UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Determinación del punto de alimentación en subunidades de riego localizado con desnivel

Apellidos, nombre	Arviza Valverde, Jaime (jarviza@agf.uvp.es) Palau Estevan, C. Virginia (virpaes@agf.upv.es)
Departamento	Ingeniería Rural y Agroalimentaria
Centro	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Natural Universitat Politècnica de València

1 Resumen de las ideas clave

En este artículo vamos a ver el procedimiento para la determinación del punto de alimentación tanto de los laterales como terciarias de una subunidad de riego localizado cuando éstos presentan desniveles. Dado que el objetivo principal en el diseño de subunidades es que la uniformidad de emisión sea lo más alta posible la localización del punto óptimo de alimentación de las tuberías que componen la subunidad permitirá una distribución más uniforme de presiones y por tanto que la distribución de caudales sea a su vez uniforme.

2 Introducción

Como se ilustra en la Figura 1 una subunidad de riego es el conjunto de laterales conectados a una tubería de diámetro superior que recibe el nombre de terciaria y controlados en su inicio por un elemento regulador de la presión, usualmente una válvula de esfera o bola.

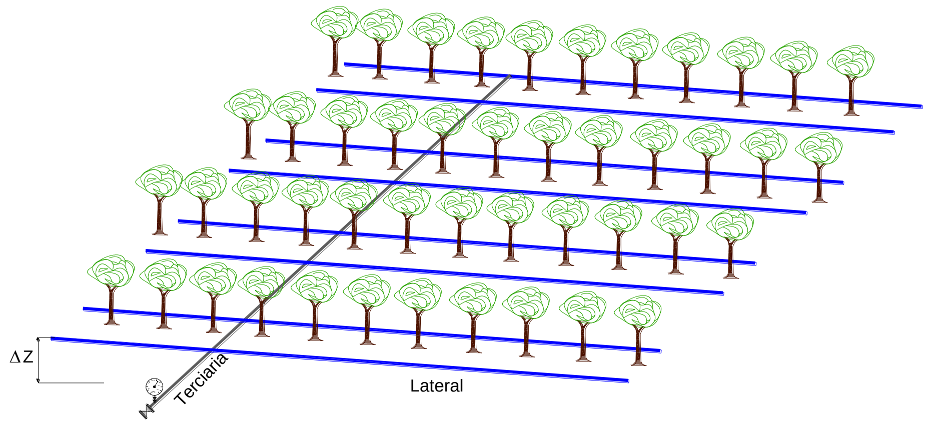

Figura 1: Esquema de subunidad de riego con laterales alimentados por un punto intermedio

Tanto laterales como terciarias son tuberías que distribuyen un caudal uniforme de forma discreta a lo largo de su longitud. Cuando el número de derivaciones en cada tubería es elevado (mayor de 30) lo que sucede en la mayoría de los casos en los laterales y terciarias es que la distribución de caudales es continua, circunstancia que simplifica el análisis y estudio del comportamiento hidráulico de este tipo de tuberías.

Dado que la uniformidad de distribución en la subunidad depende de la variación de presión que se manifiesta en los laterales y terciarias, y ésta depende de la presión máxima y mínima en estas tuberías, su determinación resulta imprescindible si se quiere garantizar una uniformidad mínima de caudales en subunidad.

Cuando los laterales y terciarias son horizontales o tienen una pendiente ascendente (en sentido de circulación del agua) la presión máxima se verifica al inicio y la mínima al final de las tuberías.

Sin embargo cuando la tubería tiene una pendiente negativa el punto donde se verifica la presión mínima puede localizarse a lo largo de la misma, dependiendo del caudal derivado por unidad de longitud, pendiente, diámetro interior y separación entre derivaciones. Esta situación puede apreciarse en la Figura 2.

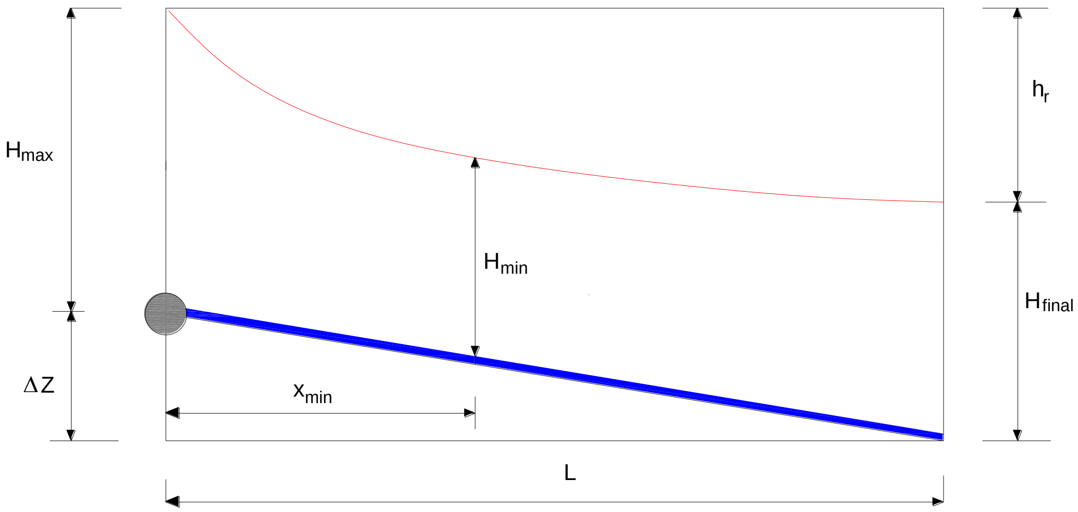

Figura 2: Distribución de presiones en una tubería con distribución continua de caudales y pendiente descendente.

En este caso el punto de la tubería donde se verificará la presión mínima estará a una distancia del origen de:

$$x_{\min} = L - \frac{1}{q_u} \cdot \left(\frac{\Delta Z \cdot D^{4.75}}{K_m \cdot C \cdot L} \right)^{0.57} = L - \frac{1}{q_u} \cdot \left(\frac{i}{K_m \cdot M} \right)^{0.57}$$

Ecuación 1: Punto de presión mínima en la tubería

Donde:

- q_u : Caudal derivado por unidad de longitud
- K_m: Coeficiente mayorante por pérdidas de carga localizadas.
- $i = \dfrac{\Delta Z}{L}$: Pendiente de la tubería en tanto por uno.
- D: Diámetro interior de la tubería
- C: Coeficiente que depende de la temperatura en la fórmula de Blasius.

Una vez determinada la localización del punto donde se verifica la presión mínima podrá ser calculada ésta. Como la presión máxima debe localizarse en el origen de la tubería podrá comprobarse si la variación de presión, es decir la diferencia entre la presión máxima y la mínima, está dentro de los valores que permiten garantizar una mínima uniformidad de emisión.

$$\Delta H_{adm} \geq H_{\max} - H_{\min} = \frac{P_{\max}}{\gamma} - \frac{P_{\min}}{\gamma}$$

Ecuación 2: Variación de presión admisible en la subunidad.

3 Objetivos

Una vez el lector haya leído con detenimiento este documento será capaz:

- Determinar el punto de alimentación para laterales y terciarias cuando éstas presenten desnivel
- Calcular las presiones máximas y mínimas que se verifican en este tipo de tuberías.
- Comprobar si el diámetro adoptado es adecuado para alcanzar una determinada uniformidad de emisión.

4 Determinación del punto de alimentación en tuberías con distribución continua de caudales.

Cuando las tuberías, laterales o terciarias, son horizontales la determinación del punto de alimentación es inmediata: deberán alimentarse por el punto medio.

Cuando la tubería tiene cierto desnivel la determinación del punto de alimentación se complica, ya bien con una distribución discreta de caudales o continua, habrá que recurrir a procedimientos iterativos para resolver el problema.

El punto de alimentación debe ser tal que la variación de presión en el tramo ascendente sea igual a la variación de presión en el tramo descendente, y además se deberá cumplir que dicha variación sea menor que la admisible. Por tanto el punto de alimentación debe ubicarse de tal forma que la presión mínima en el tramo descendente sea igual a la presión mínima en el tramo ascendente tal y como se puede ver en la Figura 3.

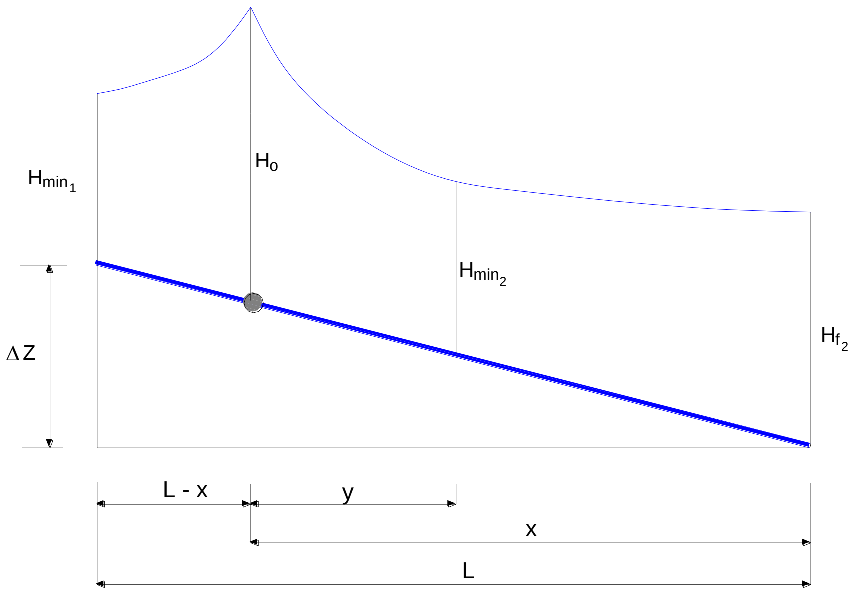

Figura 3: Localización del punto de alimentación en lateral con desnivel

.

4.1 Conocimientos previos

4.1.1 Pérdidas de carga en tuberías con distribución continua de caudales.

En el caso de los laterales y terciarias de una subunidad de riego localizado las pérdidas de carga se calculan mediante la fórmula de Blasius (Ecuación 3).

$$h = \frac{1}{2.75} \cdot C \cdot L \cdot K_m \cdot \frac{Q^{1.75}}{D^{4.75}} = \frac{1}{2.75} \cdot M \cdot L \cdot K_m \cdot Q^{1.75}$$

Ecuación 3: Pérdida de carga en tubería con distribución continua de caudales

Siendo:

- C: Coeficiente que depende de la temperatura
- K_m : Coeficiente mayorante por pérdidas de carga localizadas.
- Q: Caudal al inicio de la tubería
- L : Longitud de la tubería
- D: Diámetro interior de la tubería

Las pérdidas pueden expresarse en función del caudal derivado por unidad de longitud (q_u) quedando la Ecuación 3 como sigue:

$$h = \frac{1}{2.75} \cdot M \cdot L^{2.75} \cdot K_m \cdot q_u^{1.75} = \frac{C \cdot L^{2.75} \cdot K_m \cdot q_u^{1.75}}{2.75 \cdot D^{4.75}}$$

Ecuación 4: Pérdida de carga para una tubería con distribución continua en función del caudal por unidad de longitud (q_u)

4.1.2 Variación máxima de presión en la subunidad de riego

Es importante resaltar qué con emisores auto compensantes la máxima variación de presión en la subunidad la debe fijar el técnico, respetando el intervalo de presiones dentro del cual el emisor arroja un caudal constante.

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min} \leq H_{\max_{(adm)}} - H_{\min_{(adm)}} \qquad \left(H_{\min} \geq H_{\min_{(adm)}}\right)$$

Ecuación 5

El valor de la presión máxima dependerá en gran medida de las dimensiones de la subunidad y de los desniveles tanto en lateral como terciaria. A su vez se deberá cumplir que:

$$\Delta H \geq \Delta H_{lateral} + \Delta H_{terciaria}$$

Ecuación 6

4.2 Metodología de cálculo

En el esquema de la Figura 4 se ilustran los pasos a seguir en el dimensionado de laterales y/o terciarias alimentadas por un punto intermedio.

A partir de los datos de partida resulta sencillo calcular el caudal unitario función del caudal por derivación y la separación entre derivaciones.

$$q_u = \frac{q}{s}$$

Ecuación 7: Caudal unitario

4.2.1 Cálculo del diámetro mínimo interior de la tubería.

Determinada la máxima variación de presión la pérdida de carga admisible en la tubería vendrá dada por:

$$h = \Delta H - \Delta Z = \Delta H - i \cdot L$$

Ecuación 8: Pérdida de carga admisible en la tubería

Siendo:

- ΔZ : Desnivel en la tubería. Ascendente (+). Descendente (-)

Despejando el diámetro de la Ecuación 4 se obtiene:

$$D \geq \left(\frac{C \cdot L^{2.75} \cdot K_m \cdot q_u^{1.75}}{2.75 \cdot h} \right)^{\frac{1}{4.75}}$$

Ecuación 9

De la serie de diámetros comerciales se adoptará el diámetro interior inmediato superior al calculado.

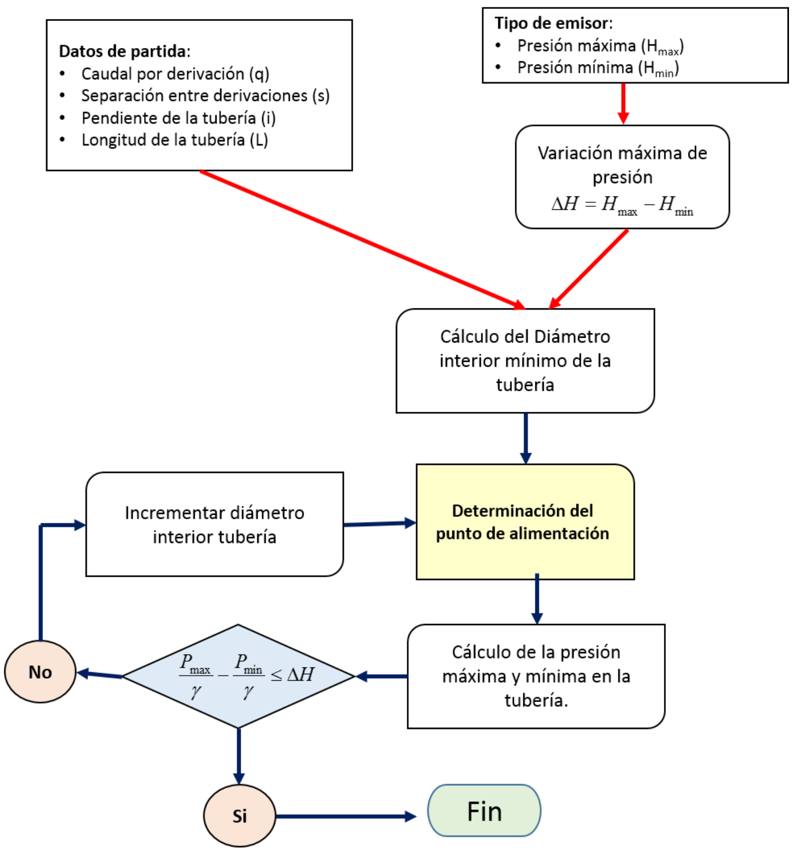

Figura 4: Esquema del proceso de dimensionado

4.2.2 Determinación del punto de alimentación

Para la determinación del punto de alimentación aceptamos que la distribución de caudales es continua. Al tramo ascendente se le asigna el subíndice 1 y al descendente el 2.

Tramo ascendente

En este caso la presión mínima se verifica al final del tramo tal y como se ilustra en la Figura 3.

Tramo descendente

Como se aprecia en la Figura 3 la presión mínima se verifica en un punto intermedio de este tramo. Por tanto habrá que calcular la distancia (**y**), desde el punto de alimentación a la que se produce la presión mínima. A partir de la Ecuación 1 se obtiene:

$$y = x - \frac{1}{q_u} \cdot \left(\frac{i}{K_m \cdot M} \right)^{\frac{1}{1.75}}$$

Ecuación 10: Localización del punto de presión mínima en el tramo descendente

La presión mínima por tanto vendrá dada por:

$$\left(\frac{P_{\min}}{\gamma} \right)_2 = \frac{P_o}{\gamma} - h_y + i \cdot y$$

Ecuación 11

Siendo $\mathbf{h_y}$ la pérdida de carga desde el punto de alimentación hasta el punto y que vendrá dada por:

$$h_y = \frac{K_m \cdot M \cdot q_u^{1.75}}{2.75} \cdot \left[x^{2.75} - (x-y)^{2.75} \right]$$

Ecuación 12

Que sustituida en la ecuación anterior queda:

$$\left(\frac{P_{\min}}{\gamma} \right)_2 = \frac{P_o}{\gamma} + i \cdot y - \frac{K_m \cdot M \cdot q_u^{1.75}}{2.75} \cdot \left[x^{2.75} - (x-y)^{2.75} \right]$$

Ecuación 13: Presión mínima en el tramo descendente.

Introduciendo los coeficientes A y B. Siendo estos:

$$A = \frac{1}{q_u} \cdot \left(\frac{i}{K_m \cdot M} \right)^{0.571} \qquad B = \frac{K_m \cdot M \cdot q_u^{1.75}}{2.75}$$

Ecuación 14

Sustituyendo $\mathbf{h_y}$ dado por la Ecuación 12 en la Ecuación 11 se obtiene la Ecuación 13.

Por último sustituyendo en ésta última el valor de **y** dado por la Ecuación 10, queda:

$$i\cdot\left(L-\frac{1}{q_u}\cdot\left(\frac{i}{K_m\cdot M}\right)^{0.571}\right)+\frac{K_m\cdot M\cdot q_u^{1.75}}{2.75}\cdot\left[\left(L-x\right)^{2.75}-x^{2.75}+\left(\frac{1}{q_u}\cdot\left(\frac{i}{K_m\cdot M}\right)^{0.571}\right)^{2.75}\right]=0$$

$$i\cdot\left(L-A\right)+B\cdot\left[\left(L-x\right)^{2.75}-x^{2.75}+A^{2.75}\right]=0$$

Ecuación 15: Localización del punto de alimentación.

El punto de alimentación será aquel valor de **x** que haga nula la Ecuación 15. Como **x** está en forma implícita habrá que recurrir a procedimientos iterativos para dar solución al problema.

Creamos una función nula $\varphi(x)=0$. Por lo tanto:

$$\varphi(x)=i\cdot\left(L-A\right)+B\cdot\left[\left(L-x\right)^{2.75}-x^{2.75}+A^{2.75}\right]$$

Ecuación 16: Función nula con x como variable implícita

El problema se reduce ahora en encontrar el valor de **x** que haga nula la Ecuación 16.

4.2.3 Cálculo de la presión máxima y mínima en la tubería

La presión mínima, que debe ser la misma en el tramo ascendente que en el descendente, debe ser igual a la presión mínima de funcionamiento del emisor. Por tanto, la presión máxima que se debe verificar en el punto de alimentación, tal y como vimos en la Figura 3, se puede calcular a partir de la Ecuación 13.

$$\left(\frac{P_{\max}}{\gamma}\right)=\frac{P_o}{\gamma}=\left(\frac{P_{\min}}{\gamma}\right)_2-i\cdot y+\frac{K_m\cdot M\cdot q_u^{1.75}}{2.75}\cdot\left[x^{2.75}-\left(x-y\right)^{2.75}\right]=$$

$$.\ =H_{\min}-i\cdot y+B\cdot\left[x^{2.75}-\left(x-y\right)^{2.75}\right]$$

Ecuación 17: Presión máxima en el punto de alimentación

Se deberá comprobar, finalmente, que la variación de presión en la tubería es menor que la admisible calculada para la subunidad.

$$\left(\frac{P_{\max}}{\gamma}\right)-H_{\min}\leq\Delta H$$

Ecuación 18

4.3 Aplicación a un caso concreto

Para ilustrar el procedimiento expuesto abordaremos la determinación del punto de alimentación en el caso concreto de una lateral de riego.

El lateral de riego se trata una tubería emisora con salidas espaciadas 0.8 m y longitud total de 150 m. El caudal nominal del emisor es de 3.5 l/h y la tubería tiene un diámetro interior de 14.2 mm. La pendiente de la tubería es del 2 %. La presión mínima de funcionamiento es de 10 mca y la máxima variación de presión admisible en subunidad de 3 m.

Datos adicionales (Km = 1.25 C = 0.466)

Seguiremos el procedimiento expuesto en el esquema de la Figura 4.

El caudal unitario vendrá dado por:

$$q_u = \frac{q}{s} = \frac{3.5}{0.8} = 4.375\, l/\left(h\ y\ m\right)$$

Los coeficientes A y B vendrán dados por:

$$A = \frac{1}{q_u} \cdot \left(\frac{i}{K_m \cdot M}\right)^{0.571} = \frac{1}{4.38} \times \left(\frac{0.02 \times 14.2^{4.75}}{1.25 \times 0.466}\right)^{0.571} = 44.49$$

$$B = \frac{K_m \cdot M \cdot q_u^{1.75}}{2.75} = \frac{1.25 \times 1.57 \times 10^{-6} \times 4.38^{1.75}}{2.75} = 9.43 \times 10^{-6}$$

Siendo la función nula:

$$\varphi(x) = 0.02 \times (105.51) + 9.43 \times 10^{-6} \times \left[(150 - x)^{2.75} - x^{2.75} + 34097.4\right]$$

Para $x_o = L/2 = 75$

$$\varphi(75) = 1.89 + 9.43 \times 10^{-6} \times 44.49^{2.75} = 2.43$$

La derivada de la función será:

$$\varphi'(x) = \frac{d\varphi}{dx} = -2.75 \times 9.43 \times 10^{-6} \times \left[(150 - x)^{1.75} + x^{1.75}\right]$$

Para el valor de x_0

$$\varphi'(x) = \frac{d\varphi}{dx} = -2.75 \times 9.43 \times 10^{-6} \times 2 \times 75^{1.75} = -0.10$$

Y el nuevo valor de x_1 vendrá dado por:

$$x_1 = 75 - \frac{2.43}{-0.10} = 99.54$$

El resto de iteraciones se realiza con la ayuda de una hoja de cálculo. Los resultados se reflejan en la Tabla 1.

En este caso en particular, han sido suficiente tres iteraciones para llegar al resultado (Tabla 1). Como los emisores están a 0.8 m, el punto de alimentación se realizará de tal forma que x = 99.2 m. Por lo tanto el tramo ascendente tendrá una longitud de 50.8 m.

Para verificar los resultados calcularemos la presión mínima en ambos tramos suponiendo una presión en origen, de por ejemplo 12 mca.

Tabla 1: Determinación del punto de alimentación mediante iteraciones

Nº iteración	Xo	φ(x)	φ'(x)	x1	$\lvert x_o - x_1 \rvert$
1	75,00	2,43	-0,10	99,54	24,5394
2	99,54	-0,06	-0,11	99,00	0,5378
3	99,00	0,00	-0,11	99,00	0,0008

La presión en el punto de alimentación, calculada a partir de la presión mínima en el tramo ascendente viene dada por:

$$\frac{P_o}{\gamma} = \left(\frac{P_{\min}}{\gamma}\right)_2 + h_2 + i \times (L - x) = 10 + 9.43 \times 10^{-6} \times 50.8^{2.75} + 0.02 \times 50.8 = 11.48\, m$$

Siendo la diferencia entre la presión máxima y mínima menor que la variación de presión admisible.

$$\frac{P_o}{\gamma} - \left(\frac{P_{\min}}{\gamma}\right)_2 = 11.48 - 10 = 1.48 < 5\, m$$

5 Cierre

En este artículo docente hemos visto como determinar el punto de alimentación en tuberías laterales y terciarias con desnivel en subunidades de riego. La alimentación por un punto intermedio es una solución muy interesante cuando existen desniveles importantes y se utilizan emisores auto compensantes. Esta solución permite un aprovechamiento más uniforme de la variación de presión disponible y por tanto permite alcanzar uniformidades de emisión más alta.

Dado que el procedimiento de cálculo es laborioso existe una aplicación informática (DimSub) de libre acceso que permite el diseño y dimensionado de subunidades contemplando la alimentación por un punto intermedio con gran rapidez y precisión.

Insistir en la necesidad de un diseño y dimensionado adecuado de las subunidades de riego en orden a lograr un aprovechamiento más eficiente y racional de los recursos hídricos en sistemas de riego a presión.

6 Bibliografía

6.1 Libros:

Arviza, J. "Riego Localizado". Servicio Publicaciones Universitat Politècnica de València. 1996

Kreyszig, Erwin. "Matemáticas avanzadas para ingenieros". Volumen 2. Ed. Limusa Willey. 2000

Montalvo López, T. "Riego Localizado. Diseño de instalaciones". Ediciones VJ. Valencia. 2005