

## 2 .ENFOQUE DEL ESTUDIO

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El estudio realizado en la presente tesina tiene como objetivo la obtención de relaciones funcionales entre las variables que intervienen en el problema de la división del flujo en un cruce de calles para el caso de regímenes de entrada en las calles supercríticos.

### 2.2 ENFOQUE TEÓRICO- REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE

#### 2.2.1 Revisión del estado del arte

No existen estudios sobre la división de flujo en cruce de calles, tan sólo antecedentes de los temas de la división del flujo por un lado y combinación del flujo por otro para bifurcaciones en "T" en canales.

Existen diversos estudios sobre el tema de la división del flujo, los cuales en su mayoría están basados en estudios experimentales. El pionero en los temas de división y combinación de flujo fue sin duda alguna Taylor (1944) que realizó los primeros estudios de división del flujo en bifurcaciones con un ángulo de  $90^\circ$  y de combinación de uniones con ángulos de  $45^\circ$  y  $135^\circ$ . A partir de entonces, varios investigadores recogieron su testigo, algunos ampliaron los estudios en el tema de división de flujo, otros lo hicieron con el de combinación de flujo y otros en ambos. Para ello normalmente se han asumido los fundamentos recogidos por Taylor y desarrollado nuevos enfoques y planteamientos teóricos, casi todos basados en observaciones experimentales.

El siguiente trabajo en orden cronológico al realizado por Taylor es el presentado por Grace (1958), según Law y Reynolds (1966) que estudió la división del flujo en bifurcaciones en "T" de canales rectangulares con diferentes relaciones de anchos entre el canal principal y el ramal. Law y Reynolds (1966) por su parte plantearon un análisis teórico considerando una línea divisoria del flujo entre el canal principal y el ramal, que comienza en el canal principal y finaliza en la esquina aguas abajo de la bifurcación. Con este esquema aplicaron el principio de conservación de la cantidad de movimiento en el canal principal y en el ramal, considerando un coeficiente de contracción en el ramal y el principio de conservación de la energía en el canal principal. Basándose en sus experiencias, encontraron que estos planteamientos teóricos eran sólo válidos para números de Froude de entrada menores a 0.6 y estimaron que la fuente de error probable en el resto de casos era la hipótesis de distribución de presiones hidrostáticas sobre la línea divisoria. Finalmente extendieron el análisis teórico a diferentes ángulos del ramal y relaciones de anchos aplicando los resultados experimentales de Grace.

Lakshmana Rao y Sridharan (1967) realizaron un análisis dimensional y detallaron todas las variables involucradas en el estudio del comportamiento hidráulico de una bifurcación. Encontraron una relación entre el cociente de dos de los tres caudales y el número de Froude del flujo en la prolongación del canal principal. Realizaron un estudio experimental para diferentes relaciones de anchos y ángulos de salida del ramal, a partir de datos propios. Por consideraciones de energía, llegaron a una relación teórica entre el número de Froude del flujo aguas arriba y aguas abajo de la bifurcación. Finalmente, desarrollaron un método para calcular la división del flujo en bifurcaciones con relaciones de ancho entre 0,25 y 1 y ángulos entre  $30^\circ$  y  $90^\circ$ .

Ramamurthy y Satish (1988) utilizaron un enfoque similar al de Law y Reynolds en cuanto a la aplicación de un coeficiente de contracción y a la división física de las corrientes de agua de ambos canales, pero éstos la asimilaron a una salida dirigida tipo partidor. Ramamurthy y Satish asumieron condiciones de flujo aproximadamente críticas a la entrada del ramal. Aplicando los principios de conservación de la energía y

de la cantidad de movimiento encontraron relaciones entre el número de Froude del flujo en el canal principal aguas arriba y aguas abajo del ramal, el coeficiente de contracción, el cociente de caudales y el cociente entre los anchos del ramal y del canal principal. Estas relaciones se comprobaron con los datos experimentales propios para casos en los que la relación entre el ancho del canal principal y el del ramal era menor que la unidad, el número de Froude del flujo de salida del canal principal menor a 0,7 y el número de Froude en el ramal aguas abajo de la contracción es mayor a 0,35. Más tarde, la mejora que presentaron Ramamurthy et al. (1990) fue la de encontrar una relación entre el cociente de los caudales y el cociente de los calados en el canal principal aguas arriba y aguas abajo del ramal que sirvió para calcular la división del flujo cuando el número de Froude en el canal principal era menor a 0,75, el cual era aplicable para todo tipo de flujo en el ramal.

Shettar y Murthy (1996) utilizaron un modelo numérico bidimensional para simular el flujo en bifurcaciones de canales. Basándose en consideraciones energéticas, utilizaron su modelo numérico para verificar las fórmulas de los coeficientes de pérdida de carga propuestas por Hager (1983), según Shettar y Murthy (1996), para flujo en conductos a presión. Aplicando el modelo numérico a los resultados de autores anteriores y a experiencias propias encontraron que sus resultados representaban aproximadamente los datos medios de los ensayos donde el flujo es subcrítico en el ramal, lo cual restringía en gran medida la aplicación de estos resultados; además, observando la elevada dispersión de los datos experimentales, esa comprobación resultaba muy poco satisfactoria.

Como comentario a los antecedentes en el tema de división del flujo hay que destacar que en todos los casos se estudió el problema con flujo de aproximación en el canal principal subcrítico. En general, vemos que se tiende a aplicar el principio de conservación de la cantidad de movimiento, no sin antes recurrir a fuertes asunciones que se alejan cada vez más de la realidad a medida que el flujo es más rápido, por este motivo, en la mayoría de los planteamientos teóricos, si se superaba el valor de número de Froude del flujo de aproximación igual a 0,7, sus teorías dejaban de tener validez. Algunos autores, como Ramamurthy et al. (1988), imponen además como limitación que el flujo a la entrada del ramal sea crítico o que el número de Froude del flujo a la salida del ramal sea mayor a 0,35 para que sus argumentos teóricos sean válidos, hecho que limita aún más la aplicación de sus resultados.

Con respecto a los patrones de flujo observados, Law y Reynolds (1966) realizaron una muy completa descripción de los fenómenos hidráulicos que acompañan a la división del flujo. Ellos fueron los primeros en darle importancia a la zona de separación y recirculación, cuantificándola en un ancho máximo de más de la mitad del ancho en el ramal y una longitud de hasta la salida, lo que significa más de 9 veces el ancho del ramal, teniendo en cuenta que el ancho y longitud del mismo eran de 20 y 180 cm, respectivamente. En cuanto a las dimensiones de esta zona en la prolongación del canal principal, éstas eran mucho menores, llegando a una longitud máxima de 3 veces el ancho del canal y un ancho máximo de una tercera parte del ancho del canal. Debido a la presencia de esta zona, se vieron obligados a aplicar un coeficiente de contracción a la entrada del ramal. Además acusaron la existencia de perturbaciones superficiales cuando el número de Froude en el canal principal es mayor a 0,7 y una discontinuidad en la esquina de aguas arriba de la bifurcación del otro lado de la cual el calado puede llegar a ser de una sexta parte el calado en la bifurcación. Laksmana Rao y Sridharan (1967) describieron en forma cualitativa además de la zona de separación y recirculación, la formación de ondas cruzadas en el ramal a continuación de esa zona. La longitud observada de la zona de recirculación llegó a ser de hasta 6 veces el ancho del ramal. Ramamurthy y Satish (1988) describieron los mismos fenómenos pero no realizaron aportaciones cuantitativas de importancia. Más tarde, Ramamurthy et al. (1990) agregaron a los fenómenos anteriores, la existencia de ondas en la zona de la bifurcación. Neary y Odgaard (1993) estudiaron por su parte la estructura del flujo en la bifurcación, destacando su naturaleza tridimensional y asimilando su comportamiento al del flujo en una curva.

Con respecto a los dispositivos experimentales utilizados en las experiencias con bifurcaciones, los autores han ido progresivamente aumentando el ancho de los dispositivos experimentales empleados, probablemente para evitar un posible efecto de escala, ocasionado por la mayor influencia relativa de la tensión superficial del fluido y de los efectos de las paredes en dispositivos en los cuales se desarrollan flujos de pequeños calados y pequeñas velocidades.

### *Combinación del flujo*

En el tema de la combinación del flujo, Taylor (1944) basó su enfoque teórico en la aplicación del principio de conservación de la cantidad de movimiento, con la cual logró obtener una relación entre el cociente de caudales, el cociente de calados, el ángulo del ramal y una constante  $k_3$  igual al cociente entre la altura de velocidad y el calado aguas abajo de la unión. En la aplicación de este principio en la dirección del canal principal, Taylor considera que la fuerza de reacción en la pared del ramal es igual y opuesta a la fuerza que ejerce el flujo del ramal, asunción sólo válida cuando  $\sin \theta = \cos \theta$ , es decir cuando  $\theta = 45^\circ$  ó  $135^\circ$ . Es posible que por ese motivo Taylor llevara a cabo experiencias sólo con ángulos del ramal de  $45^\circ$  y  $135^\circ$ , encontrando una concordancia entre la teoría y los resultados experimentales sólo para un ángulo de  $45^\circ$ , lo que respaldaba las hipótesis asumidas de flujo unidimensional aguas arriba y aguas abajo de la unión, fricción en las paredes despreciable y calados iguales inmediatamente aguas arriba de la unión en los dos canales de entrada. La falta de concordancia en los ensayos con ángulo de entrada de  $135^\circ$  parece lógica si se piensa que en el fenómeno de dos masas de agua chocándose entre sí casi de frente, es difícil mantener las hipótesis asumidas por Taylor.

Webber y Greated (1966) basaron su análisis en la consideración de los principios de conservación de la cantidad de movimiento y de la energía en la unión a través de las cuales obtuvieron una relación entre el cociente de los calados aguas arriba y abajo de la unión, el cociente de caudales, el ángulo que forma el ramal con el canal principal y el número de Froude del flujo de salida de la unión. Esta relación se verifica con los resultados experimentales si se la afecta por un coeficiente de corrección. Los ángulos de ramales estudiados fueron de  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  y  $90^\circ$ . Mencionaron como importantes limitaciones la influencia de la forma del canal y el efecto de escala en las experiencias. Aunque no lo incluyeron explícitamente, se deduce de sus resultados que el número de Froude máximo de validez de su teoría es 0,6.

Ramamurthy et al. (1988) estudiaron el aumento del calado aguas arriba de la unión, para lo cual consideraron el principio de conservación de la cantidad de movimiento incluyendo la aportación de flujo de cantidad de movimiento del ramal al canal principal. Sus estudios son válidos sólo para condiciones de flujo crítico y no sumergido aguas abajo de la unión y cuando la relación entre el caudal del ramal y el del canal principal está comprendida entre 0,3 y 1,5. Para estas condiciones es posible calcular el calado aguas arriba de la unión, como función del cociente de caudales y del calado crítico aguas abajo de la unión. Más tarde, Ramamurthy et al. (1994) realizaron otro estudio sobre el aumento del calado en la zona de la unión, pero considerando esta vez el principio de conservación de la energía. Al analizar las pérdidas de energía, vieron que podían ser despreciables por varios motivos, por lo que la conclusión a la que llegaron estos autores fue que el calado máximo en la unión es igual a 1,5 veces el calado crítico que se produce aguas abajo de la unión, que es igual a la energía específica en ese lugar.

Hager (1989), por su parte, estudió el problema de la combinación del flujo cuando existe un cambio de régimen de subcrítico aguas arriba a supercrítico aguas abajo de la unión, hecho posible sólo si el caudal lateral es mayor al 15 % del caudal total. Los estudios se llevaron a cabo con ángulos de  $22,5^\circ$ ,  $45^\circ$  y  $90^\circ$ . Considerando el principio de conservación de la energía y utilizando un coeficiente de contracción, encontró una relación entre el cociente de caudales y el ángulo de incidencia del ramal, que se ajustó a los resultados experimentales con una cierta tolerancia.

Con respecto a los antecedentes en el tema de combinación del flujo, todos los autores están de acuerdo en que las hipótesis de Taylor (1944) de iguales calados y flujos paralelos aguas arriba de la unión son válidas, al menos en canales horizontales y con flujo subcrítico. La hipótesis de Taylor de que la fricción en las paredes es despreciable comparada con otras fuerzas involucradas es aceptada por todos los autores excepto por Webber y Greated (1966) que la ponen en duda a la luz de sus experiencias e incluyen un factor de corrección. Esta última discrepancia se entiende teniendo en cuenta que Webber y Greated utilizan un planteamiento teórico basado en el principio de conservación de la energía. La simplificación hecha por Taylor de la fuerza de reacción de la pared del ramal fue una cuestión bastante criticada por muchos de los autores. Los límites de aplicación en términos de números de Froude no se incluyen explícitamente ya que los análisis no dependen de un número de Froude determinado sino de relaciones entre cocientes de caudales y cocientes de calados, pero las experiencias se llevaron a cabo todas con flujo de aproximación en régimen subcrítico, aunque tanto Ramamurthy et al. (1988 y 1994) como Hager (1989) consideran condiciones críticas y supercríticas aguas abajo de la unión. Sí se encontraron límites de aplicación en términos de cociente de caudales que fueron entre 0,3 y 1,5 en el caso de Ramamurthy et al. (1988) y entre 0 y 0,85 en el de Hager.

Con respecto a los patrones de flujo en combinación del flujo, Webber y Greated (1966) describieron la zona de separación que se genera a partir de la esquina de aguas abajo de la unión. La definición de los límites de ésta fue utilizada para diseñar una unión con un perfil hidráulico óptimo. Hager (1989), aceptando el hecho de la existencia de una zona de separación, utilizó en su planteamiento teórico un coeficiente de contracción.

Con respecto a las experiencias en general, todos los estudios citados utilizaron datos experimentales propios, algunos también de otros autores, para validar sus hipótesis y formulaciones. Todos los canales experimentales se construyeron horizontales y algunos son tan pequeños, como el de Hager (1989), de 9,6 cm de ancho, que resulta difícil creer sus resultados no estén afectados por efectos de escala, hecho que el autor ni siquiera menciona. El dispositivo de Taylor (1944) también es muy pequeño, 10 cm de ancho, aunque por ser el primero no deja de ser meritorio. Además, cabe acotar que los dispositivos experimentales no respondieron a prototipos determinados, sino que tuvieron geometrías genéricas, siendo los resultados aplicables a los casos en los cuales, a criterio del investigador, exista una determinada semejanza con su problema. Una mención hay que hacer con respecto a las relaciones ancho/calado, que en todos los casos son del orden de 1, podríamos decir en un rango de 0,5 a 2, llegando excepcionalmente a 6 en el caso de Neary y Odgaard (1993), aunque el flujo estudiado por estos autores poseía números de Froude no mayores de 0,11 en el ramal y de 0,23 en el canal principal.

De los estudios existentes, se presenta a continuación el realizado por Lakshama Rao y Sridharan (1967) quienes realizaron un planteamiento de las variables generales involucradas en el comportamiento hidráulico en un cruce de calles. Dichos autores realizaron un análisis dimensional y detallaron todas las variables involucradas en el estudio del comportamiento hidráulico de una bifurcación. El estudio que realizaron se planteó para casos en los que los flujos de entrada eran subcríticos, pero el planteamiento realizado sobre las variables generales involucradas también es aplicable para el desarrollo del caso de flujo supercrítico en un cruce de calles (es el caso estudiado en la presente tesis).

Si se desea tener un mayor conocimiento acerca del estado del arte, se puede recurrir a la tesis doctoral presentada por Leonardo S. Nanía donde se contempla el estado del arte de una manera más completa.

### 2.2.2 Enfoque teórico utilizado

Lakshmana Rao y Sridharan destacaron la extrema dificultad de un análisis matemático completo del problema de la división del flujo debido a la complejidad de las características del flujo en la bifurcación de los canales. Presentaron una solución para flujos subcríticos basada en un análisis dimensional e investigaciones experimentales. Desarrollaron un método para encontrar la distribución del caudal cuando se conoce el número de Froude aguas arriba, basado en los principios de continuidad, de conservación de la energía y la ayuda de observaciones experimentales.

En el análisis dimensional realizado por Lakshmana Rao y Sridharan, las variables involucradas son de tres tipos: las relacionadas con la geometría de los canales, las relativas a las características del flujo y las relativas a las propiedades del fluido. La figura 2.1 presenta un esquema en el que se recogen algunas de estas variables.

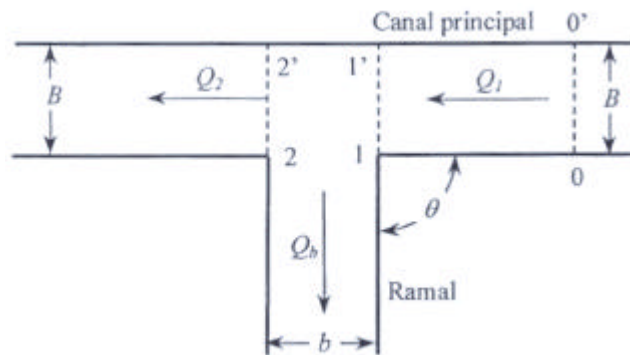


Figura 2.1: Esquema de bifurcación en "T" y simbología empleada en el estudio de Lakshmana Rao y Sridharan (1967).

Las variables correspondientes a la geometría son: la forma de las secciones transversales de los dos canales,  $\alpha_m$  y  $\alpha_b$ ; los anchos de sección característicos,  $b, B$ ; las rugosidades de los mismos,  $k_m$  y  $k_b$ ; el ángulo de ataque,  $\theta$  y el redondeo o grado de suavización de la entrada,  $\beta$ . Las variables que corresponden a las características del flujo son la velocidad media,  $V_0$  y el calado medio,  $y_0$  del flujo en el canal principal aguas arriba del ramal (sección 00'); la velocidad media,  $V_2$  y el calado medio,  $y_2$  del flujo en el canal principal inmediatamente aguas abajo del ramal (sección 22') y el calado medio del flujo en el ramal,  $y_b$  (sección 12). Las propiedades del fluido a considerar son la densidad,  $\rho$ , el peso específico,  $\gamma$  y la viscosidad dinámica,  $\mu$ .

Del análisis dimensional se puede deducir que:

$$\frac{Q_b}{Q_1} = f_1 \left\{ \alpha_m, \alpha_b, \frac{k_m}{y_0}, \frac{k_b}{y_0}, \frac{B}{b}, \theta, \beta, \frac{y_b}{y_0}, F_0, R_0 \right\} \quad (2.1)$$

Donde  $Q_b$  es el caudal en el ramal,  $Q_1$  es el caudal total y  $F_0$  y  $R_0$  son el número de Froude y el de Reynolds respectivamente del flujo en el canal principal en la sección 00' aguas arriba del ramal. Dado que se considera que se alcanzará en todos los casos flujo turbulento completamente desarrollado, se deduce que  $R_0$  será un parámetro insignificante. El parámetro  $y_b/y_0$  se puede omitir, dado que existía una caída libre a la salida del ramal e  $y_b$  está condicionado principalmente por el calado en el canal principal,  $y_0$ . Sin embargo, no puede ser ignorado si el flujo en el ramal está controlado desde aguas abajo. Como todos los experimentos se llevaron a cabo en canales rectangulares con la misma rugosidad, podemos omitir de la ecuación los parámetros  $\alpha_m$ ,  $\alpha_b$ ,  $k_m/y_0$  y  $k_b/y_0$ . Además, al tratarse de un fenómeno local, la

rugosidad es un factor despreciable. Como la unión entre el canal principal y el ramal se mantuvo recta, es decir, sin redondear ni suavizar las esquinas, podemos omitir también el parámetro  $\theta$ . Con todas estas simplificaciones, la ecuación (2.1) queda:

$$\frac{Q_b}{Q_1} = f_2 \frac{B}{b} F_0 \quad (2.2)$$

Lakshmana Rao y Sridharan realizaron experiencias para determinar la naturaleza funcional de estos parámetros y desarrollaron un método para encontrar la distribución del caudal conocido el número de Froude  $F_0$ , donde el cálculo se hace por prueba y error.

Estos autores desarrollaron un método muy simple y expeditivo que cubre una amplia gama de relaciones de ancho entre canal principal y ramal, y ángulos de intersección, pero sus experiencias sólo comprenden los casos en que los flujos de entrada son subcríticos y las condiciones del flujo en el extremo aguas abajo del ramal son de caída libre (era una de las características del dispositivo que utilizaron), hecho que limita en gran medida su aplicación.

### 2.3 VARIABLES INVOLUCRADAS EN UN CRUCE DE CALLES

Tal como se ha comentado, las variables involucradas en el problema de la división del flujo en cruces de calles son de tres tipos: las relacionadas con la geometría del cruce, las relativas a las características del flujo y las relativas a las propiedades del fluido.

Respecto a la geometría, un cruce queda definido por las siguientes variables: el ancho, la sección transversal, la pendiente, el ángulo en planta de las calles que lo constituyen y la existencia o no de chaflanes en las esquinas. Teniendo en cuenta que el dispositivo experimental que se iba a utilizar no tenía chaflanes, y que la sección de las calles era constante, los parámetros correspondientes a la geometría que influirán en este caso son los siguientes:

- $b_{ex}$ ,  $b_{ey}$ : ancho de las calles de entrada al cruce en las direcciones "x" e "y".
- $b_{sx}$ ,  $b_{sy}$ : ancho de las calles de salida del cruce en las direcciones "x" e "y".
- $\theta$ : ángulo entre los ejes de las calles que forman el cruce
- $n$ : coeficiente de rugosidad de Manning de las calles y el cruce, que se supondrá constante.
- $\theta$ : grado de suavización, redondeo o achaflanamiento de las esquinas.

Estos parámetros quedan esquematizados en la figura 2.2.

Asimismo las variables hidráulicas que caracterizan al flujo en un cruce de calles son las siguientes:

- $V_{ex}$ ,  $V_{ey}$ : velocidades medias del flujo de entrada en las direcciones "x" e "y".
- $V_{sx}$ ,  $V_{sy}$ : velocidades medias del flujo de salida en las direcciones "x" e "y".
- $y_{ex}$ ,  $y_{ey}$ : calados medios del flujo de entrada en las direcciones "x" e "y".
- $y_{sx}$ ,  $y_{sy}$ : calados medios del flujo de salida en las direcciones "x" e "y".

Y las propiedades del fluido a considerar son:

- $\rho$ : la densidad.
- $\mu$ : la viscosidad dinámica.

Se supone que el flujo no viene afectado por las fuerzas de tensión superficial, lo que parece del todo asumible para calados de cierta entidad. En el estudio experimental, el flujo se caracteriza por tener calados pequeños, por lo que podría ocurrir que estas fuerzas sí fueran significativas respecto al resto de fuerzas actuantes

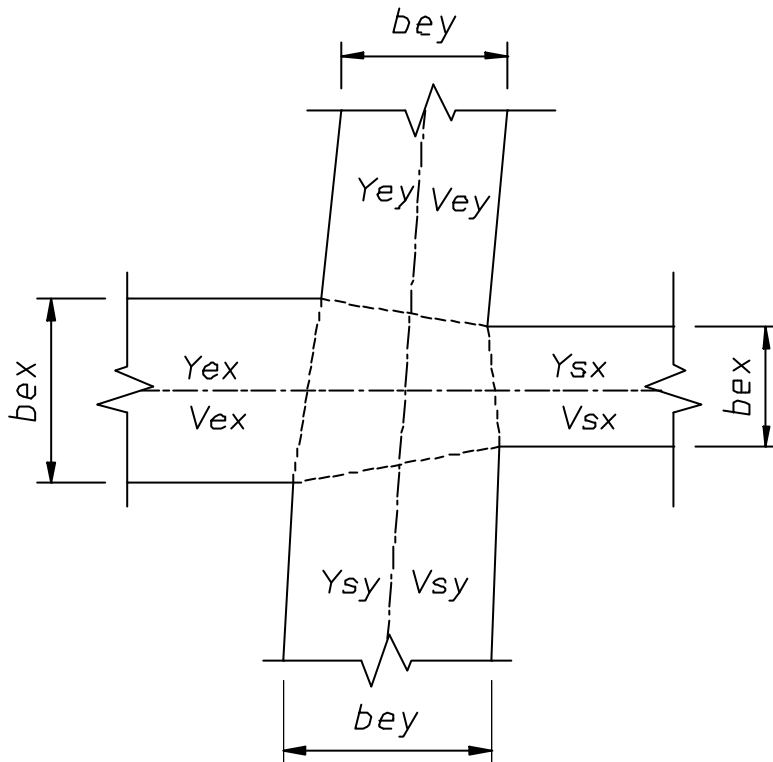


Figura 2.2: Esquema de un cruce de calles, sus parámetros geométricos y las variables hidráulicas que caracterizan el flujo en él

Siguiendo un análisis unidimensional similar al que Lakshama Rao y Sridharan realizaron en el estudio del problema de división de flujo en bifurcaciones de canales, se demuestra que para un cruce de calles con anchos diferentes:

$$f_1 \left\{ \frac{Q_{ex}}{Q_{ey}}, \frac{Q_{sx}}{Q_{sy}}, F_{ex}, F_{ey}, R_{ex}, R_{ey}, \frac{b_x}{b_y}, \frac{y_{sx}}{b_x}, \frac{y_{sy}}{b_x}, \theta, n \right\} = 0 \quad (2.3)$$

Donde:  $Q_{ex}$  y  $Q_{ey}$  son los caudales de entrada en las direcciones "x" e "y",  $Q_{sx}$  y  $Q_{sy}$  son los caudales de salida en las direcciones "x" e "y",  $F_{ex}$  y  $F_{ey}$  son los números de Froude del flujo de entrada en las direcciones "x" e "y",  $R_{ex}$  y  $R_{ey}$  son los números de Reynolds del flujo de entrada en las direcciones "x" e "y",  $b_x$  y  $b_y$  son los anchos de calles;  $y_{sx}$ ,  $y_{sy}$  son los calados en las secciones de salida del cruce;  $\theta$  el ángulo de ataque y  $n$  el grado de suavización.

Dado que el régimen estudiado será supercrítico, las condiciones de contorno que fijan el comportamiento hidráulico permiten omitir las variables  $y_{sx}$ ,  $y_{sy}$  por ser condiciones de contorno aguas abajo del cruce. Así pues, la formulación queda:

$$f_2 \left\{ \frac{Q_{ex}}{Q_{ey}}, \frac{Q_{sx}}{Q_{sy}}, F_{ex}, F_{ey}, \frac{b_x}{b_y}, R_{ex}, R_{ey}, \theta, n \right\} = 0 \quad (2.4)$$

El tipo de régimen estudiado será permanente en tiempo si bien en un cruce de calles el flujo más general que se produce es el de no permanente gradualmente variable. No obstante se estudia en este régimen

dato que la finalidad a posteriori es la de usar los resultados en un modelo numérico en el cual se realice una discretización en el tiempo aplicando los resultados experimentales para cada instante como si se tratase de resolver un conjunto de problemas de flujo permanente, sucesivamente uno en cada instante de tiempo. Este análisis se puede llevar a cabo porque se espera que la variación del flujo en el tiempo sea suave.

A continuación se plantean algunas hipótesis simplificativas que ayudan a acotar las variables y facilita en principio el estudio de la división del flujo en cruces de calles.

1. El ángulo en planta de las calles que forman el cruce es de  $90^\circ$ . Se escoge este ángulo como representativo de la mayoría de cruces de calles. No obstante, hay que destacar que la influencia de esta variable en la división del caudal en el cruce es susceptible de un pormenorizado estudio que escapa de los objetivos de esta tesina.

2. La superficie formada por la intersección de las dos calles en planta será considerada horizontal. Esta simplificación se asume, por un lado, dada la dificultad de caracterizar esta superficie con alguna pendiente en especial y, por el otro, por razones de simplicidad constructiva del dispositivo experimental.

3. Las esquinas estarán formadas por la arista de intersección de los planos verticales que forman los cajeros de las calles, es decir que no se considerarán chaflanes, ni suavización o redondeado de las mismas. Esta hipótesis se asumió también por simplicidad constructiva, pero es muy probable que la influencia de la forma de las esquinas en la distribución del flujo aguas abajo del cruce sea notable, en especial la de la esquina inferior derecha del esquema de la figura 2.3, que funciona como partidior.

Como todas las experiencias se llevarán a cabo en el mismo dispositivo, que geoméricamente responde a las hipótesis planteadas en el párrafo anterior sin variar ni la rugosidad, ni el ángulo entre calles, ni el redondeo de las esquinas, se puede eliminar del análisis los parámetros  $n$ ,  $\theta$  y  $\delta$ .

Después de aplicar las hipótesis simplificativas, el cruce de calles queda muestra la figura 2.3.

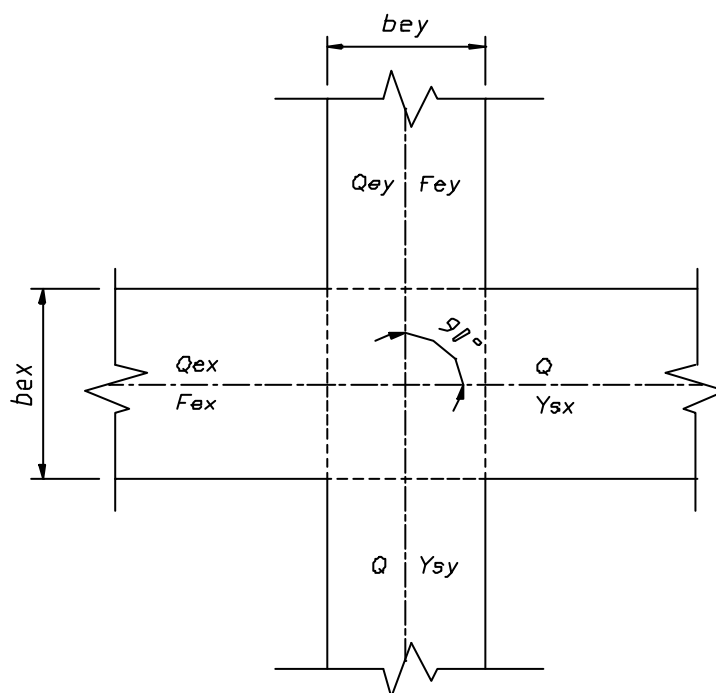


Figura 2.3. Esquema del cruce de calles simplificado



Las condiciones de contorno que fijan el comportamiento hidráulico del cruce para el caso de régimen supercrítico son las situadas aguas arriba, es decir en las calles de entrada. Estas condiciones de contorno son: caudales de entrada ( $Q_{ex}$ ,  $Q_{ey}$ ) y números de Froude del flujo de entrada ( $F_{ex}$ ,  $F_{ey}$ ), o bien, velocidades del flujo de entrada ( $V_{ex}$ ,  $V_{ey}$ ) y calados de entrada ( $y_{ex}$ ,  $y_{ey}$ ). Se ha optado por las realizar la formulación con las primeras. Otra de las hipótesis a considerar es un elevado grado de turbulencia (número de Reynolds altos) por lo que la influencia de  $R_{ex}$  y  $R_{ey}$  puede considerarse despreciable

Sabiendo que por continuidad:  $Q_{ex} + Q_{ey} = Q_{sx} + Q_{sy} = Q_T$  y teniendo en cuenta las simplificaciones anteriores, el reparto de caudales en un cruce de calles para el caso de calles a  $90^\circ$ , de diferente ancho y flujo en las calles de salida supercrítico, quedara formulado mediante la función:

$$f_3 \left( \frac{Q_{ex}}{Q_T}, \frac{Q_{ey}}{Q_T}, F_{ex}, F_{ey}, \frac{b_x}{b_y} \right) = 0 \quad (2.5)$$