

TARADO DE MOLINETES HIDRAULICOS: PRESENTACION DE LOS FUNDAMENTOS DE CALCULO DE UN METODO APLICABLE CON ORDENADOR

MANUEL MENENDEZ CAMPO (*)

RESUMEN. En este artículo se exponen las bases de cálculo de un procedimiento, cuya puesta en práctica requiere el uso de ordenador, para obtener las fórmulas de tarado que hacen posible el empleo de los molinetes hidráulicos en su finalidad de conocer la velocidad de la corriente líquida.

La característica más destacada de este procedimiento es su automatismo, basado en criterios objetivamente establecidos que permiten obtener soluciones perfectamente definidas, independientes de factores circunstanciales o subjetivos que pueden afectar a otros métodos, como los gráficos, por ejemplo.

ABSTRACT. *This article sets out the basics for the calculation of a procedure, whose practical use requires the use of a computer in order to obtain the setting-up of formulae which makes the use of water current meters possible; this done with a view to finding out the velocity of the liquid current.*

The most outstanding characteristic of this procedure is its automatic nature, this being based on the established objective criteria that allow for the obtaining of perfectly defined solutions regardless of circumstantial or subjective factors that can affect other methods, such as the graphic method.

1. INTRODUCCION

1.1. INSTALACION DE TARADO

El Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) dispone de la instrumentación adecuada para realizar el tarado, o calibrado, de los molinetes hidráulicos.

En el número 52 de esta Revista, correspondiente a octubre, noviembre y diciembre de 1984, se describía brevemente el equipo de laboratorio instalado.

1.2. MOLINETE HIDRAULICO

En esencia, un molinete hidráulico es un aparato hidrométrico que consta de un elemento giratorio, helicoidal casi siempre, unido, a través del eje correspondiente, a lo que se llama cuerpo del molinete.

El elemento giratorio, sumergido en la corriente líquida, convenientemente orientado, da un número de vueltas o revoluciones en un determinado tiempo.

El número de revoluciones y el tiempo son los registros que el aparato proporciona, por medio de los sensores que se encuentran dispuestos en el cuerpo del molinete.

El tarado del aparato, para cada hélice, puesto que pueden acoplarse distintas hélices al cuerpo del molinete, permite obtener las fórmulas que relacionan estos datos registrados con la velocidad de la corriente.

1.3. METODOLOGIA TRADICIONAL

En un caso ideal, en que no actuaran las fuerzas de rozamiento ni de inercia, y en el que la hélice fuera una superficie helicoidal perfecta, la velocidad del líquido sería:

$$V_j = K_o \cdot n$$

siendo:

V_j = la velocidad.

K_o = el paso de la hélice.

n = el número de vueltas en la unidad de tiempo.

Esta ecuación es una recta de pendiente K_o , pasando por el origen de coordenadas (fig. 1).

Pero en realidad, los puntos obtenidos en el ensayo de laboratorio se distribuyen según una hipérbola $V_c = f(n)$, que corta al eje vertical, de velocidades, en V_o , velocidad de arranque del molinete.

Después de un tramo más o menos largo, la curva tiende a su tangente o asíntota, de pendiente K_a . Tra-

(*) Ingeniero Técnico de Obras Públicas, Jefe de la División de Hidrometría del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (MOPU).

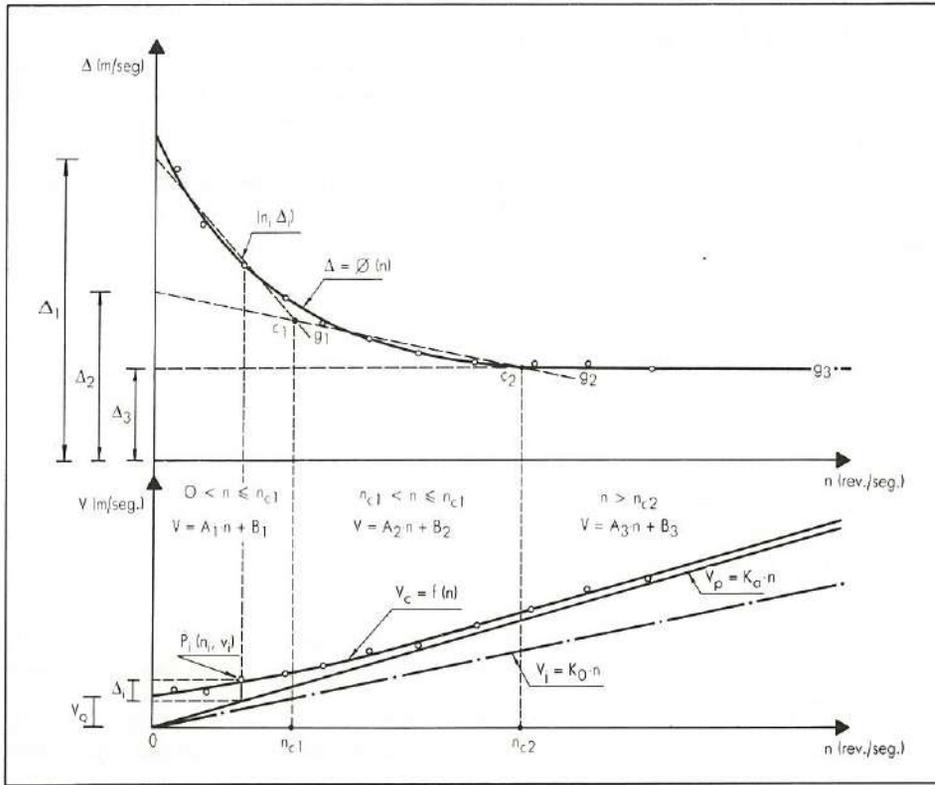


FIGURA 1.

zando por el origen de coordenadas una paralela a la asíntota, se tiene la recta:

$$V_p = K_a \cdot n$$

Tradicionalmente, las casas fabricantes de molinetes, como la alemana A.OTT, sustituyen la curva por tramos rectos, en número de uno, dos o tres, según la curvatura.

El método operativo corrientemente utilizado para interpolar estos tramos rectos, se expone a continuación.

Como la definición gráfica de la curvatura sobre los puntos obtenidos en el ensayo, dibujados según $V_c = f(n)$, en la figura 1, no resulta suficientemente práctica, se recurre a otra curva, $\Delta = \Phi(n)$, sobre la misma figura 1, en la que n son las revoluciones (como en V_c) y, sin embargo, Δ son las diferencias entre las ordenadas V del punto, y V_p de la recta.

Entonces, en cualquier punto P_i del ensayo, de coordenadas n_i, V_p , resultará

$$\Delta_i = V_i - K_a \cdot n_i \quad [1]$$

Si se amplía convenientemente la escala de verticales (10 veces, por ejemplo) se pueden dibujar, como se muestra en la figura 1, los Δ de cada punto, que configuran la nueva función $\Delta = \Phi(n)$, de curvatura más

resultada, más práctica, para interpolar los tramos rectos correspondientes.

Suponiendo que el tramo recto que pasa por el punto (n_i, Δ_i) , correspondiente a P_i , tiene la expresión

$$g = K_g \cdot n + \Delta_g$$

resulta:

$$\Delta_i = K_g \cdot n_i + \Delta_g \quad [2]$$

Por otro lado, en el tramo recto que se pretende que sustituya a la curva $V_c = f(n)$, V_i tomará el valor:

$$V_i = A_g \cdot n_i + B_g \quad [3]$$

Entonces, de las tres ecuaciones [1], [2] y [3], se llega a:

$$A_g \cdot n_i + B_g = K_g \cdot n_i + \Delta_g + K_a \cdot n_i$$

es decir:

$$A_g = K_a + K_g$$

$$B_g = \Delta_g$$

Lo que permite definir la, o las rectas (g desde 1 hasta un máximo de 3) que se utilizan como la, o las fórmulas de tarado de cada hélice, que serán de la forma:

$$V = A_y \cdot n + B_y$$

2. METODO PROPUESTO

2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

Puesto que las fórmulas que se manejan en la práctica, como se ha dicho, son uno, dos o a lo sumo tres tramos de recta que sustituyen con suficiente aproximación a la curva real, el método que se expone produce también el mismo tipo de resultados, lo que, por otro lado, favorece las comparaciones de tarados sucesivos con las fórmulas de origen.

Cada hélice habrá que tararla al menos una vez, para dotarla de su formulario inicial. Pero debido al uso, el comportamiento mecánico de las piezas puede variar, lo que hace necesario hacer tarados de comprobación o ajuste para mantener o modificar las fórmulas de origen.

En principio, la metodología es común para el primer tarado y para los siguientes, pero tal vez convenga matizar que, en tarados sucesivos, después de un uso más o menos prolongado, pueden aparecer defectos mecánicos, averías, que se manifiesten de forma clara o encubierta.

Si los fallos mecánicos son muy acusados, se detectarán ya, seguramente, en la fase de ensayo, en cuyo caso hay que recomendar la reparación antes de intentar la obtención de ninguna fórmula. Si los defectos están más encubiertos, puede que sólo se descubran en la fase de cálculo, dando soluciones mecánicamente rechazables.

El programa está preparado para emitir los avisos correspondientes, del tipo «no solución» o «solución provisional hasta que se repita el ensayo o se revise el molinete».

2.2. BASES DEL METODO PROPUESTO

Con los puntos obtenidos en el canal de ensayo, de coordenadas revoluciones-velocidad, se estudian las soluciones de una, dos y tres rectas interpoladas.

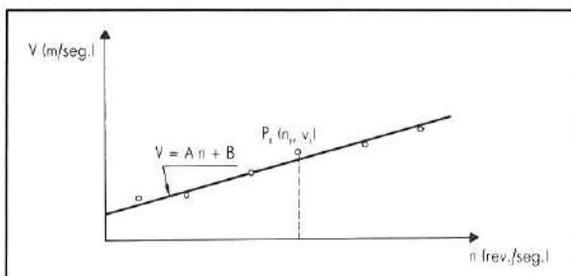


FIGURA 2.

Matemáticamente, el problema se plantea para conseguir las rectas de mejor ajuste posible en cada caso.

Para una sola recta se toman todos los puntos del ensayo, N , obteniéndose la solución por el método de la recta de regresión de y sobre x , es decir, de V sobre n en este caso (fig. 2).

Como es sabido, las derivadas parciales de la función de mínimos cuadrados,

$$F = \sum_{i=1}^N [A \cdot n_i + B - V_i]^2$$

con respecto a A y B , proporcionan el sistema:

$$\sum_{i=1}^N [A \cdot n_i + B - V_i] n_i = 0$$

$$\sum_{i=1}^N [A \cdot n_i + B - V_i] = 0$$

que permite determinar los coeficientes A y B .

Para evaluar la bondad del ajuste se ha preferido calcular directamente la función F . Por consiguiente el ajuste será tanto mejor cuanto menor sea F .

El estudio para dos rectas se efectúa considerando todas las posibilidades de interpolarlas entre los N puntos del ensayo, imponiendo que se solape el último punto del primer tramo con el primero del segundo, y que cualquiera de los dos tramos contenga al menos dos puntos.

De esta forma, la primera pareja de rectas estaría constituida por los dos primeros puntos para el primer tramo (orden en el sentido positivo del eje n) y $N - 1$ para el segundo.

La siguiente: 3 para el primero y $N - 2$ para el otro. Y así sucesivamente hasta el último par: $N - 1$ puntos para el primer tramo y 2 para el segundo.

Cada recta del par se obtiene por el procedimiento de interpolación expresado anteriormente.

Respecto a la bondad de ajuste, se establece para el conjunto de los dos tramos, hallando previamente el punto real de corte C (fig. 3) para discernir los puntos que corresponden a cada tramo y, por tanto, a cada función de mínimos cuadrados F_1 o F_2 de cada uno.

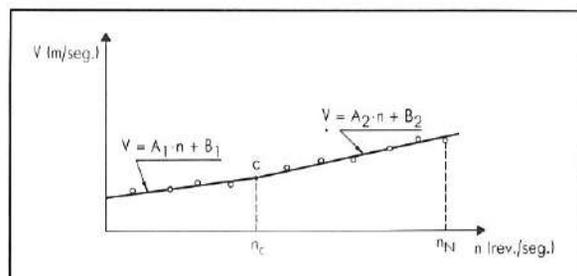


FIGURA 3.

El mejor ajuste será el que proporcione $F = F_1 + F_2$ menor.

El número de parejas de rectas a estudiar, con la hipótesis de generación de las mismas que se ha expuesto, resulta ser $N - 2$, siendo N el número de puntos del ensayo.

Para obtener los conjuntos de tres tramos se opera de forma similar a lo explicado para dos. Se genera cada recta solapando el último punto de una con el primero de la siguiente y cada tramo ha de tener al menos dos puntos. Así pues, el primer trío sería el constituido por 2, 2 y $N - 2$, y el último $N - 2$, 2 y 2.

El método de interpolación empleado es, como en los casos anteriores, el de V sobre n , y la bondad de ajuste se halla por

$$F = F_1 + F_2 + F_3$$

siendo F_1 , F_2 y F_3 las funciones de mínimos cuadrados respectivas de cada tramo, que se aplican a los puntos que les correspondan, de acuerdo con los de corte reales C_{1-2} , C_{2-3} (fig. 4).

El número de tríos de rectas a considerar, de acuerdo con el modo de generarlos, resulta $(N - 2) \cdot (N - 3)/2$.

Evidentemente, el estudio sólo es factible con el empleo de ordenador, dado el volumen de cálculo que se necesita. Por ejemplo, para $N = 30$ puntos de ensayo, el abordar las soluciones de uno, dos y tres tramos supone manejar 1.191 rectas.

La elección de las soluciones requiere poner en práctica no sólo el criterio de bondad de los ajustes, sino otros que se exponen a continuación.

Para los casos de dos y tres tramos, los puntos de corte tienen que producirse dentro del entorno, es decir, que si es n_c la abscisa del punto de corte y n_N la del punto más extremo, debe darse

$$0 < n_c < n_N$$

y además, para tres tramos, si son n_{c1} y n_{c2} las abscisas de C_{1-2} , C_{2-3} , debe cumplirse también

$$n_{c1} < n_{c2}$$

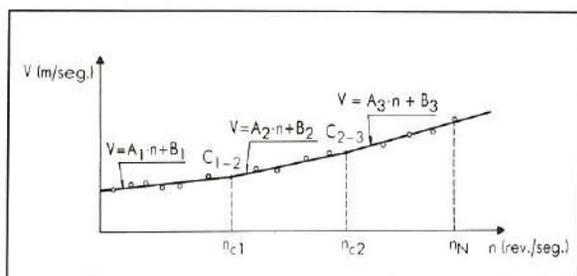


FIGURA 4.

Si no se cumplen estas condiciones en los puntos de corte, el programa da el mensaje «improcedente» en la columna de salida de datos correspondiente a la bondad del ajuste.

Por otro lado, aparte de tomarse otras precauciones respecto a la posibilidad de tramos paralelos o en prolongación, hay que tener en cuenta también los criterios mecánicos del problema que se mencionan seguidamente.

Ya se ha visto que la forma de la curva a la que tienden los puntos del ensayo es una hipérbola con la concavidad hacia el sentido positivo del eje de las V . Esto obliga a que los tramos, si hay más de uno, respeten esa concavidad, para lo cual las pendientes consecutivas han de aumentar y las ordenadas en el origen disminuir, siendo ambas positivas.

Por lo tanto, el programa de ordenador, preparado para desarrollar el método, obtiene todas las rectas de interpolación en las tres modalidades de uno, dos y tres tramos. Después aplica los criterios de puntos de corte (para dos y tres tramos) y los mecánicos expuestos y descarta las soluciones que no los cumplan. Por último, de las que quedan escoge las que tengan mejor bondad de ajuste y, si da solución para más de una modalidad, se puede precisar cuál es la más conveniente, que será la de mejor ajuste relativo.

En el caso de no obtenerse ninguna solución mecánicamente aceptable para ninguna de las posibilidades de uno, dos y tres tramos, el programa tantea una solución provisional en la modalidad de un solo tramo.

Para ello se actúa con limitaciones, de forma que no se fuerce siempre una solución, sino que sólo aparezca en los casos menos desfavorables.

En esencia, el procedimiento consiste en dar más peso a uno de los puntos del ensayo que el programa busca automáticamente, pero se le impone que opere sobre un único punto y que lo repita, para darle más peso, hasta un máximo de veces limitado.

Tanto si se obtiene esta solución provisional que el programa tantea automáticamente, como si no se encuentra ninguna, se emiten los correspondientes avisos, como se menciona en el párrafo 2.1.

3. EJEMPLOS

Se incluyen tres ejemplos, con reproducciones parciales de las salidas de ordenador, que se pretende sirvan para mostrar la utilización práctica del método.

En el ejemplo 1 se aplica el programa a un caso matemáticamente preparado, en el que se dan los puntos sobre tres rectas previamente elegidas. Se trata de comprobar que el método encuentra la solución ya conocida a priori.

En el ejemplo 2 se opera sobre puntos reales, procedentes de ensayo en laboratorio. En este caso se obtiene solución para uno y dos tramos, resultando ser la mejor la de dos tramos.

En el ejemplo 3 los puntos son también de laboratorio y se obtiene una solución provisional.

HIDRAULICA E HIDROLOGIA

DATOS OBTENIDOS EN EL CANAL DE TARADO			
NUMERO PUNTOS	VELOCIDAD (m/s)	FRECUENCIA (seg./rev.)	N = rev./seg.
1	0,1300	1,0000	1,0000
2	0,1800	0,5000	2,0000
3	0,2300	0,3333	3,0003
4	0,2800	0,2500	4,0000
5	0,3400	0,2000	5,0000
6	0,4000	0,1667	5,9988
7	0,4600	0,1429	6,9979
8	0,5200	0,1250	8,0000
9	0,5800	0,1111	9,0009
10	0,6420	0,1000	10,0000
11	0,7040	0,0909	11,0011
12	0,7660	0,0833	12,0048
13	0,8280	0,0769	13,0039
14	0,8900	0,0714	14,0056
15	0,9520	0,0667	14,9925

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 1.

RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNO Y DOS TRAMOS DE RECTA							
PRIMER TRAMO			SEGUNDO TRAMO			P. CORTE C1-2	AJUSTE FI
A1	B1	N1	A2	B2	N2		
0,0500	0,0800	2	0,0601	0,0445	14	3,52	0,000229
0,0500	0,0800	3	0,0607	0,0380	13	3,94	0,000075
0,0500	0,0800	4	0,0611	0,0329	12	4,24	0,000030
0,0520	0,0760	5	0,0613	0,0312	11	4,84	0,000052
0,0537	0,0720	6	0,0614	0,0291	10	5,56	0,000095
0,0550	0,0685	7	0,0616	0,0267	9	6,32	0,000155
0,0560	0,0657	8	0,0618	0,0240	8	7,09	0,000222
0,0567	0,0633	9	0,0620	0,0216	7	7,79	0,000283
0,0573	0,0609	10	0,0620	0,0214	6	8,38	0,000356
0,0579	0,0587	11	0,0621	0,0206	5	9,04	0,000441
0,0584	0,0566	12	0,0622	0,0190	4	9,77	0,000534
0,0588	0,0547	13	0,0624	0,0170	3	10,53	0,000632
0,0591	0,0530	14	0,0628	0,0103	2	11,56	0,000734
0,0594	0,0513	15					0,000983

A1, A2 = PENDIENTES; B1, B2 = TERMINOS INDEPENDIENTES.
 N1 Y N2 = NUMERO DE PUNTOS DE CADA TRAMO.
 C1-2 = PUNTOS DE CORTE (EN REV./SEG.) DE LOS TRAMOS.
 FI = BONDAD DEL AJUSTE (VALOR DE LA FUNCION DE MINIMOS CUADRADOS).

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 1.

HIDRAULICA E HIDROLOGIA

RESULTADOS OBTENIDOS PARA TRES TRAMOS DE RECTA											
PRIMER TRAMO			SEGUNDO TRAMO			TERCER TRAMO			PUNTOS DE CORTE		AJUSTE FI
A1	B1	N1	A2	B2	N2	A3	B3	N3	C1-2	C2-3	FI
0,0500	0,0800	2	0,0500	0,0800	2	0,0607	0,0380	13	2,00	3,94	0,000075
			0,0500	0,0800	3	0,0611	0,0329	12	1,346,00	4,24	No procede
			0,0530	0,0720	4	0,0613	0,0312	11	2,67	4,94	0,000045
			0,0550	0,0660	5	0,0614	0,0291	10	2,80	5,74	0,000056
			0,0563	0,0616	6	0,0616	0,0267	9	2,91	6,57	0,000068
			0,0572	0,0585	7	0,0618	0,0240	8	3,00	7,37	0,000077
			0,0577	0,0562	8	0,0620	0,0216	7	3,08	8,07	0,000086
			0,0583	0,0538	9	0,0620	0,0214	6	3,16	8,65	0,000092
			0,0588	0,0515	10	0,0621	0,0206	5	3,24	9,32	0,000103
			0,0592	0,0495	11	0,0622	0,0189	4	3,32	10,07	0,000117
			0,0595	0,0477	12	0,0624	0,0170	3	3,39	10,85	0,000132
			0,0598	0,0461	13	0,0628	0,0101	2	3,46	11,93	0,000148
			0,0500	0,0800	3	0,0500	0,0799	2	0,0611	0,0329	12
0,0550	0,0633	3				0,0613	0,0312	11	3,33	5,14	0,000035
0,0570	0,0559	4				0,0614	0,0291	10	3,43	6,07	0,000034
0,0580	0,0519	5				0,0616	0,0267	9	3,50	7,00	0,000030
0,0586	0,0495	6				0,0618	0,0240	8	3,55	7,83	0,000025
0,0589	0,0479	7				0,0620	0,0216	7	3,60	8,48	0,000022
0,0593	0,0459	8				0,0620	0,0214	6	3,66	9,03	0,000021
0,0597	0,0439	9				0,0621	0,0206	5	3,72	9,70	0,000024
0,0600	0,0422	10				0,0622	0,0189	4	3,78	10,46	0,000029
0,0602	0,0407	11				0,0624	0,0170	3	3,83	11,26	0,000035
0,0605	0,0394	12				0,0628	0,0100	2	3,88	12,38	0,000042
0,0500	0,0800	4				0,0600	0,0400	2	0,0613	0,0312	11
			0,0600	0,0398	3	0,0614	0,0291	10	4,00	7,67	0,000012
			0,0600	0,0398	4	0,0616	0,0267	9	4,00	8,27	0,000006
			0,0600	0,0400	5	0,0618	0,0240	8	4,00	8,73	0,000002
			0,0600	0,0401	6	0,0620	0,0216	7	4,00	9,08	0,000000
			0,0602	0,0389	7	0,0620	0,0214	6	4,03	9,52	0,000001
			0,0604	0,0375	8	0,0621	0,0206	5	4,07	10,16	0,000004
			0,0606	0,0362	9	0,0622	0,0189	4	4,12	10,93	0,000007
			0,0608	0,0350	10	0,0624	0,0169	3	4,16	11,72	0,000011
			0,0610	0,0340	11	0,0628	0,0098	2	4,20	12,85	0,000016
			0,0520	0,0760	5	0,0601	0,0396	2	0,0614	0,0291	10
0,0601	0,0397	3				0,0616	0,0267	9	4,50	8,29	0,000030
0,0600	0,0400	4				0,0618	0,0240	8	4,49	8,72	0,000026
0,0600	0,0402	5				0,0620	0,0216	7	4,49	9,07	0,000024
0,0603	0,0383	6				0,0620	0,0214	6	4,55	9,56	0,000025
0,0606	0,0364	7				0,0621	0,0206	5	4,62	10,24	0,000028
0,0608	0,0349	8				0,0622	0,0189	4	4,68	11,04	0,000032
0,0610	0,0335	9				0,0624	0,0169	3	4,74	11,87	0,000036
0,0611	0,0324	10				0,0628	0,0100	2	4,79	12,99	0,000040
0,0537	0,0720	6				0,0601	0,0398	2	0,0616	0,0267	9
			0,0600	0,0403	3	0,0618	0,0240	8	5,07	8,69	0,000078
			0,0599	0,0404	4	0,0620	0,0216	7	5,07	9,05	0,000077
			0,0604	0,0375	5	0,0620	0,0214	6	5,19	9,61	0,000078
			0,0607	0,0350	6	0,0621	0,0206	5	5,30	10,35	0,000080
			0,0609	0,0332	7	0,0622	0,0189	4	5,37	11,18	0,000082
			0,0611	0,0316	8	0,0624	0,0169	3	5,44	12,04	0,000085
			0,0613	0,0305	9	0,0628	0,0100	2	5,49	13,17	0,000088
			0,0550	0,0685	7	0,0599	0,0410	2	0,0618	0,0240	8
0,0599	0,0407	3				0,0620	0,0216	7	5,68	9,04	0,000144
0,0606	0,0358	4				0,0620	0,0214	6	5,91	9,69	0,000146
0,0610	0,0326	5				0,0621	0,0206	5	6,05	10,49	0,000148
0,0612	0,0306	6				0,0622	0,0189	4	6,14	11,39	0,000150
0,0614	0,0291	7				0,0624	0,0170	3	6,21	12,27	0,000151
0,0615	0,0281	8				0,0628	0,0101	2	6,26	13,40	0,000152

HIDRAULICA E HIDROLOGIA

RESULTADOS OBTENIDOS PARA TRES TRAMOS DE RECTA											
PRIMER TRAMO			SEGUNDO TRAMO			TERCER TRAMO			PUNTOS DE CORTE		AJUSTE FI
A1	B1	N1	A2	B2	N2	A3	B3	N3	C1-2	C2-3	
0,0560	0,0657	8	0,0599	0,0404	2	0,0620	0,0216	7	6,34	9,05	0,000212
			0,0610	0,0316	3	0,0620	0,0214	6	6,76	9,85	0,000215
			0,0614	0,0283	4	0,0621	0,0206	5	6,89	10,79	0,000217
			0,0615	0,0269	5	0,0622	0,0190	4	6,95	11,75	0,000219
			0,0617	0,0258	6	0,0624	0,0170	3	7,00	12,66	0,000221
			0,0617	0,0252	7	0,0628	0,0101	2	7,03	13,70	0,000221
0,0567	0,0633	9	0,0621	0,0215	2	0,0620	0,0214	6	7,78	-7,05	No procede
			0,0620	0,0220	3	0,0621	0,0206	5	7,76	13,36	0,000282
			0,0619	0,0227	4	0,0622	0,0189	4	7,73	12,71	0,000282
			0,0619	0,0226	5	0,0624	0,0170	3	7,74	13,31	0,000282
			0,0619	0,0226	6	0,0628	0,0100	2	7,74	14,02	0,000282
0,0573	0,0609	10	0,0619	0,0227	2	0,0621	0,0206	5	8,30	12,38	0,000355
			0,0619	0,0235	3	0,0622	0,0189	4	8,26	12,45	0,000355
			0,0619	0,0229	4	0,0624	0,0169	3	8,29	13,23	0,000355
			0,0619	0,0229	5	0,0628	0,0100	2	8,30	13,99	0,000355
0,0579	0,0587	11	0,0618	0,0245	2	0,0622	0,0190	4	8,81	12,30	0,000440
			0,0619	0,0228	3	0,0624	0,0170	3	8,90	13,24	0,000440
			0,0619	0,0228	4	0,0628	0,0101	2	8,91	14,00	0,000440
0,0584	0,0566	12	0,0621	0,0210	2	0,0624	0,0170	3	9,64	13,51	0,000533
			0,0620	0,0220	3	0,0628	0,0103	2	9,58	14,03	0,000533
0,0588	0,0547	13	0,0619	0,0232	2	0,0628	0,0103	2	10,11	14,00	0,000631

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 1.

SOLUCIONES MECANICAMENTE ACEPTABLES DE MEJOR AJUSTE

SOLUCION DE UN SOLO TRAMO

$V = 0,0594 n + 0,0513$
BONDAD (FI) DEL AJUSTE = 0,000983

SOLUCION DE DOS TRAMOS

$V = 0,0500 n + 0,0800$
 $V = 0,0611 n + 0,0329$
PUNTO DE CORTE (rev./seg.) = 4,24
BONDAD (FI) DEL AJUSTE = 0,000030

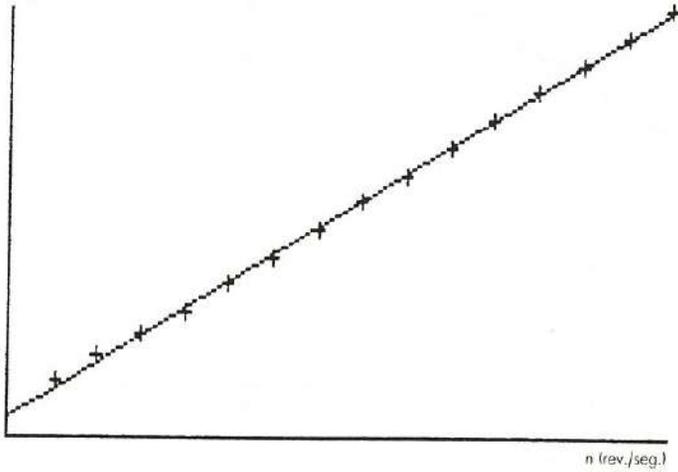
SOLUCION DE TRES TRAMOS

$V = 0,0500 n + 0,0800$
 $V = 0,0600 n + 0,0401$
 $V = 0,0620 n + 0,0216$
LOS PUNTOS DE CORTE (rev./seg.) SON = 4,00 y 9,08
BONDAD (FI) DEL AJUSTE = 0,000000

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 1.

SOLUCION DE UN TRAMO

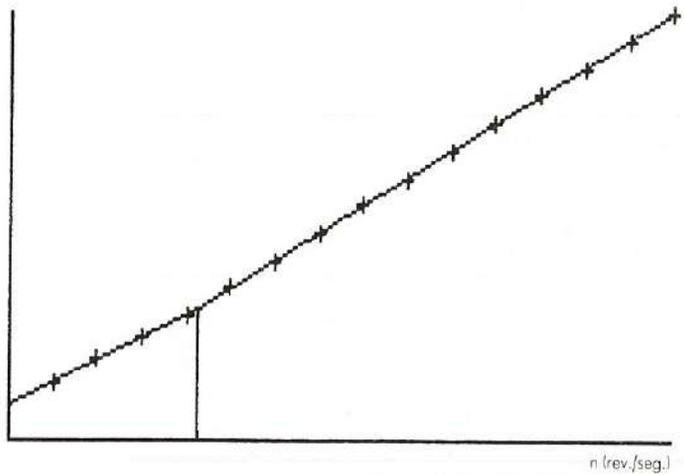
V (m/seg.)



TARADO DE MOLIENTES PARA PRUEBA 1.

SOLUCION DE DOS TRAMOS

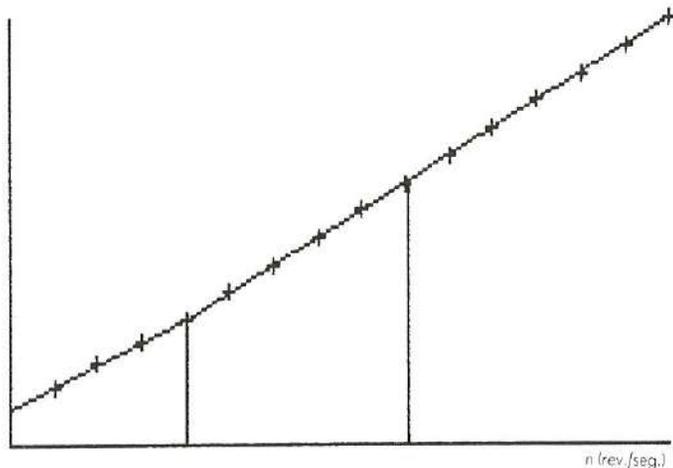
V (m/seg.)



TARADO DE MOLIENTES PARA PRUEBA 1.

SOLUCION DE TRES TRAMOS

V (m/seg.)



TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 1.

DATOS OBTENIDOS EN EL CANAL DE TARADO

NUMERO PUNTOS	VELOCIDAD (m/s)	FRECUENCIA (seg./rev.)	N = rev./seg.
1	0,0856	3,1116	0,3214
2	0,1006	2,5692	0,3892
3	0,1258	2,0619	0,4850
4	0,1500	1,7156	0,5829
5	0,1758	1,4512	0,6891
6	0,2029	1,2556	0,7964
7	0,2249	1,1263	0,8879
8	0,2512	1,0109	0,9892
9	0,3002	0,8450	1,1834
10	0,3514	0,7072	1,4140
11	0,4043	0,6170	1,6207
12	0,4493	0,5625	1,7778
13	0,4987	0,5193	1,9257
14	0,6222	0,4028	2,4826
15	0,7507	0,3314	3,0175
16	0,8670	0,2873	3,4807
17	1,0124	0,2458	4,0683
18	1,2434	0,1995	5,0125
19	1,5264	0,1627	6,1463
20	1,7461	0,1424	7,0225
21	1,9639	0,1265	7,9051
22	2,2159	0,1119	8,9366
23	2,5185	0,0981	10,1937
24	2,5830	0,0960	10,4167
25	2,6600	0,0936	10,6838
26	2,7508	0,0905	11,0497
27	3,0254	0,0820	12,1951
28	3,4833	0,0721	13,8696
29	4,0110	0,0630	15,8730

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 2.

HIDRAULICA E HIDROLOGIA

RESULTADOS OBTENIDOS PARA UNO Y DOS TRAMOS DE RECTA

PRIMER TRAMO			SEGUNDO TRAMO			P. CORTE C1-2	AJUSTE FI
A1	B1	N1	A2	B2	N2		
0,2211	0,0145	2	0,2496	0,0002	28	0,50	0,005237
0,2469	0,0056	3	0,2496	-0,0001	27	2,08	0,005106
0,2486	0,0050	4	0,2496	-0,0005	26	5,29	0,005009
0,2475	0,0054	5	0,2497	-0,0010	25	2,97	0,004979
0,2481	0,0052	6	0,2497	-0,0015	24	4,03	0,004916
0,2475	0,0054	7	0,2498	-0,0021	23	3,29	0,004884
0,2483	0,0050	8	0,2499	-0,0027	22	5,03	0,004813
0,2493	0,0045	9	0,2499	-0,0037	21	12,03	0,005219
0,2461	0,0067	10	0,2501	-0,0049	20	2,84	0,004746
0,2457	0,0067	11	0,2501	-0,0054	19	2,71	0,004744
0,2476	0,0054	12	0,2502	-0,0062	18	4,51	0,004553
0,2520	0,0022	13	0,2504	-0,0087	17	-6,95	No procede
0,2506	0,0034	14	0,2511	-0,0157	16	39,37	No procede
0,2488	0,0050	15	0,2515	-0,0203	15	9,45	0,003968
0,2482	0,0056	16	0,2519	-0,0250	14	8,21	0,003532
0,2478	0,0060	17	0,2526	-0,0322	13	8,08	0,003163
0,2473	0,0066	18	0,2535	-0,0427	12	8,03	0,002740
0,2473	0,0066	19	0,2545	-0,0546	11	8,53	0,002330
0,2475	0,0064	20	0,2557	-0,0696	10	9,23	0,001888
0,2475	0,0063	21	0,2575	-0,0916	9	9,86	0,001392
0,2474	0,0064	22	0,2596	-0,1191	8	10,31	0,001024
0,2471	0,0071	23	0,2613	-0,1419	7	10,45	0,000944
0,2471	0,0070	24	0,2610	-0,1373	6	10,40	0,000943
0,2474	0,0064	25	0,2612	-0,1400	5	10,64	0,000968
0,2476	0,0060	26	0,2630	-0,1667	4	11,22	0,000879
0,2476	0,0060	27	0,2678	-0,2373	3	12,05	0,000681
0,2484	0,0039	28	0,2634	-0,1697	2	11,60	0,001146
0,2495	0,0006	29					0,005277

A1, A2 = PENDIENTES; B1, B2 = TERMINOS INDEPENDIENTES.
 N1 Y N2 = NUMERO DE PUNTOS DE CADA TRAMO.
 C1-2 = PUNTOS DE CORTE (EN REV./SEG.) DE LOS TRAMOS.
 FI = BONDAD DEL AJUSTE (VALOR DE LA FUNCION DE MINIMOS CUADRADOS).

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 2.

SOLUCIONES MECANICAMENTE ACEPTABLES DE MEJOR AJUSTE

SOLUCION DE UN SOLO TRAMO

$V = 0,2495 n + 0,0006$
 BONDAD (FI) DEL AJUSTE = 0,005277

SOLUCION DE DOS TRAMOS

$V = 0,2211 n + 0,0145$
 $V = 0,2496 n + 0,0002$
 PUNTO DE CORTE (rev./seg.) = 0,50
 BONDAD (FI) DEL AJUSTE = 0,005237

SOLUCION DE TRES TRAMOS

NO EXISTE MECANICAMENTE ACEPTABLE

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 2.

HIDRAULICA E HIDROLOGIA

DATOS OBTENIDOS EN EL CANAL DE TARADO			
NUMERO PUNTOS	VELOCIDAD (m/s)	FRECUENCIA (seg./rev.)	N = rev./seg.
1	0,1000	3,7326	0,2679
2	0,1226	3,0162	0,3315
3	0,1500	2,3698	0,4220
4	0,1750	2,0078	0,4981
5	0,2001	1,7390	0,5750
6	0,2247	1,5285	0,6542
7	0,2510	1,3296	0,7521
8	0,3006	1,1184	0,8941
9	0,3515	0,9506	1,0520
10	0,4005	0,8109	1,2332
11	0,4502	0,7318	1,3665
12	0,5000	0,6739	1,4839
13	0,6252	0,5167	1,9354
14	0,7554	0,4276	2,3386
15	0,8782	0,3682	2,7159
16	0,9956	0,3256	3,0713
17	1,2479	0,2583	3,8715
18	1,5088	0,2144	4,6642
19	1,7585	0,1847	5,4142
20	2,0626	0,1578	6,3371
21	2,2775	0,1441	6,9396
22	2,4999	0,1309	7,6394
23	2,7651	0,1184	8,4459
24	3,0260	0,1080	9,2593
25	3,2821	0,1019	9,8135
26	3,5380	0,0937	10,6724
27	3,8160	0,0870	11,4943
28	4,0790	0,0804	12,4378

TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 3.

SOLUCIONES MECANICAMENTE ACEPTABLES DE MEJOR AJUSTE

SOLUCION DE UN SOLO TRAMO

NO EXISTE MECANICAMENTE ACEPTABLE

SOLUCION DE DOS TRAMOS

NO EXISTE MECANICAMENTE ACEPTABLE

SOLUCION DE TRES TRAMOS

NO EXISTE MECANICAMENTE ACEPTABLE

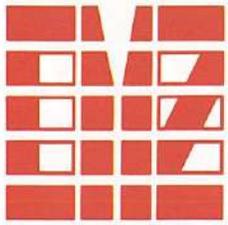
LA SOLUCION PROVISIONAL, HASTA QUE SE REPARE EL MOLINETE

○ SE REPITA EL ENSAYO, ES:

$$V = 0,3290 n + 0,0004$$

$$\text{BONDAD (FI) DEL AJUSTE} = 0,009912$$

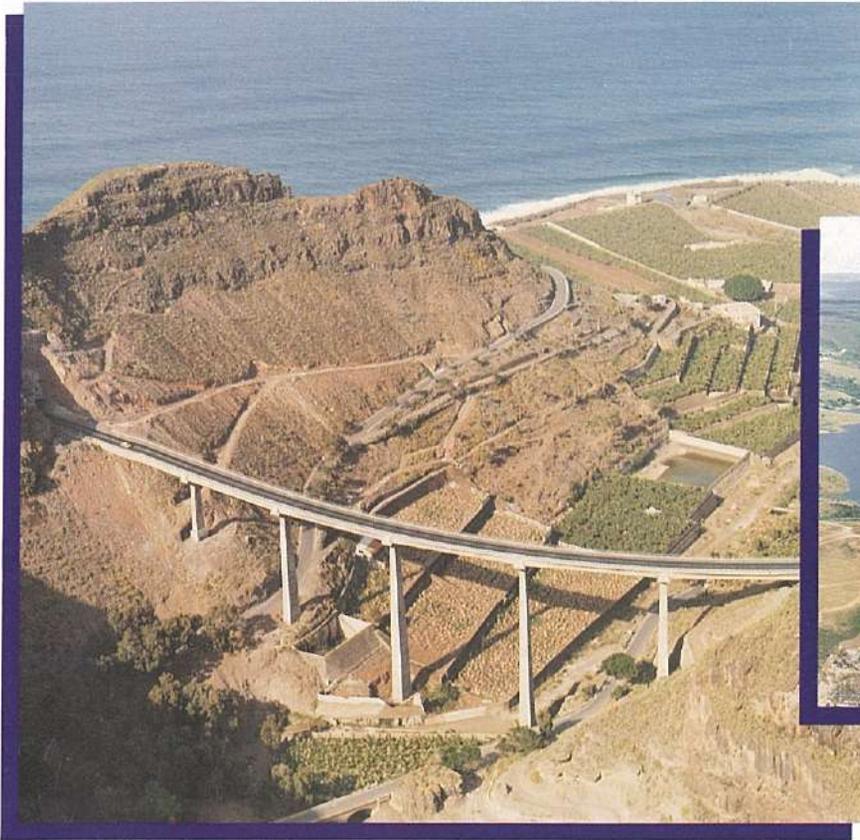
TARADO DE MOLINETES PARA PRUEBA 3.



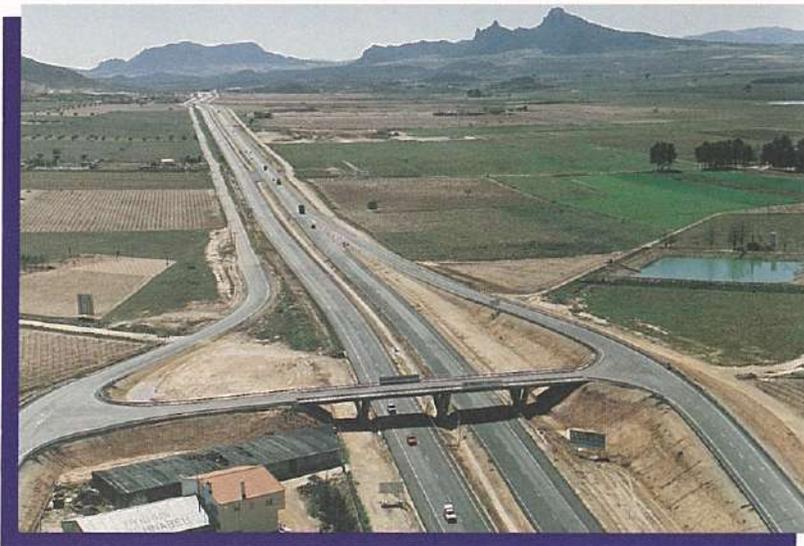
CUBIERTAS Y MZOV, S.A.

COMPañIA GENERAL DE CONSTRUCCIONES

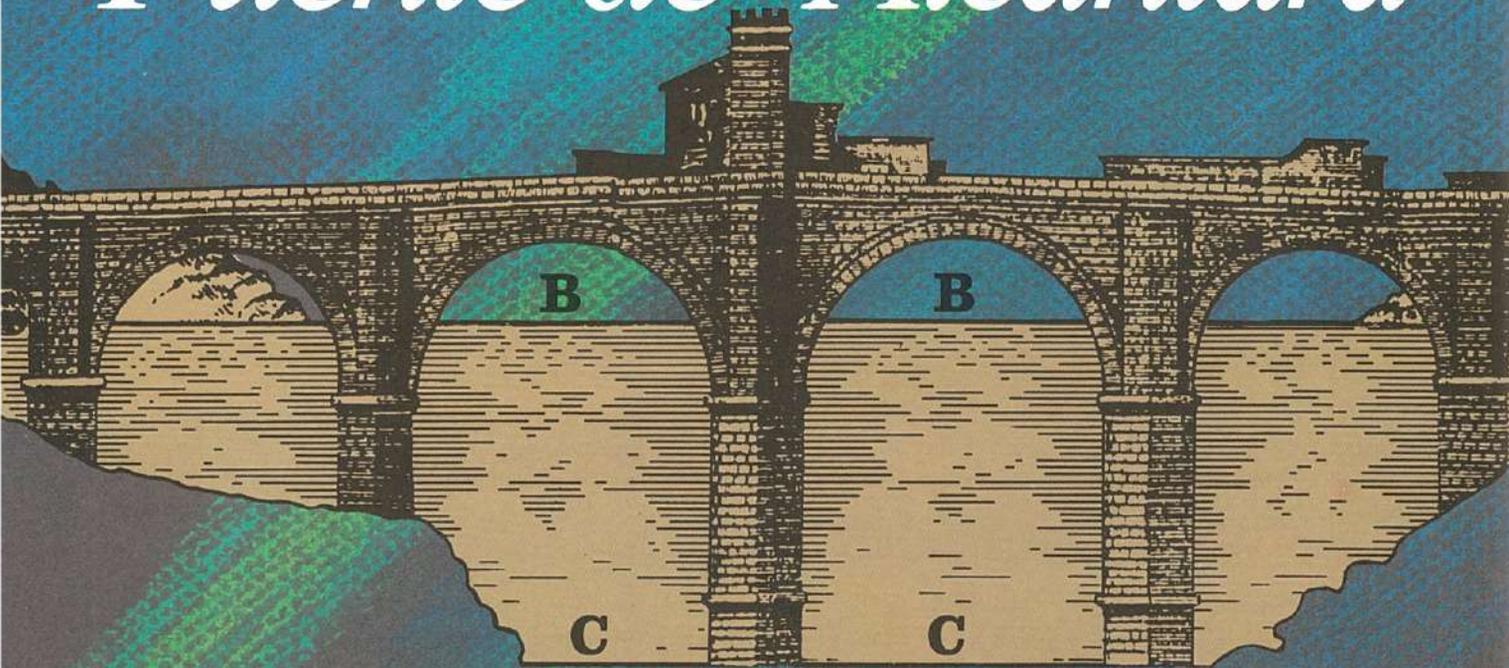
**Cualquier tipo
de obra...**



**En cualquier
lugar del
mundo.**



Premio Internacional Puente de Alcántara



*Convocado por la
Fundación San Benito de Alcántara*

*A la mejor obra pública realizada en España, Portugal
o países Iberoamericanos y finalizada entre
el 1 de enero de 1989 y el 31 de julio de 1990.*

*Dirigido a los promotores, proyectistas y constructores
de obras públicas.*

*Plazo de presentación de solicitudes hasta las 12 horas del día
31 de julio de 1990.*



FUNDACION SAN BENITO DE ALCANTARA



*Bases: Fundación San Benito de Alcántara.
Sede en Madrid: Serrano, 27. 28001 Madrid. Telf. 431 99 80*