



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

***Modelización del comportamiento hidráulico  
de una subunidad de riego localizado***

TESIS DOCTORAL

Autor: ***D. José Vicente Turégano Pastor***

Director: ***Dr. D.Álvaro Royuela Tomás***

***Julio de 2014***

*A Sabina e Inés, las flores más bellas de mi jardín*

*A Isabel, por creer en mí*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quisiera agradecer a Dña. Teresa Munuera, de la empresa AZUD de Murcia, la ayuda prestada por facilitarme muestras de emisores para ensayar.

También quiero mostrar mi agradecimiento a D. Luis Hipólito Sanchis por tener siempre a punto el banco de ensayos de emisores y a todos mis compañeros: D. Jaime Arviza, D. Ibán Balbastre y D. Pablo González por su apoyo y comprensión durante todos estos años.

Por último, mi más sincero agradecimiento a mi Director D. Álvaro Royuela Tomás, ya que sin su inestimable ayuda no hubiese sido posible esta tesis.



## **RESUMEN**

La presente tesis doctoral tiene como objetivo la creación de un modelo de comportamiento hidráulico que permita analizar subunidades de riego localizado. Para ello, se ha realizado una exhaustiva revisión bibliográfica a partir de la cual se ha establecido un conjunto de expresiones, fórmulas, métodos y procedimientos a aplicar al citado modelo. Con esto se pretende que los análisis efectuados sean lo más realistas posible al considerarse la mayor parte de las variables que intervienen en el funcionamiento de las subunidades.

Uno de los factores más importantes es el comportamiento de los emisores por lo que se han realizado una serie de ensayos de emisores comerciales en el laboratorio de riego localizado del departamento de Ingeniería Rural. A partir de estos se han deducido expresiones que permiten predecir tanto el caudal arrojado por cada uno de ellos como el coeficiente de variación de fabricación del conjunto. La clave está en considerar todos los emisores de forma independiente, estudiando las distribuciones de los coeficientes de ajuste, tanto en la versión potencial como en la parabólica.

Otro de los aspectos cruciales es la consideración de la aleatoriedad de los emisores, para lo cual, utilizando las distribuciones de los coeficientes de ajuste, que se supone que son normales, se genera una población virtual de emisores. De dicha población se extrae una muestra aleatoria cuyo tamaño coincide con el número total de emisores de la subunidad estudiada y se distribuye también aleatoriamente por todas las posiciones posibles. Así se consigue simular una situación real.

También se han tratado con profusión los aspectos hidráulicos de las subunidades, especialmente en lo que respecta al cálculo de las pérdidas de carga tanto continuas como localizadas. Estas pérdidas, junto con las diferencias de cota y las alturas cinéticas, definen las presiones de funcionamiento de todos los emisores que introducidas en las ecuaciones de ajuste individuales, permiten predecir el caudal arrojado por cada uno de ellos.

Una vez definidas las distribuciones de presiones y caudales es preciso determinar la uniformidad de distribución del agua de riego, lo que se hace mediante diversos coeficientes de uniformidad tanto a efectos de análisis como a efectos de diseño. De esta forma se puede comprobar si una subunidad de riego cumple los criterios de uniformidad establecidos.

El modelo generado recoge todos estos aspectos por lo que es bastante complejo de ahí que se ha elaborado una aplicación informática en entorno Windows® utilizando el lenguaje de programación Visual Basic 6.0®. Esta aplicación, denominada ANASUB, permite realizar simulaciones de subunidades reales de forma rápida y sencilla.

Una conclusión importante es que el coeficiente de variación de un emisor depende de la presión, aunque su tendencia de variación es distinta para cada emisor en cuestión, de ahí la importancia de los ensayos de laboratorio. También se comprueba que las predicciones para el coeficiente de variación realizadas a partir del desarrollo teórico propuesto, son bastante fiables, además de que reducen los errores inherentes al propio ensayo.

Otra conclusión relevante es que los coeficientes de uniformidad habitualmente utilizados a veces son difíciles de interpretar porque su rango de variación es muy estrecho, por eso es mejor utilizar como indicador de la uniformidad de distribución del agua de riego el coeficiente de variación global de la subunidad, que además, permite discriminar qué parte de la variabilidad se debe a causas hidráulicas y qué parte a causas de fabricación.

Por último, se llega a la conclusión de que el mejor criterio de diseño y de comprobación de subunidades consiste en limitar la diferencia relativa de caudales entre plantas a un máximo del 10% lo que es compatible con una diferencia relativa de caudales entre emisores limitada al 20%.

## **RESUM**

La present tesi doctoral té com a objectiu la creació d'un model de comportament hidràulic que permeta analitzar subunitats de reg localitzat . Per a això, s'ha realitzat una exhaustiva revisió bibliogràfica a partir de la qual s'ha establert un conjunt d'expressions , fórmules , mètodes i procediments a aplicar l'esmentat model . Amb això es pretén que les anàlisis efectuades siguin el més realistes possible en considerar la major part de les variables que intervenen en el funcionament de les subunitats .

Un dels factors més importants és el comportament dels emissors per la qual cosa s'han realitzat una sèrie d'assajos d'emissors comercials al laboratori de reg localitzat del departament d'Enginyeria Rural. A partir d'estos s'han deduït expressions que permeten predir tant el cabal emés per cada un d'ells com el coeficient de variació de fabricació del conjunt . La clau està en considerar tots els emissors de forma independent , estudiant les distribucions dels coeficients d'ajust, tant en la versió potencial com en la parabòlica .

Un altre dels aspectes crucials és la consideració de l'aleatorietat dels emissors, per això, utilitzant les distribucions dels coeficients d'ajust, que se suposa que són normals, es genera una població virtual d'emissors . D'esta població s'extrau una mostra aleatòria la grandària de la qual coincideix amb el nombre total d'emissors de la subunitat estudiada i es distribueix també aleatòriament per totes les posicions possibles. Així s'aconsegueix simular una situació real. També s'han tractat amb profusió els aspectes hidràulics de les subunitats , especialment pel que fa al càlcul de les pèrdues de càrrega tant contínues com localitzades . Estes pèrdues, juntament amb les diferències de cota i les altures cinètiques, definixen les pressions de funcionament de tots els emissors que introduïdes en les equacions d'ajust individuals, permeten predir el cabal emés per cada un d'ells.

Una vegada definides les distribucions de pressions i cabals cal determinar la uniformitat de distribució de l'aigua de reg , el que es fa mitjançant diversos coeficients d'uniformitat tant a efectes d'anàlisi com a efectes de disseny. D'esta manera es pot comprovar si una subunitat de reg complix els criteris d'uniformitat establerts.

El model generat recull tots estos aspectes pel que és prou complex, per això s'ha elaborat una aplicació informàtica en entorn Windows® utilitzant el llenguatge de programació Visual Basic 6.0®. Esta aplicació, anomenada ANASUB, permet realitzar simulacions de subunitats reals de forma ràpida i senzilla.

Una conclusió important és que el coeficient de variació d'un emissor depèn de la pressió, encara que la seva tendència de variació és diferent per a cada emissor en qüestió, d'aquí la importància dels assajos de laboratori. També es comprova que les prediccions per al coeficient de variació realitzades a partir del desenvolupament teòric proposat, són prou fiables, a més que reduïxen els errors inherents al propi assaig.

Una altra conclusió rellevant és que els coeficients d'uniformitat habitualment utilitzats de vegades són difícils d'interpretar perquè el seu rang de variació és molt estret, per això és millor utilitzar com a indicador de la uniformitat de distribució de l'aigua de reg el coeficient de variació global de la subunitat, que a més, permet discriminar quina part de la variabilitat es deu a causes hidràuliques i quina part a causes de fabricació .

Finalment , s'arriba a la conclusió que el millor criteri de disseny i de comprovació de subunitats consistix a limitar la diferència relativa de cabals entre plantes a un màxim del 10% el que és compatible amb una diferència relativa de cabals entre emissors limitada a 20%.



## **ABSTRACT**

The main aim of this thesis is to create a model for analysing the hydraulic behaviour of drip irrigation subunits. To accomplish this task, an exhaustive literature review was conducted, from which a set of expressions, formulas, methods and procedures were established and incorporated into the proposed model. The analysis, conducted by applying the proposed model, is very realistic because it considers most of the variables involved in the performance of the subunits.

Emitter response is one of the most important factors, so it was necessary to test a set of commercial emitters in the Laboratorio de Riego Localizado del Departamento de Ingeniería Rural. Using the results from the tests, expressions were obtained to predict the flow rate emitted, as well as the manufacturer's coefficient of variation. The key to study the hydraulic behaviour is to consider all emitters independently, studying the distributions of the fit coefficients, both using the potential and the parabolic versions.

Another crucial aspect is the consideration of the randomness of the emitters, from which a virtual population of emitters can be generated. Using the distributions of the fit coefficients, which are assumed to be normal, a random is extracted. The size of the random sample matches the total number of emitters of the studied subunit. This sample is also distributed randomly across all the possible positions of the emitters, resulting in the simulation of a real case.

The hydraulic aspects of the subunits were also treated with profusion, especially with respect to the calculation of head losses, both continuous and localized. These losses, coupled with differences in elevation and kinetic heights, define the operating pressures of all emitters. Using the individual fitted equations, it is possible to predict the flow rate emitted by each unit.

Once the distributions of pressure and flow rate have been defined, it is very important to determine the distribution uniformity of irrigation water, which is accomplished by applying various uniformity coefficients, both for analysis and design purposes. This allows one to confirm if an irrigation subunit meets the uniformity criteria established.

Since the generated model incorporates all of these aspects, it is quite complex and hence was developed by means of a software application in Windows® using the programming language Visual Basic 6.0®. This application, called ANASUB, allows for quick and easy simulations of real subunits.

An important finding is that the coefficient of variation of an emitter depends on the inlet pressure, and since variation trends are different for each emitter in question, laboratory testing is important. The predictions for the coefficient of variation that were produced by using the proposed theoretical model are quite reliable and reduce the errors inherent to the test procedure.

Another important finding is that commonly used coefficients of uniformity are sometimes difficult to interpret because their variation range is very narrow, so it is best to use the overall coefficient of variation of the subunit as an indicator for the distribution uniformity of irrigation water. Furthermore, this new coefficient disaggregates flow rate variability resulting from hydraulic causes and manufacturing causes.

Finally, this thesis concludes that the best approach to designing and verifying subunits is to limit the relative difference in flow rate between plants to a maximum of 10%, which is consistent with the relative difference of flow rate between emitters that are limited to 20%.

**NOMENCLATURA**

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
$a$	Coeficiente de la ecuación del gradiente energético de un lateral	
A, B y C	Coeficientes de ajuste de la ecuación parabólica	
$\bar{A}, \bar{B}$ y $\bar{C}$	Promedios de los coeficientes de ajuste de la ecuación parabólica	
$a, b, c, d, e, e'$	Dimensiones de la inserción del emisor o de la terciaria	mm
$a, h$	Dimensiones de un emisor adosado por el interior de la tubería	mm
$A_i, B_i$ y $C_i$	Coeficientes de ajuste de la ecuación parabólica para un emisor individual	
ANASUB	Programa de análisis de subunidades de riego localizado	
$b$	Exponente de la ecuación potencial de descarga del lateral	
$C_0, C_1, \dots, C_n$	Coeficientes de la ecuación polinómica de descarga de un lateral	
CA	Coeficiente de asimetría	
CC	Coeficiente de curtosis	
CU	Coeficiente de uniformidad de riego	Adimensional
$CU_{a-25}$	Coeficiente de uniformidad del cuarto más bajo a efectos de análisis	Adimensional
$CU_{a-50}$	Coeficiente de uniformidad del 50% a efectos de análisis	Adimensional
$CU_{a-Christiansen}$	Coeficiente de uniformidad de Christiansen a efectos de análisis	Adimensional
$CU_{a-diferencia}$	Coeficiente de uniformidad de la diferencia de caudal a efectos de análisis	Adimensional
$CU_{a-est}$	Coeficiente de uniformidad estadístico a efectos de análisis	Adimensional
$CU_{a-Keller}$	Coeficiente de uniformidad de Keller y Karmeli a efectos de análisis	Adimensional
$CU_{a-minmáx}$	Coeficiente de uniformidad de los caudales mínimo y máximo a efectos de análisis	Adimensional
$CU_{a-minmed}$	Coeficiente de uniformidad de los caudales mínimo y medio a efectos de análisis	Adimensional
$CU_d$	Coeficiente de uniformidad a efectos de diseño	Adimensional
$CU_{d-est}$	Coeficiente de uniformidad estadístico a efectos de diseño	Adimensional
$CU_{d-est}$	Coeficiente de uniformidad estadístico a efectos de diseño	Adimensional
$CU_{d-Karmeli}$	Coeficiente de uniformidad de Karmeli y Keller a efectos de diseño	Adimensional
$CU_{d-Keller}$	Coeficiente de uniformidad de riego a efectos de diseño de Keller y Karmeli	Adimensional
$CU_{d-Keller}$	Coeficiente de uniformidad de Keller y Karmeli a efectos de diseño	Adimensional
$CU_{est}$	Coeficiente de uniformidad estadístico	Adimensional
$CU_f$	Coeficiente de uniformidad de riego por causas de fabricación	Adimensional
$CU_{f-25}$	Coeficiente de uniformidad de las causas de fabricación del cuarto más bajo	Adimensional
$CU_{f-50}$	Coeficiente de uniformidad de las causas de fabricación del 50%	Adimensional

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
$CU_{f-est}$	Coeficiente de uniformidad estadístico de las causas de fabricación	<i>Adimensional</i>
$CU_h$	Coeficiente de uniformidad de riego por causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CU_{h-25}$	Coeficiente de uniformidad del cuarto más bajo de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CU_{h-50}$	Coeficiente de uniformidad del 50% de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CU_{h-Christiansen}$	Coeficiente de uniformidad de Christiansen de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CU_{h-diferencia}$	Coeficiente de uniformidad de la diferencia de caudal de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CU_{h-Keller}$	Coeficiente de uniformidad de Keller y Karmeli de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CU_{h-minmáx}$	Coeficiente de uniformidad de los caudales mínimo y máximo de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CU_{h-minmed}$	Coeficiente de uniformidad de los caudales mínimo y medio de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CV$	Coeficiente de variación	<i>Adimensional</i>
$CV_{9261}$	Coeficiente de variación obtenido según la norma UNE-EN-ISO 9261	<i>Adimensional</i>
$CV_{calculado}$	Coeficiente de variación calculado a partir de las distribución de los coeficientes de ajuste individuales	<i>Adimensional</i>
$CV_{emisor}$	Coeficiente de variación de fabricación de un emisor	<i>Adimensional</i>
$CV_{ensayo}$	Coeficiente de variación obtenido en el ensayo	<i>Adimensional</i>
$CV_f$	Coeficiente de variación del emisor por causas de fabricación	<i>Adimensional</i>
$CV_h$	Coeficiente de variación de la distribución de presiones de la subunidad	<i>Adimensional</i>
$CV_k$	Coeficiente de variación del coeficiente de ajuste de la ecuación potencial	<i>Adimensional</i>
$CV_{parabólico}$	Coeficiente de variación de un emisor predicho con el ajuste parabólico	<i>Adimensional</i>
$CV_{potencial}$	Coeficiente de variación de un emisor predicho con el ajuste potencial	<i>Adimensional</i>
$CV_{predicho}$	Coeficiente de variación predicho a partir de los caudales calculados con las curvas de ajuste individuales	<i>Adimensional</i>
$CV_q$	Coeficiente de variación de los caudales de los emisores	<i>Adimensional</i>
$CV_{q(h)}$	Coeficiente de variación de los caudales de los emisores por causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$CV_{total}$	Coeficiente de variación de los caudales de los emisores por causas hidráulicas y causas de fabricación simultáneamente	<i>Adimensional</i>
$D$	Diámetro interior de la conducción	<i>m, mm</i>
$D_{emisor}$	Diámetro interior de un emisor en forma de anillo interior	<i>mm</i>
$dh$	Variación de presión a lo largo de un lateral	<i>m</i>
$\Delta h_{admisible}$	Diferencia de presión admisible	<i>m, kPa, MPa</i>
$d_i$	Diferencia entre el caudal predicho y el observado para un emisor	<i>l/h</i>
$D_i^2$	Suma de los cuadrados de las diferencias	
$D_{interior}$	Diámetro interior de una tubería	<i>mm</i>
$dl$	Variación de longitud a lo largo de un lateral	<i>m</i>

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
$DN$	Diámetro nominal	$mm$
$\delta Q$	Variación relativa de caudales entre plantas	<i>Adimensional</i>
$\delta q_{admisible}$	Diferencia relativa de caudales admisible entre emisores	<i>Adimensional</i>
$e$	Número de emisores por planta	$ud$
$e_L$	Espesor del lateral	$mm$
$EN$	European norm	
$e_T$	Espesor de la tubería terciaria	$mm$
$f$	Factor de fricción	<i>Adimensional</i>
$g$	Aceleración de la gravedad	$m/s^2$
$\gamma$	Peso específico del agua	$N/m^3$
$h$	Presión de entrada a un emisor	$m, kPa, MPa$
$\bar{h}$	Presión media	$m, kPa, MPa$
$h_j$	Nivel de presión de ensayo	$m, kPa, MPa$
$h_L$	Presión de entrada al lateral	$m, kPa, MPa$
$h_{máx}$	Presión máxima	$m, kPa, MPa$
$h_{mín}$	Presión mínima	$m, kPa, MPa$
$h_r$	Pérdidas de carga continuas	$m$
$h_s$	Pérdidas de carga localizadas o singulares	$m$
$h_{sL}$	Pérdida de carga localizada en el lateral	$m$
$h_{sT}$	Pérdida de carga localizada en la tubería terciaria	$m$
$h_t$	Pérdidas de carga totales	$m$
$ISO$	International Standard Office	
$J$	Pérdidas de carga unitarias	$m/m$
$K$	Coefficiente de la ecuación de ajuste potencial de un emisor	
$\bar{K}$	Promedio de los coeficientes de ajuste potencial	
$K/D$	Rugosidad relativa de la conducción	<i>Adimensional</i>
$K_i$	Coefficiente de ajuste de la ecuación potencial para un emisor individual	
$k_m$	Coefficiente mayorante de pérdidas continuas	<i>Adimensional</i>
$k_s$	Coefficiente de resistencia	<i>Adimensional</i>
$L_e$	Longitud equivalente de pérdidas continuas	$m$
$\overline{\ln h}$	Promedio de los logaritmos de las presiones	
$\overline{\ln K}$	Promedio de los logaritmos de los coeficientes de ajuste potencial	
$\overline{\ln q}$	Promedio de los logaritmos de los caudales	
$m$	Exponente de la ecuación del gradiente energético de un lateral	
$m_{A,B}, m_{B,C}, m_{A,C}$	Pendientes de las rectas de ajuste de los coeficientes de ajuste parabólico	

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
$m_{\ln K,x}$	Pendiente de la recta de ajuste del coeficiente y el exponente del ajuste potencial	
$n$	Número de emisores ensayados	<i>ud</i>
$\nu$	Viscosidad cinemática	$m^2/s$
$n_{A,B}, n_{B,C}, n_{A,C}$	Constantes de las rectas de ajuste de los coeficientes de ajuste parabólico	
$n_{\ln K,x}$	Constantes de la recta de ajuste del coeficiente y el exponente del ajuste potencial	
$p$	Número de valores de presión de ensayo	<i>ud</i>
$P$	Presión	<i>Pa</i>
$PN$	Presión nominal	<i>MPa, atm</i>
$q$	Caudal arrojado por un emisor	<i>l/h</i>
$\bar{q}$	Caudal medio de los emisores	<i>l/h</i>
$\bar{Q}$	Caudal medio de las plantas	<i>l/h</i>
$q_{a-var}$	Coefficiente de Wu y Gitlin a efectos de análisis	<i>Adimensional</i>
$q_{d-var}$	Coefficiente de Wu y Gitlin a efectos de diseño	<i>Adimensional</i>
$q_{emi}$	Caudal emitido por un emisor	<i>l/h</i>
$q_{ij}$	Caudal de un emisor individual a cierto valor de presión de ensayo	<i>l/h</i>
$q_j$	Caudal promedio de un conjunto de emisores a cierto valor de presión	<i>l/h</i>
$Q_l$	Caudal de un lateral	<i>l/h</i>
$q_L$	Caudal de entrada al lateral	<i>l/h</i>
$q_L$	Caudal derivado por el lateral	<i>l/h</i>
$Q_{máx}$	Caudal máximo de planta	<i>l/h</i>
$Q_{mín}$	Caudal mínimo de planta	<i>l/h</i>
$q_{mín(f)}, q_{máx(f)}$	Caudales mínimo y máximo por causas de fabricación	<i>l/h</i>
$Q_T$	Caudal de la tubería terciaria	<i>l/h</i>
$q_T$	Caudal en la terciaria, aguas arriba de la conexión	<i>l/h</i>
$q_{var(f)}$	Coefficiente de Wu y Gitlin de las causas de fabricación	<i>Adimensional</i>
$q_{var(h)}$	Coefficiente de Wu y Gitlin de las causas hidráulicas	<i>Adimensional</i>
$R^2$	Coefficiente de correlación al cuadrado de un conjunto de emisores	<i>Adimensional</i>
$R_j^2$	Coefficiente de correlación al cuadrado de un emisor individual	<i>Adimensional</i>
$R_{A,B}^2, R_{B,C}^2, R_{A,C}^2$	Coefficiente de correlación de las rectas de ajuste de los coeficientes del ajuste parabólico	
$Re$	Número de Reynolds	<i>Adimensional</i>
$R_{\ln K,x}^2$	Coefficiente de correlación de la recta de ajuste del coeficiente y el exponente del ajuste potencial	

SÍMBOLO	SIGNIFICADO	UNIDADES
$\sigma_A^2, \sigma_B^2, \sigma_C^2$	Varianzas de los coeficientes del ajuste parabólico	
$\sigma_{A,B}, \sigma_{B,C}, \sigma_{A,C}$	Covarianzas entre los coeficientes del ajuste parabólico	
$\sigma_h$	Desviación típica de la distribución de presiones de la subunidad	<i>m, kPa, MPa</i>
$\sigma_K^2$	Varianza de los coeficientes de ajuste de la ecuación potencial	
$\sigma_{\ln h}^2$	Varianza del logaritmo de las presiones	
$\sigma_{\ln h, \ln q_i}$	Covarianza entre los logaritmos de las presiones y los caudales individuales	
$\sigma_{\ln q_i}^2$	Varianza de los logaritmos de los caudales individuales	
$\sigma_q$	Desviación típica de los valores de los caudales	<i>l/h</i>
$\sigma_q^2$	Varianza de los caudales promedio	
$\sigma_{\ln q}^2$	Varianza de los logaritmos de los caudales	
$\sigma_{q,h}$	Covarianza entre los caudales promedio y las presiones	
$\sigma_{q,h^2}$	Covarianza entre los caudales promedio y las presiones al cuadrado	
$\sigma_{q_i,h}$	Covarianza entre los caudales de un emisor individual y las presiones	
$\sigma_{q_i,h^2}$	Covarianza entre los caudales individuales y las presiones al cuadrado	
$\sigma_x^2$	Varianza de los exponentes de ajuste de la ecuación potencial	
$S_{emi}$	Área de la sección transversal interceptada por la inserción de un emisor	<i>m<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup></i>
$S_L$	Área de la sección transversal de un lateral	<i>m<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup></i>
$S_{lat}$	Área de la sección transversal interceptada por la inserción de un lateral	<i>m<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup></i>
$S_T$	Área de la sección transversal de la tubería terciaria	<i>m<sup>2</sup>, mm<sup>2</sup></i>
$T$	Temperatura del agua	<i>°C</i>
$UNE$	Una Norma Española	
$V$	Velocidad del agua	<i>m/s</i>
$x$	Exponente de la ecuación de ajuste potencial de un emisor	
$\bar{x}$	Promedio de los exponentes de ajuste potencial	
$x_i$	Exponente de ajuste de la ecuación potencial para un emisor individual	
$z$	Cota geométrica	<i>m</i>

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 1: Representación gráfica del caudal frente a la presión de un emisor individual ( <i>Noauto-3</i> ) .....	39
Figura 2: Ajuste potencial para un emisor individual ( <i>Noauto-3</i> ) mediante transformación logarítmica .....	42
Figura 3: Ejemplo de ajuste potencial para un emisor individual ( <i>Noauto-3</i> ) .....	42
Figura 4: Ejemplo de ajuste parabólico para un emisor individual ( <i>Noauto-3</i> ) .....	45
Figura 5: Representación gráfica del caudal arrojado por un conjunto de emisores a diferentes presiones ( <i>Noauto-3</i> ) .....	46
Figura 6: Ejemplo de ajuste potencial para un conjunto de emisores ( <i>Noauto-3</i> ) .....	49
Figura 7: Ejemplo de ajuste parabólico para un conjunto de emisores ( <i>Noauto-3</i> ) .....	52
Figura 8: Ejemplo de ajuste lineal para la relación entre las variables $x_i$ y $\ln K_i$ .....	55
Figura 9: Procedimiento de creación de la población y de la muestra de emisores .....	66
Figura 10: Ejemplo de representación de datos en papel probabilístico normal .....	67
Figura 11: Determinación del valor probable del exponente $x$ del emisor a partir de su coeficiente $K$ .....	69
Figura 12: Determinación del valor probable del coeficiente $B$ del emisor a partir de su coeficiente $A$ .....	70
Figura 13: Conexión de un emisor pinchado en el lateral. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.) .....	76
Figura 14: Conexión de emisor integrado en anillo. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.) .....	76
Figura 15: Conexión de emisor integrado adosado internamente. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.) .....	77
Figura 16: Esquema de conexión de un lateral a una terciaria .....	77
Figura 17: Inserción de lateral en terciaria. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.) .....	79
Figura 18: Disposición de emisores y laterales de las subunidades tipo analizadas .....	95
Figura 19: Datos anómalos en una representación probabilística normal (emisor <i>Noauto-3</i> ) .....	107
Figura 20: Ejemplo de la influencia del intervalo de compensación ( <i>Auto-8</i> ) .....	112
Figura 21: Variación del CV con la presión para el emisor no autocompensante <i>Noauto-6</i> .....	126
Figura 22: Variación del CV con la presión para el emisor autocompensante <i>Auto-15</i> .....	127
Figura 23: Esquema general de los módulos del programa informático .....	130
Figura 24: Diagrama de flujo del algoritmo de análisis hidráulico de la subunidad .....	132
Figura 25: Esquema general de los módulos del programa informático .....	252
Figura 26: Diagrama de flujo del módulo de análisis de la subunidad .....	273



## ÍNDICE DE IMÁGENES

	<u>Pag.</u>
Imagen 1: Banco de ensayo de emisores del Laboratorio de Riego localizado.....	59
Imagen 2: Termómetro sonda.....	60
Imagen 3: Manómetro de precisión para medir la presión de ensayo .....	61
Imagen 4: Báscula de precisión .....	62
Imagen 5: Estimación gravimétrica del caudal arrojado por los emisores.....	64
Imagen 6: Emisor integrado (izquierda) y emisor pinchado (derecha) .....	65
Imagen 7: Programa de Análisis de subunidades de Riego localizado .....	128
Imagen 8: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subnocomp-3</i> .....	134
Imagen 9: Resultados del análisis de la subunidad <i>Subnocomp-3</i> referidos a emisor .....	134
Imagen 10: Resultados del análisis de la subunidad <i>Subnocomp-3</i> referidos a planta.....	135
Imagen 11: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subnocomp-3</i> .....	135
Imagen 12: Resultados del análisis de la subunidad <i>Subcomp-4</i> referido a emisor considerando sólo causas hidráulicas.....	138
Imagen 13: Resultados del análisis de la subunidad <i>Subcomp-4</i> referido a emisor considerando sólo causas hidráulicas.....	138
Imagen 14: Pantalla de inicio de la aplicación informática .....	253
Imagen 15: Pantalla de introducción de datos y geometría de la subunidad .....	255
Imagen 16: Pantalla de introducción de datos con emisores equidistantes.....	256
Imagen 17: Pantalla de introducción de datos con emisores agrupados.....	257
Imagen 18: Pantalla de introducción de datos con un lateral por fila de plantas.....	258
Imagen 19: Pantalla de introducción de datos con doble lateral por fila de plantas.....	259
Imagen 20: Pantalla de datos y geometría de la subunidad completada. ....	260
Imagen 21: Pantalla de recuperación de datos de subunidad a partir de un archivo.....	260
Imagen 22: Pantalla de introducción del resto de datos de una subunidad .....	261
Imagen 23: Pantalla de completar datos de subunidad con la matriz de los emisores obturados y cerrados.....	262
Imagen 24: Introducción de datos de un nuevo emisor.....	263
Imagen 25: Pantalla de recuperación de datos de emisor .....	265
Imagen 26: Pantalla de datos de emisor completamente rellena.....	265
Imagen 27: Pantalla de ecuaciones de ajuste de los emisores.....	266
Imagen 28: Datos de la población y muestra generadas.....	268
Imagen 29: Pantalla de parámetros hidráulicos.....	269
Imagen 30: Definición de la geometría de la inserción de los emisores (izda.) y los laterales (dcha.).....	271
Imagen 31: Pérdidas localizadas de los emisores por el método de la longitud equivalente .....	271
Imagen 32: Coeficiente mayorante de pérdidas localizadas.....	272
Imagen 33: Pantalla de análisis de la subunidad.....	274

Imagen 34: Coeficientes de uniformidad de distribución.....	277
Imagen 35: Cuadro de diálogo para la elección del tipo de gráfico.....	278
Imagen 36: Representación de los emisores de la subunidad con indicación de las presiones máxima y mínima .....	278
Imagen 37: Representación de las plantas de la subunidad con indicación de los caudales máximo y mínimo.....	279
Imagen 38: Pantalla de representación de las líneas de energía (líneas de cotas piezométricas) .....	279
Imagen 39: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subnocomp-1</i> .....	282
Imagen 40: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-1</i> referidos a emisor .....	282
Imagen 41: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-1</i> referidos a planta .....	283
Imagen 42: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subnocomp-1</i> .....	283
Imagen 43: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subnocomp-2</i> .....	284
Imagen 44: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-2</i> referidos a emisor .....	284
Imagen 45: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-2</i> referidos a planta .....	285
Imagen 46: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subnocomp-2</i> .....	285
Imagen 47: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subnocomp-3</i> .....	286
Imagen 48: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-3</i> referidos a emisor .....	286
Imagen 49: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-3</i> referidos a planta .....	287
Imagen 50: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subnocomp-3</i> .....	287
Imagen 51: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subnocomp-4</i> .....	288
Imagen 52: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-4</i> referidos a emisor .....	288
Imagen 53: Resultados del análisis subunidad <i>Subnocomp-4</i> referidos a planta .....	289
Imagen 54: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subnocomp-4</i> .....	289
Imagen 55: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subcomp-1</i> .....	290
Imagen 56: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-1</i> referidos a emisor .....	290
Imagen 57: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-1</i> referidos a planta .....	291
Imagen 58: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subcomp-1</i> .....	291
Imagen 59: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subcomp-2</i> .....	292
Imagen 60: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-2</i> referidos a emisor .....	292
Imagen 61: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-2</i> referidos a planta .....	293
Imagen 62: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subcomp-2</i> .....	293
Imagen 63: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subcomp-3</i> .....	294
Imagen 64: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-3</i> referidos a emisor .....	294
Imagen 65: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-3</i> referidos a planta .....	295
Imagen 66: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subcomp-3</i> .....	295
Imagen 67: Configuración geométrica de la subunidad <i>Subcomp-4</i> .....	296
Imagen 68: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-4</i> referidos a emisor .....	296
Imagen 69: Resultados del análisis subunidad <i>Subcomp-4</i> referidos a planta .....	297
Imagen 70: Uniformidad de distribución para la subunidad <i>Subcomp-4</i> .....	297

**ÍNDICE DE TABLAS**

	<u>Pag.</u>
Tabla I: Régimen hidráulico de los emisores de riego localizado .....	6
Tabla II: Valores del coeficiente de uniformidad CU recomendados por ASAE EP405.....	11
Tabla III: Clasificación recomendada por ASAE EP405 de los emisores en función de su CV.....	12
Tabla IV: Diámetros interiores para las tuberías laterales y terciarias.....	94
Tabla V: Subunidades tipo a analizar.....	96
Tabla VI: Características geométricas de la conexión de los emisores pinchados considerados.....	97
Tabla VII: Características geométricas de la conexión del emisor integrado en forma de anillo considerado.....	97
Tabla VIII: Características geométricas de la conexión de los laterales para emisores no autocompensantes.....	97
Tabla IX: Características geométricas de la conexión de los laterales para emisores autocompensantes.....	97
Tabla X: Emisores no autocompensantes ensayados.....	102
Tabla XI: Emisores autocompensantes ensayados.....	102
Tabla XII: Ejemplo de datos y resultados para un emisor no autocompensante ( <i>Noauto-1</i> ).....	104
Tabla XIII: Ejemplo de datos y resultados para un emisor autocompensante ( <i>Auto-14</i> ).....	105
Tabla XIV: Ejemplo de análisis estadístico de los coeficientes de ajuste ( <i>Noauto-1</i> ).....	113
Tabla XV: Ejemplo de determinación de los CV y su representación gráfica para emisor autocompensante ( <i>Auto-6a</i> ).....	114
Tabla XVI: Valores medios de los coeficientes de variación, CV.....	117
Tabla XVII: Desviaciones entre los valores medios de $CV_{\text{ensayo}}$ y de los $CV_{\text{predicho}}$ .....	118
Tabla XVIII: Desviaciones entre los valores medios de $CV_{\text{predicho}}$ y de los $CV_{\text{calculado}}$ para ajuste potencial.....	121
Tabla XIX: Desviaciones entre los valores medios de $CV_k$ y de los $CV_{\text{Ink}}$ calculado para ajuste potencial.....	123
Tabla XX: CV de ensayo. Comparativa entre los valores medios y los dictados por la norma UNE-EN- ISO 9261.....	125
Tabla XXI: Subunidades tipo analizadas. Emisores y punto de alimentación de la terciaria.....	133
Tabla XXII: Subunidades tipos analizadas. Dimensiones definitivas.....	136
Tabla XXIII: Resultados del análisis de subunidades. Diferencias de presión y de caudal.....	137
Tabla XXIV: Resultados del análisis de subunidades. Velocidades máximas al inicio de la terciaria y los laterales.....	140
Tabla XXV: Resultados del análisis de subunidades. Coeficientes de Uniformidad de distribución.....	141
Tabla XXVI: Coeficiente de variación de la subunidad, $CV_{\text{subunidad}}$ .....	143
Tabla XXVII: Comparativa entre los CV del emisor y de la subunidad.....	143
Tabla XXVIII: Emisores no autocompensantes ensayados.....	163
Tabla XXIX: Emisores autocompensantes ensayados.....	163
Tabla XXX: Emisores no autocompensantes ensayados.....	207
Tabla XXXI: Emisores autocompensantes ensayados.....	207



**INDICE GENERAL**

	<u>Pag.</u>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS EMISORES .....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DE SUBUNIDADES .....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Diseño de subunidades de riego .....	7
1.3.2. Análisis hidráulico de las subunidades .....	14
<b>1.4. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA.....</b>	<b>19</b>
1.4.1. Pérdidas de carga continuas.....	19
1.4.2. Pérdidas de carga localizadas .....	23
<b>1.5. DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO .....</b>	<b>26</b>
1.5.1. Definición y factores que la afectan .....	26
1.5.2. Causas de falta de uniformidad.....	27
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>33</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>37</b>
<b>3.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL EMISOR: PREDICCIÓN DEL CAUDAL ARROJADO .....</b>	<b>37</b>
3.2.1. Emisor individual .....	39
3.2.2. Conjunto de emisores .....	45
<b>3.3. VARIABILIDAD DE LOS CAUDALES PREDICHOS.....</b>	<b>52</b>
3.3.1. Propiedades de la varianza y la covarianza .....	53
3.3.2. Ajuste potencial.....	54
3.3.3. Ajuste parabólico.....	58
<b>3.4. ENSAYO DE LOS EMISORES EN EL LABORATORIO .....</b>	<b>59</b>
3.4.1. Descripción del banco de ensayo de emisores.....	60
3.4.2. Descripción de los ensayos.....	62
3.4.3. Emisores ensayados .....	65
<b>3.5. CREACIÓN DE LA POBLACIÓN Y DE LA MUESTRA DE EMISORES .....</b>	<b>66</b>
3.5.1. Comprobación de la normalidad de los datos.....	67
3.5.2. Creación de la población de emisores.....	68
3.5.3. Distribución de los emisores en la subunidad: Siembra aleatoria.....	70
<b>3.6. DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE ENTRADA A LOS EMISORES.....</b>	<b>71</b>
3.6.1. Pérdidas de carga continuas.....	72
3.6.2. Pérdidas de carga localizadas .....	73
<b>3.7. UNIFORMIDAD DE RIEGO .....</b>	<b>79</b>
3.7.1. Coeficientes de uniformidad de riego considerados a efectos de análisis.....	81
3.7.2. Coeficientes de uniformidad de riego a efectos de diseño .....	84
<b>3.8. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO PARA LA APLICACIÓN INFORMÁTICA.....</b>	<b>91</b>
<b>3.9. ANÁLISIS DE SUBUNIDADES TIPO.....</b>	<b>91</b>
3.9.1. Criterios de diseño adoptados.....	92
3.9.2. Elección del tipo de tubería .....	93
3.9.3. Elección del tipo de emisor .....	94
3.9.4. Geometría de la subunidad .....	94
3.9.5. Subunidades definidas .....	96
3.9.6. Criterios y condiciones del análisis .....	96

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>101</b>
<b>4.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>101</b>
<b>4.2. ENSAYOS DE LOS EMISORES EN LABORATORIO .....</b>	<b>101</b>
4.2.1. Resultados de los ensayos .....	101
4.2.2. Discusión de los resultados.....	106
<b>4.3. COEFICIENTES DE VARIACIÓN, CV.....</b>	<b>113</b>
4.3.1. Descripción de los resultados .....	113
4.3.2. Discusión de los resultados.....	116
<b>4.4. PROGRAMA DE ANÁLISIS DE SUBUNIDADES.....</b>	<b>128</b>
4.4.1. Características del programa .....	129
4.4.2. Módulos del programa .....	129
4.4.3. Algoritmo de análisis hidráulico .....	131
<b>4.5. ANÁLISIS DE SUBUNIDADES TIPO .....</b>	<b>133</b>
4.5.1. Resultados de los análisis de las subunidades.....	133
4.5.2. Discusión de los resultados.....	136
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>147</b>
<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>150</b>
<b>5.3. TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>151</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>155</b>
<b>7. ANEXOS.....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXO I: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE EMISORES COMERCIALES .....</b>	<b>163</b>
<b>I.1. EMISORES ENSAYADOS.....</b>	<b>163</b>
<b>I.2. EMISORES NO AUTOCOMPENSANTES .....</b>	<b>164</b>
I.2.1. Noauto-1 (Netafim botón 2) .....	164
I.2.2. Noauto-2 (Bricorriego 2).....	165
I.2.3. Noauto-2a (Bricorriego 2; Sin datos anómalos).....	166
I.2.4. Noauto-3 (Toroplastro 4).....	167
I.2.5. Noauto-3a (Toroplastro 4; Sin datos anómalos).....	168
I.2.6. Noauto-4 (Bricorriego 4).....	169
I.2.7. Noauto-5 (Azudrip compact 4) .....	170
I.2.8. Noauto-6 (Azudpro 4) .....	171
I.2.9. Noauto-6a (Azud pro 4; Sin datos anómalos) .....	172
I.2.10. Noauto-7 (Azudrip compact 2,2) .....	173
I.2.11. Noauto-8 (Azudpro 2,2) .....	174
I.2.12. Noauto-9 (Tuftiff 8).....	175
<b>I.3. EMISORES AUTOCOMPENSANTES .....</b>	<b>176</b>
I.3.1. Auto-1 (Twin plus 1,8) .....	176
I.3.2. Auto-1c (Twin plus 1,8; Intervalo de compensación) .....	177
I.3.3. Auto-2 (Hydro PC 2,2).....	178
I.3.4. Auto-2c (Hydro PC 2,2; Intervalo de compensación).....	179
I.3.5. Auto-3 (Netafim botón 4) .....	180
I.3.6. Auto-3c (Netafim botón 4; Intervalo de compensación).....	181
I.3.7. Auto-4 (Netafim PCJ 4) .....	182
I.3.8. Auto-4a (Netafim PCJ 4; Sin datos anómalos) .....	183
I.3.9. Auto-5 (Flapper 7).....	184
I.3.10. Auto-6 (Netafim Technet 2).....	185
I.3.11. Auto-6a (Netafim Technet 2; Sin datos anómalos).....	186

I.3.12. Auto-7 (Netafim botón 2).....	187
I.3.13. Auto-8 (Turboplus 4) .....	188
I.3.14. Auto-8a (Turboplus 4; Sin datos anómalos) .....	189
I.3.15. Auto-8ac (Turboplus 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación).....	190
I.3.16. Auto-9 (Azud premier line 2,3).....	191
I.3.17. Auto-9a (Azud premier line 2,3; Sin datos anómalos).....	192
I.3.18. Auto-10 (Azud premier line 1,5).....	193
I.3.19. Auto-11 (Azud premier line 1,1).....	194
I.3.20. Auto-11a (Azud premier line 1,1; Sin datos anómalos).....	195
I.3.21. Auto-12 (LBC 4).....	196
I.3.22. Auto-12a (LBC 4; Sin datos anómalos) .....	197
I.3.23. Auto-12ac (LBC 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación) .....	198
I.3.24. Auto-13 (Azud premier line 2.3L 9261) .....	199
I.3.25. Auto-14 (Azud premier line 1.6L 9261) .....	200
I.3.26. Auto-15 (Azud premier line 1.0L 9261) .....	201
I.3.27. Auto-16 (Azud premier line 3.0L 9261) .....	202
I.3.28. Auto-17 (Azud premier line 3.5L 9261) .....	203
I.3.29. Auto-18 (Ibán 1,6) .....	204
I.3.30. Auto-19 (Ibán 2,3) .....	205
<b>ANEXO II: COEFICIENTES DE VARIACIÓN .....</b>	<b>207</b>
<b>II.1. EMISORES ENSAYADOS .....</b>	<b>207</b>
<b>II.2. EMISORES NO AUTOCOMPENSANTES.....</b>	<b>208</b>
II.2.1. Noauto-1 (Netafim botón 2).....	208
II.2.2. Noauto-2 (Bricorriego 2).....	209
II.2.3. Noauto-2a (Bricorriego 2; Sin datos anómalos) .....	210
II.2.4. Noauto-3 (Toroplastro 4).....	211
II.2.5. Noauto-3a (Toroplastro 4; Sin datos anómalos) .....	212
II.2.6. Noauto-4 (Bricorriego 4) .....	213
II.2.7. Noauto-5 (Azudrip compact 4) .....	214
II.2.8. Noauto-6 (Azudpro 4).....	215
II.2.9. Noauto-6a (Azudpro 4; Sin datos anómalos).....	216
II.2.10. Noauto-7 (Azudrip compact 2,2) .....	217
II.2.11. Noauto-8 (Azudpro 2,2).....	218
II.2.12. Noauto-9 (Tuftiff 8) .....	219
<b>II.3. EMISORES AUTOCOMPENSANTES.....</b>	<b>220</b>
II.3.1. Auto-1 (Twin plus 1,8) .....	220
II.3.2. Auto-1c (Twin plus 1,8; Intervalo de compensación) .....	221
II.3.3. Auto-2 (Hydro PC 2,2).....	222
II.3.4. Auto-2c (Hydro PC 2,2; Intervalo de compensación) .....	223
II.3.5. Auto-3 (Netafim botón 4).....	224
II.3.6. Auto-3c (Netafim botón 4; Intervalo de compensación).....	225
II.3.7. Auto-4 (Netafim PCJ 4) .....	226
II.3.8. Auto-4a (Netafim PCJ 4; Sin datos anómalos) .....	227
II.3.9. Auto-5 (Flapper 7) .....	228
II.3.10. Auto-6 (Netafim technet 2).....	229
II.3.11. Auto-6a (Netafim technet 2; Sin datos anómalos).....	230
II.3.12. Auto-7 (Netafim botón 2).....	231
II.3.13. Auto-8 (Turboplus 4) .....	232
II.3.14. Auto-8a (Turboplus 4; Sin datos anómalos) .....	233

II.3.15. Auto-8ac (Turboplus 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación) .....	234
II.3.16. Auto-9 (Azud premier line 2,3) .....	235
II.3.17. Auto-9a (Azud premier line 2,3; Sin datos anómalos) .....	236
II.3.18. Auto-10 (Azud premier line 1,5) .....	237
II.3.19. Auto-11 (Azud premier line 1,1) .....	238
II.3.20. Auto-11a (Azud premier line 1,1; Sin datos anómalos) .....	239
II.3.21. Auto-12 (LBC 4) .....	240
II.3.22. Auto-12a (LBC 4; Sin datos anómalos) .....	241
II.3.23. Auto-12ac (LBC 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación) .....	242
II.3.24. Auto-13 (Azud premier line 2.3L 9261) .....	243
II.3.25. Auto-14 (Azud premier line 1.6L 9261) .....	244
II.3.26. Auto-15 (Azud premier line 1.0L 9261) .....	245
II.3.27. Auto-16 (Azud premier line 3.0L 9261) .....	246
II.3.28. Auto-17 (Azud premier line 3.5L 9261) .....	247
II.3.29. Auto-18 (Ibán 1,6) .....	248
II.3.30. Auto-19 (Ibán 2,3) .....	249
<b>ANEXO III: DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO “ANASUB” .....</b>	<b>251</b>
<b>III.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>251</b>
<b>III.2. INICIO .....</b>	<b>253</b>
<b>III.3. GESTIÓN DE SUBUNIDADES .....</b>	<b>254</b>
III.3.1. Introducción de una nueva subunidad .....	254
III.3.1.1 disposición de emisores .....	256
III.3.1.2 DISPOSICIÓN DE LATERALES .....	257
III.3.1.3 datos completados .....	260
III.3.2. Recuperar subunidad .....	260
III.3.3. Completar datos restantes .....	261
III.3.3.1 Guardar subunidad .....	262
III.3.3.2 Obturar y cerrar emisores .....	262
<b>III.4. GESTIÓN DE EMISORES .....</b>	<b>263</b>
III.4.1. Introducción de un nuevo emisor .....	263
III.4.2. Recuperar emisor .....	265
III.4.3. Guardar emisor .....	266
<b>III.5. GENERACIÓN DE LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA DE EMISORES .....</b>	<b>266</b>
III.5.1. Ecuaciones de descarga de los emisores. Relaciones entre coeficientes .....	266
III.5.2. Datos de la población y la muestra generadas .....	267
<b>III.6. PARÁMETROS HIDRÁULICOS .....</b>	<b>269</b>
III.6.1. Pérdidas de carga continuas .....	269
III.6.2. Pérdidas de carga localizadas .....	270
III.6.2.1 fórmulas empíricas .....	270
III.6.2.2 LONGITUD EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN .....	271
III.6.2.3 coeficiente mayorante de pérdidas .....	272
III.6.2.4 coeficiente de resistencia .....	272
<b>III.7. ANÁLISIS DE LA SUBUNIDAD .....</b>	<b>273</b>
<b>III.8. OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y GRÁFICOS .....</b>	<b>277</b>
III.8.1. Uniformidad de distribución .....	277
III.8.2. Gráficos .....	278
III.8.2.1 caudales y presiones .....	278
III.8.2.2 líneas de energía .....	279
<b>ANEXO IV: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS SUBUNIDADES TIPO .....</b>	<b>281</b>



---

<b>IV.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>281</b>
<b>IV.2. SUBUNIDADES ANALIZADAS.....</b>	<b>281</b>
IV.2.1. Con emisores no autocompensantes.....	282
IV.2.1.1 <i>Subnocomp-1</i> .....	282
IV.2.1.2 <i>Subnocomp-2</i> .....	284
IV.2.1.3 <i>Subnocomp-3</i> .....	286
IV.2.1.4 <i>Subnocomp-4</i> .....	288
IV.2.2. Con emisores autocompensantes.....	290
IV.2.2.1 <i>Subcomp-1</i> .....	290
IV.2.2.2 <i>Subcomp-2</i> .....	292
IV.2.2.3 <i>Subcomp-3</i> .....	294
IV.2.2.4 <i>Subcomp-4</i> .....	296



# **1. INTRODUCCIÓN**

**ÍNDICE**

Pag.

<b>1.1. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS EMISORES.....</b>	<b>5</b>
<b>1.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DE SUBUNIDADES .....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Diseño de subunidades de riego.....	7
1.3.2. Análisis hidráulico de las subunidades .....	14
<b>1.4. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA .....</b>	<b>19</b>
1.4.1. Pérdidas de carga continuas.....	19
1.4.2. Pérdidas de carga localizadas .....	23
<b>1.5. DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO.....</b>	<b>26</b>
1.5.1. Definición y factores que la afectan .....	26
1.5.2. Causas de falta de uniformidad .....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1. JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso natural de vital importancia que exige una gestión cuidadosa. Es esencial para la vida y para prácticamente todas las actividades económicas, incluidas la producción de alimentos, de energía o de productos industriales. La disponibilidad de agua de calidad en cantidad suficiente no sólo es un requisito previo para la salud y el bienestar humanos, sino que también es esencial para un gran número de ecosistemas.

Históricamente, la sociedad no ha sido consciente de los impactos sociales, económicos y ambientales de la escasez de agua, pero en la actualidad el balance entre la demanda de agua y su disponibilidad está alcanzando niveles críticos en muchas partes del planeta, como la región mediterránea. De hecho, se constatan reducciones del caudal de los ríos, descenso en los niveles freáticos y desecación de humedales con los consecuentes impactos sobre los ecosistemas fluviales y lacustres. Además, la falta de agua también tiene consecuencias graves para sectores económicos clave como la agricultura, la energía, la industria y el turismo.

La merma en la disponibilidad del recurso se debe, fundamentalmente a la sobreexplotación, el descenso de las precipitaciones y la concurrencia de períodos de sequía prolongados. Por si fuera poco, el cambio climático va a desequilibrar aún más la balanza en los próximos decenios.

En cuanto a la demanda, se prevé que va a seguir aumentando en los sectores residencial e industrial, pero también en el sector agrícola, debido al aumento de la producción de alimentos y el incremento en la superficie de los cultivos denominados “energéticos”, cuyo objetivo es la obtención de biocombustibles.

Pero el crecimiento económico no debe conseguirse a costa de la degradación del entorno, por lo que el desarrollo futuro debería pasar por la creación de una “economía verde sostenible”, lo que implica la gestión integral de los recursos agua, energía y territorio y el establecimiento de acciones coordinadas bajo los conceptos comunes de ahorro y eficiencia.

El ahorro pasa por reducir la demanda, mientras que la mejora de la eficiencia puede conseguirse mediante una adecuada gestión y la aplicación de las innovaciones tecnológicas disponibles. En este sentido, la agricultura de regadío quizá sea el sector donde más se pueda actuar, dado que es el mayor consumidor de agua (alrededor del 80%) y la eficiencia de su uso tiene gran margen de mejora.

En general, la eficiencia de los sistemas de riego es muy variable, ya que depende de la forma de captación y distribución del agua y de la técnica de aplicación al cultivo. Así, los sistemas de riego por superficie con redes de distribución por canales y acequias sin revestir serían los que más pérdidas generarían y por tanto menos eficientes serían. En el extremo opuesto, estarían los sistemas de riego a presión, en los que el transporte se realiza mediante conducciones cerradas.

Los riegos a presión empezaron a utilizarse en el S. XIX, pero no fue hasta bien entrado el S. XX cuando se generalizó su instalación por todo el Mundo. Al principio se trataba de riegos por aspersión, pero a partir de la década de 1970 se empezaron a desarrollar los sistemas de riego localizado, también llamado “microirrigación”, término que se aplica particularmente a las técnicas que llevan agua sólo al pie de las plantas, en la zona de las raíces (Vermeiren y Jobling 1986).

En definitiva, el riego localizado es un sistema para proporcionar agua filtrada (y eventualmente fertilizantes) directamente sobre la superficie del suelo o dentro de él (Karmeli y Keller 1975), de esta forma se eliminan la deriva aérea y la escorrentía superficial que irían en detrimento tanto de la eficiencia de aplicación como de la uniformidad de distribución.

Sus principales ventajas, según Rodrigo et al. (1997) son las siguientes:

- No moja, en general, la totalidad del suelo.
- Utiliza pequeños caudales a baja presión.
- Aplica el agua cerca de las plantas a través de un número variable de puntos de emisión.
- Es un riego de alta frecuencia, lo que permite mantener un alto nivel de humedad en el suelo.

En este sistema de riego, el agua es transportada mediante una extensa red de tuberías, generalmente ramificada, hasta cada planta, donde existen unos dispositivos denominados emisores que disipan la presión del interior de las tuberías en la que van instalados mediante pequeños microtubos o laberintos de largo recorrido. Dicha red se divide en sectores o unidades operacionales de riego, y estos, a su vez, en subunidades de riego.

Existen muchas definiciones de subunidad de riego localizado. Así, Arviza (1996) dice que una subunidad de riego es “el conjunto de laterales (tuberías porta emisores) y terciaria en cuyo inicio existe un elemento regulador de presión (válvula automática o válvula de esfera). En el mismo sentido se pronuncian Moya (2009) y Montalvo (2007) . Para el primero, una subunidad de riego es “el conjunto de terciaria y laterales”; para el segundo es “el conjunto de tuberías portaemisores (laterales o ramales) y la tubería que los alimenta”.

Por su parte, Rodrigo et al. (1997) definen subunidad de riego como “la superficie que se riega simultáneamente desde un mismo punto donde se regula o controla la presión de entrada del agua”. De forma análoga la define Pizarro (1996) , que dice que una subunidad de riego es “la superficie dominada por un regulador de presión”.

El funcionamiento de una subunidad de riego depende de muchas variables de todo tipo que a veces son muy difíciles de controlar, por eso es muy importante conocer su funcionamiento real puesto que de él dependerá que el riego aplicado al cultivo sea eficaz y eficiente, consiguiendo satisfacer sus necesidades de agua y distribuyendo dicha agua de la manera más uniforme posible, evitando pérdidas innecesarias y equilibrando las cantidades que reciba cada planta. Realmente el objetivo es optimizar el cultivo, logrando una producción de calidad, con unos tamaños uniformes y con unos calibres adecuados, todo ello con el mínimo coste posible.

Por todo lo expuesto, esta tesis se justifica por la necesidad de establecer un modelo de comportamiento de una subunidad de riego localizado que integre todas las variables de las que depende su funcionamiento, de manera que sea lo más realista posible y que sirva como herramienta de apoyo tanto en el diseño como en el análisis de los sistemas de riego localizado. Las subunidades así estudiadas deberían ser lo más eficientes posible en la aplicación del agua, que es el objetivo fundamental a alcanzar.

## **1.2. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DE LOS EMISORES**

El funcionamiento de una subunidad de riego está condicionado por el comportamiento de los emisores que la constituyen, por eso es muy importante conocer su respuesta en forma de caudal arrojado.

En general, los caudales de los emisores se caracterizan empíricamente como una función de la presión de entrada (Demir et al. 2007) . Lo que pasa es que la influencia de dicha presión es más acusada en los emisores denominados no autocompensantes que en los emisores denominados compensantes, autocompensantes o autoregulados.

Con un emisor de riego localizado se pretende aportar pequeños caudales de agua al suelo, para lo que es necesario producir una gran caída de presión lo que se consigue mediante laberintos o a través de toberas u orificios con anchuras de paso del agua de entre 0,3 y 1,5 mm. Estos pasos tan estrechos son muy sensibles a la obturación (Keller y Karmeli 1974).

Además, es muy difícil analizar el régimen hidráulico que se da en el interior de los laberintos, dadas su complejidad y pequeña dimensión. Una forma de abordar su estudio es utilizando modelos computacionales del tipo CFD (“Computational fluid dynamics”), como los propuestos por Palau (2005) o por Wei et al. (2006), que tienen mucha utilidad para el diseño de emisores.

Pero a efectos prácticos, se puede afirmar que el comportamiento hidráulico de cualquier emisor se caracteriza mediante una ecuación de tipo potencial, denominada “ecuación característica” o “ecuación de descarga” y cuya expresión es:

$$q = K \cdot h^x \quad (1.1)$$

Donde:

- $q$ : Es el caudal emitido, en l/h
- $h$ : Es la presión de entrada al emisor, en m ó kPa ó MPa
- $K$ : Es el coeficiente de la ecuación potencial
- $x$ : Es el exponente de la ecuación.

El valor del exponente  $x$  caracteriza el régimen hidráulico de los emisores, tal como se indica en la siguiente tabla, tomada de Keller y Karmeli (1974):

**Tabla I: Régimen hidráulico de los emisores de riego localizado**

Valor del exponente	Tipo de flujo
$x = 0,5$	Completamente turbulento
$0,5 < x < 0,7$	Parcialmente turbulento
$0,7 < x < 1,0$	Inestable o crítico
$x = 1,0$	Laminar

El régimen hidráulico en emisores con toberas u orificios es siempre totalmente turbulento valiendo su exponente  $x$  de 0,5. Sin embargo, los emisores de largo recorrido o de laberinto pueden tener exponentes que varían entre 0,6 y 1,0. Por su parte, los emisores que permiten la regulación del caudal arrojado (autocompensantes) tendrían un exponente  $x$  menor de 0,5, siendo 0 el valor del exponente correspondiente a un emisor autocompensante ideal.

En este sentido, la Norma de ensayo de emisores UNE-EN-ISO 9261 (AENOR 2010) establece que un emisor es autocompensante si su exponente  $x$  es menor de 0,2. Esto implica asumir como modelo de comportamiento hidráulico el establecido por la ecuación potencial anteriormente indicada (1.1), aunque pueden establecerse otras ecuaciones de ajuste, como las propuestas por Royuela y Turégano (2012) para emisores autocompensantes.

Otro parámetro importante a la hora de definir el comportamiento de los emisores es el denominado Coeficiente de Variación de Fabricación,  $CV$ , que es un término usado para describir la



variación de los caudales de una muestra de emisores nuevos sometidos a una presión dada (Karmeli y Keller 1975). La idea es que no existen dos emisores exactamente iguales, ya que las tolerancias inherentes a los procesos de fabricación hacen que los caudales emitidos a igualdad de presión, sean distintos, por lo que este coeficiente puede usarse para caracterizar la bondad en el proceso de fabricación del emisor.

El *CV* se calcula a partir de los caudales recogidos en un ensayo de laboratorio realizado sobre una muestra de emisores y su expresión es:

$$CV = \frac{\sigma_q}{\bar{q}} \quad (1.2)$$

Siendo:

- $\sigma_q$  : Es la desviación típica de la muestra, en l/h
- $\bar{q}$  : Es el caudal promedio de la muestra, en l/h

### **1.3. DISEÑO Y ANÁLISIS DE SUBUNIDADES**

La definición de las subunidades que componen una instalación de riego localizado tiene dos fases claramente diferenciadas. La primera de ellas es la fase de diseño, en la cual, estableciendo diferentes criterios, se determinan las dimensiones y las características básicas de los elementos que las constituyen. A continuación debe analizarse su comportamiento hidráulico para verificar si se cumplen las premisas previamente establecidas a la hora de diseñarlas.

En muchas ocasiones las fases de diseño y análisis están íntimamente relacionadas, principalmente cuando se adopta para la definición de las subunidades un procedimiento de ensayo y error, en el que primero se prediseñan, después se analizan y si no cumplen con los requisitos establecidos, se modifica su diseño y se vuelven a analizar. El proceso es iterativo y termina cuando se alcanza el objetivo propuesto.

#### **1.3.1. Diseño de subunidades de riego**

Una subunidad de riego está constituida por un conjunto de emisores alimentados desde un único punto en el que suele haber una válvula de apertura y cierre y a veces de regulación de presión. En cultivos leñosos los emisores se pueden agrupar en torno a los árboles mientras que en cultivos hortícolas se suele hacer una distribución regular de emisores en toda la superficie de riego.

El diseño de una subunidad tiene dos partes: el diseño agronómico y el diseño hidráulico. En el diseño agronómico se determina el número de emisores por planta y su distribución a partir del caudal del emisor y de las características del cultivo y del suelo. En el diseño hidráulico se establecen los diámetros de las conducciones y se determinan los caudales y las presiones de funcionamiento.

El principal objetivo del diseño hidráulico es conseguir una distribución uniforme del agua arrojada por los emisores (Zhang et al. 2013), para ello es necesario establecer algún criterio de diseño de subunidades, que será diferente según se trate de emisores no autocompensantes o emisores autocompensantes.

No obstante, aunque sean los emisores los que aportan el agua de riego, la referencia debe ser la planta como receptora última de ese agua, por lo tanto, el objetivo final del diseño hidráulico debería ser que no hubiera mucha diferencia entre las plantas más regadas y las menos regadas. Esto también implica que la uniformidad de riego referida a planta sea aceptable.

Una posible condición que garantizaría lo anterior sería aceptar que la diferencia relativa de caudales entre plantas fuese menor del 10% del caudal medio, es decir:

$$\delta Q = \frac{Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\grave{i}n}}{\bar{Q}} \leq 0,10 \quad (1.3)$$

Siendo:

- $Q_{m\grave{i}n}$  : Caudal correspondiente a la planta menos regada, en l/h
- $Q_{m\acute{a}x}$  : Caudal correspondiente a la planta más regada, en l/h
- $\bar{Q}$  : Caudal medio referido a planta, en l/h

Para comprobar la condición anterior, hay que determinar los caudales realmente aportados a las plantas, lo que sólo se puede hacer a partir de un análisis de la subunidad que contemple las diferencias de caudal tanto por causas hidráulicas como por causas de fabricación.

Casi todos los métodos y criterios de diseño hidráulico propuestos se basan en que el comportamiento de los emisores se puede caracterizar mediante una ecuación de tipo potencial, lo cual se cumple siempre para emisores no autocompensantes pero no para los emisores autocompensantes. A continuación se repasan los criterios de diseño más frecuentemente utilizados.

#### 1.3.1.1. CONSIDERACIÓN DE UNA DETERMINADA VARIACIÓN DE PRESIONES

La forma más sencilla de establecer la variación de presiones a tolerar es considerar un porcentaje de la presión nominal (Rodrigo et al. 1997). Por ejemplo un 10%, de manera que las

presiones máxima y mínima sean, respectivamente, un 5% superior y un 5% inferior a la presión nominal del emisor.

$$\Delta h_{admisible} = h_{m\acute{a}x} - h_{m\acute{i}n} \leq 0,10 \cdot \bar{h} \quad (1.4)$$

Otra expresión es la establecida por Keller y Bliesner (1990), aplicable a subunidades rectangulares de un solo diámetro tanto para el lateral como para la terciaria:

$$\Delta h_{admisible} = 2,5 \cdot (\bar{h} - h_{m\acute{i}n}) \quad (1.5)$$

Este método originariamente se utilizaba para riego por aspersión, pero al aplicarlo al riego localizado puede suceder que la diferencia de caudales sea muy elevada, ya que no se tienen en cuenta ni el exponente del emisor ni el coeficiente de variación de fabricación del mismo. En este sentido, Turégano y Arviza (2005) pusieron de manifiesto la gran influencia que el coeficiente de variación de fabricación del emisor tiene en la diferencia relativa de caudales de la subunidad.

### 1.3.1.2. CONSIDERACIÓN DE UNA DETERMINADA VARIACIÓN DE CAUDALES

Este procedimiento tampoco tiene en cuenta la variación de los caudales debida a causas de fabricación, únicamente a causas hidráulicas, por lo que es inmediato obtener la diferencia de presiones admisibles en la subunidad utilizando la ecuación de descarga promedio de los emisores.

Keller y Karmeli (1974) establecieron, para diseño de laterales, que una regla general consiste en limitar la diferencia de caudales de manera que el caudal mínimo sea al menos un 90% del caudal medio. Es decir:

$$q_{m\acute{i}n} \geq 0,9 \cdot \bar{q} \quad (1.6)$$

Asumiendo que:

$$q_{m\acute{i}n} = q(h_{m\acute{i}n}) \quad ; \quad \bar{q} = q(\bar{h}) \quad (1.7)$$

Resulta:

$$h_{m\acute{i}n} \geq 0,9^{1/x} \cdot \bar{h} \quad (1.8)$$

Posteriormente, diversos autores (Karmeli y Keller 1975, Arviza 1996, Montalvo 2007, Moya 2009) han coincidido en afirmar que la máxima tolerancia de caudales de los emisores de la subunidad debe ser un 10% del caudal medio del emisor (o del caudal del emisor a presión media), es decir, que la diferencia relativa de caudales teóricos entre los emisores sometidos a la mayor y la menor presión sea menor del 10%.

Siguiendo el mismo planteamiento, Zhang et al. (2013) establecen, como criterio de diseño hidráulico de subunidades, una diferencia relativa de caudales del 20%, de acuerdo con la Norma técnica china de ingeniería de microirrigación (GB/T 50485-2009) (The Ministry of Water Resources of PRC 2009).

Estos dos últimos criterios quedan plasmados en:

$$\delta q_{admisible} = \frac{q_{m\acute{a}x} - q_{m\acute{i}n}}{q} \leq t \quad (1.9)$$

Siendo  $t$  la máxima diferencia relativa de caudales admisible, en tanto por uno.

Considerando que la relación entre el caudal arrojado y la presión de entrada al emisor responde a una ecuación de tipo potencial, se puede relacionar la variación relativa de caudales con la variación relativa de presiones de la siguiente manera (Montalvo 2007).

Se deriva la ecuación característica del emisor suponiendo que la única variable es la presión,  $h$ . Esto implica no considerar la variación de caudales por causas de fabricación de los emisores.

$$q = K \cdot h^x \Rightarrow dq = K \cdot x \cdot h^{x-1} \cdot dh \quad (1.10)$$

Dividiendo la expresión resultante por el caudal, resulta:

$$\delta q = \frac{dq}{q} = \frac{K \cdot x \cdot h^{x-1} \cdot dh}{K \cdot h^x} = x \cdot \frac{dh}{h} = x \cdot \delta h \quad (1.11)$$

Por lo tanto, la relación entre la variación relativa de caudales admisibles y la variación relativa de presiones admisibles es la siguiente:

$$\delta h_{admisible} = \frac{\Delta h_{admisible}}{\bar{h}} = \frac{h_{m\acute{a}x} - h_{m\acute{i}n}}{\bar{h}} = \frac{1}{x} \cdot \Delta q_{admisible} \leq \frac{t}{x} \quad (1.12)$$

En definitiva:

$$\Delta h_{admisible} \leq \frac{t}{x} \cdot \bar{h} \quad (1.13)$$

Este criterio, con los valores de  $t$  comúnmente usados de entre 0,1 y 0,2, es equivalente a un coeficiente de uniformidad de entre 98% y 95% (Wu 1997), lo que cumpliría con el objetivo de uniformidad anteriormente establecido.

### 1.3.1.3. CONSIDERACIÓN DE LA UNIFORMIDAD Y EL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DEL EMISOR

La ecuación (1.14) (Keller y Karmeli 1974) expresa el Coeficiente de uniformidad a efectos de diseño tomando en consideración conjuntamente las causas hidráulicas y las causas de fabricación. A

partir de esta expresión es posible establecer la diferencia de presiones admisible de manera que se consiga una uniformidad de riego apropiada.

$$CU_{d-Keller} = (1 - 1,27 \cdot CV_{emisor}) \cdot \frac{q(h_{min})}{q(\bar{h})} \quad (1.14)$$

El desarrollo es el siguiente:

$$CU = (1 - 1,27 \cdot CV_{emisor}) \cdot \frac{q(h_{min})}{q(\bar{h})} \Rightarrow q(h_{min}) = \frac{q(\bar{h}) \cdot CU}{(1 - 1,27 \cdot CV_{emisor})} \quad (1.15)$$

Utilizando la ecuación de descarga media del emisor, se puede poner la anterior expresión en función de las presiones, de manera que queda:

$$K \cdot h_{min}^x = \frac{K \cdot \bar{h}^x \cdot CU}{(1 - 1,27 \cdot CV_{emisor})} \quad (1.16)$$

Al final, la presión mínima en la subunidad debe ser la siguiente:

$$h_{min} \geq \bar{h} \cdot \left( \frac{CU}{1 - 1,27 \cdot CV_{emisor}} \right)^{\frac{1}{x}} \quad (1.17)$$

Si se introduce el valor de  $h_{min}$  en la ecuación (1.5), es posible determinar la diferencia de presión admisible en la subunidad que además, consiga una adecuada uniformidad de riego:

$$\Delta h_{admisible} \leq 2,5 \cdot (\bar{h} - h_{min}) = 2,5 \cdot \bar{h} \cdot \left( 1 - \left( \frac{CU}{1 - 1,27 \cdot CV_{emisor}} \right)^{\frac{1}{x}} \right) \quad (1.18)$$

Los valores recomendados para la uniformidad de riego vienen dados por la Norma ASAE EP405 (ASAE STANDARD. 2003) y son los siguientes:

Tabla II: Valores del coeficiente de uniformidad CU recomendados por ASAE EP405

Tipo de emisor	Espaciamiento (m)	Topografía	Pendiente (%)	Rango CU (%)
Emisor en cultivos permanentes	> 4	Uniforme	<2	90 – 95
		En pendiente u ondulada	>2	85 – 90
Emisor en cultivos permanentes o semipermanentes	<4	Uniforme	<2	85 – 90
		En pendiente u ondulada	>2	80 – 90
Tuberías emisoras en cultivos anuales o permanentes	Cualquiera	Uniforme	<2	80 – 90
		En pendiente u ondulada	>2	70 – 85

En cuanto al coeficiente de variación de fabricación del emisor, la Norma ASAE EP405 también establece una clasificación de emisores que permite determinar la idoneidad de su utilización, como se aprecia en la Tabla III.

Se puede observar que el límite del coeficiente de variación para un emisor medio es del 0,07 (7%), lo mismo que lo exigido por la Norma UNE-EN-ISO 9261:2010 (AENOR 2010).

**Tabla III: Clasificación recomendada por ASAE EP405 de los emisores en función de su CV**

Tipo de emisor	Rango de CV	Clasificación
Emisores	< 0,05	Excelente
	0,05 – 0,07	Medio
	0,07 – 0,11	Límite
	0,11 – 0,15	Pobre
	> 0,15	Inaceptable
Tuberías emisoras	< 0,10	Bueno
	0,10 – 0,20	Medio
	> 0,20	Inaceptable

Partiendo de los mismos principios expuestos, Juana et al. (2004) establecieron unas expresiones analíticas que permiten calcular los parámetros de distribución del agua para una subunidad rectangular en función de todas las variables que la definen. De esta forma se consigue una gran precisión sin la necesidad de utilizar cálculos iterativos complejos.

#### 1.3.1.4. CONSIDERACIÓN DEL CONCEPTO DE UNIFORMIDAD ESTADÍSTICA

El criterio general para una uniformidad estadística aceptable es que  $CU_{d-est}$  sea mayor o igual al 90% (Bralts et al. 1987). Esto implica que el coeficiente de variación del caudal  $CV_q$  debe ser menor o igual al 10%. Por tanto, aplicando (1.2) resulta:

$$CU_{d-est} = 1 - CV_q \geq 0,90 \Rightarrow CV_q \leq 0,10 \quad (1.19)$$

Por otra parte, según Bralts et al. (1987), el coeficiente de variación del caudal se calcula según:

$$CV_q = \sqrt{CV_K^2 + x^2 \cdot CV_h^2} \quad (1.20)$$

Siendo:

- $CV_K$ : Coeficiente de variación del coeficiente de descarga  $K$  del emisor
- $x$ : Exponente de descarga del emisor
- $CV_h$ : Coeficiente de variación de la distribución de presiones en la subunidad

Se asume que la variabilidad de los caudales de los emisores por causas de fabricación se debe exclusivamente a la variabilidad del coeficiente de descarga  $K$  determinada a partir de los ensayos de laboratorio, es decir que  $CV_f = CV_{emisor} = CV_K$ . También se considera que el exponente  $x$  es constante, y por tanto, no interviene en la variabilidad de los caudales de los emisores por causas de fabricación.

En definitiva, conocidas las características del emisor y fijando como objetivo un  $CV_q$ , se puede establecer la siguiente expresión:

$$CV_h = \frac{\sqrt{CV_q^2 - CV_{emisor}^2}}{x} \quad (1.21)$$

Siendo:

$$CV_h = \frac{\sigma_h}{h} \quad (1.22)$$

#### 1.3.1.5. CRITERIOS DE OPTIMIZACIÓN

Existen una serie de criterios de diseño hidráulico de subunidades cuyo objetivo es minimizar u optimizar los costes, tanto de instalación como de operación.

Uno de ellos es el propuesto por Dandy y Hassanli (1996), quienes aplican un modelo no lineal de optimización que minimiza la suma del coste de inversión del sistema y sus costes de operación.

Otro método fue establecido por Kang y Nishiyama (1997), basándose en la ecuación de descarga del lateral, el cálculo por elementos finitos y la búsqueda de la sección áurea.

Singh et al. (2000) propusieron un método de diseño óptimo de tuberías terciarias telescópicas basado en un algoritmo del camino crítico para redes acíclicas.

Más tarde, Kale et al. (2008) presentaron un modelo de programación lineal para diseño óptimo de subunidades cuya función objetivo consistía en minimizar el coste fijo anual de la red de tuberías y su coste energético anual.

Por último, Carrión et al. (2013) desarrollaron una aplicación informática específica para identificar el diseño óptimo de una subunidad de riego usando el coste de aplicación anual de agua de riego por unidad de área regada.

Todos estos criterios de optimización dependen de la determinación de los costes de instalación, mantenimiento y operación, que son muy variables en el tiempo y cambian de una ubicación a otra.

### 1.3.2. Análisis hidráulico de las subunidades

El cálculo o análisis hidráulico de una subunidad de riego consiste, básicamente, en determinar las presiones de entrada a los emisores para poder calcular el caudal arrojado por estos en virtud de su ecuación de descarga. Esto no es nada sencillo, porque dicha presión depende de las diferencias de cota y de las pérdidas de carga, que a su vez, también dependen del caudal. Se requiere pues, una metodología que mediante simplificaciones o procedimientos iterativos de diversa índole, consiga dar una solución coherente y consistente al problema planteado.

A continuación se van a describir someramente los métodos que tradicionalmente se han venido utilizando para realizar el análisis hidráulico de los laterales y de las subunidades.

#### 1.3.2.1. MÉTODO DE LA LÍNEA DEL GRADIENTE ENERGÉTICO

El método de la línea del gradiente energético (Wu y Gitlin 1975) fue uno de los primeros métodos de modelización del comportamiento hidráulico de un lateral de riego. Se trata de un planteamiento analítico en el que se considera que el flujo en el lateral es permanente, espacialmente variado y con caudal decreciente a lo largo de la conducción. Esto da lugar a unas ecuaciones que permiten establecer la variación de presión a lo largo del lateral y calcular las pérdidas totales.

La expresión para el gradiente energético es:

$$\frac{dh}{dl} = -a \cdot Q_i^m \quad (1.23)$$

Siendo:

- $dh$ : Incremento de presión, en m
- $dl$ : Incremento de longitud, en m
- $a$  y  $m$ : Constantes de las condiciones de flujo hidráulico existentes
- $Q_i$ : Caudal en una sección del lateral a una distancia  $l$  medida desde el origen

Una premisa básica es que el caudal de los emisores es constante (o con muy pequeña variación) a lo largo del lateral lo que puede causar errores significativos en los cálculos hidráulicos (Valiantzas 1998).

#### 1.3.2.2. MÉTODO DE LA ECUACIÓN DIFERENCIAL

Un método más sofisticado es el denominado "Método diferencial", de Warrick y Yitayew (1988), quienes plantean que si los emisores están lo suficientemente próximos, el lateral puede considerarse como un sistema homogéneo compuesto por una tubería principal con una ranura longitudinal. Esto implica que se da una variación continua de caudal a lo largo del lateral y permite



establecer el caudal emitido por unidad de longitud, que sería función de la distancia al origen. Dicho caudal depende de la presión, expresada como una función continua de la distancia al origen y cuya variación a lo largo del lateral depende de la pendiente, de la velocidad y de las pérdidas de carga, que se calculan con la fórmula de Darcy-Weisbach.

Con todo ello se construye una ecuación diferencial no lineal de segundo orden sujeta a ciertas condiciones de contorno y para la que se pueden encontrar dos soluciones independientes. La primera solución es analítica y se basa en despreciar la variación de las alturas de velocidad a lo largo del lateral, tal como proponen Warrick y Yitayew (1988). La segunda solución, desarrollada por Yitayew y Warrick (1988) sirve, básicamente para comprobar la solución analítica y se trata de una solución numérica del tipo "Runge-Kutta", que es un método iterativo de resolución de ecuaciones diferenciales basado en el método de la tangente.

Dada la dificultad de aplicación de este método diferencial, Yitayew (1989) propuso posteriormente una simplificación en la ecuación diferencial asumiendo que el exponente de descarga del emisor era de 0,5, lo que sólo sucede en los emisores no autocompensantes.

#### 1.3.2.3. MÉTODO DE PASO A PASO EN EL SENTIDO AGUAS ABAJO (FORWARD-STEP)

Uno de los métodos más interesantes es el denominado "forward-step" o "paso a paso en el sentido aguas abajo". Fue propuesto por Hathoot et al. (1993) y consiste en fijar, para cada lateral, una presión y un caudal de entrada, ambos deducidos de los valores medios estimados, e ir avanzando en el sentido de circulación del agua (hacia aguas abajo) calculando la presión de entrada a cada emisor y su caudal correspondiente aplicando la ecuación de descarga potencial promedio.

Como hipótesis simplificadora se considera que el lateral tiene pendiente constante, que los emisores están equidistantes, y que se produce una variación tramo a tramo tanto de la altura cinética como del número de Reynolds, lo que afecta al cálculo del factor de fricción para las pérdidas de carga. Se trata de un método iterativo en el que se va modificando la presión de entrada de manera que se cumplan los requisitos establecidos hasta alcanzar la solución final.

#### 1.3.2.4. MÉTODO DE LA DESCARGA VARIABLE

Valiantzas (1998), también consciente de la difícil solución de la ecuación diferencial no lineal de segundo orden planteada por Warrick y Yitayew (1988), plantea una ecuación más sencilla para el análisis hidráulico de los laterales. Los cálculos se basan en la asunción de que el caudal de los emisores a lo largo del lateral no es constante, en contra de lo estipulado por Wu y Gitlin (1975).

Para ello utiliza el concepto del gradiente hidráulico del lateral, aproximando su pendiente mediante la fórmula de Darcy-Weisbach. Además, contrariamente al planteamiento habitual, la distancia  $x$  de referencia se toma a partir del extremo aguas abajo del lateral. Esto da lugar a una expresión potencial para el caudal en cada punto en la que el exponente debe estimarse empíricamente. Las expresiones de cálculo deducidas permiten calcular la presión de entrada al lateral, la presión media y la uniformidad de distribución, lo que caracteriza perfectamente el funcionamiento hidráulico de un lateral de riego.

#### 1.3.2.5. MÉTODO DE LAS APROXIMACIONES SUCESIVAS

Vallesquino y Luque-Escamilla (2001) plantean un método para determinar el funcionamiento hidráulico de un lateral basado en un esquema de aproximaciones sucesivas. En él, las pérdidas de carga por fricción se calculan mediante la fórmula de Darcy-Weisbach utilizando un factor de fricción logarítmico y no constante que incluye la rugosidad relativa del material de la tubería que conforma el lateral. Además, se asume que en cada lateral individual el diámetro, el régimen hidráulico, la separación entre emisores, el tipo de emisor y la pendiente del terreno son constantes.

Un factor clave en este método es la consideración de la variación del caudal a lo largo del lateral, que se estudia tratando el caudal emitido como una variable discreta que se aproxima mediante polinomios de Taylor. Este planteamiento difiere de los de Wu y Gitlin (1975), Warrick y Yitayew (1988) o el de Valiantzas (1998), quienes proponían una variación continua de caudal.

Posteriormente, también Vallesquino y Luque-Escamilla (2002), establecieron un procedimiento simplificado para poder aplicar el método de las aproximaciones sucesivas sin el concurso de ordenadores pero manteniendo el suficiente grado de precisión. Lo denominaron el “método del factor de fricción equivalente”.

#### 1.3.2.6. MÉTODO DE LOS VOLÚMENES DE CONTROL

El método de los volúmenes de control (Zella et al. 2003) consiste en delimitar un volumen elemental de un lateral equipado con un emisor, denominado “volumen de control”, sobre el cual se aplican las ecuaciones de conservación de la masa y la energía de la mecánica de fluidos. Los balances de masa y energía llevan a la definición de un sistema de ecuaciones algebraicas no lineales que se resuelven mediante una técnica numérica simple denominada “técnica del volumen de control”, que consiste en determinar de forma retroactiva a lo largo del lateral los parámetros que definen cada volumen. Este método permite establecer las distribuciones de presión y de caudal a lo largo del lateral estudiado de forma más sencilla que otros métodos más sofisticados y complejos.

### 1.3.2.7. MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS

Este es uno de los métodos más interesantes, y consiste en un procedimiento numérico sistemático para resolver problemas de ingeniería complejos (Bralts y Segerlind 1985) . El método puede usarse para elementos discretos tal como ocurre en análisis estructural, o para aproximar soluciones en elementos continuos tales como el movimiento del agua en el suelo.

En general, el método de los elementos finitos clásico establece un conjunto de ecuaciones lineales que conforman una matriz cuya resolución aproxima una solución. Generalmente se necesita un procedimiento de aproximaciones sucesivas para poder alcanzar la solución final. El uso del método de los elementos finitos para el cálculo de redes hidráulicas es una extensión del desarrollo original para análisis de estructuras (Bralts et al. 1987).

Posteriormente, Kang y Nishiyama (1996a) también plantean un método basado en los elementos finitos para el análisis hidráulico de laterales de riego. En él se divide el lateral de riego en tramos sucesivos limitados por los emisores, que son los nodos (o nudos de unión). A continuación se establecen unos coeficientes tanto para los tramos elementales de tubería como para los emisores.

Los coeficientes de los tramos de tubería se denominan  $K_p$  y en su definición intervienen las pérdidas de carga continuas y localizadas, el diámetro de la conducción, su longitud y el caudal de salida del tramo. Por su parte, para los coeficientes de los emisores, denominados  $K_e$  se consideran la presión de entrada al emisor y su ecuación característica de tipo potencial. Con todo ello se plantea un sistema de ecuaciones lineales para cuya resolución también se sigue un procedimiento de aproximaciones sucesivas hasta que se encuentra la solución final.

Para poder extrapolar este método al análisis de la subunidad, tiene mucha utilidad el concepto de ecuación de descarga del lateral, que expresa la relación entre el caudal de entrada y la presión en cabeza de un lateral y cuyos coeficientes se determinan mediante el método de los mínimos cuadrados. La primera propuesta es la de Kang y Nishiyama (1996b), quienes establecen como ecuación de descarga del lateral un polinomio cuyo grado varía entre 3 y 7 dependiendo de las características del lateral, tipos de emisores y pendientes del terreno.

$$q_L = C_0 + C_1 \cdot h_L + C_2 \cdot h_L^2 + C_3 \cdot h_L^3 + \dots + C_n \cdot h_L^n \quad (1.24)$$

Siendo:

- $q_L$ : Caudal de entrada al lateral, en l/h
- $h_L$ : Presión de entrada al lateral, en m ó kPa ó MPa
- $C_0, C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ : Coeficientes del polinomio

Pero estas ecuaciones polinómicas sólo pueden aplicarse en el rango de presiones para las que han sido obtenidas, dado que la extrapolación a otras presiones puede ocasionar grandes errores.

Por eso Jain et al. (2002) proponen, como alternativa al polinomio, una ecuación de descarga del lateral de tipo potencial, consiguiendo assimilar el comportamiento hidráulico de un lateral al de un emisor.

$$q_L = a \cdot h_L^b \quad (1.25)$$

Donde:

- $q_L$ : Caudal de entrada al lateral, en l/h
- $h_L$ : Presión de entrada al lateral, en m ó kPa ó MPa
- $a$  y  $b$ : Coeficiente y exponente de la ecuación de descarga del lateral

La ecuación de descarga del lateral permite que éste sea tratado como un emisor, y la tubería terciaria como si fuese a su vez, un lateral. Así, es posible expresar la matriz de rigidez del método de los elementos finitos como una matriz simétrica tridiagonal (Kang y Nishiyama 1996b).

En resumen, el procedimiento de análisis hidráulico del método de los elementos finitos para una subunidad de riego puede establecerse, según Kang y Nishiyama (1996c) como sigue:

1. Proporcionar un grupo de presiones para ser establecidas en el extremo distal del lateral
2. Calcular muestras de datos usando el método "back step" (paso a paso aguas hacia arriba)
3. Definir las ecuaciones de descarga del lateral por mínimos cuadrados.
4. Establecer como presiones de entrada a los laterales la presión de entrada a la subunidad.
5. Obtener varios coeficientes.
6. Resolver el sistema de ecuaciones dado por la matriz de rigidez para obtener la presión de entrada a los laterales a lo largo de la terciaria. Si estas presiones son iguales que las estimadas, se ha llegado al resultado final; por el contrario, si son distintas, se utilizan como nuevas estimaciones y se repite el proceso hasta que se obtenga el resultado final.
7. Como ya se conocen las presiones de entrada, la distribución de presiones a lo largo de cada lateral puede obtenerse directamente mediante un método "forward-step" (paso a paso hacia aguas abajo).

## 1.4. CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS DE CARGA

Como se ha visto en el apartado anterior, las pérdidas de carga son un aspecto fundamental a la hora de realizar el análisis hidráulico de una subunidad, sea cual sea el método adoptado. Dichas pérdidas pueden ser de dos tipos: continuas y localizadas.

A continuación se van a revisar las diferentes expresiones y metodologías adoptadas de forma habitual para ambos tipos de pérdidas.

### 1.4.1. Pérdidas de carga continuas

Habitualmente, las pérdidas de carga por rozamiento o continuas en cualquier tipo de tubería, se calculan aplicando la ecuación de Darcy-Weisbach, que es la siguiente:

$$J = f \cdot \frac{1}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (1.26)$$

$$h_r = J \cdot L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (1.27)$$

Siendo:

- $f$ : Factor de fricción, adimensional
- $J$ : Las pérdidas de carga unitarias, en m/m
- $h_r$ : Las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, en m
- $L$ : Longitud de la conducción, en m
- $D$ : Diámetro interior de la conducción, en m
- $V$ : Velocidad del agua, en m/s
- $g$ : Aceleración de la gravedad, que puede tomarse como 9,81 m/s<sup>2</sup>

Es fundamental definir bien el factor de fricción,  $f$ , ya que se trata del parámetro más importante de la ecuación de Darcy-Weisbach. En general,  $f$  depende del número de Reynolds,  $Re$ , de la rugosidad absoluta del material de la tubería,  $K$  y del diámetro interior de la tubería,  $D$ . Estos dos últimos términos suelen agruparse en la denominada rugosidad relativa de la tubería,  $K/D$  que es un factor adimensional.

La determinación del factor de fricción puede ser abordada de dos maneras distintas:

- Considerando el tipo de flujo (laminar, crítico o turbulento) en cada conducción.
- Asumiendo que en todas las conducciones de la subunidad se da el flujo turbulento liso, es decir, las tuberías se comportan como “hidrodinámicamente lisas”.

#### 1.4.1.1. FÓRMULA SEGÚN EL TIPO DE RÉGIMEN

El régimen hidráulico en una conducción cerrada viene determinado, fundamentalmente, por el número de Reynolds,  $Re$ , cuya expresión es:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (1.28)$$

En donde:

- $V$ : Velocidad del agua, en m/s
- $D$ : Diámetro interior de la conducción, en m
- $\nu$ : Viscosidad cinemática, en  $m^2/s$

Tomando como referencia el Ábaco de Moody (Moody 1944), se pueden considerar los siguientes regímenes básicos:

- Régimen laminar:  $Re \leq 2000$
- Régimen crítico:  $2000 < Re < 4000$
- Régimen turbulento:  $Re \geq 4000$

A su vez, el flujo turbulento puede ser de tres tipos: liso, de transición o intermedio y rugoso. Su establecimiento depende de la rugosidad relativa de la tubería y del número Reynolds.

Para el flujo turbulento liso (las denominadas “tuberías lisas”) el factor de fricción  $f$  sólo depende del número de Reynolds, dado que la rugosidad relativa es muy pequeña. Sin embargo, en el flujo turbulento rugoso, sólo influye  $K/D$  en el cálculo de  $f$ . Por último, en el caso del flujo turbulento de transición,  $f$  depende tanto de  $Re$  como de  $K/D$ .

A continuación, se van a exponer las fórmulas utilizadas para calcular el factor de fricción,  $f$  en todos los casos.

##### A) Régimen laminar

Se aplica la fórmula de Hagen-Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (1.29)$$

##### B) Régimen crítico

La transición entre el régimen laminar y el régimen turbulento es un régimen inestable de difícil parametrización. No obstante, para estimar el factor de fricción se utiliza una interpolación cúbica denominada aproximación de Dunlop (1991), para la cual hay que obtener una serie de parámetros.

Las expresiones son las siguientes:

$$Y_2 = \frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}}$$

$$Y_3 = -0,86859 \cdot \log\left(\frac{K}{3,7 \cdot D}\right) + \frac{5,74}{4000^{0,9}} \quad (1.30)$$

$$F_A = \frac{1}{Y_3^2}$$

$$F_B = F_A \cdot \left(2 - \frac{0,00514215}{Y_2 \cdot Y_3}\right) \quad (1.31)$$

$$X_1 = 7 \cdot F_A - F_B$$

$$X_2 = 0,128 - 17 \cdot F_A + 2,5 \cdot F_B$$

$$X_3 = -0,128 + 13 \cdot F_A - 2 \cdot F_B \quad (1.32)$$

$$X_4 = \frac{Re}{2000} \cdot (0,032 - 3 \cdot F_A + 0,5 \cdot F_B)$$

Finalmente, el factor de fricción se calcula como:

$$f = \left( X_1 + \frac{Re}{2000} \cdot \left( X_2 + \frac{Re}{2000} \cdot (X_3 + X_4) \right) \right) \quad (1.33)$$

### C) Régimen turbulento

La fórmula general para el cálculo del factor de fricción en régimen turbulento se denomina ecuación de Colebrook-White (Colebrook 1939), y se obtuvo por la combinación implícita de las ecuaciones de Prandtl (1935) y von Karman (1934). Su expresión es la siguiente:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log\left(\frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f}}\right) \quad (1.34)$$

La expresión anterior es implícita, lo que requiere un procedimiento iterativo para la obtención del factor de fricción,  $f$ . Esto no representa ningún problema puesto que es fácil generar el código adecuado en cualquier lenguaje de programación, como el Visual Basic, pero se ralentizan los cálculos al tener que realizar numerosas iteraciones.

Como alternativa, se puede utilizar una expresión explícita que facilite los cálculos de entre las muchas propuestas desde 1939 hasta la actualidad. La mayoría de estas aproximaciones a la ecuación de Colebrook-White son muy precisas, ya que tienen un error inferior al 3% (Brkić 2011). No obstante, una de las mejores es la denominada fórmula de Jain (Swanee y Jain 1976), puesto que es de uso generalizado y además es la que utiliza el conocido y ampliamente utilizado programa de análisis de redes EPANET, como se indica en su manual de usuario (Rossman 2000).

La expresión concreta es:

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \quad (1.35)$$

#### 1.4.1.2. FÓRMULA PARA FLUJO TURBULENTO LISO

La fórmula de Colebrook-White original no era fácil de utilizar en los comienzos del riego localizado, dado que no había herramientas informáticas de cálculo. Es por ello que autores como Howell y Hiler (1974), Keller y Karmeli (1974, 1975) o Watters y Keller (1978) establecieron que las pérdidas de carga podían calcularse con la ecuación empírica de Hazen-Williams estableciendo un coeficiente  $C=150$ , que se corresponde con la rugosidad de los materiales plásticos.

No obstante, Liou (1998) desaconsejó claramente el uso de la ecuación de Hazen-Williams por varios motivos, entre los que figuraban el hecho de que los datos que usaron originalmente Williams y Hazen (1933) se correspondían con el flujo turbulento de transición, no con el flujo turbulento liso.

Otros autores, como Wu y Gitlin (1974), asumieron que los laterales se comportan como tuberías hidrodinámicamente lisas, pudiéndose aplicar la ecuación de Blasius. Esto fue corroborado posteriormente por diversos autores (Von Bernuth y Wilson 1989, Sonnad y Goudar 2007, Li et al. 2011) quienes cuestionaron la fórmula de Colebrook-White para el cálculo del factor de fricción en el caso de tuberías plásticas de pequeño diámetro. En definitiva, el comportamiento hidrodinámico de este tipo de tuberías las ubica en el límite inferior del ábaco de Moody (1944) que es asimismo, el límite inferior de aplicación de dicha fórmula.

Por todo ello, para el flujo turbulento liso, es de aplicación la fórmula de Blasius (1913), cuya expresión es:

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (1.36)$$

De hecho, experiencias realizadas mostraron que para números de Reynolds menores de 100.000, la ecuación de Blasius permite una predicción precisa del factor de fricción de la fórmula de Darcy-Weisbach (1.26 y 1.27) para tuberías de plástico de pequeño diámetro (Von Bernuth y Wilson 1989, Von Bernuth 1990).



### 1.4.2. Pérdidas de carga localizadas

Al atravesar el flujo ciertos puntos singulares dentro de una conducción, como pueden ser codos, derivaciones, válvulas, cambios de sección y cualesquiera otras piezas especiales, se producen unos fenómenos de turbulencia que originan la aparición de pérdidas energéticas distintas a las pérdidas por rozamiento. Dichas pérdidas se denominan pérdidas de carga localizadas o pérdidas de carga singulares.

En el caso de una subunidad de riego, las pérdidas localizadas más importantes se deben a las conexiones de los emisores en los laterales y de los laterales en la tubería terciaria.

Estas pérdidas localizadas, también denominadas pérdidas “menores” no pueden despreciarse, porque esto, en algunos casos, puede llevar a cometer errores de hasta el 25% en la elección de los diámetros y el 7% en la determinación de las longitudes de los laterales (Yildirim 2007). Esto es debido a que se produce una pérdida de energía significativa debida a la presencia del elemento de inserción del emisor (Al-Amoud 1995).

#### 1.4.2.1. FORMAS DE EXPRESAR LAS PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS

Las pérdidas de carga localizadas se pueden expresar directamente mediante fórmulas empíricas o calcular mediante los siguientes métodos:

- Coeficiente de resistencia,  $k_s$
- Coeficiente mayorante de pérdidas,  $k_m$
- Longitud equivalente,  $L_e$

##### A) Coeficiente de resistencia

Las pérdidas localizadas pueden expresarse en función del término cinético de la ecuación de Bernoulli, utilizando el denominado coeficiente de resistencia,  $k_s$ , de la siguiente manera:

$$h_s = k_s \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (1.37)$$

Siendo:

- $h_s$ : Las pérdidas de carga localizadas, en m
- $k_s$ : Coeficiente de resistencia de la singularidad, adimensional
- $V$ : Velocidad del fluido, en m/s

**B) Coefficiente mayorante de pérdidas**

Se trata del método más sencillo de estimación de las pérdidas de cargas localizadas, ya que consiste en incrementar las pérdidas de carga continuas en una fracción para considerar aquéllas. La expresión de cálculo es la siguiente:

$$h_t = h_r + h_s = k_m \cdot h_r \quad (1.38)$$

Siendo:

- $h_t$ : Las pérdidas de carga totales, en m
- $k_m$ : Coeficiente mayorante de las pérdidas de carga continuas, adimensional

**C) Longitud equivalente**

Se define longitud equivalente de un elemento singular como la longitud que debería tener un tramo recto de tubería para que la pérdida de carga continua de dicho tramo fuese la misma que la pérdida localizada originada en el elemento singular. Es decir:

$$h_s = J \cdot L_e \quad (1.39)$$

Donde:

- $L_e$ : La longitud equivalente del elemento singular o la pieza especial, en m

Así pues, la pérdida de carga total será:

$$h_t = h_r + h_s = J \cdot L + \sum_{i=1}^n J \cdot L_{e_i} = J \cdot \left( L + \sum_{i=1}^n L_{e_i} \right) \quad (1.40)$$

Siendo:

- $L$ : Longitud del tramo de conducción considerado, en m
- $L_{e_i}$ : Longitud equivalente de los elementos singulares las piezas especiales
- $n$ : Número de elementos singulares o piezas especiales presentes en el tramo

**1.4.2.2. PÉRDIDAS LOCALIZADAS POR INSERCIÓN DE LOS EMISORES EN EL LATERAL**

Diversos investigadores han desarrollado diferentes ensayos de laboratorio y establecido metodologías y expresiones para estimar las pérdidas de carga localizadas debidas a la inserción de los emisores en los laterales. En general todas las propuestas se basan en la consideración de la obstrucción al flujo del agua en la tubería lateral que representa el propio emisor si se ha coextrusionado en el proceso de fabricación de la tubería o su elemento de inserción si el emisor es de tipo “pinchado”.

Una de las primeras propuestas fue la de Watters y Keller (1978), quienes establecieron unos gráficos para estimar la longitud equivalente de emisores sobre línea (pinchados) en función del

diámetro de la tubería y del tamaño de la conexión. También Howell y Barinas (1980) establecieron unas expresiones potenciales para la obtención de la longitud equivalente de diversos emisores, a partir del área interceptada y la profundidad de la conexión de los emisores.

Más tarde, Bagarello et al. (1997) proponen una expresión para el coeficiente de resistencia en función del denominado “índice de obstrucción”, que es la relación entre la sección transversal de la inserción del emisor y la sección transversal de la tubería.

En la misma línea, Provenzano y Pumo (2004) y Provenzano et al. (2005) proponen una expresión que considera la relación de diámetros interiores del emisor y de la tubería para obtener el valor del coeficiente resistencia.

Por su parte, Juana et al. (2002) establecieron y validaron experimentalmente una metodología para calcular los coeficientes de resistencia y las longitudes equivalentes de diferentes tipos de emisores. Ambos parámetros fueron analizados como una función del radio de la obstrucción de la inserción del emisor y de un coeficiente de contracción del flujo.

Por último, basándose en las expresiones formuladas por Arviza y Montalvo (1992), Palau et al. (2006) establecieron la siguiente expresión general para calcular las pérdidas de carga localizadas por inserción de emisores en laterales:

$$h_s = 7,63781 \cdot 10^{-6} \cdot n^{2,49535} \cdot q_{emi}^{2,55437} \cdot \left( \frac{S_{emi}}{S_L} \right)^{2,8445} \quad (1.41)$$

Donde:

- $h_s$ : Pérdidas de carga localizadas de la totalidad de los emisores, en m
- $n$ : Número de emisores en el lateral
- $q_{emi}$ : Caudal medio del emisor, en l/h
- $S_L$ : Área de la sección transversal del lateral, en mm<sup>2</sup>
- $S_{emi}$ : Área transversal interceptada por la conexión del emisor, en mm<sup>2</sup>

#### 1.4.2.3. PÉRDIDAS LOCALIZADAS POR CONEXIÓN DE LOS LATERALES EN LA TERCIARIA

A diferencia de las anteriores, las pérdidas de carga producidas por la inserción de los laterales en la tubería terciaria no han sido muy tratadas en la literatura científica. Esto ha podido deberse a que tradicionalmente se las ha considerado de poca entidad, incluso despreciables frente a las pérdidas ocasionadas por la inserción de emisores.

De los pocos planteamientos destacan el de Royuela (1998) y Royuela et al. (1999) quienes, a partir de un análisis dimensional, definieron las variables geométricas e hidráulicas de las que

dependen estas pérdidas. En laboratorio se procedió a medir las pérdidas de carga que se producían y las variables anteriormente citadas, con tuberías de polietileno de diferentes diámetros nominales y con diferentes caudales circulantes por las tuberías terciaria y lateral. El conjunto de datos se analizó con modelos de regresión obteniendo varias expresiones que permiten determinar el valor de esta pérdida de carga. Una de ellas es:

$$h_s = 5,4213 \cdot 10^{-6} \cdot Re_T^{1,757} \left( \frac{q_L}{Q_T} \right)^{0,0625} \left( \frac{S_{lat}}{S_T} \right)^{1,696} \quad (1.42)$$

Siendo:

- $h_s$ : Pérdidas de carga localizadas de la inserción, en m
- $Re_T$ : Número de Reynolds en el tramo de la terciaria aguas arriba de la conexión
- $q_L$ : Caudal derivado por el lateral, en l/h
- $Q_T$ : Caudal en el tramo de la terciaria aguas arriba de la conexión, en l/h
- $S_{lat}$ : Área de la sección transversal interceptada por la conexión del lateral, en mm<sup>2</sup>
- $S_T$ : Área de la sección transversal de la tubería terciaria, en mm<sup>2</sup>

Posteriormente, conscientes de que la conexión de los laterales en la tubería terciaria influía tanto en el flujo hidráulico aguas abajo de la propia terciaria como en el tramo inicial de los laterales, Royuela et al. (2012) establecieron una nueva expresión en la cual intervenían, aparte de los parámetros anteriormente citados, las características del flujo derivado por los laterales como elementos de trascendental importancia para calcular este tipo de pérdidas de carga localizadas.

## 1.5. DETERMINACIÓN DE LA UNIFORMIDAD DE RIEGO

### 1.5.1. Definición y factores que la afectan

En todos los sistemas de riego la aplicación del agua a las plantas no es homogénea, ya que hay plantas que reciben más cantidad de agua que otras. Por ello, es importante establecer algún parámetro que defina cómo es la distribución del agua de todas las plantas regadas por una subunidad. Dicho parámetro es el coeficiente de uniformidad de distribución, *CU*.

En un riego ideal, el *CU* sería de 1, pero a medida que se acentúan las diferencias entre las cantidades de agua aplicadas a las diferentes plantas, el coeficiente se aleja de dicho valor ideal óptimo. La existencia de un *CU* menor de 1 implica que habrá pérdidas de agua, dado que para poder garantizar que las plantas menos regadas reciban la cantidad de agua adecuada, es necesario aumentar la dosis de manera que el resto de las plantas recibirán más agua de la necesaria y que no podrá ser aprovechada.

Hay muchos coeficientes de uniformidad que se usan para describir la uniformidad de los sistemas de riego (Ascough y Kiker 2002), pero en general se puede decir que la uniformidad de riego depende de los siguientes factores (Solomon 1985):

- Diferencias de presión debidas a las diferencias de cota o a las pérdidas de carga en toda la red de tuberías.
- Variaciones temporales y espaciales de la temperatura del agua.
- Respuesta del emisor a la temperatura del agua y a la presión.
- Coeficiente de variación de fabricación de los emisores y de los reguladores de presión.
- Número de emisores por planta.
- Grado y extensión de la obturación de los emisores.

No todos los anteriores factores afectan de igual modo al *CU*, así, según Solomon (1985), la ordenación, de mayor a menor importancia sería la siguiente:

- Obturaciones.
- Número de emisores por planta.
- Coeficiente de variación de fabricación del emisor, *CV*.
- Exponente de descarga del emisor.
- Respuesta del emisor a la temperatura del agua.
- Diferencias de presión en la subunidad.
- Coeficiente de variación de fabricación de los reguladores de presión.
- Relación entre las pérdidas de carga que se produce en la tubería terciaria y en el lateral.
- Número de diámetros de la tubería terciaria (si es telescópica).

No obstante, la ordenación anterior no es absoluta, ya que depende de la magnitud de los diferentes factores citados.

### **1.5.2. Causas de falta de uniformidad**

La consideración de todos los factores que afectan a la uniformidad puede complicar la formulación de expresiones para el cálculo del coeficiente de uniformidad, *CU*. Con el riesgo de ser excesivamente simplistas, se pueden establecer las siguientes causas de falta de uniformidad:

- Presencia de obturaciones
- Diferencias de temperatura
- Diferencias de presión

- Fabricación
- Número de emisores por planta

#### 1.5.2.1. PRESENCIA DE OBTURACIONES

La presencia de obturaciones como causa de falta de uniformidad de las subunidades de riego localizado puede considerarse de la forma que propuso Bralts et al. (1987), que establecía un coeficiente de variación específico de la obturación de emisores. De todas maneras, lo deseable es que los emisores no estén obturados, lo que se puede alcanzar con un buen diseño de los elementos de filtración, con un manejo adecuado y con la realización de las labores de mantenimiento necesarias.

#### 1.5.2.2. DIFERENCIAS DE TEMPERATURA

En lo que respecta a la temperatura, hay que comentar que su efecto es múltiple: afecta a la descarga de los emisores, a las pérdidas de carga en las conducciones y a la geometría de los conductos.

##### *A) Efecto de la temperatura sobre el caudal de los emisores*

La temperatura del agua puede afectar al caudal de los emisores debido a los cambios de viscosidad del agua, el tamaño de las secciones de paso o las propiedades de los materiales constitutivos (Solomon 1985). De hecho, los trabajos de Parchomchuk (1976), Solomon (1977) y Zur y Tal (1981) indican que el efecto de la temperatura sobre el caudal de los emisores es sensiblemente lineal.

Otros estudios como los de Rodríguez-Sinobas et al. (1999) ponen de manifiesto que las variaciones en el caudal arrojado por los emisores no autocompensantes ensayados a diferentes temperaturas dependen del tipo de emisor, ya que algunos se comportaban incrementando el caudal con la temperatura y otros, disminuyéndolo. En el caso de los emisores autocompensantes, no se apreciaron cambios significativos en el caudal arrojado al variar la temperatura.

Más recientemente, Dogan y Kirnak (2009) establecieron que el caudal de los emisores podría verse alterado debido al incremento de temperatura por exposición directa al sol, aunque esto no afectaría sustancialmente a la uniformidad de riego.

##### *B) Efecto de la temperatura sobre las pérdidas de carga*

La influencia de la temperatura del agua puede expresarse adecuadamente mediante el número de Reynolds (Bagarello et al. 1995). Esto es debido a que las pérdidas de carga se calculan mediante el factor de fricción  $f$  que en general depende del número de Reynolds, según (1.29), (1.33), (1.34), (1.35) y (1.36). A su vez, el número de Reynolds depende de la viscosidad cinemática (1.28).

Por su parte, dicha viscosidad cinemática, es función de la temperatura  $T$  (en °C), pudiéndose estimar su valor por la siguiente expresión empírica obtenida mediante regresión no lineal a partir de los datos de Korson et al. (1969) para temperaturas de entre 0 y 70 °C:

$$\nu = \frac{1,79313 \cdot 10^{-6}}{1 + 0,03535050 \cdot T + 0,000203315 \cdot T^2} \quad (1.43)$$

Por lo tanto, bastaría con introducir la anterior expresión en el cálculo del número de Reynolds para contemplar la influencia de la temperatura en las pérdidas de carga.

En cuanto al efecto sobre la uniformidad, sólo se pondría de manifiesto si hubiese diferencias de temperatura entre diferentes puntos de la subunidad.

#### 1.5.2.3. DIFERENCIAS DE PRESIÓN: CAUSAS HIDRÁULICAS

Las diferencias de cota, las diferencias de alturas de velocidad y las pérdidas de carga continuas y localizadas hacen que la presión sea en principio distinta para todos los emisores de la subunidad. Esto implica que aunque fuesen todos exactamente iguales, el caudal arrojado por ellos diferiría, lo que generaría una falta de uniformidad de riego tanto más acusada como grandes fuesen las diferencias de presión.

Este efecto se considera mediante el coeficiente de uniformidad por causas hidráulicas, que a partir de ahora se denotará como  $CU_h$ .

#### 1.5.2.4. DIFERENCIAS DE CAUDAL: CAUSAS DE FABRICACIÓN

Un emisor de riego localizado se diseña para descargar agua con un caudal muy bajo. Por tanto, las dimensiones internas del elemento tienden a ser muy reducidas lo que dificulta el proceso de fabricación. Las variaciones existentes, aun siendo muy pequeñas en términos absolutos, representan realmente un porcentaje de variación muy alto en términos relativos. Además, algunos emisores utilizan un material elastomérico para conseguir la compensación de presión.

A pesar de que se sea cuidadoso en su fabricación, los elementos plásticos pueden también estar sujetos a considerable variación: hay un gran número de variables de control en un proceso de inyección de plástico, tales como la presión, temperatura y velocidad de inyección, temperatura del molde o los ciclos de funcionamiento del mismo.

Por todos estos motivos, dos emisores cualesquiera del mismo lote, ensayados a la misma temperatura y presión, arrojan caudales distintos. La magnitud de esta diferencia se supone que

variará con el modelo de emisor, su diseño, los materiales de fabricación y el cuidado con el que es fabricado (Solomon 1979).

La variabilidad de los caudales se puede determinar mediante el coeficiente de variación de fabricación del emisor  $CV_{emisor}$  establecido por primera vez por Karmeli y Keller (1975) en la ecuación (1.2) y su efecto en la uniformidad de riego se traduce en el establecimiento del coeficiente de uniformidad por causas de fabricación,  $CU_f$ , que es función de aquél.

#### 1.5.2.5. NÚMERO DE EMISORES POR PLANTA

Cuando se instala más de un emisor por planta, sucede que las variaciones de un emisor se compensan con las de los otros, por lo que la variación del caudal total por planta es menor que la que cabría esperar considerando sólo los emisores individuales (Solomon 1979). En definitiva, es previsible que la uniformidad de distribución sea mejor si se toma como referencia la planta en lugar del emisor.

Por ello, es necesario considerar el número de emisores por planta en la definición del coeficiente de uniformidad, como hacen Keller y Karmeli (1974), aunque en esencia se trata de definir un coeficiente de variación de fabricación referido a planta, cuya expresión sería:

$$CV_{f-planta} = \frac{CV_{f-emisor}}{\sqrt{e}} \quad (1.44)$$

Siendo:

- $e$ : Número de emisores por planta

En definitiva, el número de emisores por planta puede integrarse en las denominadas “causas de fabricación”.



## **2. OBJETIVOS**



## 2. OBJETIVOS

El objetivo de la presente tesis doctoral es establecer el modelo de comportamiento hidráulico de las subunidades de riego localizado considerando el mayor número de variables que intervienen, de manera que se pueda utilizar tanto para el diseño como para el análisis de subunidades reales. De esta forma se podrá determinar si la subunidad considerada cumple los requisitos exigibles en cuanto a: diferencias de presión, diferencias de caudal y coeficientes de uniformidad de distribución.

Para la construcción de dicho modelo, hay que empezar determinando cuál es la respuesta de los emisores frente a la presión. En primer lugar desde un punto de vista teórico, estableciendo la predicción de los caudales arrojados utilizando el concepto de curva de ajuste o curva característica del emisor. En segundo lugar, realizando ensayos de laboratorio sobre muestras de emisores reales de diferentes tipos y procedencias aplicando parcialmente la Norma UNE-EN-ISO 9261 (AENOR 2010). Los resultados de dichos ensayos permiten contrastar y verificar las hipótesis planteadas en el desarrollo teórico.

A continuación, y para dotar del mayor realismo posible al modelo, hay que introducir el efecto de la aleatoriedad de los emisores, lo que consigue generando a partir de las muestras ensayadas, unas poblaciones virtuales de emisores fabricados de las que se extraen otras muestras aleatorias que se siembran de manera también aleatoria en una subunidad dada. De esta manera se consigue simular una instalación real en la que no se tiene ningún control sobre la ubicación de los diferentes emisores que la componen.

Por último hay que analizar hidráulicamente la subunidad, para lo que se emplea un algoritmo propio de aproximaciones sucesivas del tipo “avance en el sentido aguas abajo” (denominado en inglés “*forward step*”). El citado algoritmo da como resultado final las presiones en todos los puntos, los caudales emitidos por los emisores y los caudales circulantes por todos los tramos de las conducciones que constituyen la subunidad. Ni que decir tiene que el análisis se basa en los principios básicos de la mecánica de fluidos.

Como se puede entender, para utilizar un modelo de tal magnitud, ha sido necesario elaborar una herramienta de análisis virtual mediante un programa informático en entorno Windows que permite establecer simulaciones sin considerar, a priori, ninguna hipótesis simplificadora de las utilizadas habitualmente en el diseño de subunidades. Para ello se ha utilizado el lenguaje de programación basado en objetos Visual Basic 6.0® de Microsoft® tanto por su facilidad de uso como por su disponibilidad al tener la Universitat Politècnica de València licencia corporativa oficial.

El resultado es la aplicación denominada "ANASUB", que permite analizar subunidades reales a partir de las características geométricas e hidráulicas que las definen en lo que respecta a: separación entre emisores y entre laterales, desniveles o pendientes de los laterales y la terciaria, número de emisores por cada lateral, número de laterales, ubicación del punto de alimentación de la tubería terciaria, materiales y diámetros de las tuberías, emisor elegido, etc.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

**ÍNDICE**

Pag.

<b>3.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>37</b>
<b>3.2. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL EMISOR: PREDICCIÓN DEL CAUDAL ARROJADO .....</b>	<b>37</b>
3.2.1. Emisor individual .....	39
3.2.2. Conjunto de emisores.....	45
<b>3.3. VARIABILIDAD DE LOS CAUDALES PREDICHOS .....</b>	<b>52</b>
3.3.1. Propiedades de la varianza y la covarianza .....	53
3.3.2. Ajuste potencial .....	54
3.3.3. Ajuste parabólico.....	58
<b>3.4. ENSAYO DE LOS EMISORES EN EL LABORATORIO .....</b>	<b>59</b>
3.4.1. Descripción del banco de ensayo de emisores.....	60
3.4.2. Descripción de los ensayos .....	62
3.4.3. Emisores ensayados.....	65
<b>3.5. CREACIÓN DE LA POBLACIÓN Y DE LA MUESTRA DE EMISORES.....</b>	<b>66</b>
3.5.1. Comprobación de la normalidad de los datos .....	67
3.5.2. Creación de la población de emisores .....	68
3.5.3. Distribución de los emisores en la subunidad: Siembra aleatoria.....	70
<b>3.6. DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE ENTRADA A LOS EMISORES .....</b>	<b>71</b>
3.6.1. Pérdidas de carga continuas.....	72
3.6.2. Pérdidas de carga localizadas .....	73
<b>3.7. UNIFORMIDAD DE RIEGO.....</b>	<b>79</b>
3.7.1. Coeficientes de uniformidad de riego considerados a efectos de análisis.....	81
3.7.2. Coeficientes de uniformidad de riego a efectos de diseño .....	84
<b>3.8. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO PARA LA APLICACIÓN INFORMÁTICA. ....</b>	<b>91</b>
<b>3.9. ANÁLISIS DE SUBUNIDADES TIPO .....</b>	<b>91</b>
3.9.1. Criterios de diseño adoptados.....	92
3.9.2. Elección del tipo de tubería .....	93
3.9.3. Elección del tipo de emisor.....	94
3.9.4. Geometría de la subunidad .....	94
3.9.5. Subunidades definidas.....	96
3.9.6. Criterios y condiciones del análisis .....	96

## 3. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. INTRODUCCIÓN

Este apartado tiene como objetivo desarrollar y construir el modelo teórico de comportamiento de una subunidad de riego que permita analizar su funcionamiento hidráulico, introduciéndolo en el código de programación de la aplicación informática **ANASUB** que posteriormente se aplicará para la simulación de diferentes subunidades tipo.

Este modelo se apoya tanto en las diversas aportaciones de diferentes autores como en los desarrollos propios del autor de esta Tesis doctoral en relación con el funcionamiento de las subunidades de riego localizado. Los temas tratados son, entre otros: pérdidas de carga, uniformidad de distribución de agua, diseño y análisis de subunidades, respuesta de los emisores y algoritmos de cálculo hidráulico.

Para establecer el modelo, se han estudiado los siguientes aspectos:

- Predicción del caudal arrojado por los emisores y su variabilidad
- Ensayos de emisores comerciales en laboratorio
- Aleatorización de la distribución de los emisores de la subunidad
- Procedimiento de análisis de las subunidades

Por último cabe comentar que a diferencia de lo que suele hacer en otros trabajos de investigación, en esta Tesis se ha introducido primero el desarrollo teórico y posteriormente se han realizado los ensayos en el laboratorio. Esto se debe a que en este caso no se trata de que el modelo tenga que explicar los resultados de los ensayos, sino que son estos los que verifican aquél.

### 3.2. COMPORTAMIENTO HIDRÁULICO DEL EMISOR: PREDICCIÓN DEL CAUDAL ARROJADO

El programa informático **ANASUB** requiere conocer la respuesta hidráulica de los emisores utilizados en las simulaciones que realiza. Dicha respuesta depende de una serie de variables que se pueden englobar en las denominadas “ecuaciones de ajuste caudal – presión”.

Estas ecuaciones de ajuste serán distintas para cada emisor individual considerado aunque también puede obtenerse la ecuación de ajuste media para un conjunto de emisores y permiten, en definitiva, establecer una predicción más o menos fiable del caudal arrojado por los emisores.

En general, el caudal emitido dependerá de la presión siguiendo una pauta que, para el caso de los emisores no autocompensantes se corresponde con una ecuación de tipo potencial, pero para el caso de los emisores autocompensantes, es mucho más difícil de establecer dadas las diversas características geométricas, hidráulicas y de fabricación de los mismos.

De hecho, los emisores no autocompensantes disipan la presión mediante laberintos de largo recorrido o a través de toberas u orificios (Keller y Karmeli 1974), mientras que los emisores autocompensantes disponen de un elemento elastomérico móvil cuya geometría y configuración es muy variable (Solomon 1979) y considerablemente distintas que las de los emisores no autocompensantes. A pesar de esta diferencia tan significativa entre los diferentes tipos, la norma UNE-EN-ISO 9261 establece una ecuación de ajuste potencial para cualquier emisor.

No obstante, para generalizar se pueden establecer dos tipos de ecuación para predecir el caudal emitido por cierto emisor  $i$  a diferentes presiones  $h$ :

- Ecuación potencial:

$$q_i = K_i \cdot h^{x_i} \quad (3.1)$$

- Ecuación parabólica (polinomio de segundo grado):

$$q_i = A_i + B_i \cdot h + C_i \cdot h^2 \quad (3.2)$$

Como es de suponer los caudales obtenidos no coincidirán exactamente con los predichos por la ecuación por la concurrencia simultánea de los siguientes motivos:

- El tipo de ecuación elegido no es el adecuado y no se corresponde exactamente con el comportamiento real del emisor.
- Errores de medida y otros factores no controlados provocan desviaciones de carácter aleatorio.

Por todo ello, se puede definir una variable  $d_i$  que exprese la diferencia entre el valor observado  $q_{i-real}$  y el valor predicho  $q_{i-predicho}$ .

$$d_i = q_{i-real} - q_{i-predicho} \quad (3.3)$$

Esta diferencia será distinta para cada nivel de presión  $h_j$  y cuanto menor sea, más ajustada estará la ecuación de descarga.

La manera de obtener las ecuaciones de descarga se basa en el método denominado "ajuste por mínimos cuadrados", que en realidad, consiste en hacer mínima la suma de los cuadrados de las diferencias  $d_i$ .



De hecho, la Norma UNE-EN-ISO 9261 contempla este método pero para obtener la ecuación de descarga media, aplicable al conjunto de los emisores ensayados. Sin embargo, una forma más apropiada de abordarlo porque aporta más información es la obtención de las ecuaciones de descarga para cada emisor individual, lo que permite particularizar el modelo de comportamiento hidráulico y dotar de más realismo al análisis de la subunidad.

A continuación, se estudian ambos ajustes, para cada emisor individual y para un conjunto determinado de emisores, coincidente con la muestra ensayada.

### 3.2.1. Emisor individual

Tomando los resultados del ensayo para un emisor cualquiera  $i$  sometido a  $p$  presiones diferentes  $h_j$  se obtienen  $p$  parejas de valores  $(q_{ij}, h_j)$  que representados en una gráfica quedan así:

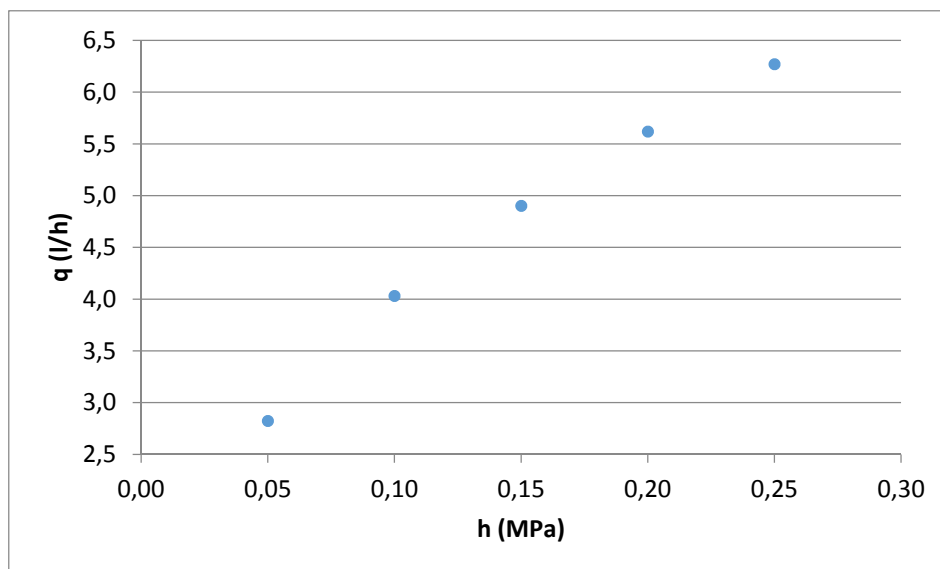


Figura 1: Representación gráfica del caudal frente a la presión de un emisor individual (Noauto-3)

Como se puede apreciar en la figura, los puntos se distribuyen siguiendo cierta tendencia que se puede definir mediante la correspondiente ecuación de ajuste.

#### 3.2.1.1. AJUSTE POTENCIAL

Asumiendo que el comportamiento hidráulico de un emisor  $i$  responde a una ecuación de tipo potencial, su caudal predicho para una presión  $h_j$ , puede calcularse según la expresión:

$$q_{ij} = K_i \cdot h_j^{x_i} \quad (3.4)$$

El coeficiente  $K_i$  y el exponente  $x_i$  se obtendrán realizando un ajuste adecuado, como a continuación se explica.

En primer lugar, es conveniente transformar la ecuación potencial original en la ecuación de una recta, que es más fácil de ajustar, tomando logaritmos naturales.

$$\ln q_{ij-\text{predicho}} = \ln(K_i \cdot h_j^{x_i}) = \ln K_i + \ln h_j^{x_i} = \ln K_i + x_i \cdot \ln h_j \quad (3.5)$$

Esto implica transformar también los datos obtenidos del ensayo experimental representando los valores de  $\ln q_{ij}$  y  $\ln h_j$  para los  $p$  niveles de presión considerados.

En este caso, la diferencia entre los logaritmos naturales de los valores observado,  $q_{ij}$  y predicho  $q_{ij-\text{predicho}}$  para un emisor  $i$  a una presión  $h_j$  es la siguiente:

$$d \ln_{ij} = \ln q_{ij} - \ln q_{ij-\text{predicho}} = \ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j \quad (3.6)$$

Se puede demostrar que el mejor ajuste es aquel que hace mínima la suma de los cuadrados de las diferencias (ajuste por mínimos cuadrados), que en este caso es:

$$D_i^2 = \sum_{j=1}^p d \ln_{ij}^2 = \sum_{j=1}^p (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j)^2 \quad (3.7)$$

La condición de mínimo se obtiene derivando la anterior expresión con respecto a las dos variables de las que depende e igualando a cero para obtener los valores de dichas variables, teniendo en cuenta que la derivada de un sumatorio es igual que el sumatorio de las derivadas.

$$\frac{\partial D_i^2}{\partial \ln K_i} = \frac{\partial \left( \sum_{j=1}^p (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j)^2 \right)}{\partial \ln K_i} = \sum_{j=1}^p \frac{\partial (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j)^2}{\partial \ln K_i} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j) = 0$$

$$\frac{\partial D_i^2}{\partial x_i} = \frac{\partial \left( \sum_{j=1}^p (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j)^2 \right)}{\partial x_i} = \sum_{j=1}^p \frac{\partial (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j)^2}{\partial x_i} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j) = 0$$

De la primera de las derivadas parciales se obtiene:

$$\sum_{j=1}^p (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j) = \sum_{j=1}^p \ln q_{ij} - \sum_{j=1}^p \ln K_i - \sum_{j=1}^p x_i \cdot \ln h_j = p \cdot \overline{\ln q_i} - p \cdot \ln K_i - p \cdot x_i \cdot \overline{\ln h} = 0$$

Despejando de la anterior expresión se deduce que:

$$\ln K_i = \overline{\ln q_i} - x_i \cdot \overline{\ln h} \Rightarrow K_i = e^{\overline{\ln q_i} - x_i \cdot \overline{\ln h}} \quad (3.8)$$

Y de la segunda de las derivadas parciales:

$$\begin{aligned}
\sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot (\ln q_{ij} - \ln K_i - x_i \cdot \ln h_j) &= \sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot (\ln q_{ij} - \overline{\ln q_i} + x_i \cdot \overline{\ln h} - x_i \cdot \ln h_j) = \\
&= \sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - \sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \overline{\ln q_i} + x_i \cdot \left( \sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \overline{\ln h} - \sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2 \right) = \\
&= \sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - \overline{\ln q_i} \cdot \sum_{j=1}^p \ln h_j + x_i \cdot \left( \overline{\ln h} \cdot \sum_{j=1}^p \ln h_j - \sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2 \right) = \\
&= \sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - p \cdot \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h} + x_i \cdot \left( p \cdot \overline{\ln h}^2 - \sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2 \right) = 0 \\
\sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - p \cdot \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h} &= x_i \cdot \left( \sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2 - p \cdot \overline{\ln h}^2 \right) \\
\frac{\sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \ln q_{ij}}{p} - \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h} &= x_i \cdot \left( \frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p} - \overline{\ln h}^2 \right)
\end{aligned}$$

Por otra parte, se puede demostrar que:

- El término:  $\frac{\sum_{j=1}^p \ln h_j \cdot \ln q_{ij}}{p} - \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h}$  es la covarianza entre  $\ln h_j$  y  $\ln q_{ij}$  ( $\sigma_{\ln h, \ln q_i}$ )
- El término:  $\frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p} - \overline{\ln h}^2$  es la varianza de  $\ln h_j$  ( $\sigma_{\ln h}^2$ )

Por tanto:

$$\sigma_{\ln h, \ln q_i} = x_i \cdot \sigma_{\ln h}^2 \quad (3.9)$$

Es decir, despejando el valor de  $x_i$  que hace mínimo la suma de los cuadrados de las diferencias, se demuestra que es el cociente entre la covarianza de  $\ln q_{ij}$  y  $\ln h_j$  y la varianza de  $\ln h_j$ :

$$x_i = \frac{\sigma_{\ln h, \ln q_i}}{\sigma_{\ln h}^2} \quad (3.10)$$

Una vez hallados los valores de  $K_i$  y  $x_i$  cabe calcular cuál es la bondad del ajuste, es decir, hasta qué punto la ecuación explica los datos obtenidos. Esto se hace mediante la obtención del coeficiente de correlación al cuadrado,  $R_i^2$ , cuyo valor resulta del cociente entre la covarianza y la raíz cuadrada del producto de las varianzas de las dos variables  $\ln h_j$  y  $\ln q_{ij}$ . Cuanto más se acerque este número a 1, mejor explicará el modelo.

$$R_i^2 = \frac{\sigma_{\ln h, \ln q_i}}{\sqrt{\sigma_{\ln h}^2 \cdot \sigma_{\ln q_i}^2}} \quad (3.11)$$

El resultado del ajuste puede representarse gráficamente en la Figura 2 y la Figura 3, que se han elaborado a partir de la Figura 1 incluyendo las representaciones de las ecuaciones ajustadas.

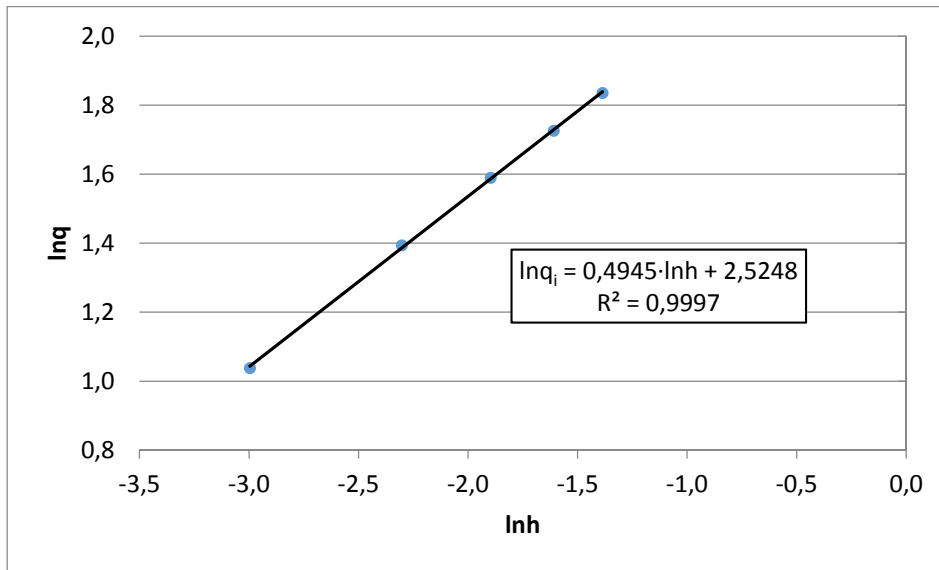


Figura 2: Ajuste potencial para un emisor individual (Noauto-3) mediante transformación logarítmica

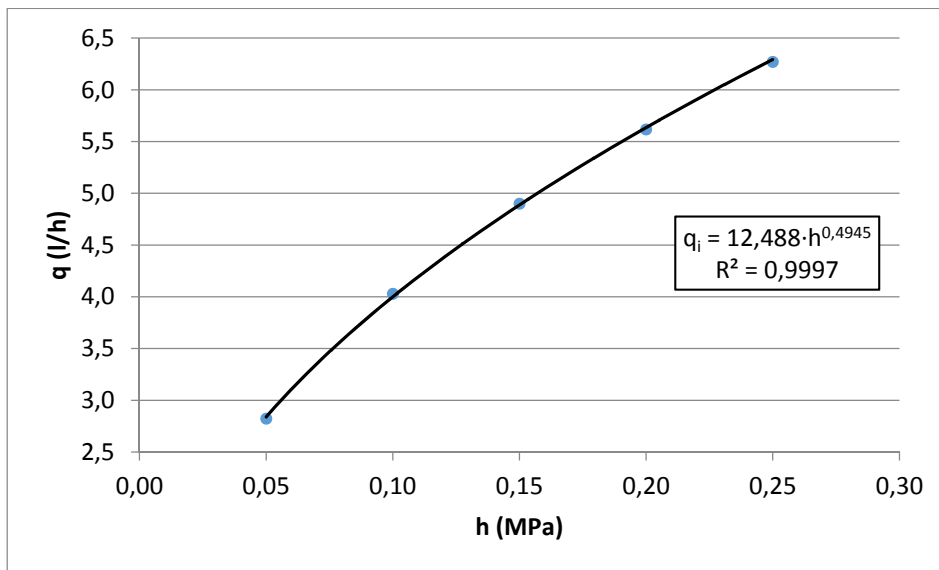


Figura 3: Ejemplo de ajuste potencial para un emisor individual (Noauto-3)

### 3.2.1.2. AJUSTE PARABÓLICO

El caudal  $q_{ij}$  arrojado por un emisor individual  $i$  sometido a una presión  $h_j$  también puede predecirse mediante la siguiente ecuación:

$$q_{ij-predicho} = A_i + B_i \cdot h_j + C_i \cdot h_j^2 \tag{3.12}$$

Pero el caudal medido en un ensayo diferirá del caudal predicho, pudiéndose establecer la diferencia entre ambos  $d_{ij}$  de la siguiente manera:

$$d_{ij} = q_{ij-real} - q_{ij-predicho} = q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2 \quad (3.13)$$

Como se indicó anteriormente, el método de ajuste de los mínimos cuadrados consiste en obtener los valores de los coeficientes  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$  que hagan mínima la suma de los cuadrados de las diferencias entre el caudal real y el predicho. Todo ello para un emisor individual  $i$  sometido a  $p$  niveles distintos de presión.

Es decir:

$$D_i^2 = \sum_{j=1}^p d_{ij}^2 = \sum_{j=1}^p (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2)^2 \quad (3.14)$$

La condición de mínimo implica derivar la función con respecto a las variables de las que depende e igualar a cero, para obtener el valor de dichas variables. Se aplica la condición de que la derivada de un sumatorio es igual que el sumatorio de las derivadas.

Con respecto a  $A_i$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial D_i^2}{\partial A_i} &= \frac{\partial \sum_{j=1}^p (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2)^2}{\partial A_i} = \sum_{j=1}^p \frac{\partial (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2)^2}{\partial A_i} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2) = 0 \\ &\Downarrow \\ \sum_{j=1}^p (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2) &= \sum_{j=1}^p q_{ij} - \sum_{j=1}^p A_i - \sum_{j=1}^p B_i \cdot h_j - \sum_{j=1}^p C_i \cdot h_j^2 = \sum_{j=1}^p q_{ij} - p \cdot A_i - p \cdot B_i \cdot \bar{h} - p \cdot C_i \cdot \bar{h}^2 = 0 \\ &\Downarrow \\ A_i + B_i \cdot \bar{h} + C_i \cdot \bar{h}^2 &= \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij}}{p} \end{aligned}$$

Con respecto a  $B_i$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial D_i^2}{\partial B_i} &= \frac{\partial \sum_{j=1}^p (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2)^2}{\partial B_i} = \sum_{j=1}^p \frac{\partial (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2)^2}{\partial B_i} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p h_j \cdot (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2) = 0 \\ &\Downarrow \\ \sum_{j=1}^p h_j \cdot (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2) &= \sum_{j=1}^p h_j \cdot q_{ij} - \sum_{j=1}^p h_j \cdot A_i - \sum_{j=1}^p B_i \cdot h_j^2 - \sum_{j=1}^p C_i \cdot h_j^3 = \sum_{j=1}^p h_j \cdot q_{ij} - p \cdot A_i \cdot \bar{h} - p \cdot B_i \cdot \bar{h}^2 - p \cdot C_i \cdot \bar{h}^3 = 0 \\ &\Downarrow \\ A_i \cdot \bar{h} + B_i \cdot \bar{h}^2 + C_i \cdot \bar{h}^3 &= \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij} \cdot h_j}{p} \end{aligned}$$

Con respecto a  $C_i$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial D_i^2}{\partial C_i} &= \frac{\partial \sum_{j=1}^p (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2)^2}{\partial C_i} = \sum_{j=1}^p \frac{\partial (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2)^2}{\partial C_i} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p h_j^2 \cdot (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2) = 0 \\ &\Downarrow \\ \sum_{j=1}^p h_j^2 \cdot (q_{ij} - A_i - B_i \cdot h_j - C_i \cdot h_j^2) &= \sum_{j=1}^p h_j^2 \cdot q_{ij} - \sum_{j=1}^p h_j^2 \cdot A_i - \sum_{j=1}^p B_i \cdot h_j^3 - \sum_{j=1}^p C_i \cdot h_j^4 = \sum_{j=1}^p h_j^2 \cdot q_{ij} - p \cdot A_i \cdot \bar{h}^2 - p \cdot B_i \cdot \bar{h}^3 - p \cdot C_i \cdot \bar{h}^4 = 0 \\ &\Downarrow \\ A_i \cdot \bar{h}^2 + B_i \cdot \bar{h}^3 + C_i \cdot \bar{h}^4 &= \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij} \cdot h_j^2}{p} \end{aligned}$$

Por lo tanto, resulta un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$\begin{aligned} A_i + B_i \cdot \bar{h} + C_i \cdot \bar{h}^2 &= \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij}}{p} \\ A_i \cdot \bar{h} + B_i \cdot \bar{h}^2 + C_i \cdot \bar{h}^3 &= \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij} \cdot h_j}{p} \\ A_i \cdot \bar{h}^2 + B_i \cdot \bar{h}^3 + C_i \cdot \bar{h}^4 &= \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij} \cdot h_j^2}{p} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Por otro lado, el caudal promedio de  $q_{ij}$  vale:

$$\bar{q}_i = \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij}}{p} \quad (3.16)$$

La covarianza de  $q_{ij}$  y de  $h_j$  es, por definición:

$$\sigma_{q_i, h} = \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij} \cdot h_j}{p} - \bar{q}_i \cdot \bar{h} \quad (3.17)$$

Y la covarianza de  $q_{ij}$  y de  $h_j^2$ :

$$\sigma_{q_i, h^2} = \frac{\sum_{j=1}^p q_{ij} \cdot h_j^2}{p} - \bar{q}_i \cdot \bar{h}^2 \quad (3.18)$$

Utilizando estas definiciones estadísticas en el anterior sistema de ecuaciones, se tiene:

$$\begin{aligned} A_i + B_i \cdot \bar{h} + C_i \cdot \bar{h}^2 &= \bar{q}_i \\ A_i \cdot \bar{h} + B_i \cdot \bar{h}^2 + C_i \cdot \bar{h}^3 &= \sigma_{q_i, h} + \bar{q}_i \cdot \bar{h} \\ A_i \cdot \bar{h}^2 + B_i \cdot \bar{h}^3 + C_i \cdot \bar{h}^4 &= \sigma_{q_i, h^2} + \bar{q}_i \cdot \bar{h}^2 \end{aligned} \quad (3.19)$$

De la resolución de dicho sistema se obtienen los coeficientes de ajuste  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$ . En cuanto a la bondad del ajuste, ésta puede determinarse mediante el coeficiente de correlación al cuadrado,  $R_i^2$ , que viene dado por la relación entre la varianza de las diferencias entre los caudales reales y predichos y la varianza de los caudales reales.

$$R_i^2 = 1 - \frac{\sigma_{(q_i - q_{i-predicho})}^2}{\sigma_{q_i}^2} \quad (3.20)$$

Se puede incluir en el gráfico de la Figura 1 la representación de la ecuación parabólica obtenida, quedando como sigue:

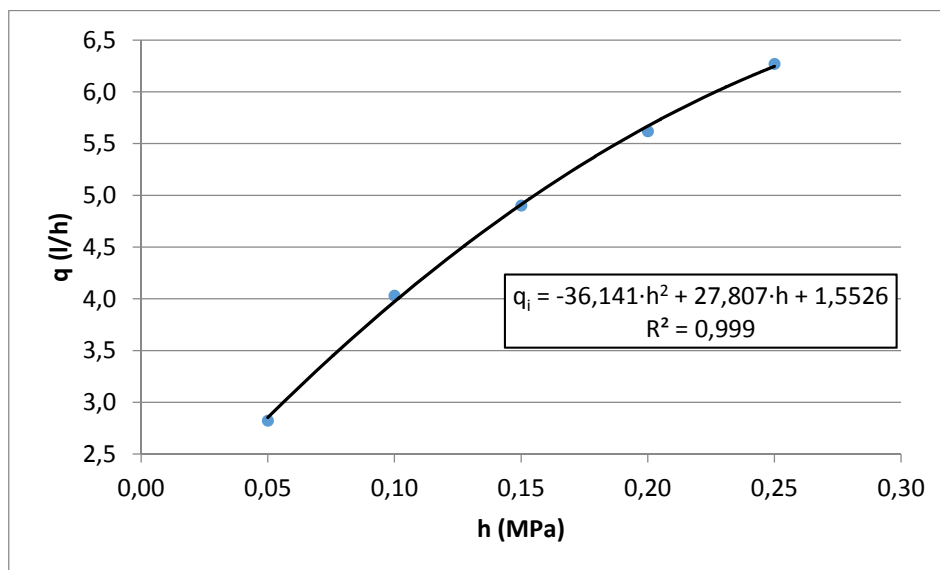


Figura 4: Ejemplo de ajuste parabólico para un emisor individual (Noauto-3)

### 3.2.2. Conjunto de emisores

Siguiendo el procedimiento anteriormente expuesto para un emisor individual, para un conjunto de emisores también es posible predecir su comportamiento hidráulico definiendo una ecuación de ajuste adecuada.

Para ello se considera un conjunto de  $n$  emisores ensayados simultáneamente a  $p$  niveles de presión distintos, se obtienen  $p \cdot n$  parejas de valores  $q_{ij}$ ,  $h_j$  que cabe representar mediante el gráfico de la página siguiente.

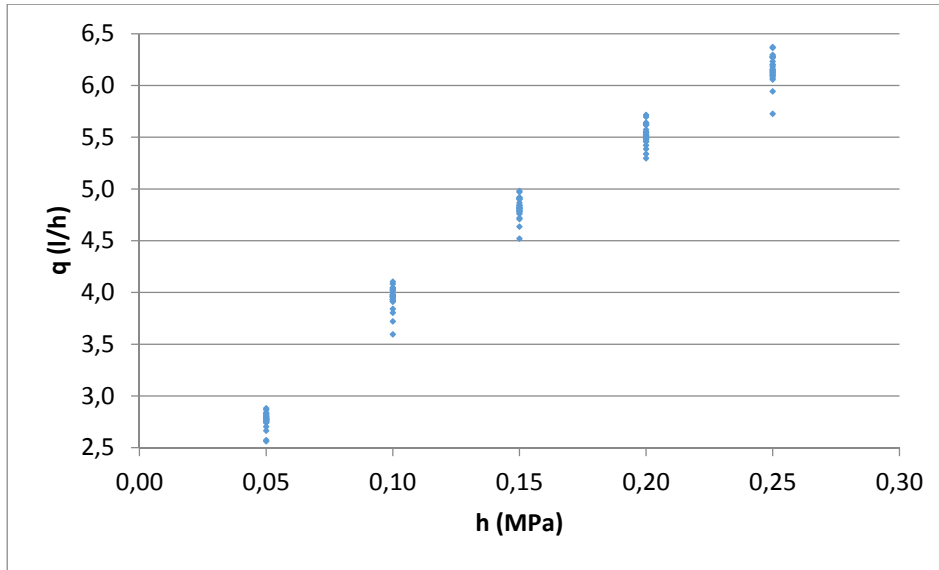


Figura 5: Representación gráfica del caudal arrojado por un conjunto de emisores a diferentes presiones (Noauto-3)

### 3.2.2.1. AJUSTE POTENCIAL

El caudal promedio arrojado por un conjunto de  $n$  emisores sometidos a una presión  $h_j$  puede predecirse mediante la siguiente ecuación:

$$q_{j-predicho} = K \cdot h_j^x \quad (3.21)$$

Efectuando la transformación logarítmica para convertir la curva en una recta, se tiene:

$$\ln q_{j-predicho} = \ln K + x \cdot \ln h_j \quad (3.22)$$

Pero el ajuste consiste en hacer mínima la suma de las diferencias al cuadrado entre los logaritmos de los caudales reales de todos los emisores y el logaritmo del caudal medio predicho por la ecuación (denominado ajuste por mínimos cuadrados).

$$D^2 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j)^2 \quad (3.23)$$

Los valores de  $\ln K$  y  $x$  que hacen mínima la  $D^2$  proceden de derivar esta con respecto a dichas variables e igualarlas a cero de la siguiente forma:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D^2}{\partial \ln K} &= \frac{\partial \left( \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j)^2 \right)}{\partial \ln K} = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{\partial (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j)^2}{\partial \ln K} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j) = 0 \\ &\Downarrow \\ \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln q_{ij} - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln K - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n x \cdot \ln h_j &= p \cdot n \cdot \overline{\ln q} - p \cdot n \cdot \ln K - x \cdot p \cdot n \cdot \overline{\ln h} = 0 \\ &\Downarrow \\ \ln K &= \overline{\ln q} - x \cdot \overline{\ln h} \end{aligned}$$



Lo que da como resultado:

$$K = e^{\overline{\ln q} - x \cdot \overline{\ln h}} \quad (3.24)$$

Derivada parcial con respecto a x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D^2}{\partial x} &= \frac{\partial \left( \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j)^2 \right)}{\partial x} = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{\partial (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j)^2}{\partial x} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j) = 0 \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot (\ln q_{ij} - \ln K - x \cdot \ln h_j) = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot (\ln q_{ij} - \overline{\ln q} + x \cdot \overline{\ln h} - x \cdot \ln h_j) = \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \overline{\ln q} + x \cdot \left( \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \overline{\ln h} - \sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2 \right) = \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - \overline{\ln q} \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j + x \cdot \left( \overline{\ln h} \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j - \sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2 \right) = \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - p \cdot n \cdot \overline{\ln q} \cdot \overline{\ln h} + x \cdot \left( p \cdot n \cdot \overline{\ln h}^2 - \sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2 \right) = 0 \\ &\quad \downarrow \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \ln q_{ij} - p \cdot n \cdot \overline{\ln h} \cdot \overline{\ln q} = x \cdot \left( \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (\ln h_j)^2 - p \cdot n \cdot \overline{\ln h}^2 \right) \\ &= \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \ln q_{ij}}{p \cdot n} - \overline{\ln h} \cdot \overline{\ln q} = x \cdot \left( \frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p \cdot n} - \overline{\ln h}^2 \right) \end{aligned}$$

Como resulta que:

- $\frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \ln h_j \cdot \ln q_{ij}}{p \cdot n} - \overline{\ln h} \cdot \overline{\ln q}$  es la covarianza entre  $\ln q$  y  $\ln h$  ( $\sigma_{\ln h, \ln q}$ )
- $\frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p \cdot n} - \overline{\ln h}^2$  es la varianza de  $\ln h$  ( $\sigma_{\ln h}^2$ )

Resultado:

$$\sigma_{\ln h, \ln q} = x \cdot \sigma_{\ln h}^2 \Rightarrow x = \frac{\sigma_{\ln h, \ln q}}{\sigma_{\ln h}^2} \quad (3.25)$$

La bondad de este ajuste se puede estimar mediante el coeficiente de correlación  $R^2$ , que en este caso vale:

$$R^2 = \frac{\sigma_{\ln h, \ln q}}{\sqrt{\sigma_{\ln h}^2 \cdot \sigma_{\ln q}^2}} \quad (3.26)$$

Por último, se puede establecer la relación entre la curva de ajuste global para todos los emisores ensayados y las curvas de ajuste individuales de cada emisor. En otras palabras, hay que verificar si los coeficientes globales son el promedio de los coeficientes individuales de cada emisor.

Exponente de descarga, según la ecuación (3.10):

$$x_i = \frac{\sigma_{\ln q_i, \ln h}}{\sigma_{\ln h}^2} = \frac{\frac{\sum_{j=1}^p \ln q_{ij} \cdot \ln h_j}{p} - \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h}}{\frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p} - (\overline{\ln h})^2} \quad (3.27)$$

Hallando el promedio de los exponentes de descarga:

$$\begin{aligned} \bar{x} &= \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{\frac{\sum_{j=1}^p \ln q_{ij} \cdot \ln h_j}{p} - \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h}}{\frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p} - (\overline{\ln h})^2}}{n} = \frac{1}{n} \cdot \left( \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{\sum_{j=1}^p \ln q_{ij} \cdot \ln h_j}{p} - \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h} \right)}{\frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p} - (\overline{\ln h})^2} \right) \\ &= \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \ln q_{ij} \cdot \ln h_j}{p} - \sum_{i=1}^n \frac{\overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h}}{p} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \ln q_{ij} \cdot \ln h_j}{p \cdot n} - \frac{\sum_{i=1}^n \overline{\ln q_i} \cdot \overline{\ln h}}{n} \\ &= \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{j=1}^p (\ln h_j)^2}{p} - (\overline{\ln h})^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^p \ln q_{ij} \cdot \ln h_j}{p \cdot n} - \overline{\ln q} \cdot \overline{\ln h} = \frac{\sigma_{\ln q, \ln h}}{\sigma_{\ln h}^2} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Comparando (3.25) con (3.28) se demuestra que el exponente de la curva de ajuste para los  $n$  emisores es la media de los exponentes  $x_i$  de cada uno de ellos:

$$x = \bar{x} \quad (3.29)$$

En lo que respecta al coeficiente K:

$$\begin{aligned} \ln K_i &= \overline{\ln q_i} - x_i \cdot \overline{\ln h} \\ &\downarrow \\ \overline{\ln K} &= \frac{\sum_{i=1}^n \ln K_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (\overline{\ln q_i} - x_i \cdot \overline{\ln h})}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n \overline{\ln q_i}}{n} - \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \overline{\ln h}}{n} = \overline{\ln q} - \bar{x} \cdot \overline{\ln h} \end{aligned} \quad (3.30)$$

Del ajuste de todos los emisores se tiene que, según (3.24):

$$\ln K = \overline{\ln q} - x \cdot \overline{\ln h} \quad (3.31)$$

Y dada la igualdad de los exponentes indicada en (3.29) se deduce que:

$$\ln K = \overline{\ln K} \quad (3.32)$$

Es decir, el  $\ln K$  del ajuste global es la media aritmética de los  $\ln K_i$  de los ajustes de cada emisor individual, lo que por otra parte implica que el coeficiente  $K$  del ajuste global no es igual al promedio de los coeficientes  $K_i$  de los ajustes individuales:

$$K = e^{\overline{\ln K}} \neq \overline{K} \quad (3.33)$$

A continuación se incluye un ejemplo de representación de una ecuación de ajuste potencial para un conjunto de emisores.

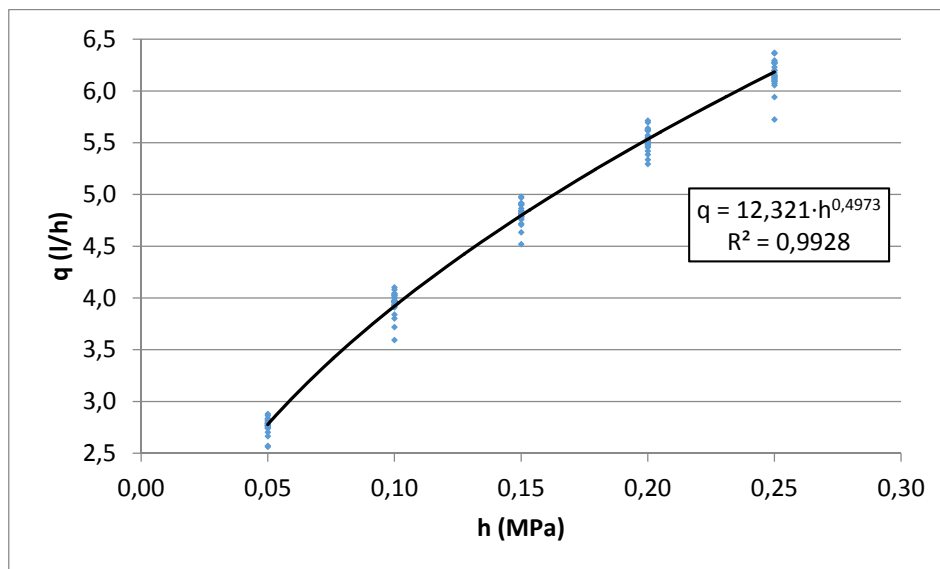


Figura 6: Ejemplo de ajuste potencial para un conjunto de emisores (Noauto-3)

### 3.2.2.2. AJUSTE PARABÓLICO

Predicción del caudal medio arrojado por un conjunto de  $n$  emisores en función de la presión:

$$q_{j-\text{predicho}} = A + B \cdot h_j + C \cdot h_j^2 \quad (3.34)$$

La diferencia entre el caudal medio real y el caudal medio predicho es:

$$d_j = q_{j-\text{real}} - q_{j-\text{predicho}} = q_{j-\text{real}} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2 \quad (3.35)$$

El ajuste por mínimos cuadrados implica:

$$D^2 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n d_{ij}^2 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2)^2 \quad (3.36)$$

Derivada con respecto a A:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D^2}{\partial A} &= \frac{\partial \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2)^2}{\partial A} = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{\partial (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2)^2}{\partial A} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2) = 0 \\ &\Downarrow \\ \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2) &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij} - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n A - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n B \cdot h_j - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n C \cdot h_j^2 = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij} - p \cdot n \cdot A - p \cdot n \cdot B \cdot \bar{h} - p \cdot n \cdot C \cdot \bar{h}^2 = 0 \\ &\Downarrow \\ A + B \cdot \bar{h} + C \cdot \bar{h}^2 &= \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij}}{p \cdot n} \end{aligned}$$

Derivada parcial con respecto a B:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D^2}{\partial B} &= \frac{\partial \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2)^2}{\partial B} = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{\partial (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2)^2}{\partial B} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j \cdot (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2) = 0 \\ &\Downarrow \\ \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j \cdot (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2) &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j \cdot q_{ij} - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j \cdot A - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n B \cdot h_j^2 - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n C \cdot h_j^3 = \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j \cdot q_{ij} - p \cdot n \cdot A \cdot \bar{h} - p \cdot n \cdot B \cdot \bar{h}^2 - p \cdot n \cdot C \cdot \bar{h}^3 = 0 \\ &\Downarrow \\ A \cdot \bar{h} + B \cdot \bar{h}^2 + C \cdot \bar{h}^3 &= \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij} \cdot h_j}{p \cdot n} \end{aligned}$$

Derivada parcial con respecto a C:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D^2}{\partial C} &= \frac{\partial \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2)^2}{\partial C} = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{\partial (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2)^2}{\partial C} = -2 \cdot \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j^2 \cdot (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2) = 0 \\ &\Downarrow \\ \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j^2 \cdot (q_{ij} - A - B \cdot h_j - C \cdot h_j^2) &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j^2 \cdot q_{ij} - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j^2 \cdot A - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n B \cdot h_j^3 - \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n C \cdot h_j^4 = \\ &= \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j^2 \cdot q_{ij} - p \cdot n \cdot A \cdot \bar{h}^2 - p \cdot n \cdot B \cdot \bar{h}^3 - p \cdot n \cdot C \cdot \bar{h}^4 = 0 \\ &\Downarrow \\ A \cdot \bar{h}^2 + B \cdot \bar{h}^3 + C \cdot \bar{h}^4 &= \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n h_j^2 \cdot q_{ij}}{p \cdot n} \end{aligned}$$

A partir de lo anterior se genera un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas:

$$\begin{aligned}
 A + B \cdot \bar{h} + C \cdot \bar{h}^2 &= \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij}}{p \cdot n} \\
 A \cdot \bar{h} + B \cdot \bar{h}^2 + C \cdot \bar{h}^3 &= \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij} \cdot h_j}{p \cdot n} \\
 A \cdot \bar{h}^2 + B \cdot \bar{h}^3 + C \cdot \bar{h}^4 &= \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij} \cdot h_j^2}{p \cdot n}
 \end{aligned} \tag{3.37}$$

Por otro lado, utilizando las definiciones estadísticas expuestas a continuación, se puede modificar el sistema de ecuaciones:

- Caudal promedio:  $\bar{q} = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij}}{p \cdot n}$
- Covarianza de  $q$  y  $h$ :  $\sigma_{q,h} = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij} \cdot h_j}{p \cdot n} - \bar{q} \cdot \bar{h}$
- Covarianza de  $q$  y  $h^2$ :  $\sigma_{q,h^2} = \frac{\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n q_{ij} \cdot h_j^2}{p \cdot n} - \bar{q} \cdot \bar{h}^2$

Luego el sistema de ecuaciones definitivo queda como:

$$\begin{aligned}
 A + B \cdot \bar{h} + C \cdot \bar{h}^2 &= \bar{q} \\
 A \cdot \bar{h} + B \cdot \bar{h}^2 + C \cdot \bar{h}^3 &= \sigma_{q,h} + \bar{q} \cdot \bar{h} \\
 A \cdot \bar{h}^2 + B \cdot \bar{h}^3 + C \cdot \bar{h}^4 &= \sigma_{q,h^2} + \bar{q} \cdot \bar{h}^2
 \end{aligned} \tag{3.38}$$

De donde es fácil obtener los coeficientes  $A$ ,  $B$  y  $C$  correspondientes a la curva de ajuste parabólica del conjunto de los  $n$  emisores. La bondad de este ajuste viene dada por:

$$R^2 = 1 - \frac{\sigma_{(q-q_{\text{predicho}})}^2}{\sigma_q^2} \tag{3.39}$$

Ahora se puede comprobar si los coeficientes para la curva de ajuste global son el promedio de los coeficientes de las  $n$  curvas de ajuste generadas para cada emisor, que son de la forma:

$$q_i = A_i + B_i \cdot \bar{h} + C_i \cdot \bar{h}^2 \tag{3.40}$$

Se puede determinar la “ecuación promedio” de todos los emisores:

$$\frac{\sum_{i=1}^n q_i}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i + B_i \cdot \bar{h} + C_i \cdot \bar{h}^2)}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} + \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} \cdot \bar{h} + \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \cdot \bar{h}^2 = \bar{A} + \bar{B} \cdot \bar{h} + \bar{C} \cdot \bar{h}^2 = \bar{q} \tag{3.41}$$

O lo que es lo mismo, comparando (3.38) con (3.41), se verifica que los coeficientes  $A$ ,  $B$  y  $C$  de la ecuación de ajuste general de todos los emisores son, respectivamente, los promedios de los coeficientes  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$  de cada una de las ecuaciones de ajuste individuales de cada emisor independiente.

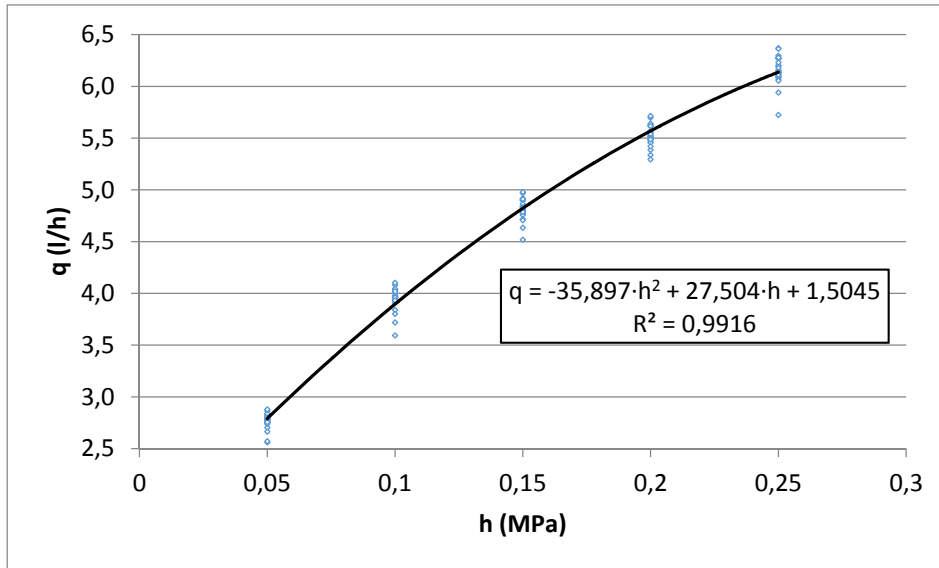


Figura 7: Ejemplo de ajuste parabólico para un conjunto de emisores (Noauto-3)

### 3.3. VARIABILIDAD DE LOS CAUDALES PREDICHOS

Las ecuaciones de ajuste en sus dos versiones potencial y parabólica permiten predecir el caudal arrojado por cualquier emisor individual  $i$  considerando cierta presión  $h$ . Las citadas expresiones son:

- Para ajuste potencial:

$$q_{i-\text{predicho}} = K_i \cdot h^{x_i} \quad (3.42)$$

- Para ajuste parabólico:

$$q_{i-\text{predicho}} = A_i + B_i \cdot h + C_i \cdot h^2 \quad (3.43)$$

Siendo:

- $q_{i-\text{predicho}}$ : El caudal correspondiente al emisor  $i$ , en l/h
- $K_i$  y  $x_i$ : El coeficiente y el exponente de descarga del emisor  $i$
- $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$ : Los coeficientes de la ecuación de ajuste parabólica.
- $h$ : Presión de ensayo, en MPa

A partir de las predicciones de los caudales se puede caracterizar la muestra calculando el promedio  $\bar{q}$  y la varianza  $\sigma_q^2$ . Como se demostró anteriormente, el caudal promedio debería coincidir con el caudal predicho por las ecuaciones de ajuste global para todos los emisores.

La varianza de los caudales (o su desviación típica) es un indicador de la variabilidad absoluta de los datos, aunque es mejor determinar la variabilidad relativa, dada por el coeficiente de variación de fabricación a cierta presión ( $CV$ ), tal como recomienda Solomon (1979):

$$CV = \frac{\sigma_q}{\bar{q}} \Rightarrow \sigma_q^2 = CV^2 \cdot \bar{q}^2 \quad (3.44)$$

Como es de suponer, para una presión  $h$  de ensayo dada, la variabilidad de los caudales sólo dependerá de la variabilidad de los diferentes coeficientes de las ecuaciones de descarga ( $K_i$  y  $x_i$  para ajuste potencial;  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$  para ajuste parabólico).

A continuación, se estudia la variabilidad de los caudales para cada tipo de ajuste, no sin antes remarcar ciertas propiedades de la varianza y la covarianza útiles para el desarrollo teórico propuesto.

### 3.3.1. Propiedades de la varianza y la covarianza

De entre las propiedades de la varianza y la covarianza, cabe destacar las siguientes:

- Propiedad 1

Dada una variable  $C = A + B$ , se puede demostrar que:

$$\text{var}(C) = \text{var}(A) + \text{var}(B) + 2 \cdot \text{cov}(A, B) \quad (3.45)$$

Si las variables  $A$  y  $B$  son independientes entre sí, su covarianza es cero, quedando la expresión:

$$\text{var}(C) = \text{var}(A) + \text{var}(B) \Rightarrow \sigma_C^2 = \sigma_A^2 + \sigma_B^2 \quad (3.46)$$

- Propiedad 2

Dada una variable  $B$  producto de una constante  $m$  por otra variable  $A$  ( $B=m \cdot A$ ) se cumple:

$$\text{var}(B) = m^2 \cdot \text{var}(A) \Rightarrow \sigma_B^2 = m^2 \cdot \sigma_A^2 \quad (3.47)$$

- Propiedad 3

Dadas dos variables  $A$  y  $B$  y siendo la segunda producto de una constante  $m$  por otra variable  $C$  ( $B=m \cdot C$ ) se cumple:

$$\text{cov}(A, B) = \text{cov}(A, m \cdot C) = m \cdot \text{cov}(A, C) \Rightarrow \sigma_{A, B} = m \cdot \sigma_{A, C} \quad (3.48)$$

### 3.3.2. Ajuste potencial

#### 3.3.2.1. RELACIONES ENTRE LAS VARIANZAS

Se puede establecer que el caudal depende de las variables  $K_i$  y  $x_i$  que siguen cierta distribución probabilística de medias  $\bar{K}$  y  $\bar{x}$  respectivamente, y cuya variabilidad se caracteriza por sus varianzas  $\sigma_K^2$  y  $\sigma_x^2$ .

La variabilidad de los caudales observados es fácil de determinar puesto que son el resultado de medidas directas, pero el problema surge cuando hay que determinar la influencia relativa en la variabilidad de los caudales  $q_i$  de las variabilidades del coeficiente y del exponente del emisor,  $K_i$  y  $x_i$

Como resulta evidente, no se puede aplicar la propiedad 1 de la varianza a las variables  $q$ ,  $K$  y  $x$  puesto que la relación entre ellas es un producto, no una suma. Sin embargo, si se toman logaritmos naturales se realiza un cambio de variable al que sí que se les puede aplicar dicha propiedad.

$$q_i = K_i \cdot h^{x_i} \quad (3.49)$$

Tomando logaritmos a ambos lados de la igualdad:

$$\ln q_i = \ln(K_i \cdot h^{x_i}) = \ln K_i + \ln h^{x_i} = \ln K_i + x_i \cdot \ln h \quad (3.50)$$

Es decir, la variable  $\ln q_i$  es la suma de las variables  $\ln K_i$  y  $x_i \cdot \ln h$ , por lo que resulta:

$$\sigma_{\ln q}^2 = \sigma_{\ln K}^2 + \sigma_{x \cdot \ln h}^2 + 2 \cdot \sigma_{\ln K, x \cdot \ln h} \quad (3.51)$$

En el caso de que las variables fuesen independientes como plantean Bralts et al. (1987), su covarianza  $\sigma_{\ln K, x \cdot \ln h}$  sería cero.

Además, aplicando la propiedad 2 a la varianza de la variable  $x_i \cdot \ln h$  y dado que  $h$  es constante para un ensayo de un emisor dado, resulta la siguiente expresión, que relaciona la variabilidad de  $q_i$  con las variabilidades de  $K_i$  y  $x_i$ :

$$\sigma_{\ln q}^2 = \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2 + 2 \cdot \sigma_{\ln K, x \cdot \ln h} \quad (3.52)$$

Por último, aplicando la propiedad 3 a la covarianza, se tiene:

$$\sigma_{\ln q}^2 = \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2 + 2 \cdot \ln h \cdot \sigma_{\ln K, x} \quad (3.53)$$

Que la covarianza sea diferente de cero implica que existe cierta relación entre las variables  $\ln K_i$  y  $x_i$ . Si esa relación fuese de tipo lineal, se ajustaría a la siguiente ecuación:

$$x_i = m_{\ln K, x} \cdot \ln K_i + n_{\ln K, x} \quad (3.54)$$



Los valores de  $m_{\ln K, x}$  y  $n_{\ln K, x}$  pueden obtenerse mediante un ajuste por mínimos cuadrados de igual manera que se explicaba anteriormente en el caso de la curva característica del emisor, y cuyo resultado sería:

$$m_{\ln K, x} = \frac{\sigma_{\ln K, x}}{\sigma_{\ln K}^2} ; \quad n_{\ln K, x} = \bar{x} - m_{\ln K, x} \cdot \overline{\ln K} \quad (3.55)$$

La bondad del ajuste viene dada por el coeficiente de correlación al cuadrado, cuyo valor es:

$$R_{\ln K, x}^2 = \left( \frac{\sigma_{\ln K, x}}{\sigma_{\ln K} \cdot \sigma_x} \right)^2 \quad (3.56)$$

Como ejemplo se incluye la siguiente figura:

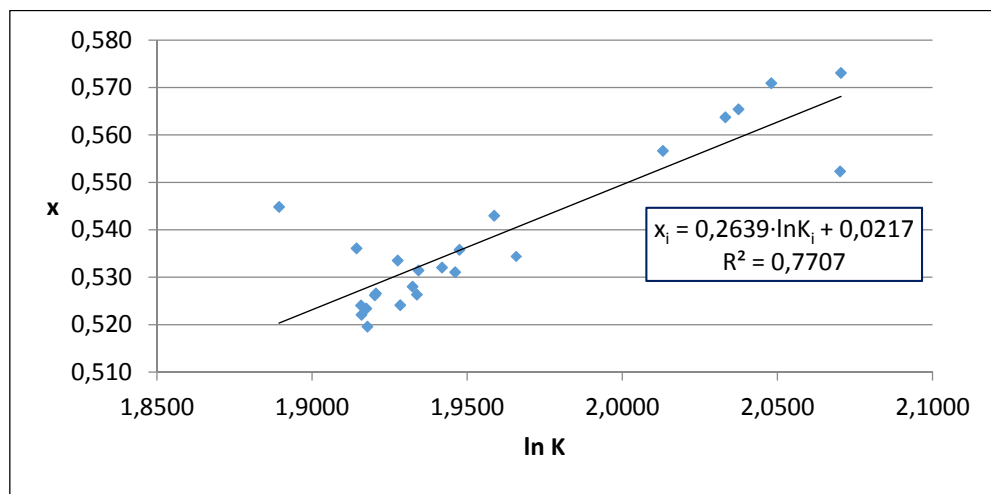


Figura 8: Ejemplo de ajuste lineal para la relación entre las variables  $x_i$  y  $\ln K_i$

Para que exista relación entre  $\ln K$  y  $x$  debería obtenerse un  $R^2$  razonablemente elevado puesto que si no es así:

- O bien la recta es horizontal, con lo que  $m_{\ln K, x}$  es pequeño y  $R^2$  es bajo porque realmente las variables que se pretende relacionar son independientes.
- O bien los diferentes puntos no se ajustan realmente a una recta, independientemente del valor de  $m_{\ln K, x}$ .

En cualquier caso, con carácter general se puede rehacer la anterior expresión (3.53) introduciendo en ella la relación entre las variables  $\ln K_i$  y  $x_i$ :

$$\begin{aligned} \sigma_{\ln q}^2 &= \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2 + 2 \cdot \ln h \cdot \sigma_{\ln K, x} = \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2 + 2 \cdot \ln h \cdot m_{\ln K, x} \cdot \sigma_{\ln K}^2 = \\ &= (1 + 2 \cdot \ln h \cdot m_{\ln K, x}) \cdot \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2 \end{aligned} \quad (3.57)$$

3.3.2.2. OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN, CV

A partir del ensayo se puede calcular la varianza de los caudales,  $\sigma_q^2$  por lo que habrá que relacionarla con la varianza de los logaritmos de los caudales  $\sigma_{\ln q}^2$  anteriormente deducida para poder calcular el coeficiente de variación  $CV_{potencial}$ .

Se puede demostrar que al realizar la transformación logarítmica del caudal  $q$ , suponiendo que sigue una distribución normal, se cumple que:

$$\begin{aligned} \bar{q} &= e^{\overline{\ln q} + \frac{1}{2}\sigma_{\ln q}^2} \\ \sigma_q^2 &= e^{2\overline{\ln q} + \sigma_{\ln q}^2} \cdot (e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1) \end{aligned} \quad (3.58)$$

Tomando logaritmos a ambos lados de las anteriores expresiones, se tiene:

$$\begin{aligned} \ln \bar{q} &= \ln \left( e^{\overline{\ln q} + \frac{1}{2}\sigma_{\ln q}^2} \right) = \overline{\ln q} + \frac{1}{2}\sigma_{\ln q}^2 \\ \ln \sigma_q^2 &= \ln \left( e^{2\overline{\ln q} + \sigma_{\ln q}^2} \cdot (e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1) \right) = \ln \left( e^{2\overline{\ln q} + \sigma_{\ln q}^2} \right) + \ln \left( e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1 \right) = 2 \cdot \overline{\ln q} + \sigma_{\ln q}^2 + \ln \left( e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1 \right) \end{aligned}$$

Multiplicando por 2 la primera expresión y restándole la segunda, se llega a:

$$\begin{aligned} 2 \cdot \ln \bar{q} - \ln \sigma_q^2 &= 2 \cdot \overline{\ln q} + \sigma_{\ln q}^2 - 2 \cdot \overline{\ln q} - \sigma_{\ln q}^2 - \ln \left( e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1 \right) \\ 2 \cdot \ln \bar{q} - \ln \sigma_q^2 &= -\ln \left( e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1 \right) \\ \ln \sigma_q^2 - \ln \left( e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1 \right) &= 2 \cdot \ln \bar{q} \\ \ln \frac{\sigma_q^2}{e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1} &= \ln \bar{q}^{-2} \Rightarrow \frac{\sigma_q^2}{e^{\sigma_{\ln q}^2} - 1} = \bar{q}^{-2} \\ e^{\sigma_{\ln q}^2} &= 1 + \frac{\sigma_q^2}{\bar{q}^2} \end{aligned}$$

Tomando logaritmos de nuevo a ambos lados de la anterior expresión:

$$\begin{aligned} \ln \left( e^{\sigma_{\ln q}^2} \right) &= \ln \left( 1 + \frac{\sigma_q^2}{\bar{q}^2} \right) \\ \sigma_{\ln q}^2 &= \ln \left( 1 + \frac{\sigma_q^2}{\bar{q}^2} \right) \end{aligned}$$

Como resulta que:

$$CV = \frac{\sigma_q}{\bar{q}} \quad (3.59)$$

Entonces la expresión queda:

$$\sigma_{\ln q}^2 = \ln \left( 1 + CV^2 \right) \quad (3.60)$$

E igualando con la expresión (3.57) deducida en el apartado anterior, resulta:

$$\ln(1+CV^2) = (1+2 \cdot \ln h \cdot m_{\ln K, x}) \cdot \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2 \quad (3.61)$$

Con lo que al final queda:

$$CV_{potencial} = \sqrt{e^{(1+2 \cdot \ln h \cdot m_{\ln K, x}) \cdot \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2} - 1} \quad (3.62)$$

Como se puede apreciar, el coeficiente de variación para cierta presión  $h$ , es función de la varianza del logaritmo del coeficiente  $K$ , de la varianza del exponente  $x$  y del coeficiente  $m_{\ln K, x}$  que establece la relación entre estas variables.

La anterior expresión puede rehacerse asumiendo la normalidad de la variable  $K_i$  y estableciendo el mismo planteamiento que para los caudales:

$$\begin{aligned} \bar{K} &= e^{\overline{\ln K} + \frac{1}{2} \sigma_{\ln K}^2} \\ \sigma_K^2 &= e^{2 \overline{\ln K} + \sigma_{\ln K}^2} \cdot (e^{\sigma_{\ln K}^2} - 1) \end{aligned} \quad (3.63)$$

Despejando la varianza de los logaritmos de los coeficientes  $K_i$  resulta lo siguiente:

$$\sigma_{\ln K}^2 = \ln \left( 1 + \frac{\sigma_K^2}{\bar{K}^2} \right) \quad (3.64)$$

Por lo que la fórmula de cálculo del coeficiente de variación de fabricación para el ajuste potencial,  $CV_{potencial}$ , quedaría como:

$$CV_{potencial} = \sqrt{e^{(1+2 \cdot \ln h \cdot m_{\ln K, x}) \cdot \ln \left( 1 + \frac{\sigma_K^2}{\bar{K}^2} \right) + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2} - 1} = \sqrt{\left( 1 + \frac{\sigma_K^2}{\bar{K}^2} \right)^{(1+2 \cdot \ln h \cdot m_{\ln K, x})} \cdot e^{(\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2} - 1} \quad (3.65)$$

Por tanto, se puede decir que en general el CV depende de la presión  $h$  y de las varianzas del coeficiente  $K$  y del exponente  $x$  y de la relación entre ellos. Para que el CV no dependa de la presión, debería cumplirse simultáneamente que:

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 &= 0 \\ m_{\ln K-x} &= 0 \end{aligned} \quad (3.66)$$

Este resultado coincide con la hipótesis planteada por Bralts et al. (1981), quienes consideraban que la variabilidad de los emisores debida al proceso de fabricación se podía asignar completamente a la variabilidad del coeficiente  $K$ , puesto que el exponente  $x$  se mantendría constante.

No obstante, los resultados de los ensayos de los emisores que posteriormente se discutirán, demuestran que esta hipótesis no se cumple en general, por lo que la variación del CV con la presión dependería de cada emisor en concreto.

### 3.3.3. Ajuste parabólico

#### 3.3.3.1. RELACIONES ENTRE LAS VARIANZAS

El caudal emitido por un emisor cualquiera  $i$  sometido a una presión  $h$ , puede ser predicho mediante la expresión:

$$q_i = A_i + B_i \cdot h + C_i \cdot h^2 \quad (3.67)$$

El caudal medio de un conjunto de  $m$  emisores valdrá:

$$\bar{q} = \bar{A} + \bar{B} \cdot h + \bar{C} \cdot h^2 \quad (3.68)$$

La variabilidad de los caudales se determina mediante su varianza y se puede relacionar con las varianzas y las covarianzas de los coeficientes de la ecuación de la siguiente manera:

$$\sigma_q^2 = \sigma_A^2 + h^2 \cdot \sigma_B^2 + h^4 \cdot \sigma_C^2 + 2 \cdot h \cdot \sigma_{A,B} + 2 \cdot h^3 \cdot \sigma_{B,C} + 2 \cdot h^2 \cdot \sigma_{A,C} \quad (3.69)$$

En el supuesto de que los coeficientes  $A$ ,  $B$  y  $C$  fuesen independientes, las covarianzas serían nulas y la expresión quedaría reducida a una suma de varianzas.

Pero lo habitual en emisores comerciales es que existan relaciones de dependencia entre los citados coeficientes, que muchas veces son claramente lineales, como se puede apreciar en los resultados de los ensayos de laboratorio. Por eso, se pueden establecer las siguientes expresiones:

$$B_i = m_{A,B} \cdot A_i + n_{A,B} \quad ; \quad C_i = m_{B,C} \cdot B_i + n_{B,C} \quad ; \quad C_i = m_{A,C} \cdot A_i + n_{A,C} \quad (3.70)$$

Para calcular los valores de los parámetros de estas rectas se pueden hacer sendos ajustes por mínimos cuadrados a partir de los datos de los coeficientes  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$  obtenidos en los ensayos de laboratorio. De dichos ajustes se obtienen las expresiones siguientes:

$$\begin{aligned} m_{A,B} &= \frac{\sigma_{A,B}}{\sigma_A^2} \quad ; \quad n_{A,B} = \bar{B} - m_{A,B} \cdot \bar{A} \\ m_{B,C} &= \frac{\sigma_{B,C}}{\sigma_B^2} \quad ; \quad n_{B,C} = \bar{C} - m_{B,C} \cdot \bar{B} \\ m_{A,C} &= \frac{\sigma_{A,C}}{\sigma_C^2} \quad ; \quad n_{A,C} = \bar{C} - m_{A,C} \cdot \bar{A} \end{aligned} \quad (3.71)$$

La bondad de los ajustes se caracteriza mediante sus coeficientes de correlación ( $R^2$ ):

$$\begin{aligned} R_{A-B}^2 &= \left( \frac{\sigma_{A,B}}{\sigma_A \cdot \sigma_B} \right)^2 = m_{A,B}^2 \cdot \frac{\sigma_A^2}{\sigma_B^2} \\ R_{B-C}^2 &= \left( \frac{\sigma_{B,C}}{\sigma_B \cdot \sigma_C} \right)^2 = m_{B,C}^2 \cdot \frac{\sigma_B^2}{\sigma_C^2} \\ R_{A-C}^2 &= \left( \frac{\sigma_{A,C}}{\sigma_A \cdot \sigma_C} \right)^2 = m_{A,C}^2 \cdot \frac{\sigma_A^2}{\sigma_C^2} \end{aligned} \quad (3.72)$$

Sustituyendo los coeficientes de ajuste en la expresión anterior quedaría:

$$\begin{aligned}\sigma_q^2 &= \sigma_A^2 + h^2 \cdot \sigma_B^2 + h^4 \cdot \sigma_C^2 + 2 \cdot h \cdot m_{A,B} \cdot \sigma_A^2 + 2 \cdot h^3 \cdot m_{B,C} \cdot \sigma_B^2 + 2 \cdot h^2 \cdot m_{A,C} \cdot \sigma_A^2 = \\ &= (1 + 2 \cdot h \cdot m_{A,B} + 2 \cdot h^2 \cdot m_{A,C}) \cdot \sigma_A^2 + (h^2 + 2 \cdot h^3 \cdot m_{B,C}) \cdot \sigma_B^2 + h^4 \cdot \sigma_C^2\end{aligned}\quad (3.73)$$

### 3.3.3.2. OBTENCIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN, CV

El Coeficiente de variación CV puede calcularse a partir de la varianza expresada de la forma anterior y del caudal medio predicho de la siguiente forma:

$$CV_{\text{parabólico}} = \frac{\sigma_q}{\bar{q}} = \frac{\sqrt{\sigma_q^2}}{\bar{q}} = \frac{\sqrt{(1 + 2 \cdot h \cdot m_{A,B} + 2 \cdot h^2 \cdot m_{A,C}) \cdot \sigma_A^2 + (h^2 + 2 \cdot h^3 \cdot m_{B,C}) \cdot \sigma_B^2 + h^4 \cdot \sigma_C^2}}{\bar{A} + \bar{B} \cdot h + \bar{C} \cdot h^2}} \quad (3.74)$$

Como puede apreciarse, el CV depende de la presión. Sólo en el caso de que el emisor fuese perfectamente compensante, el CV no dependería de la presión, dado que se cumpliría que:

$$\bar{B} = \bar{C} = 0 \quad (3.75)$$

## 3.4. ENSAYO DE LOS EMISORES EN EL LABORATORIO

El desarrollo teórico plasmado en el apartado anterior se fundamenta en el conocimiento de los coeficientes de ajuste individuales de cada emisor, que sólo pueden determinarse mediante ensayos de laboratorio en los que se somete a una muestra de emisores a una serie de presiones (comprendidas en el intervalo de trabajo dado por el fabricante), midiendo, para cada presión, los caudales emitidos por cada emisor individual. A partir de estos datos, puede caracterizarse perfectamente el comportamiento hidráulico del emisor.

Para ello, se han ensayado de forma manual y aplicando parcialmente la Norma UNE-EN-ISO 9261, una serie de emisores comerciales de diferentes tipos en el Banco de ensayo de emisores del laboratorio de Riego localizado del Departamento de Ingeniería rural y agroalimentaria.

### 3.4.1. Descripción del banco de ensayo de emisores

El Banco de ensayo de emisores fue diseñado y construido en 1988, tiene capacidad para probar 50 emisores simultáneamente y su regulación y manejo son totalmente manuales.

Consta de los siguientes elementos básicos:

- Depósito de agua: Está fabricado con poliéster reforzado con fibra de vidrio y tiene una capacidad de 2000 l. Sirve para reutilizar el agua y garantizar un suministro constante e independiente de la red de abastecimiento del edificio.
- Sistema de calefacción: Consistente en dos resistencias eléctricas de 2000 W colocadas en el interior del depósito y cuya función es calentar el agua para alcanzar y mantener la temperatura de ensayo que debe ser de  $23\pm 3$  °C
- Equipo de medida de temperatura: Se utiliza para medir la temperatura del agua un termómetro de sonda **Hanna Instruments HI 9835**, de una precisión de  $\pm 0,4$  °C



Imagen 2: Termómetro sonda

- Equipo de presión: Está compuesto por dos bombas centrífugas de eje horizontal que extraen el agua del depósito y la impulsan al cuerpo central del banco para alimentar el sistema hidráulico. Dichas bombas se pueden conectar en serie o en paralelo, consiguiendo un amplio rango de presiones desde 0 hasta una presión máxima que dependerá del caudal del emisor ensayado y del número de emisores conectados, pero que en general suele ser de 500 kPa.

- Sistema de filtrado: A la salida del equipo de presión, existen tres filtros de malla para evitar que cualquier partícula orgánica o inorgánica entre en el circuito de alimentación de los emisores y los pueda llegar a obturar total o parcialmente. Su grado de filtración es de 75 micrones.
- Sistema de regulación de la presión: Formado por dos válvulas de compuerta metálicas, una que regula el paso del agua hacia el cuerpo principal del banco y otra que regula el paso del agua a través de una tubería de retorno al depósito. Actuando sobre ambas válvulas, es posible regular la presión desde 0 hasta el valor máximo suministrado por el equipo de presión.
- Equipo de medida de presión: Se trata de un manómetro de precisión tipo “Bourdon” marca **Martin-Marten**, con precisión de  $\pm 0,1\%$  y con un rango de medida de 0 – 600 kPa.



Imagen 3: Manómetro de precisión para medir la presión de ensayo

- Bastidor de ensayo: Consiste en una plataforma plana horizontal, de estructura de aluminio. Mediante unas ruedas, puede deslizarse sobre unos railes. En este bastidor hay una tubería de PVC en anillo que recorre todo su perímetro sobre la cual se pueden instalar hasta 5 líneas de emisores alimentadas por sus extremos. La disposición y el diámetro de la tubería en anillo minimizan las pérdidas de carga de manera que se garantiza que la presión de entrada es prácticamente la misma en todos los emisores ensayados. Justo debajo de las líneas de los emisores se hallan unos embudos que permiten recoger el agua arrojada por los mismos. Forma una matriz de 5 filas y 10 embudos por fila.

- Plataforma de recogida de agua: Se trata de una plataforma (que a su vez compone el cuerpo principal del banco) de estructura de aluminio. Su base es una chapa de aluminio con una ligera pendiente que desemboca en la parte superior del depósito y que recircula el agua no recogida en el ensayo. Unos centímetros por encima de esta base, existe una rejilla horizontal de plástico sobre la cual se colocan los recipientes de recogida de agua.
- Recipientes de recogida de agua: Son jarras de plástico con asa y con una capacidad máxima de 1500 cm<sup>3</sup>
- Cronómetro: El tiempo de llenado se mide mediante un cronómetro integrado en la estructura del banco y que se activa al desplazar el bastidor para iniciar el ensayo y se desactiva al desplazarlo para detenerlo.
- Equipo de pesada: Sirve para medir la cantidad de agua recogida en las jarras, ya que la determinación del caudal es gravimétrica. Se trata de una báscula de precisión **Kern pfb** con precisión de  $\pm 0,1$  g y rango de medida de 0 – 6000 g.



Imagen 4: Báscula de precisión

### 3.4.2. Descripción de los ensayos

El procedimiento de los ensayos se basó, parcialmente, en la Norma UNE-EN-ISO-9261: “Equipos de riego. Emisores y tuberías emisoras. Especificaciones y métodos de ensayo” (AENOR 2010). Para cada emisor a ensayar se tomó una muestra de 25 emisores procedentes de diferentes fuentes:

- Directamente de los fabricantes
- Del almacén de emisores del laboratorio
- De la colección particular del autor de la Tesis

En todos los casos se daban las condiciones para garantizar que la muestra extraída es aleatoria y representativa de la población de emisores a la cual pertenece por fabricación.



Los pasos seguidos en cada ensayo fueron:

1. Se instalan los emisores en las líneas del bastidor, haciéndolos coincidir con el centro de los embudos.
2. Se selecciona la conexión de las bombas en serie o en paralelo en función del caudal del emisor.
3. Se accionan las bombas y se purga de aire el circuito del manómetro.
4. Se limpian los filtros manualmente.
5. Se mide la temperatura del agua y si está fuera del rango admisible de  $23\pm 3$  °C
  - 5.1. Se añade agua fría si la temperatura sobrepasa 26 °C
  - 5.2. Se conectan las resistencias si la temperatura es inferior a 20 °C

A continuación, el procedimiento es distinto si el emisor a ensayar es autocompensante o no.

Para emisores ***no autocompensantes***

6. Se establecen los valores de presión con los que ensayar: 50, 100, 150, 200 y 250 kPa.
7. Se regula la presión del circuito de alimentación de los emisores, dejándola estabilizada en el primer valor de 50 kPa.
8. Se acciona el bastidor del banco y se recoge el agua en las jarras por un tiempo que garantice un volumen mínimo de unos 500 cm<sup>3</sup> para limitar el error de pesada.
9. Se pesan las jarras y se registran los valores obtenidos.
10. Se aumenta la presión en 50 kPa y se estabiliza su valor.
11. Se repiten los pasos 8, 9 y 10 hasta llegar a la presión de 250 kPa.
12. Finaliza el ensayo.

Para emisores ***autocompensantes***

5. Se establecen los valores de presión para ensayar: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350 y 400 kPa.
6. Se realiza lo que se denomina “acondicionamiento”, consistente en someter al emisor de forma alternativa y durante un tiempo mínimo de 3 minutos, a la presión mínima y máxima de ensayo. Después, se ajusta la presión al valor medio del rango de compensación del emisor y se deja durante un tiempo mínimo de 45 minutos.
7. Se regula la presión del circuito de alimentación de los emisores, dejándola estabilizada en el primer valor de 50 kPa.
8. Se acciona el bastidor del banco y se recoge el agua en las jarras por un tiempo que garantice un volumen mínimo de unos 500 cm<sup>3</sup> para limitar el error de pesada.
9. Se pesan las jarras y se registran los valores obtenidos.
10. Se aumenta la presión en 50 kPa y se estabiliza su valor.

11. Se repiten los pasos 8, 9 y 10 hasta llegar a la presión de 400 kPa.
12. Se mantiene la presión de 400 kPa.
13. Se repiten los pasos 8 y 9.
14. Se disminuye la presión en 50 kPa y se estabiliza su valor.
15. Se repiten los pasos 8, 9 y 14 hasta llegar a la presión de 50 kPa.
16. Fin del ensayo

La medida de los caudales de los emisores se realiza de forma indirecta por gravimetría. La recogida del agua arrojada por los emisores se realiza mediante unos embudos que desembocan en unas jarras de plástico previamente taradas. Todas las jarras se empiezan a llenar al mismo tiempo porque la tubería en anillo, las líneas con los emisores y los embudos están en una estructura plana deslizante (bastidor) que se acciona de forma manual. El movimiento de esta estructura activa o desactiva un cronómetro que marca el tiempo de llenado de las jarras.

El volumen de agua recogido por cada jarra se determina gravimétricamente por diferencia de pesada entre la jarra llena y la jarra vacía, admitiendo un peso específico del agua de  $9810 \text{ N/m}^3$ . Con el volumen recogido y el tiempo de llenado, se calcula el caudal arrojado por cada emisor.



Imagen 5: Estimación gravimétrica del caudal arrojado por los emisores

### 3.4.3. Emisores ensayados

Se han ensayado un total de 17 emisores autocompensantes y 9 emisores no autocompensantes. De los emisores autocompensantes, 11 eran del tipo integrados y 6 del tipo “pinchados” o en derivación. Por su parte, de los no autocompensantes, había 4 integrados y 5 pinchados.

#### Imagen 6: Emisor integrado (izquierda) y emisor pinchado (derecha)

Hay que comentar que algunos emisores no se han ensayado siguiendo exactamente el procedimiento descrito. En concreto para los emisores cuyo nombre lleva incorporado el número 9261 se ha seguido escrupulosamente la Norma ISO 9261 por lo que las presiones consideradas han sido: 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 440 y 480 kPa. Adicionalmente, también se dispone de los datos de 2 emisores autocompensantes que no se han ensayado en este banco, por lo que el método, así como las presiones de ensayo, fueron distintos.

A la hora de recopilar y tratar los datos de los caudales recogidos se han tenido en cuenta dos consideraciones importantes:

1. Rango de compensación: Algunos emisores autocompensantes no funcionan bien para la presión de 50 kPa porque dicha presión está fuera del rango de compensación establecido por el fabricante. En estos casos, se incluyen los datos del emisor para todas las presiones ensayadas y también para el rango de presiones de compensación.
2. Presencia de datos anómalos: En algunos emisores, tanto autocompensantes como no autocompensantes se aprecia, gráfica y numéricamente, la presencia de datos anómalos, es decir, emisores individuales cuyo caudal se aleja mucho de la media de los caudales de todos los emisores y que pueden desvirtuar los resultados obtenidos. En estos casos, se incluyen los datos del emisor considerando los anómalos y también sin ellos.

Todo esto da lugar a que se muestren datos de caudales de 30 emisores autocompensantes y 12 emisores no autocompensantes, a partir de los cuales se obtiene lo siguiente:

- Medias y Coeficientes de variación de los caudales para cada valor de presión
- Coeficientes de ajuste  $K_i$  y  $x_i$  para las ecuaciones características de tipo potencial de todos los emisores individuales, obtenidos mediante mínimos cuadrados.
- Medias y Coeficientes de variación para dichos coeficientes de ajuste.
- Coeficientes de ajuste  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$  para las ecuaciones características de tipo parabólica de todos los emisores individuales, obtenidos mediante mínimos cuadrados.
- Medias y Coeficientes de variación para dichos coeficientes de ajuste.
- Para emisores autocompensantes: caudal medio del emisor, calculado como la media de los caudales medios para cada valor de presión.
- Para emisores no autocompensantes: caudal a presión nominal, que es el caudal medio de los emisores para una presión de ensayo de 100 kPa.

### 3.5. CREACIÓN DE LA POBLACIÓN Y DE LA MUESTRA DE EMISORES

De los ensayos de laboratorio se obtienen 25 ecuaciones de ajuste potencial y 25 ecuaciones de ajuste parabólico individuales, cada una de ellas con sus coeficientes específicos y que son:

- Para ecuación de ajuste potencial: Coeficientes  $K_i$  y  $x_i$
- Para ecuación de ajuste parabólica: Coeficientes  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$

A partir de estos coeficientes se genera una población virtual de emisores de la cual se extraerá una nueva muestra, cuyo tamaño se corresponderá con el número total de emisores de la subunidad. Posteriormente, estos emisores serán distribuidos espacialmente de manera aleatoria. Así se consigue simular una subunidad real. El procedimiento queda patente en el siguiente esquema:

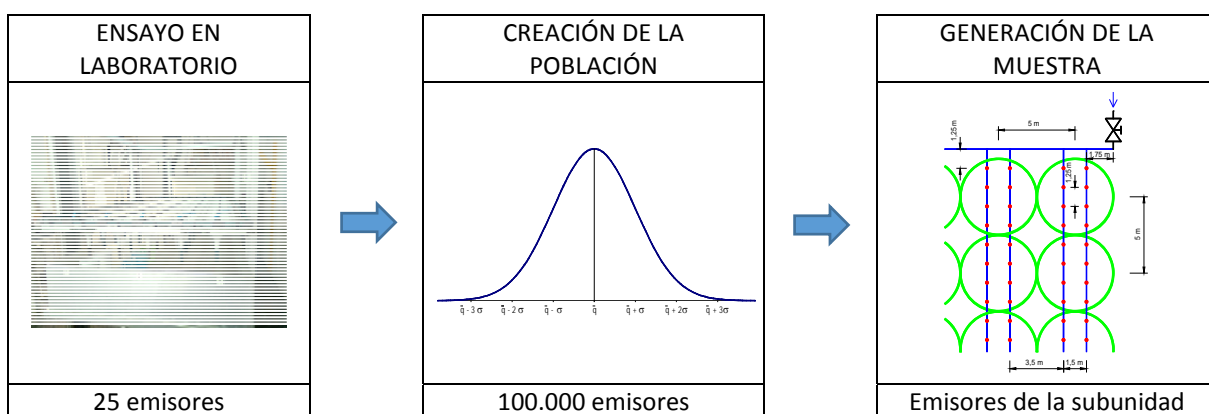


Figura 9: Procedimiento de creación de la población y de la muestra de emisores

### 3.5.1. Comprobación de la normalidad de los datos

Un elemento clave para el desarrollo teórico planteado es el cumplimiento de la hipótesis de normalidad de los datos. Es decir, tanto los caudales realmente medidos como los coeficientes de las ecuaciones de ajuste, deben proceder de poblaciones normales, lo que se puede comprobar efectuando las siguientes pruebas, que son condición necesaria pero no suficiente:

- Representación en papel probabilístico normal.
- Análisis de los coeficientes de asimetría y curtosis.
- Prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov.

Se admite que unos datos que pasen simultánea y satisfactoriamente estas tres pruebas siguen distribuciones normales.

#### 3.5.1.1. REPRESENTACIÓN EN PAPEL PROBABILÍSTICO NORMAL

En esta prueba de normalidad se hace corresponder un punto a cada observación, siendo su abscisa el valor observado, mientras que la ordenada corresponde al porcentaje de valores en la muestra que son iguales o menores que el observado. La escala vertical del papel probabilístico está modificada de manera que corresponde a los valores de la función de distribución de una normal tipificada. Por eso, cuando los datos procedentes de una distribución normal se representan en este tipo de papel, los puntos correspondientes aparecen alineados aproximadamente a lo largo de una recta (Romero 2012).

Gráfico de Probabilidad Normal

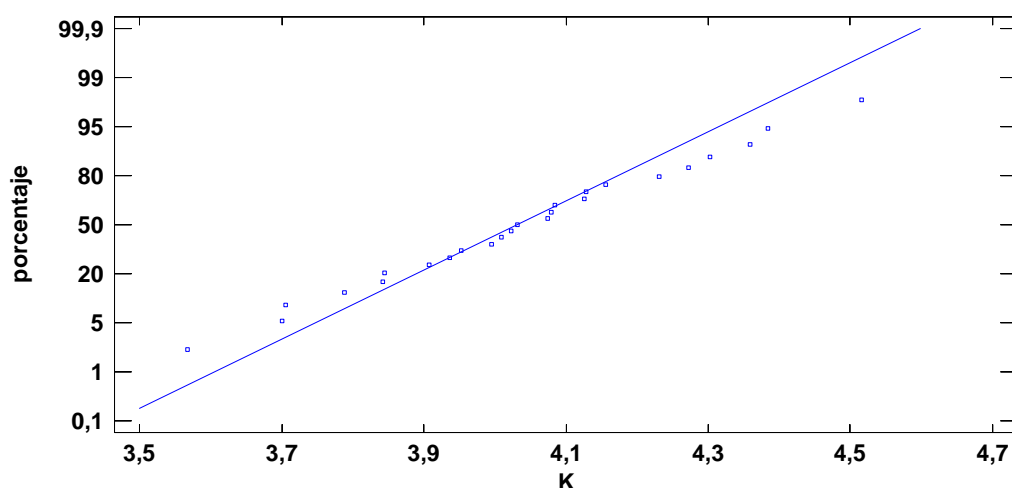


Figura 10: Ejemplo de representación de datos en papel probabilístico normal

### 3.5.1.2. ANÁLISIS DE LOS COEFICIENTES DE ASIMETRÍA Y CURTOSIS

El coeficiente de asimetría,  $CA$ , indica si la distribución en cuestión es simétrica con respecto a la media y en qué medida. Se calcula a partir de la suma de los cubos de las desviaciones de los datos respecto a dicha media. Una distribución normal presenta un  $CA$  próximo a 0.

Por su parte, el coeficiente de curtosis,  $CC$ , establece si la distribución objeto de estudio presenta valores muy alejados de la media con mayor o menor frecuencia de la que cabría esperar para unos datos normales que tuvieran la misma desviación típica. Se determina a partir de las cuartas potencias de las desviaciones respecto a la media. Para una distribución normal, el  $CC$  es igual a 3.

Por tanto, los datos que sigan una distribución normal, deben cumplir simultáneamente que:

$$\begin{aligned} CA &\approx 0 \\ CC &\approx 3 \end{aligned} \tag{3.76}$$

No obstante, el cumplimiento de esta condición no es garantía de normalidad de los datos.

### 3.5.1.3. PRUEBA NO PARAMÉTRICA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

La prueba de Kolmogorov-Smirnov consiste en comparar, para los datos a analizar debidamente ordenados, la frecuencia absoluta acumulada de los datos reales frente a la frecuencia teórica si siguiesen dichos datos una distribución normal. A partir de dicha comparación se calcula la máxima diferencia absoluta, que tiene que ser inferior a un valor de contraste (Massey Jr 1951).

## 3.5.2. Creación de la población de emisores

Asumiendo que los coeficientes de ajuste tanto potencial como parabólico para un emisor dado se distribuyen normalmente, es posible “reconstruir” la población de emisores de la cual procede hipotéticamente la muestra ensayada en el laboratorio. Para ello, se siguen los siguientes pasos, que son distintos en función del tipo de ajuste.

### 3.5.2.1. AJUSTE POTENCIAL

**Paso 1:** A partir de los 25 pares de valores de  $K_i$  y de  $x_i$  se calculan los siguientes parámetros:

- Cambio de variable:  $\ln K_i$
- Medias:  $\bar{K}$ ,  $\bar{x}$  y  $\overline{\ln K}$
- Varianzas:  $\sigma_K^2$ ,  $\sigma_x^2$  y  $\sigma_{\ln K}^2$
- Relación lineal entre los coeficientes:  $x_i = m_{\ln K, x} \cdot \ln K_i + n_{\ln K, x}$

**Paso 2:** Se generan un total de  $n$  valores de  $K_i$  con la condición de que tengan la misma media y varianza que los valores de origen. De esa manera, se ha creado una población normal de  $n$  individuos.

**Paso 3:** Para cada valor de  $K_i$  se calcula un valor de  $x_i$  aplicando la relación entre ambos. Al valor generado se le dota de una variabilidad aleatoria que es función de la varianza determinada en el ensayo,  $\sigma_x^2$ .

**Paso 4:** Los  $n$  pares de valores generados  $K_i, x_i$  conforman una población normal de  $n$  emisores de la que se extrae una muestra aleatoria de  $m$  emisores, siendo  $m$  el número total de emisores de la subunidad.

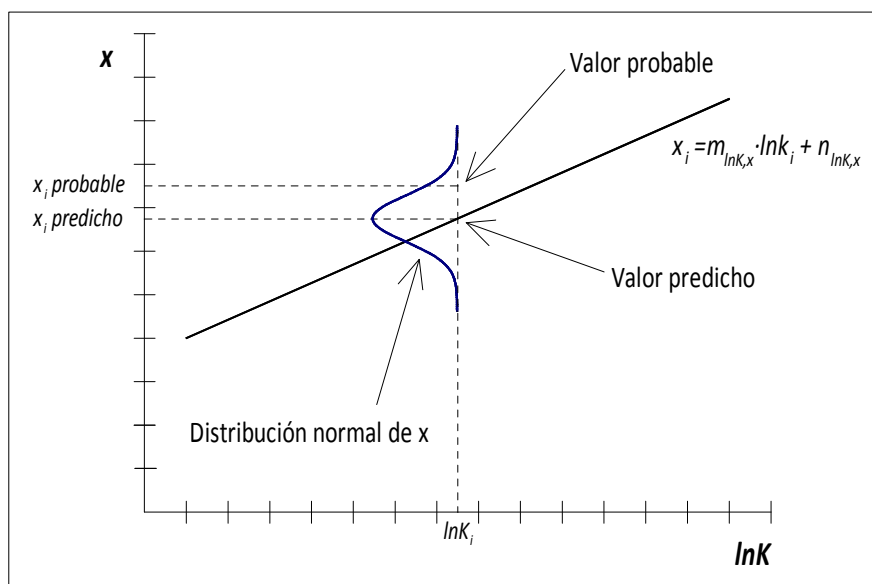


Figura 11: Determinación del valor probable del exponente  $x$  del emisor a partir de su coeficiente  $K$

### 3.5.2.2. AJUSTE PARABÓLICO

**Paso 1:** A partir de los 25 conjuntos de valores de  $A_i, B_i$  y  $C_i$  se calculan los siguientes parámetros:

- Medias:  $\bar{A}, \bar{B}$  y  $\bar{C}$
- Varianza:  $\sigma_A^2, \sigma_B^2$  y  $\sigma_C^2$
- Relación lineal entre coeficientes:  $B_i = m_{A,B} \cdot A_i + n_{A,B}$  ;  $C_i = m_{B,C} \cdot B_i + n_{B,C}$  ;  $C_i = m_{A,C} \cdot A_i + n_{A,C}$

**Paso 2:** Se generan un total de  $n$  valores de  $A_i$  con la condición de que tengan la misma media y varianza que los valores de origen. De esa manera, se ha creado una población normal de  $n$  individuos.

**Paso 3:** Para cada valor de  $A_i$  se calcula un valor de  $B_i$  o de  $C_i$ , según cuál sea el valor mayor del coeficiente de correlación del ajuste que establece la relación entre los coeficientes. Al valor generado

se le aplica una variabilidad aleatoria que es función de la varianza determinada en el ensayo,  $\sigma_B^2$  ó  $\sigma_C^2$  respectivamente.

**Paso 4:** Para cada pareja de valores  $A_i$ ,  $B_i$  ó  $A_i$ ,  $C_i$ , se calcula el coeficiente restante ( $C_i$  ó  $B_i$ , respectivamente) aplicando la relación lineal correspondiente. También se considera la variabilidad aleatoria dada por la varianza  $\sigma_C^2$  ó  $\sigma_B^2$ , respectivamente.

**Paso 5:** Los  $n$  conjuntos de valores generados  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$  conforman una población normal de  $n$  emisores de la que se extrae una muestra aleatoria de  $m$  emisores, siendo  $m$  el número total de emisores de la subunidad.

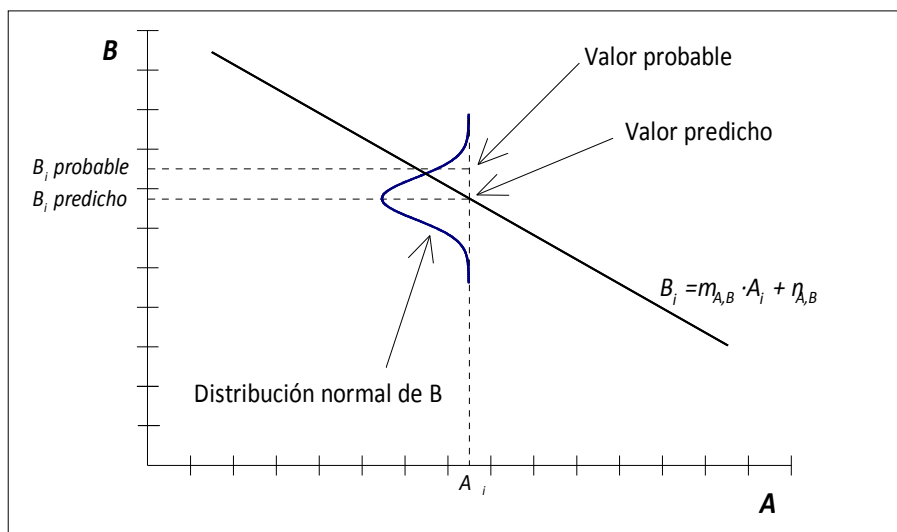


Figura 12: Determinación del valor probable del coeficiente  $B$  del emisor a partir de su coeficiente  $A$

### 3.5.3. Distribución de los emisores en la subunidad: Siembra aleatoria

Una vez generada la población virtual de emisores, se extrae de ella una nueva muestra aleatoria, también virtual, cuyo tamaño coincide con el número total de emisores de la subunidad. Estos emisores elegidos se distribuyen por toda la subunidad, pero no de forma predefinida, sino mediante la denominada “siembra aleatoria”, que los va repartiendo y colocando en todas las posiciones disponibles.

Así se consigue un mayor realismo dado que no se tiene control, aunque sí conocimiento, sobre la ubicación de cada emisor individual, tal como sucede en las subunidades operativas reales que funcionan en campo.



### 3.6. DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES DE ENTRADA A LOS EMISORES

Las presiones de entrada a los emisores de una subunidad dependen fundamentalmente de la presión de entrada a la subunidad, de la cota a la que se encuentran y de las pérdidas de carga que se producen en las conducciones, tanto continuas como localizadas. También hay que considerar las diferencias entre las velocidades del agua en los diferentes tramos, aunque su efecto es casi inapreciable.

El procedimiento de cálculo adoptado es semejante al propuesto por Hathoot et al. (1993) y consiste en fijar una presión de entrada a la subunidad, y a partir de ella, ir avanzando en el sentido de circulación del agua hasta todos los emisores de la subunidad pasando por los diferentes tramos de tubería terciaria y tuberías laterales. Se trata de un método discreto que fija como condición la conservación de la energía específica entre dos puntos de una conducción, establecida mediante la ecuación de Bernouilli:

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + h_r + h_s \quad (3.77)$$

Donde:

- $P_1$  y  $P_2$ : Presiones, en Pa
- $\gamma$  : Peso específico del agua, en N/m<sup>3</sup>
- $\frac{P_1}{\gamma}$  y  $\frac{P_2}{\gamma}$  : Presiones en forma de energía específica, en m
- $z_1$  y  $z_2$ : Cotas geométricas, en m
- $V_1$  y  $V_2$ : Velocidades del agua, en m/s
- $g$ : Aceleración de la gravedad, en m/s<sup>2</sup>
- $\frac{V_1^2}{2 \cdot g}$  y  $\frac{V_2^2}{2 \cdot g}$  : Alturas de velocidad en forma de energía específica, en m
- $h_r$ : Pérdidas de carga continuas entre los puntos, en m
- $h_s$ : Pérdidas de carga localizadas entre los puntos, en m

A la hora de establecer los puntos entre los cuales se aplica la ecuación de Bernouilli (3.77), hay que tener en cuenta que una subunidad se puede definir como una red ramificada con la que se genera una distribución discreta de caudales que son extraídos del sistema por medio de los emisores. El cambio de tramo siempre se da por una discontinuidad, que puede ser: cambio de diámetro, bifurcación (conexión de los laterales con la terciaria) o derivación de caudal por un emisor. Así pues, el punto 1 de la ecuación será el inicio de un tramo, mientras que el punto 2 será el inicio del tramo siguiente considerado.

En definitiva, conocidas la presión en el punto 1, las cotas en 1 y 2, los diámetros de las tuberías y los caudales circulantes en 1 y 2 y las pérdidas de carga continuas y localizadas que se dan entre los puntos 1 y 2, es posible calcular la presión en el punto 2 despejándola de la ecuación de Bernouilli:

$$\frac{P_2}{\gamma} = \frac{P_1}{\gamma} - (z_2 - z_1) - \left( \frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot g} \right) - h_r - h_s \quad (3.78)$$

La diferencia de cotas queda definida por la topografía de la subunidad, mientras que la diferencia de alturas de velocidad se determina a partir de los diámetros y los caudales, por lo que el cálculo más importante es el de las pérdidas de carga, tanto continuas como localizadas.

### 3.6.1. Pérdidas de carga continuas

Para calcular las pérdidas de carga continuas se va a utilizar la ecuación de Darcy-Weisbach, que es la siguiente:

$$h_r = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.79)$$

Siendo:

- $f$ : Factor de fricción, adimensional
- $h_r$ : Las pérdidas de carga continuas o por rozamiento, en m
- $L$ : Longitud de la conducción, en m
- $D$ : Diámetro interior de la conducción, en m
- $V$ : Velocidad del agua, en m/s

Como se indicó en el apartado 1.4.1 de la Introducción, para determinar el valor del factor de fricción se pueden considerar dos supuestos, en relación con el régimen hidráulico del fluido en el interior de la tubería:

1. Se puede dar cualquier régimen: laminar, crítico, turbulento liso o turbulento intermedio
2. Se considera que las conducciones se comportan como hidrodinámicamente lisas, por lo que el único flujo considerado es el turbulento liso.

La elección de uno u otro supuesto para las simulaciones está contemplado en el programa informático **ANASUB** como opción, si bien es cierto que es recomendable establecer el supuesto 1, a tenor de lo indicado por Turégano y Royuela (2007), quienes observaron ciertas discrepancias en el resultado del diseño de subunidades considerando el régimen hidráulico real o no.

### 3.6.1.1. FÓRMULA SEGÚN EL TIPO DE RÉGIMEN

A continuación, se van a exponer las fórmulas utilizadas para calcular el factor de fricción,  $f$  en todos los casos.

#### A) Régimen laminar

Fórmula de Hagen-Poiseuille:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (3.80)$$

#### B) Régimen crítico

Aproximación de Dunlop (1991):

$$f = \left( X_1 + \frac{Re}{2000} \cdot \left( X_2 + \frac{Re}{2000} \cdot (X_3 + X_4) \right) \right) \quad (3.81)$$

#### C) Régimen turbulento

Fórmula de Jain (Swanee y Jain 1976):

$$f = \frac{0,25}{\left( \log \left( \frac{K}{3,7 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right) \right)^2} \quad (3.82)$$

### 3.6.1.2. FÓRMULA PARA FLUJO TURBULENTO LISO

Fórmula de Blasius (1913):

$$f = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (3.83)$$

## 3.6.2. Pérdidas de carga localizadas

Las pérdidas de carga localizadas que se van a contemplar en los cálculos hidráulicos son las debidas a la inserción de los emisores en los laterales y de éstos en la tubería terciaria. Como se indicó en el apartado 1.4.2.1 de la Introducción, estas pérdidas se pueden expresar de las siguientes maneras:

- Estableciendo un coeficiente de resistencia,  $k_s$
- Estableciendo un coeficiente mayorante de pérdidas,  $k_m$
- Definiendo una longitud equivalente,  $L_e$
- Calculando directamente las pérdidas utilizando expresiones empíricas.

La aplicación **ANASUB** permite utilizar cualquiera de ellas.

### 3.6.2.1. PÉRDIDAS LOCALIZADAS POR CONEXIÓN DE LOS EMISORES EN EL LATERAL

#### A) Coeficiente de resistencia

Para cada emisor hay que definir un coeficiente de resistencia que permita estimar las pérdidas localizadas que genera expresadas en función del término altura cinética:

$$h_s = k_s \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (3.84)$$

Siendo:

- $h_s$ : Las pérdidas de carga localizadas, en m
- $k_s$ : Coeficiente de resistencia de la singularidad, adimensional
- $V$ : Velocidad del fluido, en m/s

Es importante destacar que la velocidad a considerar debe ser la del fluido en el tramo aguas arriba de la conexión del emisor.

#### B) Coeficiente mayorante de pérdidas

En este caso, se toma un coeficiente mayorante de pérdidas que se aplica por igual a todos los tramos de los laterales de manera que las pérdidas totales sean:

$$h_t = h_r + h_s = k_m \cdot h_r \quad (3.85)$$

Siendo:

- $h_t$ : Las pérdidas de carga totales, en m
- $k_m$ : Coeficiente mayorante de las pérdidas de carga continuas, adimensional

El valor del coeficiente  $k_m$  será distinto para cada emisor.

#### C) Longitud equivalente

Para determinar las pérdidas localizadas en cada tramo de lateral, es necesario estimar la longitud equivalente de pérdidas de cada emisor:

$$h_s = J \cdot L_e \quad (3.86)$$

Donde:

- $L_e$ : La longitud equivalente del emisor, en m

#### D) Fórmulas empíricas

Se emplea la expresión general propuesta por Palau et al. (2006), que estima las pérdidas de carga totales de todos los emisores conectados en el lateral:

$$h_s = 7,63781 \cdot 10^{-6} \cdot n^{2,49535} \cdot q_{emi}^{2,55437} \cdot \left( \frac{S_{emi}}{S_L} \right)^{2,8445} \quad (3.87)$$

Donde:

- $h_s$ : Pérdidas de carga localizadas de la totalidad de los emisores, en m
- $n$ : Número de emisores en el lateral
- $q_{emi}$ : Caudal medio del emisor, en l/h
- $S_L$ : Área de la sección transversal del lateral, en mm<sup>2</sup>
- $s_{emi}$ : Área transversal interceptada por la conexión del emisor, en mm<sup>2</sup>

La anterior expresión puede transformarse para determinar la pérdida de carga localizada promedio de la conexión de un solo emisor.

$$h_{emisor} = 7,63781 \cdot 10^{-6} \cdot n^{-1,05902} \cdot q_{lat}^{2,55437} \cdot \left( \frac{S_{emi}}{S_L} \right)^{2,8445} \quad (3.88)$$

Siendo:

- $h_{emisor}$ : Pérdida de carga localizada promedio de un emisor, en m
- $q_{lat}$ : Caudal total del lateral, en l/h

Como es evidente, el área de la sección transversal interior del lateral se calcula aplicando la expresión:

$$S_L = \frac{\pi \cdot D_{interior}^2}{4} \quad (3.89)$$

Siendo:

- $D_{interior}$ : Diámetro interior del lateral, en mm

Para determinar la sección interceptada por la conexión del emisor,  $s_{emi}$ , hay que tener en cuenta las formas de conexión de los emisores en la tubería lateral. En este sentido cabe distinguir tres tipos generales: Emisores pinchados, emisores integrados adosados en la pared interior de la tubería y emisores integrados en forma de anillo interior.

En general, las conexiones de los emisores pinchados tienen el aspecto representado en la Figura 13, en la que se han establecido sus dimensiones geométricas.

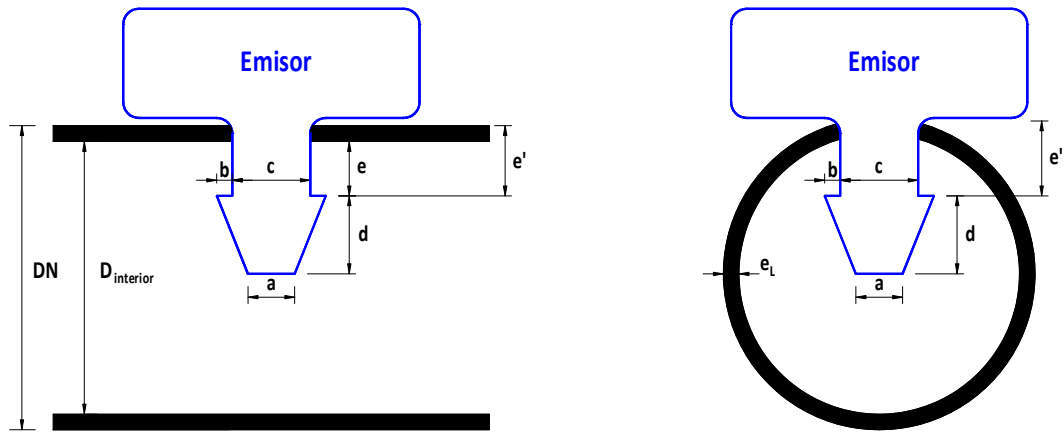


Figura 13: Conexión de un emisor pinchado en el lateral. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.)

Se puede demostrar que el área transversal interceptada,  $s_{emi}$  por esta conexión vale:

$$s_{emi} = \frac{a + (2 \cdot b + c)}{2} \cdot d + c \cdot e \tag{3.90}$$

Por su parte, la dimensión  $e$  se calcula según:

$$e = e' - e_L \tag{3.91}$$

Cabe matizar que las dimensiones  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  y  $e'$  se miden directamente en el emisor, mientras que la dimensión  $e$  se calcula considerando el espesor de la tubería,  $e_L$  y admitiendo la simplificación de que la deformación producida en la pared de la tubería no influye sustancialmente en los cálculos.

En el caso de los emisores coextrusionados adosados por el lado interno de la tubería, la representación geométrica de la conexión sería la siguiente:

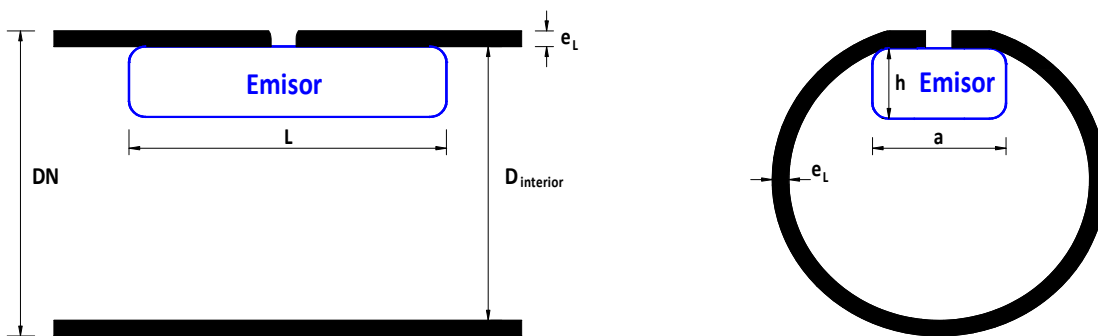


Figura 14: Conexión de emisor integrado en anillo. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.)

El área de la sección interceptada por este tipo de conexión se puede calcular según:

$$s_{emi} = a \cdot h \tag{3.92}$$

Por último, las conexiones de los emisores integrados en forma de anillo interior se pueden modelar de la manera expuesta en esta figura:

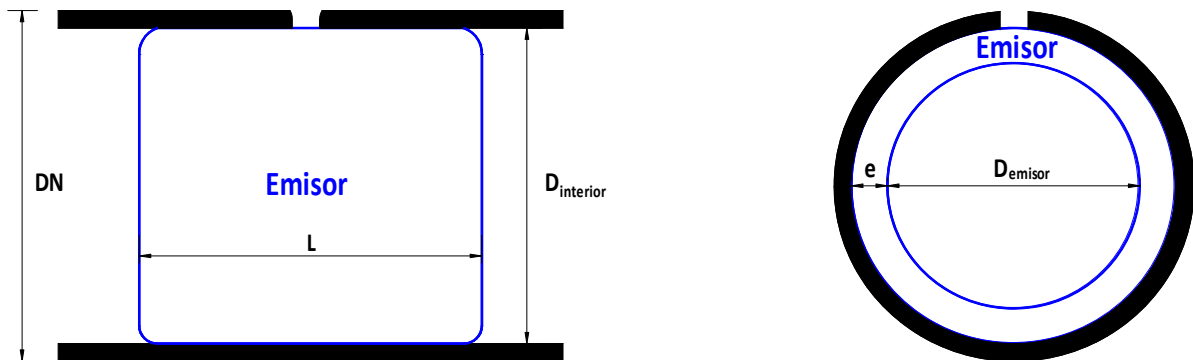


Figura 15: Conexión de emisor integrado adosado internamente. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.)

En este caso, la expresión de cálculo del área de la sección interceptada sería:

$$s_{emi} = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{interior}^2 - D_{emisor}^2) = \pi \cdot (D_{emisor} + e) \cdot e \quad (3.93)$$

### 3.6.2.2. PÉRDIDAS LOCALIZADAS POR CONEXIÓN DE LOS LATERALES EN LA TERCIARIA

Según Royuela et al. (2012), la inserción de los laterales en la tubería terciaria provoca una pérdida de carga localizada que se traduce en una disminución de presión aguas abajo de la toma. Tradicionalmente se había considerado que la pérdida de presión era la misma en la tubería terciaria que en el lateral, pero estos autores demostraron para los casos estudiados que son muy distintas y además, son mayores para el caso del lateral.

En el siguiente esquema se puede apreciar una conexión típica de un lateral a una terciaria en el que se establecen un punto aguas arriba y dos puntos aguas abajo de dicha conexión:

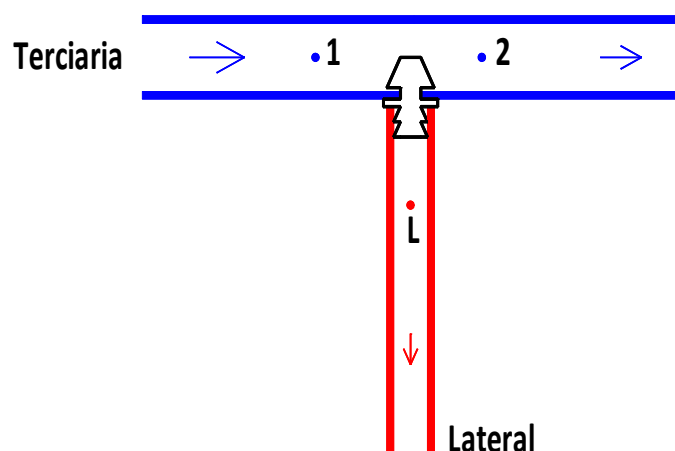


Figura 16: Esquema de conexión de un lateral a una terciaria

Considerando los puntos de referencia, es posible considerar dos pérdidas de carga localizada distintas:

$$h_{sT} = h_1 - h_2 \quad (3.94)$$

$$h_{sL} = h_1 - h_L \quad (3.95)$$

En general, estas pérdidas de carga localizadas dependen de la sección interceptada por la conexión, el caudal, la velocidad y el número de Reynolds para la tubería terciaria aguas arriba de la conexión y el caudal, la velocidad y el número de Reynolds del flujo derivado por el lateral. A partir de los datos originales facilitados por los autores citados, el autor de la presente tesis ha obtenido las siguientes expresiones de cálculo:

$$h_{sT} = 1,0917 \cdot V_T^{7,3126} \cdot V_L^{-5,2898} \cdot \left(\frac{S_{lat}}{S_T}\right)^{1,1303} \cdot \left(\frac{q_T - q_L}{q_T}\right)^{-0,2736} \cdot \left(\frac{Re_T}{Re_L}\right)^{-5,2225} \quad (3.96)$$

$$h_{sL} = 2,1072 \cdot V_T^{3,9516} \cdot V_L^{-2,6277} \cdot \left(\frac{S_{lat}}{S_T}\right)^{-1,0132} \cdot \left(\frac{q_T - q_L}{q_T}\right)^{0,7015} \cdot \left(\frac{Re_T}{Re_L}\right)^{-3,4356} \quad (3.97)$$

Siendo:

- $h_{sT}$ : Pérdida de carga localizada en la tubería terciaria, en m
- $h_{sL}$ : Pérdida de carga localizada en el lateral, en m
- $V_T$ : Velocidad del fluido en la terciaria, aguas arriba de la conexión, en m/s
- $V_L$ : Velocidad del fluido en el lateral, en m/s
- $S_{lat}$ : Área de la sección transversal interceptada por el elemento de conexión, en mm<sup>2</sup>
- $S_T$ : Área de la sección transversal de la tubería terciaria, en mm<sup>2</sup>
- $q_T$ : Caudal en la terciaria, aguas arriba de la conexión, en l/h
- $q_L$ : Caudal derivado por el lateral, en l/h
- $Re_T$ : Número de Reynolds en la terciaria, aguas arriba de la conexión, adimensional
- $Re_L$ : Número de Reynolds en el lateral, adimensional

El área de la sección transversal de la tubería terciaria se puede calcular según:

$$S_T = \frac{\pi \cdot D_{interior}^2}{4} \quad (3.98)$$

Donde:

- $D_{interior}$ : Diámetro interior de la tubería terciaria, en mm

En cuanto al área de la sección interceptada por el elemento de conexión, cabe decir que se puede calcular de manera análoga a la conexión de los emisores pinchados en el lateral, dado que la geometría es muy parecida, conforme se aprecia en la Figura 17 de la página siguiente.



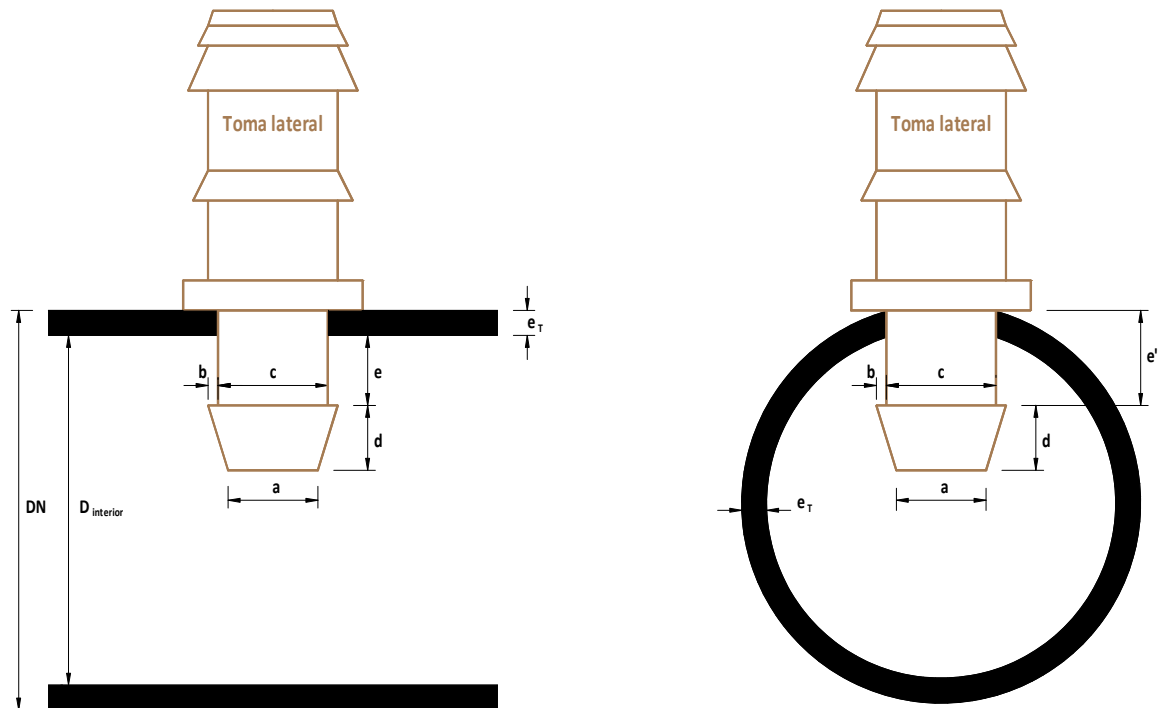


Figura 17: Inserción de lateral en terciaria. Vista longitudinal (izda.) y vista transversal (dcha.)

La expresión de cálculo es, pues:

$$s_{lat} = \frac{a + (2 \cdot b + c)}{2} \cdot d + c \cdot e \quad (3.99)$$

La dimensión  $e$  depende del espesor de la pared de la tubería  $e_T$ , pero al igual que en el caso de los emisores pinchados, se puede aproximar mediante:

$$e = e' - e_T \quad (3.100)$$

Así mismo, se admite que la deformación sufrida por la pared de la tubería no es relevante para los cálculos.

### 3.7. UNIFORMIDAD DE RIEGO

Como se expuso en el apartado 1.4 de la Introducción, un riego nunca puede ser perfectamente uniforme, existiendo ciertas diferencias de volumen aportado a las diferentes plantas de una subunidad.

El objetivo es, asumiendo que habrá plantas que se rieguen menos que otras, conseguir que las diferencias entre los volúmenes aportados a las diferentes plantas no sean excesivas. En otras palabras, se busca que la uniformidad de riego sea razonablemente alta.

Para ello, es necesario valorar de alguna manera dicha uniformidad, lo que se consigue mediante los denominados “coeficientes de uniformidad de riego”, que se suelen formular como parámetros adimensionales que calculan las diferencias relativas entre el volumen aportado a las plantas más regadas y el volumen aportado a las menos regadas.

Además, los coeficientes de uniformidad de riego pueden contemplarse desde dos puntos de vista:

1. Determinación del  $CU$  de una subunidad real dada a partir de las medidas de los caudales.
2. Establecimiento del  $CU$  que se pretende conseguir en una subunidad que se pretende diseñar.

En el primer caso se trataría de la uniformidad de riego a efectos de análisis:  $CU_a$ , mientras que en el segundo caso sería la uniformidad de riego de diseño:  $CU_d$ .

Estos dos tipos de coeficientes de uniformidad se recogen en el programa informático de modelización **ANASUB**, que si bien está enfocado al análisis de subunidades, también permite contemplar los coeficientes de subunidad a efectos de diseño.

En general, cualquier coeficiente de uniformidad establecido refleja la falta de uniformidad de riego, que se debe, principalmente, a los siguientes factores: presencia de obturaciones, diferencias de temperatura, diferencias de presión, diferencias en la fabricación y número de emisores por planta.

De todos estos sólo se tienen en cuenta en el modelo de comportamiento hidráulico las diferencias de presión y la fabricación. El resto de causas no se consideran por los siguientes motivos:

- Obturaciones: Lo deseable es que los emisores no estén obturados, lo que se puede conseguir con unos adecuados diseño de los filtros y manejo y mantenimiento de la instalación. Luego no debe influir ni en el diseño ni en el análisis.
- Diferencias de temperatura: A pesar de que la temperatura afecta al caudal emitido por los emisores y a las pérdidas de carga (por medio de la viscosidad cinemática del fluido), la uniformidad de riego no se vería afectada a no ser que hubiese diferencias de temperatura apreciables entre diferentes zonas o puntos de la subunidad, lo cual no se contempla.
- Número de emisores por planta: Los resultados de los análisis siempre se refieren tanto a emisor como a planta, por lo tanto, el efecto del número de emisores por planta ya se contempla.

A continuación, se van a enumerar los diferentes coeficientes de uniformidad de riego,  $CU$  considerados en la modelización de la subunidad, tanto a efectos de análisis como a efectos de diseño.

### 3.7.1. Coeficientes de uniformidad de riego considerados a efectos de análisis

Las diferentes expresiones para el  $CU_a$  parten del conocimiento de los caudales realmente emitidos (referidos a emisor o a planta) y no discriminan qué parte de la diferencia de caudales se debe a causas de fabricación y qué parte a causas hidráulicas. A continuación se incluyen las más frecuentemente utilizadas.

#### 3.7.1.1. COEFICIENTE DE CHRISTIANSEN

Se trata de un coeficiente establecido para riego por aspersión, y que considera las desviaciones absolutas con respecto a la media del agua emitida por cada aspersor (Christiansen 1942). También es de aplicación para riego localizado, pudiendo distinguir entre los  $CU$  referidos a emisor y a planta:

$$CU_{a-Christiansen} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q_i - \bar{q}|}{n \cdot \bar{q}} \quad (3.101)$$

Siendo:

- $q_i$  : Caudal referido a emisor o a planta
- $\bar{q}$  : Caudal medio de los emisores o de las plantas
- $n$  : Número de emisores o número de plantas

#### 3.7.1.2. COEFICIENTE DEL 50% DE LOS VALORES MÁS BAJOS

Tiene la siguiente expresión, referida a emisor o planta:

$$CU_{a-50} = \frac{q_{50\%}}{\bar{q}} \quad (3.102)$$

Donde:

- $q_{50\%}$  : Caudal medio correspondiente al 50% de los valores más bajos.

Se puede demostrar que si la distribución de los caudales es simétrica con respecto a la media, este coeficiente coincide con el Coeficiente de Christiansen.

Además, en el caso de que los caudales de los emisores sigan una distribución normal, como establecen Hart y Reynolds (1965) para riego por aspersión, se puede demostrar estadísticamente que:

$$CU_{a-50} = \left( 1 - 0,798 \cdot \frac{\sigma}{\bar{q}} \right) \quad (3.103)$$

Siendo:

- $\sigma$  : Desviación típica de los valores de los caudales.

### 3.7.1.3. COEFICIENTE DEL 25% DE LOS VALORES MÁS BAJOS

Uno de los coeficientes de uniformidad más utilizados es el denominado “del cuarto más bajo”, tal como establecen entre otros Keller y Karmeli (1974), Burt et al. (1997), Clemmens y Solomon (1997), Ascough y Kiker (2002) y Noori y Al Thamiry (2012)

Dicho coeficiente se calcula, ya sea referido a emisor o a planta, como sigue:

$$CU_{a-25} = \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} \quad (3.104)$$

Donde:

- $q_{25\%}$  : Caudal medio correspondiente al 25% de los valores más bajos.
- $\bar{q}$  : Caudal medio

Además, si la distribución de caudales es de tipo normal, se cumple también que (Clemmens y Solomon 1997):

$$CU_{a-25} = \left( 1 - 1,27 \cdot \frac{\sigma}{\bar{q}} \right) \quad (3.105)$$

### 3.7.1.4. COEFICIENTE DE KELLER Y KARMELI

El coeficiente de análisis de Keller y Karmeli, además de considerar las plantas menos regadas, también tiene en cuenta aquéllas plantas que tienen exceso de agua, lo cual da una idea de la uniformidad global de un sistema de riego (Karmeli y Keller 1975). La expresión de cálculo es:

$$CU_{a-Keller} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{q_{25\%}}{\bar{q}} + \frac{\bar{q}}{q_{12,5\%}} \right) \quad (3.106)$$

Siendo:

- $q_{12,5\%}$  : Caudal medio correspondiente al 12,5% de los valores más altos

### 3.7.1.5. COEFICIENTES DE LOS CAUDALES MÍNIMO Y MÁXIMO

Existen una serie de coeficientes de uniformidad que consideran los caudales mínimos y máximos tanto referidos a emisor como referidos a planta. La primera expresión propuesta fue establecida por Keller y Karmeli (1974) para diseño de subunidades, pero también puede usarse a efectos de análisis o evaluación. Es la siguiente:

$$CU_{a-minmed} = \frac{q_{min}}{\bar{q}} \quad (3.107)$$

La segunda expresión procede del programa informático de Diseño de laterales de riego localizado, realizado por Howell y Hiler (1974) que incorpora como medida de la uniformidad, la relación de caudales mínimo y máximo tomada de Zetzsche y Newman (1968):

$$CU_{a-\text{mín máx}} = \frac{q_{\text{mín}}}{q_{\text{máx}}} \quad (3.108)$$

Donde:

- $q_{\text{mín}}$  : Caudal mínimo
- $q_{\text{máx}}$  : Caudal máximo

Esta expresión (3.107) fue propuesta inicialmente para el diseño de laterales de riego subterráneo, pero puede ser perfectamente aplicada para el análisis o evaluación de subunidades de riego localizado.

Siguiendo esta línea, Wu y Gitlin (1974) establecieron que la relación de caudales máximo y mínimo  $q_{\text{máx}}/q_{\text{mín}}$  podía correlacionarse con el coeficiente de uniformidad de Christiansen (3.101), existiendo una clara relación entre ambos. No obstante, se considera que no tiene sentido establecer un nuevo coeficiente de uniformidad que recoja la relación de caudales  $q_{\text{máx}}/q_{\text{mín}}$  porque daría valores mayores de la unidad y porque dicha relación ya se contempla en la ecuación (3.108) aunque sea de forma inversa.

Posteriormente los mismos autores (Wu y Gitlin 1983), retomaron la idea de comparar el caudal máximo y el mínimo de los emisores, estableciendo el parámetro  $q_{\text{var}}$ , cuya formulación a efectos de análisis se podría establecer como sigue:

$$q_{a-\text{var}} = \frac{q_{\text{máx}} - q_{\text{mín}}}{q_{\text{máx}}} \quad (3.109)$$

Puede comprobarse fácilmente que esta expresión es prácticamente la misma que la establecida en la ecuación (3.107) para el coeficiente  $CU_{a-\text{mín máx}}$ , siendo su relación la siguiente:

$$q_{a-\text{var}} = \frac{q_{\text{máx}} - q_{\text{mín}}}{q_{\text{máx}}} = 1 - \frac{q_{\text{mín}}}{q_{\text{máx}}} = 1 - CU_{a-\text{mín máx}} \quad (3.110)$$

#### 3.7.1.6. COEFICIENTE DE LA DIFERENCIA DE CAUDAL

Según Karmeli y Keller (1975), la diferencia de caudales entre los emisores que funcionan simultáneamente no debe exceder del 10%. A partir de este planteamiento, que se hizo a efectos de diseño, se puede establecer un coeficiente de uniformidad a efectos de análisis o evaluación que tenga

en cuenta la diferencia relativa de caudales entre emisores o entre plantas de una subunidad, tomando como referencia el caudal medio. De esta forma, se puede expresar:

$$CU_{a-diferencia} = 1 - \frac{q_{m\acute{o}x} - q_{m\acute{i}n}}{q} \quad (3.111)$$

### 3.7.1.7. COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD ESTADÍSTICO

Este coeficiente se basa en la denominada “uniformidad estadística”, presentada por primera vez por Wilcox y Swailes (1947) para riego por aspersión y cuya expresión es:

$$CU_{est} = (1 - CV_q) \quad (3.112)$$

Siendo  $CV_q$  el coeficiente de variación de la altura de agua aplicada por el riego por aspersión.

Puede desarrollarse un planteamiento similar para sistemas de riego localizado cambiando la variable altura de agua aplicada por la variable caudal emitido por los emisores (Bralts et al. 1987). En este caso la expresión (3.112) queda como:

$$CU_{a-est} = 1 - \frac{\sigma_q}{q} \quad (3.113)$$

El planteamiento y la formulación de este coeficiente estadístico pueden parecer alejados de los que se aplican para los anteriores coeficientes, sin embargo, se puede demostrar que por ejemplo, el coeficiente de Christiansen  $CU_{a-Christiansen}$  (3.101) y el coeficiente del cuarto más bajo  $CU_{a-25}$  (3.104) están matemáticamente relacionados con la variación estadística contemplada en  $CU_{est}$  (Howell 2003).

## 3.7.2. Coeficientes de uniformidad de riego a efectos de diseño

Los coeficientes de uniformidad a efectos de diseño,  $CU_d$  tienen que distinguir qué parte de las diferencias de caudal se deben a causas de fabricación, que dependen básicamente del emisor elegido, y qué parte se deben a causas hidráulicas. Por eso, se suelen establecer por separado sendos coeficientes que después se combinan para componer el Coeficiente de Uniformidad global.

### 3.7.2.1. CAUSAS DE FABRICACIÓN

El coeficiente más utilizado es el que relaciona, para un conjunto de emisores, el caudal del cuarto más bajo frente al caudal medio. Es decir:

$$CU_{f-25} = \frac{q_{25\%}}{q} \quad (3.114)$$

En este caso, y para que las diferencias de presión no influyan, se supone que todos los emisores están sometidos a la misma presión. En la práctica esto es lo mismo que tomar los datos de un ensayo de laboratorio y calcular a partir de ellos el coeficiente (Montalvo 2007).

Además, si los caudales siguen una distribución normal, lo que según lo constatado en esta Tesis se da en la mayoría de las ocasiones, se puede establecer una relación entre el coeficiente de uniformidad por causas de fabricación,  $CU_f$  y el coeficiente de variación de fabricación del emisor dado obtenido en laboratorio,  $CV_{emisor}$ . Así, la expresión sería (Clemmens y Solomon 1997, Ascough y Kiker 2002, Barragan et al. 2006):

$$CU_{f-25} = 1 - 1,27 \cdot CV_{emisor} \quad (3.115)$$

En esta línea, es posible considerar otro coeficiente, que relaciona el caudal de la mitad más baja frente al caudal medio. Como se demostró anteriormente, este coeficiente es prácticamente igual al coeficiente de Christiansen, pero a efectos de diseño y descartando los efectos hidráulicos en la uniformidad.

$$CU_{f-50} = \frac{q_{50\%}}{q} \quad (3.116)$$

Según Hart y Reynolds (1965), Clemmens y Solomon (1997) y Howell (2003) este coeficiente puede expresarse en función del coeficiente de variación de fabricación del emisor de la siguiente forma, siempre y cuando la distribución sea normal:

$$CU_{f-50} = 1 - 0,798 \cdot CV_{emisor} \quad (3.117)$$

Otra forma de cuantificar los efectos de la fabricación de los emisores en la uniformidad de riego de la subunidad es la planteada por Wu y Gitlin (1983), quienes establecen la siguiente ecuación para determinar la variación de caudal producida por las causas de fabricación:

$$q_{var(f)} = 1 - \frac{q_{min(f)}}{q_{máx(f)}} \quad (3.118)$$

Donde:

- $q_{min(f)}$ : Caudal mínimo de una muestra de emisores ensayados en laboratorio
- $q_{máx(f)}$ : Caudal máximo de una muestra de emisores ensayados en laboratorio

Asumiendo que los caudales emitidos por un conjunto de emisores sometidos a la misma presión se ajustan a una distribución normal (Solomon 1979, Royuela y Turégano 2012, Turégano et al. 2013), se puede decir que sería bastante raro (probabilidad menor del 5%) encontrar un valor que

difiera de su media en más de dos desviaciones típicas (Romero 2012). Por lo tanto, la expresión (3.118) puede transformarse en:

$$q_{var(f)} = 1 - \frac{1 - 2 \cdot CV_{emisor}}{1 + 2 \cdot CV_{emisor}} \quad (3.119)$$

Por último, aplicando el concepto de “uniformidad estadística” anteriormente citado, es posible establecer un nuevo coeficiente de uniformidad que sólo contemple las causas de fabricación, y que es:

$$CU_{f-est} = (1 - CV_{emisor}) \quad (3.120)$$

### 3.7.2.2. CAUSAS HIDRÁULICAS

Para considerar sólo las causas hidráulicas, hay que suponer que todos los emisores son exactamente iguales, es decir, que no existe variabilidad en sus ecuaciones de descarga debido a la fabricación. Esto es lo mismo que tomar la ecuación de descarga media, obtenida con los valores medios de los caudales a diferentes presiones. Este es el mismo planteamiento que hacen Bralts et al. (1981) para deducir su coeficiente de variación del caudal de los emisores.

En este caso, las diferencias de caudal entre emisores se deberán exclusivamente a las diferencias de presión, motivadas por las pérdidas de carga, las diferencias de cota y las diferencias entre las alturas de velocidad.

Así pues, los diferentes coeficientes de uniformidad por causas hidráulicas,  $CU_h$  pueden establecerse a partir de los coeficientes de uniformidad a efectos de análisis definidos anteriormente,  $CU_a$  tomando los caudales previstos según la ecuación de descarga para las diferentes presiones consideradas. Para ello, es necesario calcular la distribución de presiones en la subunidad, lo que se puede hacer, por ejemplo, asumiendo que todos los emisores arrojan el mismo caudal (esto sólo sería cierto en el caso de los emisores perfectamente autocompensantes).

#### A) Coeficiente de Christiansen

Se toman los caudales previstos para todos los emisores según su presión de entrada y el caudal a presión media.

$$CU_{h-Christiansen} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |q(h_i) - q(\bar{h})|}{n \cdot q(\bar{h})} \quad (3.121)$$



**B) Coeficiente del 50% de los valores más bajos**

Se toman el promedio de los caudales predichos para el 50% de las presiones más bajas y el caudal correspondiente a la presión media.

$$CU_{h-50} = \frac{q(h_{50\%})}{q(\bar{h})} \quad (3.122)$$

En el caso de que la distribución de caudales fuese simétrica con respecto a la media, se puede comprobar que:

$$CU_{h-50} = CU_{h-Christiansen} \quad (3.123)$$

**C) Coeficiente del 25% de los valores más bajos**

Se toma el promedio de los caudales predichos para el 25% de las presiones más bajas (el cuarto más bajo de la distribución de presiones) y el caudal correspondiente a la presión media.

$$CU_{h-25} = \frac{q(h_{25\%})}{q(\bar{h})} \quad (3.124)$$

**D) Coeficiente de Keller y Karmeli**

Se toman el caudal predicho para la presión mínima, el caudal predicho para la presión máxima y el caudal correspondiente a la presión media.

$$CU_{h-Keller} = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{q(h_{\min})}{\bar{q}} + \frac{\bar{q}}{q(h_{\max})} \right) \quad (3.125)$$

**E) Coeficientes de los caudales mínimo y máximo**

Se considera el caudal correspondiente a la presión mínima y el caudal correspondiente a la presión media o el caudal correspondiente a la presión máxima:

$$CU_{h-\min med} = \frac{q(h_{\min})}{q(\bar{h})} \quad (3.126)$$

$$CU_{h-\min máx} = \frac{q(h_{\min})}{q(h_{\max})} \quad (3.127)$$

Se puede demostrar que en la mayoría de los casos, el caudal a presión mínima es prácticamente igual que el caudal medio correspondiente al cuarto más bajo de la distribución de presiones. De hecho, Barragan et al. (2006) establecen que la media del cuarto más bajo se asume como una estimación del caudal mínimo.

Así pues, se podría decir que:

$$CU_{h-\text{mínmax}} \approx CU_{h-25} \quad (3.128)$$

También resulta de interés comentar la expresión de Wu y Gitlin (1983) que establece la variación del caudal de los emisores por causas hidráulicas de la siguiente manera:

$$q_{\text{var}(h)} = \frac{q(h_{\text{máx}}) - q(h_{\text{mín}})}{q(h_{\text{máx}})} \quad (3.129)$$

Como sucedía con el  $q_{\text{var}}$  a efectos de análisis, es evidente la relación entre este coeficiente y el  $CU_{h-\text{mínmax}}$ , ya que:

$$q_{\text{var}(h)} = 1 - CU_{h-\text{mínmax}} \quad (3.130)$$

#### F) Coeficiente de la diferencia de caudal

Se toman los caudales correspondientes a las presiones máxima, mínima y media previstas en la subunidad.

$$CU_{h-\text{diferencia}} = 1 - \frac{q(h_{\text{máx}}) - q(h_{\text{mín}})}{q(\bar{h})} \quad (3.131)$$

#### G) Coeficiente de uniformidad estadística

Para aplicar el concepto de uniformidad estadística, es necesario determinar el coeficiente de variación de caudal por causas hidráulicas, que puede expresarse mediante (Bralts et al. 1987):

$$CV_{q(h)} = x \cdot CV_h = x \cdot \frac{\sigma_h}{h} \quad (3.132)$$

Siendo:

- $CV_h$ : Coeficiente de variación de las presiones
- $\sigma_h$ : Desviación típica de las presiones
- $\bar{h}$ : Presión media

Así, una vez conocido el coeficiente de variación de las presiones,  $CV_h$ , es fácil obtener el coeficiente de variación de caudal por causas hidráulicas. En definitiva, la expresión del coeficiente de uniformidad estadístico por causas hidráulicas podría ser:

$$CU_{h-\text{est}} = 1 - CV_{q(h)} = 1 - x \cdot \frac{\sigma_h}{h} \quad (3.133)$$

### 3.7.2.3. COMBINACIÓN DE LAS CAUSAS

Según la bibliografía, existen dos formas de combinar los coeficientes de uniformidad parciales debidos a causas hidráulicas y causas de fabricación.

La primera de ellas consiste en multiplicar directamente los coeficientes individuales de la siguiente manera (Burt et al. 1997):

$$CU_d = CU_f \cdot CU_h \quad (3.134)$$

Esto da lugar a expresiones como la de Keller (Keller y Karmeli 1974):

$$CU_{d-Keller} = (1 - 1,27 \cdot CV_{emisor}) \cdot \frac{q(h_{min})}{q(\bar{h})} \quad (3.135)$$

Una variante posterior de la anterior expresión procedente de los mismos autores es la siguiente (Karmeli y Keller 1975):

$$CU_{d-Karmeli} = (1 - 1,27 \cdot CV_{emisor}) \cdot \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{q(h_{min})}{q(\bar{h})} + \frac{q(\bar{h})}{q(h_{max})} \right) \quad (3.136)$$

De esta manera se considera la peor de las combinaciones posibles, dado que al emisor de menor caudal previsto se le recorta aún más dicho caudal para considerar también la variabilidad de la fabricación. Como se puede entender, es poco probable que el emisor al que le ha tocado estar en el punto de menor presión de la subunidad sea además el que arroje menos caudal a una presión dada debido a la variabilidad en la fabricación. Por eso se trata de una expresión conservadora que en general lleva a sobredimensionar las instalaciones (Barragan et al. 2006).

Una manera alternativa de combinación de las causas procede del concepto de uniformidad estadística, propuesto y desarrollado por Bralts et al. (1981), Bralts et al. (1987) y Clemmens y Solomon (1997). A partir de este planteamiento se puede definir el siguiente coeficiente de uniformidad estadístico a efectos de diseño:

$$CU_{d-est} = 1 - CV_{total} \quad (3.137)$$

Donde  $CV_{total}$  es el coeficiente de variación del caudal de los emisores considerando simultáneamente las causas de fabricación y las causas hidráulicas. Su expresión sería (Bralts et al. 1981, 1987):

$$CV_{total} = \sqrt{CV_{emisor}^2 + CV_{q(h)}^2} \quad (3.138)$$

A partir de esta ecuación, fruto del estudio de las varianzas, se puede establecer lo siguiente:

$$(1 - CU_{d-est})^2 = (1 - CU_{f-est})^2 + (1 - CU_{h-est})^2 \quad (3.139)$$

O, lo que es lo mismo:

$$CU_{d-est} = 1 - \sqrt{(1 - CU_{f-est})^2 + (1 - CU_{h-est})^2} \quad (3.140)$$

A pesar de que la ecuación (3.140) se ha deducido a partir de la uniformidad estadística, es posible generalizarla, tal como proponen Barragán et al. (2006), dando lugar a otra expresión de cálculo del coeficiente de uniformidad a efectos de diseño, diferente de la (3.134).

$$CU_d = 1 - \sqrt{(1 - CU_f)^2 + (1 - CU_h)^2} \quad (3.141)$$

Pueden utilizarse cualquiera de los coeficientes de uniformidad propuestos. Así por ejemplo, tomando para  $CU_f$  la ecuación (3.115) y para  $CU_h$  la ecuación (3.126), la expresión quedaría:

$$CU_d = 1 - \sqrt{(1,27 \cdot CV_{emisor})^2 + \left(1 - \frac{q(h_{min})}{q(\bar{h})}\right)^2} \quad (3.142)$$

Sea cual sea la forma utilizada para combinar las dos causas, estas deben ser independientes como postulan Bralts et al.(1981). No obstante, esto no siempre es cierto, a tenor de los resultados obtenidos en esta tesis. Además, si se comparan los dos coeficientes propuestos, la diferencia entre los valores calculados es pequeña si se adopta una alta uniformidad a efectos de diseño (Barragan et al. 2006).

Por último, otra forma de integrar las dos causas de variabilidad en una única expresión de cálculo sería la propuesta por Wu y Gitlin (1983):

$$q_{d-var} = 1 - \frac{1 - 2 \cdot CV_{total}}{1 + 2 \cdot CV_{total}} \quad (3.143)$$

En donde:

$$CV_{total} = \sqrt{CV_f^2 + CV_h^2} \quad (3.144)$$

La ecuación (3.143) es similar a la ecuación (3.119) que, como se recordará, se basaba en la consideración de que los caudales emitidos se ajustaban a una distribución normal. En este caso, al intervenir también las causas hidráulicas, la hipótesis de normalidad no está garantizada, lo que limita el uso de la expresión de cálculo propuesta.

### 3.8. ENTORNO DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO PARA LA APLICACIÓN INFORMÁTICA.

Para la elaboración de la aplicación informática **ANASUB** que simula y analiza una subunidad de riego localizado se ha utilizado el programa Visual Basic 6.0® de Microsoft® por su disponibilidad y su facilidad de uso.

El Visual Basic 6.0 utiliza un lenguaje de programación sencillo basado en elementos denominados objetos que tienen ciertas propiedades que se pueden modificar. A los objetos se les pueden asociar eventos, que son la ocurrencia de un suceso, comúnmente la acción que realiza el usuario sobre el objeto, que como resultado puede, por ejemplo, provocar un cambio en alguna propiedad de dicho objeto.

En síntesis, un objeto posee propiedades, responde a eventos y puede ejecutar métodos asociados a él. Estos tres aspectos se controlan mediante un código de programación.

El Visual Basic 6.0 permite compilar los objetos y el código asociado a ellos generando un fichero ejecutable que funciona en entorno Windows® en sus versiones: XP, Vista, Windows 7 y Windows 8. Posee además un módulo denominado “Empaquetador de objetos” que permite generar paquetes de instalación distribuibles.

### 3.9. ANÁLISIS DE SUBUNIDADES TIPO

Una vez elaborada la aplicación informática **ANASUB** que recoge el modelo de comportamiento de las subunidades, resulta de sumo interés utilizarla para analizar ciertas subunidades tipo. Los resultados de estos análisis deberían servir para contrastar, corroborar y confirmar algunas hipótesis de partida que son claves para la consistencia del modelo planteado.

Pero antes es necesario definir dichas subunidades tipo. Siguiendo la metodología habitual, habría que diseñarlas aplicando cualquiera de los criterios de diseño hidráulico explicados en la Introducción (Ver apartado 1.3), pero dadas las características del programa creado, esta primera fase pierde gran parte de su importancia. Esto se debe a la facilidad con la que se pueden repetir los análisis modificando las características geométricas e hidráulicas de las subunidades prediseñadas. Lo que sí tiene una gran importancia es que la subunidad analizada que se adopte como solución final, ha de cumplir escrupulosamente el criterio de diseño hidráulico considerado.

### 3.9.1. Criterios de diseño adoptados

Los criterios de diseño de las subunidades tipo objeto de análisis se basan en el establecimiento de una diferencia de presión máxima admisible cuyo valor es distinto según se trate de subunidades con emisores no autocompensantes o con emisores autocompensantes.

No obstante, y como ya se indicó en el apartado 1.3 de la Introducción, para conseguir una adecuada distribución del agua de riego, se establece como restricción adicional que la máxima diferencia relativa de caudales entre plantas sea menor del 10% del caudal medio, es decir:

$$\delta Q = \frac{Q_{m\acute{a}x} - Q_{m\acute{i}n}}{\bar{Q}} \leq 0,10 \quad (3.145)$$

Siendo:

- $Q_{m\acute{i}n}$  : Caudal correspondiente a la planta menos regada, en l/h
- $Q_{m\acute{a}x}$  : Caudal correspondiente a la planta más regada, en l/h
- $\bar{Q}$  : Caudal medio referido a planta, en l/h

Así pues, los criterios de diseño son los siguientes.

#### 3.9.1.1. DISEÑO DE SUBUNIDADES CON EMISORES NO AUTOCOMPENSANTES

Las subunidades con emisores no autocompensantes se van a diseñar aplicando el criterio basado en la máxima diferencia relativa de caudales entre emisores.

En concreto se va a considerar que la diferencia entre el caudal máximo y el caudal mínimo sea menor a un 10% del caudal medio. Así, según la ecuación (1.13):

$$\Delta h_{admissible} \leq \frac{0,1}{x} \cdot \bar{h} \quad (3.146)$$

Por otra parte, dado que para los emisores no autocompensantes el caudal depende de la presión, se procura que el caudal medio de la subunidad sea igual que el caudal nominal del emisor. Esto es lo mismo que decir que la presión media de la subunidad coincida con la presión nominal de ensayo del emisor, que en la mayoría de los casos es de 100 kPa (10,20 m), según establece la Norma UNE-EN-ISO 9261 en su apartado 3.24.

Además, se puede comprobar experimentalmente que la mayor parte de los emisores no autocompensantes presentan un exponente de descarga de la ecuación potencial próximo a 0,5 ( $x=0,5$ ), esto hace que la presión en las subunidades que usan este tipo de emisores fluctúe  $\pm 10\%$  en torno a la presión media (Karmeli y Keller 1975)

Así pues, a efectos prácticos se puede decir que la diferencia de presión entre emisores en una subunidad con emisores no autocompensantes no debería exceder de 2 m.

$$\Delta h = h_{m\acute{a}x} - h_{m\acute{i}n} \leq \frac{0,1}{0,5} \cdot 10,20 = 2,04 \text{ m}$$

$$\bar{h} = 100 \text{ kPa} \approx 10,20 \text{ m} \quad (3.147)$$

### 3.9.1.2. DISEÑO DE SUBUNIDADES CON EMISORES AUTOCOMPENSANTES

Dado que un emisor autocompensante emite prácticamente el mismo caudal independientemente de la presión de entrada al mismo, no tiene sentido fijar como criterio de diseño hidráulico un límite para la diferencia de caudales entre emisores, como ocurría en el caso de los emisores no autocompensantes.

Lo que sí es importante considerar es que un emisor autocompensante tiene un rango de regulación de presiones con una presión mínima y una presión máxima. La presión mínima se define como aquella presión de entrada al emisor a partir de la cual se garantiza que el elemento de regulación de caudal funciona adecuadamente; mientras que la presión máxima no debe superarse puesto que se podrían producir fugas o roturas en los componentes del emisor. En general, el rango de regulación de presiones de los emisores comerciales suele ser de 100 a 400 kPa (de 10,20 a 40,80 m)

Por todo ello, una subunidad de riego con emisores autocompensantes, se suele diseñar de manera que la presión mínima sea de 10,20 m y la presión máxima de 40,80 m. Esto quiere decir que la máxima diferencia de presión entre emisores sea de 30,60 m:

$$\Delta h = h_{m\acute{a}x} - h_{m\acute{i}n} \leq 30,60 \text{ m}$$

$$h_{m\acute{i}n} \geq 10,20 \text{ m} \quad (3.148)$$

No obstante, permitir una variación de presiones tan grande puede llevar a incrementar considerablemente los costes energéticos de la instalación aunque se consiga una buena uniformidad de riego. Además, las velocidades en los tramos iniciales de las tuberías pueden resultar excesivas.

### 3.9.2. Elección del tipo de tubería

El tipo de tubería a elegir tanto para los laterales como las tuberías terciarias depende de la presión máxima prevista en la subunidad y de los diámetros disponibles. En el mercado existe una gran variedad de productos, pero para simplificar los cálculos se va a utilizar tubería normalizada.

Así, para los laterales se aplica la norma UNE 53367-1: “Plásticos. Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua para microirrigación. Polietileno (PE). Parte 1: Especificaciones para tubos” (AENOR 2012a). Por su parte, para las tuberías terciarias se puede aplicar la norma anterior y también la norma UNE-EN 12201-2:2012. Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua y saneamiento con presión. Polietileno (PE). Parte 2: Tubos” (AENOR 2012b).

El criterio consiste en elegir la tubería de la menor presión nominal posible y de la menor densidad de polietileno posible. Además, teniendo en cuenta las tolerancias indicadas por las diferentes normas, es de prever que los fabricantes opten por el espesor de pared mínimo manteniendo el diámetro exterior nominal, lo que dará lugar al mayor diámetro interior posible. Con todo ello, se confecciona la Tabla IV, expuesta a continuación.

Tabla IV: Diámetros interiores para las tuberías laterales y terciarias

Tubería	DN	Emisores no autocompensantes				Emisores autocompensantes			
		UNE 53367		UNE EN 12201		UNE 53367		UNE EN 12201	
		PN2,5	PN4	PN2,5	PN4	PN2,5	PN4	PN2,5	PN4
LATERAL	16	13,6	---			---	13,2		
	20	17,4	---			---	17,0		
TERCIARIA	25	22,2	---			---	21,2		
	32	28,8	---		---	---	28,0		---
	40				35,2				35,2
	50			46,0	---			---	44,0
	63			58,0	---			---	55,4
	75			69,2	---			---	66,0

### 3.9.3. Elección del tipo de emisor

Buscando que los resultados y las conclusiones sean lo más generales posible, se van a considerar cuatro emisores distintos, dos no autocompensantes y dos autocompensantes. Además, de cada tipo de emisor, uno tendrá un coeficiente de variación de fabricación alto y el otro bajo.

Esto lleva a la elección de los siguientes emisores: Noauto-3a, Noauto-5, Auto-4a y Auto-8ac.

### 3.9.4. Geometría de la subunidad

Las subunidades tipo definidas son de geometría rectangular y completamente horizontales y pueden estar alimentadas por el punto extremo de la terciaria o por su punto medio. Sirven para regar un cultivo de cítricos típico de la Comunidad Valenciana con un marco de plantación de 5x5 m.



El hipotético diseño agronómico realizado para cualquiera de ellas, daría como resultado los siguientes parámetros:

- Emisores equidistantes.
- Caudal nominal: 4,0 l/h
- Número de emisores por planta y lateral: 4
- Número de laterales por fila de plantas: 2
- Separación entre plantas de la misma fila: 5 m
- Separación entre filas de plantas: 5 m
- Separación entre emisores de la misma planta: 1,25 m
- Separación entre laterales de la misma fila de plantas: 1,5 m
- Distancia entre el inicio del lateral y el primer emisor: 1,25 m

Estos datos configuran la disposición de emisores y laterales, que se plasma en la Figura 18.

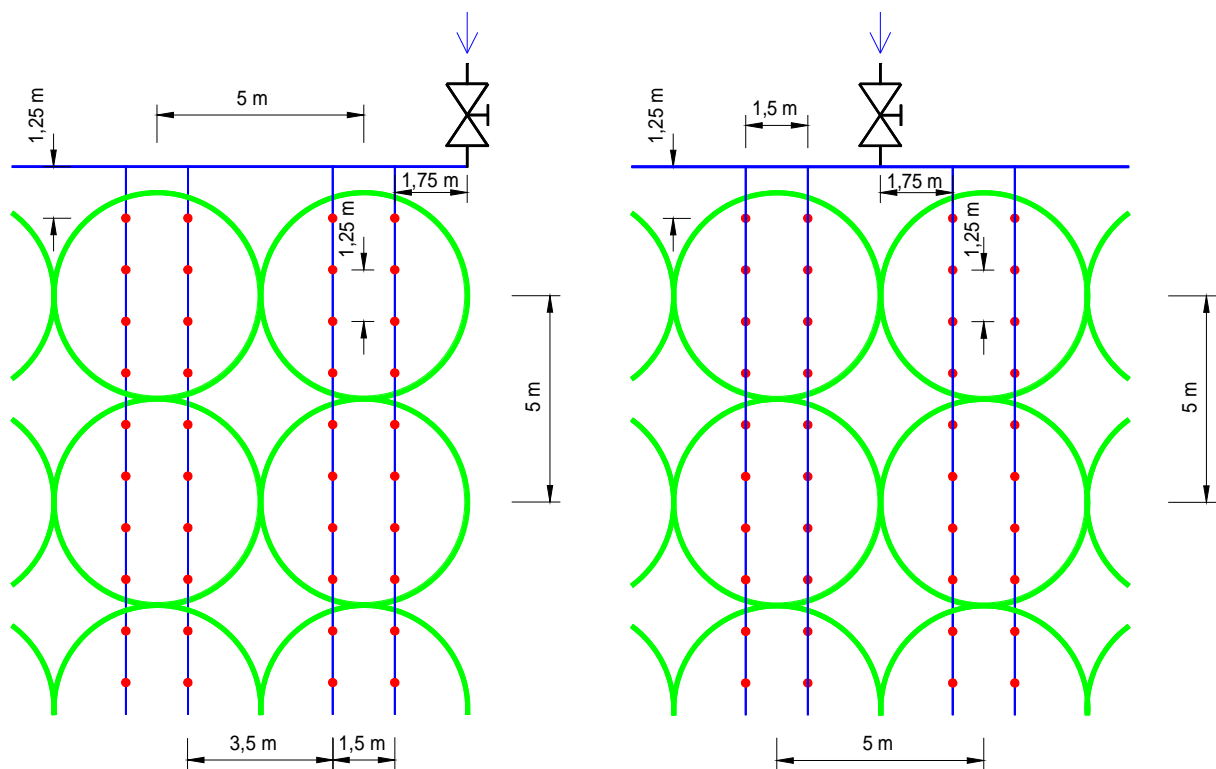


Figura 18: Disposición de emisores y laterales de las subunidades tipo analizadas

### 3.9.5. Subunidades definidas

Aplicando todo lo dicho anteriormente se establecen las siguientes subunidades tipo a analizar con el programa informático **ANASUB**.

Tabla V: Subunidades tipo a analizar

Subunidad	Tipo de emisor	Emisor	CV <sub>ensayo</sub> (%)	Número de filas de plantas	Alimentación terciaria
Subnocomp-1	No autocompensante	Noauto-3a	0,431	16	Punto extremo
Subnocomp-2	No autocompensante	Noauto-5	1,973	16	Punto extremo
Subnocomp-3	No autocompensante	Noauto-3a	0,431	16	Punto medio
Subnocomp-4	No autocompensante	Noauto-5	1,973	16	Punto medio
Subcomp-1	Autocompensante	Auto-4a	1,873	16	Punto extremo
Subcomp-2	Autocompensante	Auto-8ac	6,415	16	Punto extremo
Subcomp-3	Autocompensante	Auto-4a	1,873	32	Punto medio
Subcomp-4	Autocompensante	Auto-8ac	6,415	32	Punto medio

No está definido todavía el número de plantas por fila, ya que esto es el resultado de aplicar los criterios de diseño hidráulico anteriormente establecidos para cada una de las subunidades previstas.

### 3.9.6. Criterios y condiciones del análisis

A la hora de abordar el cálculo hidráulico por parte del programa informático, es necesario fijar previamente ciertos criterios y parámetros de manera que los diferentes análisis planteados sean comparables entre sí. En este sentido se considera lo siguiente:

- a) La temperatura del agua se fija en 20° C
- b) La presión de entrada ha de ser la adecuada para que el caudal medio de los emisores coincida con el caudal nominal.
- c) Las pérdidas de carga continuas se calculan según el tipo de régimen hidráulico en el tramo de conducción considerado.
- d) Las pérdidas de carga localizadas por inserción de los emisores en el lateral se determinan mediante las fórmulas empíricas que consideran la geometría de dicha inserción.
- e) Las pérdidas de carga localizadas por inserción de los laterales en la terciaria también se determinan mediante las fórmulas empíricas que consideran la geometría de la inserción.
- f) El diámetro nominal de los laterales se fija en 16 mm para todos los casos, aunque la presión nominal será de 0,25 MPa para las subunidades con emisores no autocompensantes y de 0,4 MPa para las subunidades con emisores autocompensantes.

- g) La utilización de tubería normalizada condiciona la elección para la tubería terciaria de un diámetro nominal de 40 mm (DN40) y presión nominal de 0,4 MPa (PN4) tanto para subunidades con emisores no autocompensantes como para subunidades con emisores autocompensantes (Ver Tabla IV).

Para determinar las pérdidas localizadas es necesario conocer la geometría de la inserción de los emisores en el lateral y de estos en la tubería terciaria. A continuación, se incluyen los valores considerados para las diferentes dimensiones, medidos en laboratorio con un pie de rey de 0,01 mm de precisión.

**Tabla VI: Características geométricas de la conexión de los emisores pinchados considerados**

Emisor	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e' (mm)	e <sub>L</sub> (mm)	e (mm)	S <sub>emi</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>int</sub> (mm)	S <sub>L</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>emi</sub> /S <sub>L</sub>
Noauto-3a	3,7	0,6	4,0	4,4	4,9	1,2	3,7	34,38	13,6	145,27	0,24
Auto-8ac	0,0	0,6	4,3	6,0	4,8	1,4	3,4	31,12	13,2	136,85	0,23
Auto-4a	2,8	0,9	3,8	5,2	3,5	1,4	2,1	29,82	13,2	136,85	0,22

**Tabla VII: Características geométricas de la conexión del emisor integrado en forma de anillo considerado**

Emisor	D <sub>emisor</sub> (mm)	e (mm)	D <sub>int</sub> (mm)	S <sub>emi</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>L</sub> (mm <sup>2</sup> )	s <sub>emi</sub> /S <sub>L</sub>
Noauto-5	11,8	1,0	13,6	40,21	145,27	0,28

**Tabla VIII: Características geométricas de la conexión de los laterales para emisores no autocompensantes**

Terciaria	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e' (mm)	e <sub>T</sub> (mm)	e (mm)	S <sub>lat</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>int</sub> (mm)	S <sub>T</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>lat</sub> /S <sub>T</sub>
DN 25	9,2	1	10,8	6,3	9,3	1,4	7,9	154,62	22,2	387,08	0,40
DN 32	9,2	1	10,8	6,3	9,3	1,6	7,7	152,46	28,8	651,44	0,23
DN 40	9,2	1	10,8	6,3	9,3	2,4	6,9	143,82	35,2	973,14	0,15
DN 50	9,2	1	10,8	6,3	9,3	2,0	7,3	148,14	46,0	1661,90	0,09
DN 63	9,2	1	10,8	6,3	9,3	2,5	6,8	142,74	58,0	2642,08	0,05
DN 75	9,2	1	10,8	6,3	9,3	2,9	6,4	138,42	69,2	3760,99	0,04

**Tabla IX: Características geométricas de la conexión de los laterales para emisores autocompensantes**

Terciaria	a (mm)	b (mm)	c (mm)	d (mm)	e' (mm)	e <sub>T</sub> (mm)	e (mm)	S <sub>lat</sub> (mm <sup>2</sup> )	D <sub>int</sub> (mm)	S <sub>T</sub> (mm <sup>2</sup> )	S <sub>lat</sub> /S <sub>T</sub>
DN 25	9,2	1	10,8	6,3	9,3	1,9	7,4	149,22	21,2	352,99	0,42
DN 32	9,2	1	10,8	6,3	9,3	2,0	7,3	148,14	28,0	615,75	0,24
DN 40	9,2	1	10,8	6,3	9,3	2,4	6,9	143,82	35,2	973,14	0,15
DN 50	9,2	1	10,8	6,3	9,3	3,0	6,3	137,34	44,0	1520,53	0,09
DN 63	9,2	1	10,8	6,3	9,3	3,8	5,5	128,7	55,4	2410,51	0,05
DN 75	9,2	1	10,8	6,3	9,3	4,5	4,8	121,14	66,0	3421,19	0,04

Por último, hay que establecer las condiciones de comportamiento de los emisores, por lo que se considera que:

- a) Se realiza una “siembra aleatoria” de una muestra de emisores cuyo tamaño se corresponde al número total de emisores de la subunidad procedente de una hipotética población de 100.000 unidades.
- b) La ecuación característica de los emisores es de tipo potencial, y es distinta para cada emisor individual, tanto para los no autocompensantes como para los autocompensantes.

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**ÍNDICE**

Pag.

<b>4.1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>101</b>
<b>4.2. ENSAYOS DE LOS EMISORES EN LABORATORIO .....</b>	<b>101</b>
4.2.1. Resultados de los ensayos .....	101
4.2.2. Discusión de los resultados.....	106
<b>4.3. COEFICIENTES DE VARIACIÓN, CV.....</b>	<b>113</b>
4.3.1. Descripción de los resultados .....	113
4.3.2. Discusión de los resultados.....	116
<b>4.4. PROGRAMA DE ANÁLISIS DE SUBUNIDADES.....</b>	<b>128</b>
4.4.1. Características del programa .....	129
4.4.2. Módulos del programa .....	129
4.4.3. Algoritmo de análisis hidráulico .....	131
<b>4.5. ANÁLISIS DE SUBUNIDADES TIPO .....</b>	<b>133</b>
4.5.1. Resultados de los análisis de las subunidades.....	133
4.5.2. Discusión de los resultados.....	136

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. INTRODUCCIÓN

En este apartado se presentan y discuten los resultados obtenidos en la presente tesis doctoral en relación con los siguientes aspectos:

- Comportamiento real de los emisores, estudiado mediante los ensayos de emisores comerciales en el laboratorio de Riego Localizado.
- Deducción de las expresiones teóricas para el cálculo de los diferentes coeficientes de variación contemplados.
- Elaboración del programa informático **ANASUB** en la plataforma Visual Basic 6 que recoge y aplica el modelo teórico propuesto.
- Análisis de algunas subunidades tipo utilizando el mencionado programa.

### 4.2. ENSAYOS DE LOS EMISORES EN LABORATORIO

#### 4.2.1. Resultados de los ensayos

##### 4.2.1.1. EMISORES ENSAYADOS

Se han ensayado realmente un total de 9 emisores no autocompensantes y 17 emisores autocompensantes, pero en la práctica se dispone de más resultados por los siguientes motivos:

- En algunos emisores se ha detectado la presencia de datos de caudal anómalos, por lo que se han recalculado sus resultados descartando los elementos discordantes.
- En algunos emisores autocompensantes, la consideración de la presión de ensayo de 50 kPa según indica la Norma UNE-EN-ISO 9261 (AENOR 2010), da lugar a ciertas anomalías en el funcionamiento de los mismos y dificulta la aplicación del modelo de comportamiento planteado. Por ello, se han vuelto a incluir los datos de los emisores afectados restringiendo las presiones al intervalo de regulación/compensación recomendado por el fabricante.
- Hay un emisor cuya clasificación es dudosa (*Auto-1*), ya que el exponente medio resultante es superior a 0,2 si se considera todo el intervalo de presiones de ensayo. No obstante, se ubica entre los autocompensantes porque así lo cataloga el fabricante.
- Se dispone de datos de 2 emisores autocompensantes ensayados en otro banco de ensayo, facilitados por D. Ibán Balbastre y de los que ya se han descartado los datos anómalos.

Por todo ello, se van a estudiar realmente 12 casos de emisores no autocompensantes y 30 casos de emisores autocompensantes, que son los relacionados en las tablas siguientes.

Tabla X: Emisores no autocompensantes ensayados

Denominación comercial	Emisor	Presencia de anomalías	Intervalo de presiones (kPa)
Netafim botón 2	Noauto-1	NO	0 – 250
Bricorriego 2	Noauto-2	SI	0 – 250
	Noauto-2a	NO	0 – 250
Toroplastro 4	Noauto-3	SI	0 – 250
	Noauto-3a	NO	0 – 250
Bricorriego 4	Noauto-4	NO	0 – 250
Azud drip compact 4	Noauto-5	NO	0 – 250
Azud pro 4	Noauto-6	SI	0 – 250
	Noauto-6a	NO	0 – 250
Azud drip compact 2,2	Noauto-7	NO	0 – 250
Azud pro 2,2	Noauto-8	NO	0 – 250
Tuftiff 8	Noauto-9	NO	0 – 250

Tabla XI: Emisores autocompensantes ensayados

Denominación comercial	Emisor	Presencia de anomalías	Intervalo de presiones (kPa)
Twin plus 1,8	Auto-1	NO	50 – 400
	Auto-1c	NO	100 – 400
Hydro PC 2,2	Auto-2	NO	50 – 400
	Auto-2c	NO	100 – 350
Netafim botón 4	Auto-3	NO	50 – 400
	Auto-3c	NO	100 – 400
Netafim PCJ 4	Auto-4	SI	50 – 400
	Auto-4a	NO	50 – 400
Flapper 7	Auto-5	NO	50 – 400
Netafim Technet 2	Auto-6	SI	50 – 400
	Auto-6a	NO	50 – 400
Netafim botón 2	Auto-7	NO	50 – 400
Turboplus 4	Auto-8	SI	50 – 400
	Auto-8a	NO	50 – 400
	Auto-8ac	NO	100 – 400
Azud premier line 2,3	Auto-9	SI	50 – 400
	Auto-9a	NO	50 – 400
Azud premier line 1,5	Auto-10	NO	50 – 400
Azud premier line 1,1	Auto-11	SI	50 – 400
	Auto-11a	NO	50 – 400
LBC 4	Auto-12	SI	50 – 400
	Auto-12a	NO	50 – 400
	Auto-12ac	NO	100 – 400
Azud premier line 2.3L 9261	Auto-13	NO	50 – 480
Azud premier line 1.6L 9261	Auto-14	NO	50 – 480
Azud premier line 1.0L 9261	Auto-15	NO	50 – 480
Azud premier line 3.0L 9261	Auto-16	NO	50 – 480
Azud premier line 3.5L 9261	Auto-17	NO	50 – 480
Ibán 1,6	Auto-18	NO	100 – 480
Ibán 2,3	Auto-19	NO	50 – 420

Aunque se indica la denominación comercial de los emisores, en ningún modo se trata de comparar entre sí emisores reales a efectos de caracterizar su calidad, sino de validar el modelo de comportamiento hidráulico propuesto.



#### 4.2.1.2. DATOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Para cada emisor se establecen y se calculan los siguientes datos y resultados:

- Tipo de emisor: No autocompensante o autocompensante.
- Conexión: Pinchado (en derivación) o integrado.
- Rango de presiones: Intervalo de compensación para los autocompensantes e intervalo de trabajo para los no autocompensantes, en kPa.
- Caudal nominal, en l/h.
- Para emisores no autocompensantes: Caudal a presión nominal, que es el caudal medio de los emisores para una presión de ensayo de 100 kPa, en l/h.
- Para emisores autocompensantes: Caudal medio del emisor, calculado como la media de los caudales medios para cada valor de presión, en l/h
- Caudales medidos para todos los emisores individuales, en l/h y para todas las presiones consideradas, en MPa<sup>1</sup>.
- Medias y Coeficientes de Variación de los caudales para cada valor de presión.
- Coeficientes de ajuste  $K_i$  y  $x_i$  para las ecuaciones características de tipo potencial de todos los emisores individuales, obtenidos mediante mínimos cuadrados.
- Medias y Coeficientes de Variación para dichos coeficientes de ajuste.
- Coeficientes de ajuste  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$  para las ecuaciones características de tipo parabólica de todos los emisores individuales, obtenidos mediante mínimos cuadrados.
- Medias y Coeficientes de Variación para dichos coeficientes de ajuste.
- Verificación de la normalidad de los datos de los caudales y los coeficientes de ajuste aplicando la prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov.

Además de esto, también se incluyen una representación gráfica del caudal de los emisores frente a la presión y las dos ecuaciones de ajuste considerada, potencial y parabólica, con sus coeficientes de correlación al cuadrado,  $R^2$  de cada una de ellas, indicativo de la bondad del ajuste. A continuación se incluye un ejemplo de emisor no autocompensante y otro de emisor autocompensante. En el Anexo I: "Resultados de los ensayos de emisores comerciales" se pueden ver los resultados de todos los emisores ensayados.

---

<sup>1</sup> Se utilizan los MPa para las presiones para que los coeficientes de ajuste de las ecuaciones parabólicas no sean excesivamente pequeños, lo que podría dificultar su análisis y correcta interpretación.

Tabla XII: Ejemplo de datos y resultados para un emisor no autocompensante (Noauto-1)

Tipo: <b>No autocompensante</b> Conexión: <b>Pinchado</b> Rango de trabajo: <b>0 – 250 kPa</b> Caudal nominal: <b>2,0 l/h</b> Caudal a presión nominal (100 kPa): <b>1,959 l/h</b>										
EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	1,391	1,928	2,315	2,644	2,938	5,582	0,463	0,828	12,287	-15,557
2	1,390	1,942	2,329	2,666	2,967	5,684	0,469	0,819	12,495	-15,802
3	1,417	1,980	2,373	2,705	3,018	5,759	0,467	0,840	12,655	-16,007
4	1,410	1,973	2,375	2,720	3,028	5,838	0,473	0,822	12,846	-16,267
5	1,412	1,970	2,366	2,695	3,003	5,734	0,467	0,834	12,672	-16,190
6	1,382	1,919	2,295	2,626	2,918	5,534	0,462	0,827	12,139	-15,283
7	1,428	1,974	2,362	2,690	2,982	5,614	0,456	0,857	12,506	-16,197
8	1,424	1,977	2,366	2,707	3,019	5,733	0,465	0,857	12,402	-15,206
9	1,409	1,957	2,350	2,697	3,000	5,732	0,468	0,839	12,422	-15,258
10	1,443	1,999	2,388	2,725	3,033	5,723	0,459	0,872	12,507	-15,648
11	1,412	1,959	2,352	2,681	2,981	5,659	0,463	0,840	12,508	-15,970
12	1,408	1,953	2,348	2,686	2,980	5,680	0,465	0,832	12,560	-16,026
13	1,414	1,969	2,361	2,697	3,010	5,739	0,467	0,844	12,470	-15,430
14	1,413	1,949	2,358	2,696	3,011	5,746	0,469	0,846	12,281	-14,653
15	1,406	1,933	2,320	2,647	2,932	5,518	0,456	0,845	12,214	-15,605
16	1,400	1,955	2,346	2,681	2,978	5,701	0,468	0,821	12,666	-16,327
17	1,401	1,941	2,340	2,674	2,956	5,643	0,464	0,819	12,667	-16,595
18	1,447	2,000	2,406	2,740	3,032	5,746	0,460	0,854	12,923	-17,000
19	1,446	1,990	2,385	2,726	3,025	5,698	0,458	0,874	12,446	-15,522
20	1,405	1,942	2,341	2,671	2,985	5,678	0,466	0,845	12,189	-14,701
21	1,386	1,913	2,295	2,623	2,921	5,521	0,461	0,838	11,951	-14,651
22	1,409	1,960	2,349	2,685	2,987	5,686	0,465	0,839	12,481	-15,731
23	1,453	1,989	2,390	2,723	3,016	5,652	0,454	0,879	12,470	-15,832
24	1,411	1,949	2,334	2,665	2,951	5,570	0,458	0,844	12,372	-15,926
25	1,409	1,950	2,340	2,681	2,999	5,697	0,467	0,856	12,057	-14,127
<b>Media</b>	<b>1,413</b>	<b>1,959</b>	<b>2,351</b>	<b>2,686</b>	<b>2,987</b>	<b>5,675</b>	<b>0,464</b>	<b>0,843</b>	<b>12,447</b>	<b>-15,660</b>
<b>CV (%)</b>	<b>1,315</b>	<b>1,192</b>	<b>1,183</b>	<b>1,129</b>	<b>1,171</b>	<b>1,419</b>	<b>1,051</b>	<b>1,974</b>	<b>1,854</b>	<b>-4,209</b>
<b>Normal</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR	
	$q = -15,660 \cdot h^2 + 12,447 \cdot h + 0,843$ $R^2 = 0,997$
	$q = 5,674 \cdot h^{0,464}$ $R^2 = 0,998$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• q medido</li> <li>— Ajuste potencial</li> <li>— Ajuste parabólico</li> </ul>

Tabla XIII: Ejemplo de datos y resultados para un emisor autocompensante (Auto-14)

Tipo: <i>Autocompensante</i> Conexión: <i>Integrado</i> Rango de regulación: <i>50 – 400 kPa</i> Caudal nominal: <i>1,6 l/h</i> Caudal medio: <i>1,547 l/h</i>															
EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,585	1,538	1,493	1,499	1,524	1,502	1,539	1,568	1,597	1,623	1,566	0,008	1,617	-0,983	2,117
2	1,543	1,493	1,477	1,426	1,452	1,466	1,485	1,489	1,479	1,486	1,451	-0,013	1,560	-0,744	1,304
3	1,586	1,547	1,501	1,473	1,491	1,499	1,533	1,557	1,577	1,596	1,537	0,001	1,628	-1,107	2,242
4	1,569	1,531	1,488	1,499	1,550	1,583	1,624	1,654	1,675	1,697	1,687	0,041	1,565	-0,531	1,784
5	1,585	1,553	1,499	1,490	1,525	1,548	1,582	1,599	1,619	1,642	1,604	0,017	1,605	-0,818	1,940
6	1,533	1,495	1,469	1,475	1,530	1,571	1,603	1,629	1,647	1,663	1,668	0,045	1,516	-0,310	1,384
7	1,580	1,530	1,487	1,455	1,495	1,514	1,553	1,585	1,609	1,634	1,580	0,016	1,613	-1,109	2,496
8	1,584	1,532	1,470	1,441	1,487	1,505	1,537	1,557	1,578	1,598	1,542	0,006	1,615	-1,145	2,411
9	1,584	1,553	1,527	1,490	1,504	1,521	1,546	1,557	1,578	1,581	1,539	-0,001	1,614	-0,815	1,620
10	1,614	1,569	1,522	1,499	1,503	1,496	1,525	1,547	1,560	1,568	1,507	-0,014	1,659	-1,146	2,069
11	1,549	1,515	1,508	1,538	1,599	1,637	1,673	1,693	1,708	1,727	1,763	0,060	1,505	0,155	0,720
12	1,573	1,529	1,485	1,487	1,516	1,526	1,552	1,568	1,587	1,601	1,567	0,011	1,586	-0,724	1,646
13	1,570	1,556	1,510	1,499	1,528	1,551	1,588	1,613	1,630	1,646	1,620	0,022	1,591	-0,673	1,721
14	1,551	1,527	1,505	1,518	1,561	1,587	1,616	1,630	1,642	1,657	1,665	0,036	1,534	-0,134	0,880
15	1,504	1,441	1,420	1,452	1,510	1,545	1,581	1,597	1,610	1,630	1,644	0,049	1,465	-0,150	1,128
16	1,562	1,532	1,525	1,509	1,542	1,564	1,598	1,632	1,650	1,667	1,653	0,032	1,569	-0,491	1,523
17	1,551	1,506	1,470	1,421	1,439	1,446	1,482	1,504	1,522	1,539	1,474	-0,006	1,600	-1,220	2,356
18	1,543	1,503	1,479	1,506	1,566	1,599	1,629	1,647	1,660	1,676	1,696	0,048	1,509	-0,049	0,918
19	1,529	1,496	1,450	1,463	1,508	1,538	1,570	1,591	1,605	1,620	1,613	0,033	1,522	-0,437	1,433
20	1,534	1,495	1,461	1,475	1,602	1,553	1,584	1,603	1,622	1,637	1,646	0,038	1,503	-0,074	0,792
21	1,560	1,530	1,491	1,478	1,493	1,523	1,552	1,582	1,600	1,615	1,580	0,016	1,585	-0,815	1,915
22	1,628	1,589	1,543	1,506	1,509	1,494	1,523	1,554	1,572	1,588	1,511	-0,017	1,690	-1,337	2,398
23	1,567	1,547	1,513	1,485	1,498	1,511	1,539	1,554	1,565	1,575	1,538	0,001	1,598	-0,764	1,559
24	1,589	1,575	1,557	1,539	1,550	1,527	1,539	1,530	1,565	1,575	1,532	-0,010	1,621	-0,596	1,026
25	1,535	1,502	1,460	1,426	1,436	1,462	1,506	1,504	1,515	1,542	1,488	0,000	1,571	-0,985	1,985
<b>Media</b>	<b>1,564</b>	<b>1,527</b>	<b>1,492</b>	<b>1,482</b>	<b>1,517</b>	<b>1,531</b>	<b>1,562</b>	<b>1,582</b>	<b>1,599</b>	<b>1,615</b>	<b>1,587</b>	<b>0,017</b>	<b>1,578</b>	<b>-0,680</b>	<b>1,655</b>
<b>CV (%)</b>	<b>1,782</b>	<b>2,091</b>	<b>2,039</b>	<b>2,169</b>	<b>2,761</b>	<b>2,926</b>	<b>2,945</b>	<b>3,149</b>	<b>3,235</b>	<b>3,303</b>	<b>4,898</b>	<b>134,914</b>	<b>3,392</b>	<b>-60,607</b>	<b>32,736</b>
<b>Normal</b>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>	<i>SI</i>

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR	
	$q = 1,655 \cdot h^2 - 0,680 \cdot h + 1,578$ $R^2 = 0,448$
	$q = 1,585 \cdot h^{0,017}$ $R^2 = 0,092$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• q medido</li> <li>— Ajuste potencial</li> <li>— Ajuste parabólico</li> </ul>

## 4.2.2. Discusión de los resultados

### 4.2.2.1. VARIABILIDAD DE LOS CAUDALES MEDIDOS

El parámetro utilizado para determinar la variabilidad de los caudales ha sido el coeficiente de variación para cada presión,  $CV_j$ , cuyo valor se calcula según:

$$CV_j = \frac{\sigma_{q_j}}{q_j} \quad (4.1)$$

Siendo:

- $\overline{q_j}$  : El caudal medio de todos los emisores a un nivel de presión  $j$ , en l/h
- $\sigma_{q_j}$  : La desviación típica de los caudales de todos los emisores a un nivel de presión  $j$ , en l/h

Los valores obtenidos muestran que el CV varía con la presión, en contra de lo establecido por Bralts et al. (1981) o por Rodrigo López et al. (1997). Además, la mayor parte de las propuestas que tienen relación con el cálculo de la uniformidad de distribución en sus diferentes formatos o con el diseño hidráulico de subunidades, se basan en la constancia de dicho parámetro (Karmeli y Keller 1975, Bralts et al. 1987, Burt et al. 1997, Ascough y Kiker 2002, Barragan et al. 2006, Noori y Al Thamiry 2012, Zhang et al. 2013).

Por ello, para comparar diferentes emisores es mejor obtener el coeficiente de variación medio en todo el intervalo de presiones considerado (intervalo de trabajo para emisores no autocompensantes o intervalo de regulación/compensación para emisores autocompensantes). Así, para los  $p$  niveles de presión establecidos en el ensayo, el coeficiente de variación medio,  $\overline{CV}$ , valdría:

$$\overline{CV} = \frac{\sum_{j=1}^p CV_j}{p} \quad (4.2)$$

En general se constata que el  $\overline{CV}$  es menor en los emisores no autocompensantes. De hecho, el peor emisor (*Noauto-2*) presenta un  $\overline{CV}$  de 4,223%, mientras que el mejor emisor (*Noauto-3a*) su  $\overline{CV}$  es de 0,431%. Por su parte, el peor emisor autocompensante (*Auto-12*) presenta un  $\overline{CV}$  de 9,442%; mientras que el mejor emisor autocompensante (*Auto-4a*) tiene un  $\overline{CV}$  de 1,873%.

Esta diferencia puede deberse al diseño interno de los emisores, dado que los emisores no autocompensantes consisten en general en un laberinto fabricado de una sola pieza mediante una máquina de inyección de plástico, mientras que los emisores autocompensantes se componen de un pequeño laberinto (también de material plástico) y de una pequeña pieza de material elástico (generalmente silicona o EPDM) fabricados por separado y ensamblados posteriormente.

O sea, los defectos de fabricación son mayores en el caso de los emisores autocompensantes, lo que implica una mayor variabilidad en sus dimensiones internas que, a la postre, influirá en la variabilidad de los caudales emitidos. Esta circunstancia ya fue comentada por Solomon (1979).

#### 4.2.2.2. NORMALIDAD DE LOS DATOS. PRESENCIA DE DATOS ANÓMALOS

Para la práctica totalidad de los emisores ensayados, tanto compensantes como no compensantes, se comprueba que los caudales medidos parecen provenir de distribuciones normales, ya sea observando su representación en papel probabilístico normal o realizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Ha habido dos excepciones entre los emisores no autocompensantes (*Noauto-2* y *Noauto-3*) y cuatro entre los emisores autocompensantes (*Auto-8*, *Auto-12*, *Auto-18* y *Auto-19*).

En estos casos, representando los datos en papel probabilístico normal, se constataba la presencia de datos anómalos que vulneraban la condición de normalidad. De hecho, eliminándolos del análisis, resulta que todos los caudales ya pasan la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov.

La presencia de estos datos anómalos puede deberse a diferentes causas, como defectos de fabricación, errores de medida o fugas de caudal durante los ensayos. La forma de eliminarlos consiste en analizar la representación en papel probabilístico normal de los caudales e identificar los valores que se alejan de la recta de referencia, como se muestra en la siguiente figura.

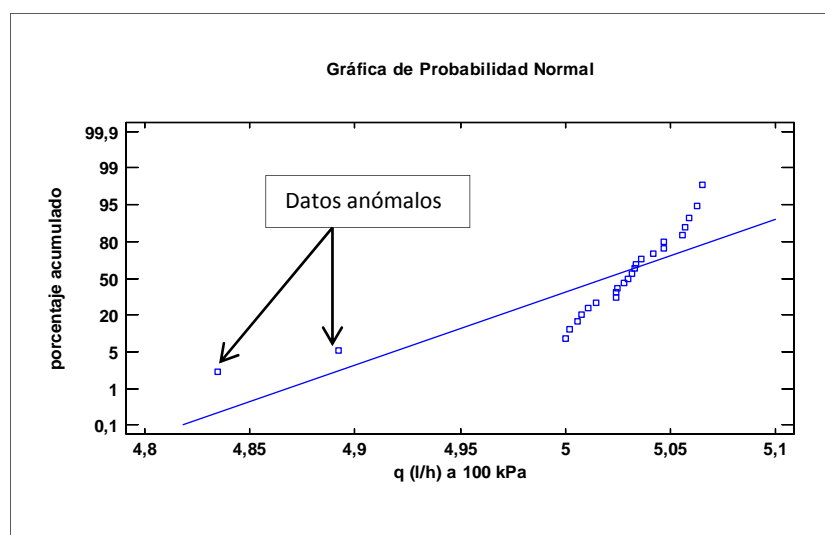


Figura 19: Datos anómalos en una representación probabilística normal (emisor *Noauto-3*)

En conclusión, se puede decir que en general, los caudales arrojados por cualquier tipo de emisor a diferentes presiones, siguen distribuciones normales, lo cual contribuye a validar el modelo teórico propuesto en Materiales y Métodos. Esta afirmación corrobora lo expresado por Solomon (1979), Bralts y Kesner (1983), Smesrud y Selker (2001) y Turégano et al. (2013), entre otros.

#### 4.2.2.3. ECUACIONES DE AJUSTE GLOBAL

##### A) Emisores no autocompensantes

La norma UNE-EN-ISO 9261 indica que la ecuación de ajuste para cualquier tipo de emisor debe ser potencial, pero como ya se ha expuesto anteriormente, se ha contemplado también la curva de ajuste parabólica tanto para los emisores no autocompensantes como para los autocompensantes.

Como se puede apreciar en el Anexo I, para los emisores no autocompensantes el mejor ajuste es siempre el ajuste potencial, con coeficientes de correlación  $R^2$  muy elevados, desde 0,980 en el peor de los casos (*Noauto-2*) hasta 1,000 en el mejor (*Noauto-3a*).

Por su parte, el ajuste parabólico también es bastante bueno, puesto que el coeficiente de correlación  $R^2$  va desde 0,973 (*Noauto-2*) hasta 0,999 (*Noauto-3a*). Tanto es así que se podría considerar como un buen modelo para la predicción del caudal arrojado por los emisores.

No obstante, los emisores no autocompensantes suelen ser del tipo laberinto, con salida libre a través de orificio, por lo que la ecuación de ajuste más adecuada es la potencial con exponente de descarga próximo a 0,50. De hecho, los emisores ensayados han presentado unos exponentes de descarga promedio que van desde 0,464 (*Noauto-1*) hasta 0,540 (*Noauto-2*).

Además, la ecuación parabólica es más difícil de obtener y tiene un coeficiente más, luego es más compleja.

Por todo ello, para los emisores no autocompensantes se considera que el mejor ajuste es el ajuste potencial. Es decir, que este modelo es el que mejor predice su comportamiento hidráulico.

##### B) Emisores autocompensantes

A pesar de que Keller y Karmeli (1974) y Solomon (1979) entre otros, asumen que todos los emisores responden a la presión mediante una ecuación de tipo potencial, dicha ecuación no es el modelo más adecuado para el caso de los emisores autocompensantes (Royuela y Turégano 2012).

De hecho, se constata que en la mayor parte de los casos el mejor ajuste es el ajuste parabólico si se atiende exclusivamente al valor del coeficiente de correlación  $R^2$ . La única excepción es el emisor *Auto-1* que se puede clasificar realmente como no autocompensante, dado que su exponente de descarga es de 0,213 (mientras que la Norma ISO 9261 establece como límite 0,2).

Adicionalmente, se puede apreciar en las representaciones gráficas incluidas en el Anejo 1, que la curva de ajuste parabólica refleja mejor el comportamiento real de los emisores. Esto queda especialmente patente en los emisores *Auto-9*, *Auto-10*, *Auto-11*, *Auto-13*, *Auto-14*, *Auto-15*, *Auto-16* y *Auto-17*. Probablemente porque todos estos emisores proceden del mismo fabricante y son de la misma gama, es decir, que su diseño y proceso de fabricación son semejantes.

De todas formas, aun siendo el mejor ajuste el parabólico, los coeficientes de correlación  $R^2$  no son muy elevados, llegando, en el mejor de los casos a 0,718 (*Auto-4a*).

En definitiva, el mejor ajuste sería el parabólico, a pesar de su mayor dificultad de obtención y el valor no muy elevado del coeficiente de correlación  $R^2$ .

#### 4.2.2.4. ECUACIONES DE AJUSTE INDIVIDUAL

##### A) Normalidad de los coeficientes

En la mayor parte de los emisores no autocompensantes estudiados se cumple que los coeficientes de ajuste individuales de los emisores siguen distribuciones normales (aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov). Sólo los emisores *Noauto-2a* y *Noauto-6* presentan distribuciones no normales de los coeficientes de ajuste potencial y los emisores *Noauto-2*, *Noauto-2a*, *Noauto-3a*, *Noauto-6* y *Noauto-9*, presentan distribuciones no normales de los coeficientes de ajuste parabólico. Este resultado permite confirmar que el ajuste parabólico no sería el más adecuado para modelizar el comportamiento hidráulico de los emisores no autocompensantes.

Por su parte, casi la totalidad de los emisores autocompensantes ensayados presentan coeficientes de ajuste cuya distribución se puede considerar como normal aplicando la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Sólo los casos de los emisores *Auto-12a* y *Auto-19* presentan coeficientes de ajuste cuya distribución parece no ser normal.

Por todo ello, se puede decir que, en general, los coeficientes de ajuste individuales tanto en la versión potencial como parabólica, siguen distribuciones normales, lo cual valida el modelo teórico propuesto en Materiales y Métodos, especialmente en lo referente a la creación de la población y extracción de la muestra. Esta conclusión también permite validar parcialmente el planteamiento realizado por Bralts y Edwards (1986) y Bralts et al. (1987) quienes adjudicaban toda la variabilidad debida a la fabricación de los emisores a la variabilidad del coeficiente  $K$  de la ecuación de descarga potencial de dichos emisores.

B) Valores medios

Para el caso de la ecuación potencial, se cumple que el promedio de los exponentes ( $x_i$ ) de los emisores individuales coincide exactamente con el exponente obtenido considerando los caudales medios ( $x$ ). Sin embargo, el promedio de los coeficientes ( $K_i$ ) no coincide con el coeficiente global ( $K$ ).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = x; \quad \bar{K} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{n} \neq K \quad (4.3)$$

Esto se debe, tal y como se demostró en el apartado 3.2.2.1 de Materiales y Métodos, a que la transformación logarítmica de la ecuación potencial de descarga implica por defecto que:

$$\ln K = \overline{\ln K} \Rightarrow K = e^{\overline{\ln K}} \neq \bar{K} \quad (4.4)$$

Se constata que los valores promedio de los coeficientes de ajuste de la ecuación parabólica obtenidos para cada emisor individual ( $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$ ) coinciden exactamente con los coeficientes de ajuste determinados para los caudales medios ( $A$ ,  $B$  y  $C$ ) y que pueden observarse en las representaciones gráficas de las curvas de ajuste. Esto ocurre con todos los emisores, sean o no autocompensantes.

Es decir, se cumple que:

$$\bar{A} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i}{n} = A; \quad \bar{B} = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{n} = B; \quad \bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} = C \quad (4.5)$$

C) Variabilidad

La variabilidad se evalúa mediante los coeficientes de variación  $CV$  calculados a partir de los coeficientes individuales tanto para el ajuste potencial como para el parabólico.

Para el caso de los emisores no autocompensantes, los valores del  $CV$  fluctúan de la siguiente manera:

- Ecuación potencial:
  - Exponente  $x_i$ : Entre 0,263% (*Noauto-7*) y 3,360% (*Noauto-2*)
  - Coeficiente  $K_i$ : Entre 0,544% (*Noauto-3a*) y 5,614% (*Noauto-2a*)
- Ecuación parabólica:
  - Coeficiente  $A_i$ : Entre 1,174% (*Noauto-3a*) y 12,657% (*Noauto-2*)
  - Coeficiente  $B_i$ : Entre 1,050% (*Noauto-3a*) y 11,117% (*Noauto-2a*)
  - Coeficiente  $C_i$ : Entre -1,218% (*Noauto-9*) y -53,039% (*Noauto-2a*)



Por su parte, en el caso de los emisores autocompensantes se dan los siguientes valores mínimos y máximos:

- Ecuación potencial:
  - Exponente  $x_i$ :  $CV_x$  entre 5,678% (*Auto-1*) y -2756,14% (*Auto-18*)
  - Coeficiente  $K_i$ :  $CV_K$  entre 2,266% (*Auto-16*) y 14,513% (*Auto-12*)
- Ecuación parabólica:
  - Coeficiente  $A_i$ :  $CV_A$  entre 1,606% (*Auto-3*) y 29,561% (*Auto-12*)
  - Coeficiente  $B_i$ :  $CV_B$  entre 5,297% (*Auto-1*) y 6335,98% (*Auto-8ac*)
  - Coeficiente  $C_i$ :  $CV_C$  entre -5,636% (*Auto-1*) y -537,27% (*Auto-11*)

Para los emisores no autocompensantes, se detecta una relación directa entre el CV de los coeficientes de ajuste y el  $\overline{CV}$  definido para los caudales. De hecho, el mejor emisor no autocompensante a efectos del  $\overline{CV}$  de los caudales (*Noauto-3a*) también presenta los menores valores del CV de los coeficientes de ajuste, tanto potencial como parabólico.

Esta relación indicada no es tan clara para los emisores autocompensantes, que por otra parte presentan valores muy dispares en los CV de los diferentes coeficientes. Merecen mención especial los valores máximos de CV para el exponente  $x_i$  y los coeficientes  $B_i$  y  $C_i$ , que son extraordinariamente elevados debido a su propia definición: resulta que al aparecer en el denominador de la expresión el valor medio, si este está próximo a 0, el valor resultante es muy grande aunque la variabilidad real no lo sea tanto aparentemente.

Otro aspecto a comentar es el hecho de que el emisor *Auto-1* presenta los mejores valores de CV para el exponente  $x_i$  y los coeficientes  $B_i$  y  $C_i$ . Esto puede resultar un tanto engañoso, habida cuenta de que el citado emisor podría no considerarse como autocompensante atendiendo al valor de su exponente medio (0,213 para todo el intervalo de presiones y 0,152 para el intervalo de trabajo establecido por el fabricante).

Para concluir, queda claro que la variabilidad de los coeficientes de ajuste (potencial y parabólico) para el caso de los emisores no autocompensantes es menor que para los emisores autocompensantes, igual que ocurría con la variabilidad de los caudales emitidos. Para justificar este hecho se puede recurrir al mismo argumento esgrimido anteriormente y que se basa en el diseño interno y la manera de fabricar ambos tipos de emisores.

## 4.2.2.5. INFLUENCIA DEL INTERVALO DE COMPENSACIÓN

La mayor parte de los ensayos de los emisores autocompensantes se ha hecho para un intervalo de presiones de entre 50 y 400 kPa, siguiendo parcialmente las indicaciones de la norma UNE-EN-ISO 9261. Esto provoca que algunos emisores no funcionen correctamente (*Auto-1*, *Auto-2*, *Auto-3*, *Auto-8* y *Auto-12*), dado que están trabajando por debajo del límite inferior del intervalo de compensación establecido por el fabricante. En estos casos, se aprecia en las representaciones de las curvas de ajuste, que el caudal emitido por los emisores a 50 kPa es claramente inferior a lo esperado observando la tendencia que presentan los caudales a presiones mayores.

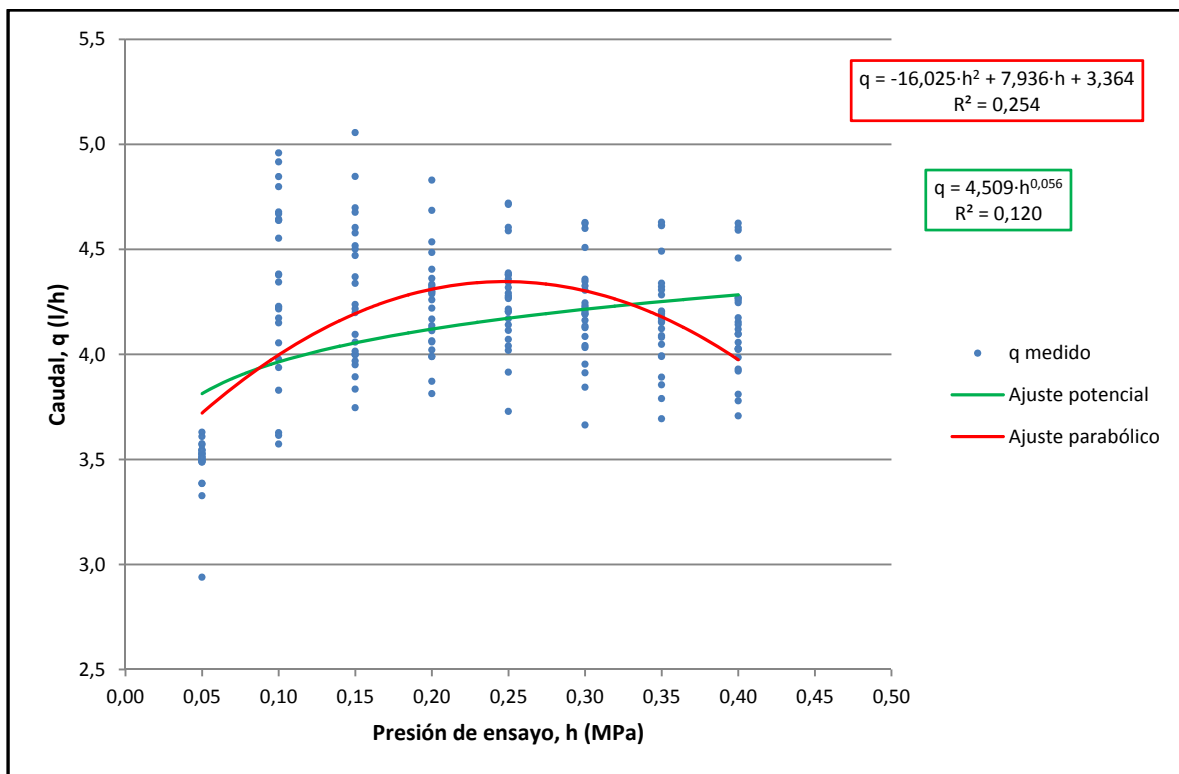


Figura 20: Ejemplo de la influencia del intervalo de compensación (*Auto-8*)

Por tanto, se considera que es más adecuado contemplar sólo el intervalo de presiones de compensación, a pesar de que las ecuaciones de ajuste no son mejores en general, siendo su coeficiente de correlación  $R^2$  a veces más pequeño, tanto en la versión potencial como en la parabólica.

Esta disminución del coeficiente de correlación  $R^2$  que se observa en algunos emisores puede deberse a que la consideración de los caudales a la presión de 50 kPa hace que la ecuación, obligada a recoger dichos valores, se parezca a una ecuación potencial como la que se da en los emisores no autocompensantes.

### 4.3. COEFICIENTES DE VARIACIÓN, CV

El coeficiente de variación de fabricación de un emisor tiene una gran influencia en la uniformidad de riego en una subunidad, de hecho, Solomon (1985) lo sitúa entre los principales factores que la afectan. Por eso es muy importante su correcta obtención así como determinar si depende o no de la presión.

A partir de los resultados de los ensayos de laboratorio de los emisores se calculan los diferentes coeficientes de variación CV contemplados en esta tesis, comparándolos entre sí y con el coeficiente de variación real obtenido en el ensayo. Así, se podrá validar el modelo teórico planteado para su uso en el algoritmo de análisis utilizado por el programa informático desarrollado.

#### 4.3.1. Descripción de los resultados

Como se puede apreciar en el Anexo II: "Coeficientes de variación", para cada emisor se ha incluido una primera tabla con los resultados del análisis estadístico de los coeficientes de ajuste individuales en sus dos versiones, potencial y parabólica.

A continuación, en la Tabla XIV se muestra un ejemplo de un emisor no autocompensante.

Tabla XIV: Ejemplo de análisis estadístico de los coeficientes de ajuste (Noauto-1)

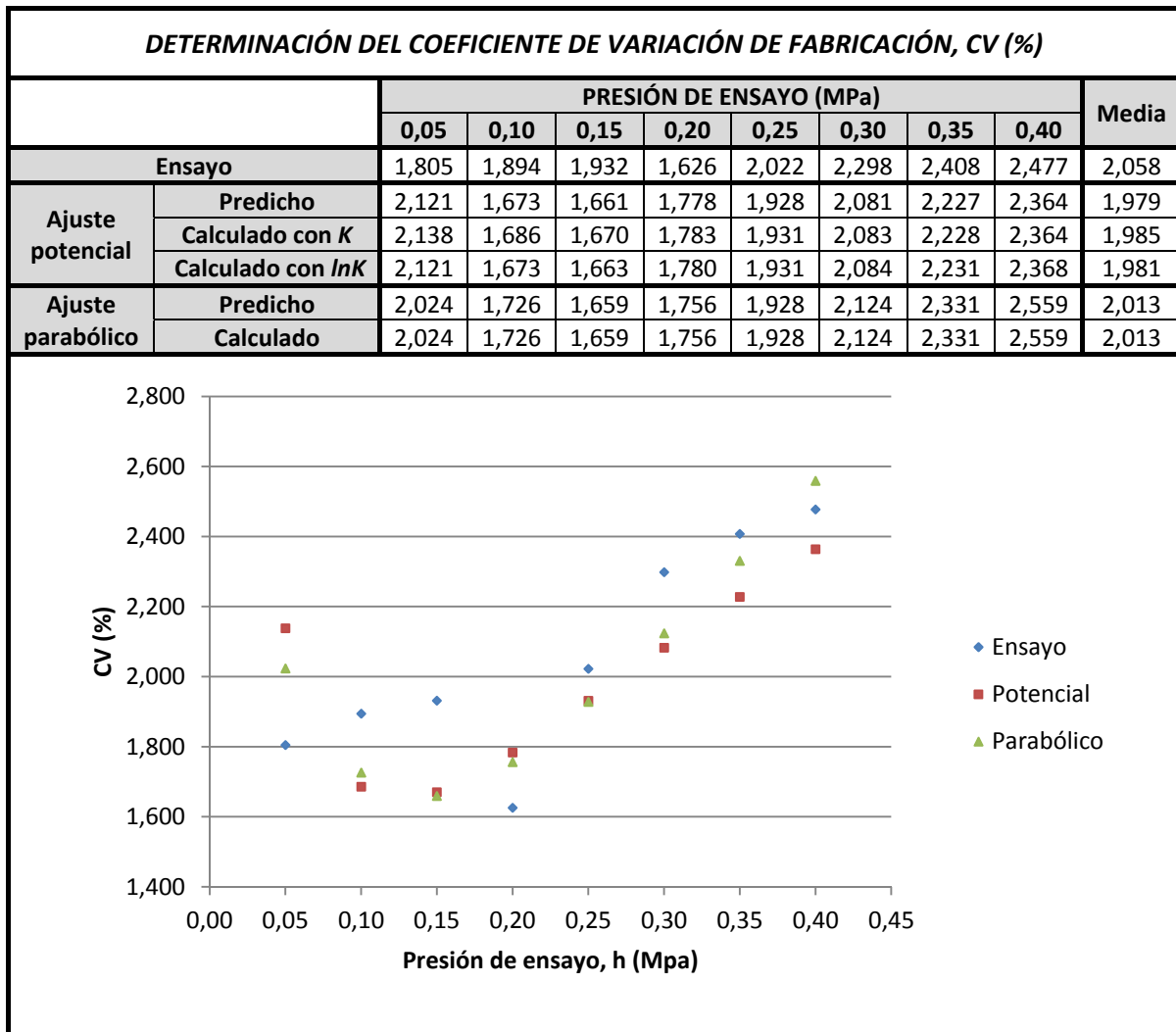
<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE</b>									
<b>Ajuste potencial</b>	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	5,675	12,447	0,464	0,006	0,053	0,000	0,203		
<b>Ajuste parabólico</b>	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	0,843	12,447	-15,660	0,000	0,053	0,434	-1,865	-2,495	8,612

Adicionalmente, se añade una segunda tabla con los valores de los diferentes coeficientes de variación contemplados a diferentes presiones, para cuyo cálculo se toman los resultados del análisis estadístico anterior.

También se incluyen los valores promedio para todas las presiones y la representación gráfica de todos los valores para poder visualizar posibles discrepancias y establecer una adecuada comparativa entre ellos.

La Tabla XV muestra un ejemplo de emisor autocompensante.

Tabla XV: Ejemplo de determinación de los CV y su representación gráfica para emisor autocompensante (Auto-6a)



4.3.1.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE

Se incluyen los siguientes datos:

- Para ajuste potencial:
  - Valores medios:  $\bar{K}, \overline{\ln K} \text{ y } \bar{x}$
  - Varianzas:  $\sigma_K^2, \sigma_{\ln K}^2, \text{ y } \sigma_x^2$
  - Pendiente de la recta de ajuste entre los coeficientes:  $m_{\ln K, x}$
  
- Para ajuste parabólico:
  - Valores medios:  $\bar{A}, \bar{B} \text{ y } \bar{C}$
  - Varianzas:  $\sigma_A^2, \sigma_B^2 \text{ y } \sigma_C^2$
  - Pendientes de las rectas de ajuste entre los coeficientes:  $m_{A,B}, m_{B,C} \text{ y } m_{A,C}$

## 4.3.1.2. CÁLCULO DE LOS COEFICIENTES DE VARIACIÓN, CV

En la primera fila de la Tabla XV se incluye el coeficiente de variación real obtenido en el ensayo de laboratorio,  $CV_{ensayo}$ , para las diferentes presiones de ensayo y cuya expresión es:

$$CV_{ensayo} = \frac{\sigma_{q_{real}}}{q_{real}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{i-real} - \overline{q_{real}})^2}{n-1}}}{\frac{\sum_{i=1}^n q_{i-real}}{n}} \quad (4.6)$$

Siendo:

- $\sigma_{q_{real}}$  : Es la desviación típica de los caudales medidos de todos los emisores, en l/h
- $q_{i-real}$  : El caudal realmente medido para el emisor  $i$  para cada presión, en l/h
- $\overline{q_{real}}$  : Es la media de los caudales medidos de todos los emisores para cada presión, en l/h

A continuación, para cada tipo de ajuste, se dan los valores del coeficiente de variación predicho y calculado. En el primer caso se trata del CV obtenido a partir de los caudales de cada emisor predichos a partir de su ecuación de descarga individual, mientras que en el segundo caso, el CV se calcula a partir de las expresiones deducidas teóricamente en la sección 3.3 de Materiales y métodos.

Así pues, para **ajuste potencial**:

- Coeficiente de variación predicho:

$$CV_{predicho} = \frac{\sigma_{q_{predicho}}}{q_{predicho}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{i-predicho} - \overline{q_{predicho}})^2}{n-1}}}{\frac{\sum_{i=1}^n q_{i-predicho}}{n}} \quad (4.7)$$

$$q_{i-predicho} = K_i \cdot h^{x_i} \quad (4.8)$$

- Coeficiente de variación calculado:
  - Sin transformación logarítmica del coeficiente K

$$CV_{calculado(\ln K)} = \sqrt{e^{(1+2 \cdot \ln h \cdot m_{nk-x}) \sigma_{\ln K}^2 + (\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2} - 1} \quad (4.9)$$

- Con transformación logarítmica del coeficiente K

$$CV_{calculado(K)} = \sqrt{\left(1 + \frac{\sigma_K^2}{K^2}\right)^{(1+2 \cdot \ln h \cdot m_{nk-x})} \cdot e^{(\ln h)^2 \cdot \sigma_x^2} - 1} \quad (4.10)$$

Además, para **ajuste parabólico**:

- Coeficiente de variación predicho:

$$CV_{predicho} = \frac{\sigma_{q_{predicho}}}{q_{predicho}} = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_{i-predicho} - \overline{q_{predicho}})^2}{n-1}}}{\frac{\sum_{i=1}^n q_{i-predicho}}{n}} \quad (4.11)$$

$$q_{i-predicho} = A_i + B_i \cdot h + C_i \cdot h^2 \quad (4.12)$$

- Coeficiente de variación calculado:

$$CV_{calculado} = \frac{\sqrt{(1 + 2 \cdot h \cdot m_{A-B} + 2 \cdot h^2 \cdot m_{A-C}) \cdot \sigma_A^2 + (h^2 + 2 \cdot h^3 \cdot m_{B-C}) \cdot \sigma_B^2 + h^4 \cdot \sigma_C^2}}{A + B \cdot h + C \cdot h^2} \quad (4.13)$$

Por último, también se incluye el coeficiente de variación promedio para todas las modalidades contempladas.

### 4.3.2. Discusión de los resultados

#### 4.3.2.1. COMPARATIVA ENTRE EL CV DE ENSAYO Y LOS CV PREDICHO Y CALCULADO

El CV obtenido en los ensayos para las diferentes presiones, difiere en general de los CV predichos y calculados tanto para el ajuste potencial como para el ajuste parabólico. De hecho, en algunos casos se observan fluctuaciones importantes en este CV de ensayo puestas de manifiesto en las representaciones gráficas que se pueden observar en el Anexo II.

Esto puede explicarse por el hecho de que en un ensayo de laboratorio concreto, influyen otras variables y se pueden producir errores de medida tanto sistemáticos como accidentales. Cuando se obtiene el CV predicho se parte del ajuste individual de cada emisor, lo cual atenúa en cierta medida las citadas fluctuaciones. Lo mismo sucede cuando se obtiene el CV calculado, que utiliza los valores de la presión, las varianzas y las relaciones lineales entre los coeficientes de ajuste individuales.

Por otro lado, considerando los valores medios de los diferentes CV para todo el intervalo de presiones adoptado, se comprueba que los valores medios de los  $CV_{ensayo}$ ,  $CV_{predicho}$  y  $CV_{calculado}$  son, en la mayor parte de los casos, muy parecidos, como se aprecia en la tabla siguiente.

Tabla XVI: Valores medios de los coeficientes de variación, CV

Emisor	CV <sub>ensayo</sub>	Ajuste potencial			Ajuste parabólico	
		CV <sub>predicho</sub>	CV <sub>calculado</sub>		CV <sub>predicho</sub>	CV <sub>calculado</sub>
			Con K	Con lnK		
Noauto-1	1,198	1,186	1,186	1,187	1,191	1,191
Noauto-2	4,223	4,068	4,179	4,162	4,200	4,200
Noauto-2a	3,242	3,126	3,084	3,114	3,252	3,252
Noauto-3	1,059	1,052	1,062	1,066	1,057	1,057
Noauto-3a	0,431	0,418	0,417	0,418	0,429	0,429
Noauto-4	0,965	0,952	0,953	0,953	0,962	0,962
Noauto-5	1,973	1,973	1,973	1,967	1,973	1,973
Noauto-6	2,340	2,322	2,353	2,353	2,332	2,332
Noauto-6a	1,602	1,596	1,598	1,596	1,601	1,601
Noauto-7	2,494	2,493	2,493	2,512	2,493	2,493
Noauto-8	2,414	2,390	2,395	2,402	2,408	2,408
Noauto-9	1,398	1,396	1,397	1,398	1,397	1,397
Auto-1	3,352	3,186	3,174	3,203	3,198	3,198
Auto-1c	3,370	3,304	3,334	3,325	3,327	3,327
Auto-2	4,593	4,093	4,402	4,142	4,261	4,261
Auto-2c	4,515	4,230	5,119	4,281	4,329	4,329
Auto-3	2,460	2,328	2,337	2,324	2,349	2,349
Auto-3c	2,651	2,600	2,614	2,594	2,613	2,613
Auto-4	2,021	1,939	2,022	1,951	1,953	1,953
Auto-4a	1,873	1,832	1,893	1,847	1,840	1,840
Auto-5	4,281	3,967	3,590	3,946	3,945	3,945
Auto-6	2,972	2,903	2,838	2,839	2,941	2,941
Auto-6a	2,058	1,979	1,985	1,981	2,013	2,013
Auto-7	7,736	6,861	7,306	6,884	7,480	7,480
Auto-8	7,067	6,765	7,723	6,984	6,896	6,896
Auto-8a	6,093	5,726	5,747	5,740	5,926	5,926
Auto-8ac	6,415	6,717	6,678	6,714	6,813	6,813
Auto-9	2,767	2,710	3,059	2,771	2,744	2,744
Auto-9a	2,059	1,980	1,976	1,976	2,069	2,069
Auto-10	3,276	3,196	3,285	3,215	3,228	3,228
Auto-11	7,001	6,696	8,411	7,176	6,871	6,871
Auto-11a	4,293	4,013	4,188	4,061	4,114	4,114
Auto-12	9,442	9,196	9,754	9,676	9,253	9,253
Auto-12a	7,817	7,746	7,178	8,094	7,729	7,729
Auto-12ac	6,270	6,787	6,869	7,002	7,055	7,055
Auto-13	2,072	2,019	2,077	2,016	2,027	2,027
Auto-14	2,640	2,450	2,437	2,453	2,527	2,527
Auto-15	3,077	3,023	3,044	3,035	3,051	3,051
Auto-16	2,124	2,024	2,016	2,019	2,088	2,088
Auto-17	1,955	1,725	1,691	1,724	1,794	1,794
Auto-18	3,832	3,306	3,404	3,338	3,403	3,403
Auto-19	4,744	4,542	4,511	4,496	4,626	4,626

Esta semejanza entre los valores medios se podría considerar como otra prueba de que el modelo teórico propuesto es válido, porque a pesar de las posibles fluctuaciones anteriormente comentadas del  $CV_{ensayo}$ , al final el valor promedio obtenido coincide con los valores promedio predicho y calculado.

Para matizar más este resultado, se presenta la Tabla XVII, en la cual se incluyen los valores medios del  $CV_{ensayo}$  y los  $CV_{predicho}$  tanto para el ajuste potencial como el parabólico. También aparecen las desviaciones porcentuales entre ellos.

Tabla XVII: Desviaciones entre los valores medios de  $CV_{ensayo}$  y de los  $CV_{predicho}$

Emisor		$CV_{ensayo}$ (%)	Ajuste potencial		Ajuste parabólico	
			$CV_{predicho}$ (%)	Desviación (%)	$CV_{predicho}$ (%)	Desviación (%)
NO AUTOCOMPENSANTES	Noauto-1	1,198	1,186	-1,00	1,191	-0,58
	Noauto-2	4,223	4,068	-3,67	4,200	-0,54
	Noauto-2a	3,242	3,126	-3,58	3,252	0,31
	Noauto-3	1,059	1,052	-0,66	1,057	-0,19
	Noauto-3a	0,431	0,418	-3,02	0,429	-0,46
	Noauto-4	0,965	0,952	-1,35	0,962	-0,31
	Noauto-5	1,973	1,973	0,00	1,973	0,00
	Noauto-6	2,340	2,322	-0,77	2,332	-0,34
	Noauto-6a	1,602	1,596	-0,37	1,601	-0,06
	Noauto-7	2,494	2,493	-0,04	2,493	-0,04
	Noauto-8	2,414	2,390	-0,99	2,408	-0,25
Noauto-9	1,398	1,396	-0,14	1,397	-0,07	
			<b>Media</b>	<b>-1,30</b>	<b>Media</b>	<b>-0,21</b>
AUTOCOMPENSANTES	Auto-1	3,352	3,186	-4,95	3,198	-4,59
	Auto-1c	3,370	3,304	-1,96	3,327	-1,28
	Auto-2	4,593	4,093	-10,89	4,261	-7,23
	Auto-2c	4,515	4,230	-6,31	4,329	-4,12
	Auto-3	2,460	2,328	-5,37	2,349	-4,51
	Auto-3c	2,651	2,600	-1,92	2,613	-1,43
	Auto-4	2,021	1,939	-4,06	1,953	-3,36
	Auto-4a	1,873	1,832	-2,19	1,840	-1,76
	Auto-5	4,281	3,967	-7,33	3,945	-7,85
	Auto-6	2,972	2,903	-2,32	2,941	-1,04
	Auto-6a	2,058	1,979	-3,84	2,013	-2,19
	Auto-7	7,736	6,861	-11,31	7,480	-3,31
	Auto-8	7,067	6,765	-4,27	6,896	-2,42
	Auto-8a	6,093	5,726	-6,02	5,926	-2,74
	Auto-8ac	6,415	6,717	4,71	6,813	6,20
	Auto-9	2,767	2,710	-2,06	2,744	-0,83
	Auto-9a	2,059	1,980	-3,84	2,069	0,49
	Auto-10	3,276	3,196	-2,44	3,228	-1,47
	Auto-11	7,001	6,696	-4,36	6,871	-1,86
	Auto-11a	4,293	4,013	-6,52	4,114	-4,17
Auto-12	9,442	9,196	-2,61	9,253	-2,00	
Auto-12a	7,817	7,746	-0,91	7,729	-1,13	
Auto-12ac	6,270	6,787	8,25	7,055	12,52	
Auto-13	2,072	2,019	-2,56	2,027	-2,17	
Auto-14	2,640	2,450	-7,20	2,527	-4,28	
Auto-15	3,077	3,023	-1,75	3,051	-0,84	
Auto-16	2,124	2,024	-4,71	2,088	-1,69	
Auto-17	1,955	1,725	-11,76	1,794	-8,24	
Auto-18	3,832	3,306	-13,73	3,403	-11,20	
Auto-19	4,744	4,542	-4,26	4,626	-2,49	
			<b>Media</b>	<b>-4,28</b>	<b>Media</b>	<b>-2,37</b>



Se aprecia que en general hay muy poca diferencia entre los valores medios del  $CV_{ensayo}$  y los valores medios del  $CV_{predicho}$ . De hecho los valores medios de las desviaciones en términos absolutos para los dos tipos de ajuste son inferiores al 5% tanto para emisores no autocompensantes como autocompensantes, aunque en este último caso hay emisores que presentan desviaciones bastante más grandes que la media, superando incluso el 10%, como por ejemplo el *Auto-2* (-10,89% y -7,23% para ajuste potencial y parabólico, respectivamente), el *Auto-7* (-11,31% y -3,31%), el *Auto-17* (-11,76% y -8,24%) y el *Auto-18* (-13,73% y 11,20%). Este hecho podría explicarse porque los ajustes que se utilizan para el cálculo del  $CV_{predicho}$  se han obtenido para todo el rango de presiones de 50 a 400 kPa aunque se observa que los caudales arrojados por esos emisores para una presión de 50 kPa parece que difieren de la tendencia que siguen para presiones mayores. Es decir, que dichos emisores estarían fuera del intervalo de compensación, lo que falsearía en cierta medida la ecuación de ajuste obtenida y por tanto el  $CV_{predicho}$ .

También se observa que el comportamiento de los emisores no autocompensantes difiere del de los autocompensantes, dado que las desviaciones son menores en los primeros: Para el ajuste potencial, -1,30% de media para los emisores no autocompensantes y -4,28% para los emisores autocompensantes; para el ajuste parabólico, -0,21% frente a -2,37% para los emisores no autocompensantes y autocompensantes, respectivamente. Esto puede deberse a que el comportamiento hidráulico de los emisores no autocompensantes es más predecible al responder todos ellos a una ecuación de ajuste tipo potencial con un coeficiente  $R^2$  bastante bueno.

Adicionalmente, se observa que las desviaciones son siempre negativas, sea cual sea el tipo de emisor o ajuste. Es decir, que los valores medios del  $CV_{predicho}$  son inferiores a los valores medios del  $CV_{ensayo}$ . Esto podría ser otra prueba de la incertidumbre inherente a los ensayos de laboratorio que se traduce en la mayor variabilidad en los datos que refleja el citado  $CV_{ensayo}$ . Otro factor a tener en cuenta es que para la obtención del  $CV_{predicho}$  se toman los ajustes individuales de cada emisor, por lo que en la práctica “se fuerza” su comportamiento y como se vio en el apartado 4.2.2.3, no siempre las ecuaciones de ajuste potencial o parabólico reflejan fielmente dicho comportamiento. Al hacer esto se consigue que las posibles fluctuaciones queden atenuadas con respecto a las observadas en los ensayos.

Por último se confirma que, a efectos de considerar el coeficiente de variación de fabricación, el ajuste parabólico puede resultar más adecuado que el ajuste potencial para cualquier tipo de emisor puesto que las desviaciones son francamente menores (-0,21% frente a -1,30% para emisores no autocompensantes y -2,37% frente a -4,28% para emisores autocompensantes).

#### 4.3.2.2. VARIACIÓN DEL CV CON LA PRESIÓN

Se puede decir en general que las tendencias de variación con la presión del CV de ensayo, el CV predicho y el CV calculado son semejantes, por lo que, se puede afirmar que los diferentes coeficientes de variación considerados, varían con la presión, lo que se constata observando las representaciones gráficas. Lo que sucede es que cada emisor se comporta de forma distinta, pudiéndose establecer las siguientes tendencias:

- a) CV constante: Prácticamente el CV no depende de la presión. Esto sólo se da en el caso del emisor no autocompensante *Noauto-5*.
- b) CV ascendente: A medida que la presión aumenta, también lo hace el CV. Este es el caso de los siguientes 13 emisores (3 no autocompensantes y 10 autocompensantes): *Noauto-2a*, *Noauto-4*, *Noauto-8*, *Auto-1*, *Auto-1c*, *Auto-2*, *Auto-3*, *Auto-3c*, *Auto-4*, *Auto-4a*, *Auto-5*, *Auto-7* y *Auto-19*.
- c) CV descendente: A medida que la presión aumenta, el CV disminuye. Esto ocurre en 7 emisores (5 no autocompensantes y 2 autocompensantes): *Noauto-1*, *Noauto-3*, *Noauto-6*, *Noauto-6a*, *Noauto-7*, *Auto-9a* y *Auto-12*.
- d) CV con valor mínimo en el intervalo de presiones: Esta tendencia consiste en que a medida que la presión aumenta, el CV disminuye hasta que alcanza un mínimo en el entorno de la presión media del intervalo de presiones, para después aumentar a medida que la presión también aumenta. Esto se da en 21 emisores (3 no autocompensantes y 18 autocompensantes): *Noauto-2*, *Noauto-3a*, *Noauto-9*, *Auto-2c*, *Auto-6*, *Auto-6a*, *Auto-8*, *Auto-8a*, *Auto-8ac*, *Auto-9*, *Auto-10*, *Auto-11*, *Auto-11a*, *Auto-12a*, *Auto-12ac*, *Auto-13*, *Auto-14*, *Auto-15*, *Auto-16*, *Auto-17* y *Auto-18*.

Según lo indicado, la mayor parte de los emisores autocompensantes siguen las tendencias “b” y “d” (CV ascendente y CV con valor mínimo en el intervalo de presiones), mientras que no hay ninguna tendencia que predomine entre los emisores no autocompensantes.

Como conclusión se puede afirmar que la variación del CV con la presión depende de cada emisor en particular, de ahí la necesidad de su caracterización exhaustiva con los correspondientes ensayos de laboratorio.

#### 4.3.2.3. COMPARATIVA CV PREDICHO – CV CALCULADO

Los resultados muestran que para el ajuste parabólico sea cual sea el tipo de emisor, coinciden exactamente los valores medios del  $CV_{predicho}$  y el  $CV_{calculado}$ . Sin embargo, en el caso del ajuste potencial, utilizando la expresión (4.9) que contiene el  $\ln K$  (que es sin transformación logarítmica), siempre hay

ciertas diferencias, que en algún caso pueden ser importantes y en otros casi inapreciables. A continuación se incluye la Tabla XVIII con un resumen de los resultados.

Tabla XVIII: Desviaciones entre los valores medios de  $CV_{\text{predicho}}$  y de los  $CV_{\text{calculado}}$  para ajuste potencial

Emisor		Ajuste potencial		
		$CV_{\text{predicho}}$ (%)	$CV_{\text{calculado}}$ (%)	Desviación (%)
NO AUTOCOMPENSANTES	Noauto-1	1,186	1,187	0,084
	Noauto-2	4,068	4,162	2,311
	Noauto-2a	3,126	3,114	-0,384
	Noauto-3	1,052	1,066	1,331
	Noauto-3a	0,418	0,418	0,000
	Noauto-4	0,952	0,953	0,105
	Noauto-5	1,973	1,967	-0,304
	Noauto-6	2,322	2,353	1,335
	Noauto-6a	1,596	1,596	0,000
	Noauto-7	2,493	2,512	0,762
Noauto-8	2,390	2,402	0,502	
Noauto-9	1,396	1,398	0,143	
			<b>Media</b>	<b>-0,490</b>
AUTOCOMPENSANTES	Auto-1	3,186	3,203	0,534
	Auto-1c	3,304	3,325	0,636
	Auto-2	4,093	4,142	1,197
	Auto-2c	4,230	4,281	1,206
	Auto-3	2,328	2,324	-0,172
	Auto-3c	2,600	2,594	-0,231
	Auto-4	1,939	1,951	0,619
	Auto-4a	1,832	1,847	0,819
	Auto-5	3,967	3,946	-0,529
	Auto-6	2,903	2,839	-2,205
	Auto-6a	1,979	1,981	0,101
	Auto-7	6,861	6,884	0,335
	Auto-8	6,765	6,984	3,237
	Auto-8a	5,726	5,740	0,244
	Auto-8ac	6,717	6,714	-0,045
	Auto-9	2,710	2,771	2,251
	Auto-9a	1,980	1,976	-0,202
	Auto-10	3,196	3,215	0,594
	Auto-11	6,696	7,176	7,168
Auto-11a	4,013	4,061	1,196	
Auto-12	9,196	9,676	5,220	
Auto-12a	7,746	8,094	4,493	
Auto-12ac	6,787	7,002	3,168	
Auto-13	2,019	2,016	-0,149	
Auto-14	2,450	2,453	0,122	
Auto-15	3,023	3,035	0,397	
Auto-16	2,024	2,019	-0,247	
Auto-17	1,725	1,724	-0,058	
Auto-18	3,306	3,338	0,968	
Auto-19	4,542	4,496	-1,013	
			<b>Media</b>	<b>0,989</b>

En concreto, los emisores no autocompensantes con más diferencia entre los promedios del  $CV_{predicho}$  y el  $CV_{calculado}$  para el ajuste potencial son el *Noauto-2* (2,311%), el *Noauto-6* (1,335%) y el *Noauto-3* (1,331%). Resulta que estos tres emisores presentan datos anómalos que hacen que se incumpla la condición de normalidad de los caudales, clave en la deducción teórica del  $CV_{calculado}$ .

Por su parte, los emisores autocompensantes con diferencias mayores para el ajuste potencial han sido: *Auto-11* (7,168%), *Auto-12* (5,220%) y *Auto-8* (3,237%) que igual que sucede con los emisores no autocompensantes, también presentaban datos anómalos.

El motivo de las diferencias es la consideración de normalidad de los datos, condición clave a la hora de establecer el modelo teórico del ajuste potencial, ya que, si los datos no son completamente normales, al realizar la transformación logarítmica necesaria, aparecen ciertas desviaciones. Estas desviaciones son incluso mayores con la presencia de datos potencialmente anómalos, puesto que acentúan la no normalidad de las distribuciones.

En el caso del ajuste parabólico, la condición de normalidad es irrelevante y no influye en el planteamiento teórico, de ahí la coincidencia plena entre los  $CV$ .

#### 4.3.2.4. CV CALCULADOS PARA AJUSTE POTENCIAL

Como se puede apreciar en los resultados de la Tabla XIX, para el ajuste potencial se han considerado dos  $CV_{calculado}$  diferentes, según lo establecido en el desarrollo teórico expuesto anteriormente. La diferencia estriba en si se toman los valores de los coeficientes  $K$  o sus logaritmos naturales,  $\ln K$ .

Y es que, asumiendo una distribución normal, se cumple que:

$$\sigma_{\ln K}^2 = \ln \left( 1 + \frac{\sigma_K^2}{K^2} \right) \quad (4.14)$$

Para emisores no autocompensantes la desviación es muy pequeña, de menos del 1% para el peor de los casos (*Noauto-2a*), pero para el caso de los emisores autocompensantes, se da una gran desviación, como por ejemplo el *Auto-2c* o el *Auto-11*, que presentan valores próximos al 20%.

En general, se constata que los emisores que presentan menor desviación entre los dos  $CV_{calculado}$ , tienen a su vez poca variabilidad de los coeficientes  $K_i$  y los exponentes  $x_i$  de ajuste individuales.

Tabla XIX: Desviaciones entre los valores medios de  $CV_K$  y de los  $CV_{InK}$  calculado para ajuste potencial

Emisor		Ajuste potencial		
		$CV_K$ (%)	$CV_{InK}$ (%)	Desviación (%)
NO AUTOCOMPENSANTES	Noauto-1	1,186	1,187	0,084
	Noauto-2	4,179	4,162	-0,408
	Noauto-2a	3,084	3,114	0,963
	Noauto-3	1,062	1,066	0,375
	Noauto-3a	0,417	0,418	0,239
	Noauto-4	0,953	0,953	0,000
	Noauto-5	1,973	1,967	-0,305
	Noauto-6	2,353	2,353	0,000
	Noauto-6a	1,598	1,596	-0,125
	Noauto-7	2,493	2,512	0,756
Noauto-8	2,395	2,402	0,291	
Noauto-9	1,397	1,398	0,072	
			<b>Media</b>	<b>0,162</b>
AUTOCOMPENSANTES	Auto-1	3,174	3,203	0,905
	Auto-1c	3,334	3,325	-0,271
	Auto-2	4,402	4,142	-6,277
	Auto-2c	5,119	4,281	-19,575
	Auto-3	2,337	2,324	-0,559
	Auto-3c	2,614	2,594	-0,771
	Auto-4	2,022	1,951	-3,639
	Auto-4a	1,893	1,847	-2,491
	Auto-5	3,590	3,946	9,022
	Auto-6	2,838	2,839	0,035
	Auto-6a	1,985	1,981	-0,202
	Auto-7	7,306	6,884	-6,130
	Auto-8	7,723	6,984	-10,581
	Auto-8a	5,747	5,740	-0,122
	Auto-8ac	6,678	6,714	0,536
	Auto-9	3,059	2,771	-10,393
	Auto-9a	1,976	1,976	0,000
	Auto-10	3,285	3,215	-2,177
	Auto-11	8,411	7,176	-17,210
Auto-11a	4,188	4,061	-3,127	
Auto-12	9,754	9,676	-0,806	
Auto-12a	7,178	8,094	11,317	
Auto-12ac	6,869	7,002	1,899	
Auto-13	2,077	2,016	-3,026	
Auto-14	2,437	2,453	0,652	
Auto-15	3,044	3,035	-0,297	
Auto-16	2,016	2,019	0,149	
Auto-17	1,691	1,724	1,914	
Auto-18	3,404	3,338	-1,977	
Auto-19	4,511	4,496	-0,334	
			<b>Media</b>	<b>-2,118</b>

Este resultado puede explicarse por varios motivos, como son:

- El CV es más pequeño para los emisores no autocompensantes que para los autocompensantes, por tanto, hay menos variabilidad en general.
- El modelo de ajuste potencial predice muy bien el comportamiento de los emisores no autocompensantes, lo que conlleva menor variabilidad en las ecuaciones de ajuste. Por ejemplo, el *Noauto-1* presenta una desviación entre los  $CV_{calculado}$  de 0,084%, variando los coeficientes  $K_i$  entre 5,518 y 5,838 ( $CV_K=1,419\%$ ), y los exponentes  $x_i$  entre 0,454 y 0,473 ( $CV_x=1,051\%$ )
- El modelo de ajuste potencial no es adecuado en la mayor parte de los emisores autocompensantes, es decir, de alguna manera se fuerza a que los emisores cumplan la ecuación potencial por lo que surgen valores de  $K_i$  y de  $x_i$  muy dispares para el mismo emisor. Así por ejemplo, para el *Auto-13*, que presenta una desviación entre los  $CV_{calculado}$  de -3,026%, los coeficientes  $K_i$  varían entre 1,983 y 2,365 ( $CV_K=3,551\%$ ), y los exponentes  $x_i$  entre -0,067 y 0,023 ( $CV_x=-160,828\%$ )
- La igualdad expresada en la ecuación (4.14) se da sí y solo si la distribución de los coeficientes  $K_i$  es normal, lo cual aparentemente sucede en la práctica totalidad de los casos. No obstante, la prueba de normalidad aplicada (prueba no paramétrica de Kolmogorov-Smirnov) es condición necesaria pero no suficiente para aseverar que la distribución analizada procede de una población normal.

En cualquier caso, el  $CV_{calculado}$  utilizando  $\ln K_i$  se aproxima bastante bien al  $CV_{predicho}$ , siendo el  $CV_{calculado}$  utilizando  $K_i$  el que sufre las desviaciones. Además depende de que los datos sean normales. Por lo tanto, es recomendable prescindir de este y utilizar sólo el primero.

#### 4.3.2.5. DEFINICIÓN DEL CV DE UN EMISOR

Como se comprobó anteriormente, los valores medios de los  $CV_{ensayo}$ ,  $CV_{predicho}$  y  $CV_{calculado}$  son, en la mayor parte de los casos, muy parecidos, a pesar de que los valores concretos para cada presión pueden diferir sustancialmente.

Este resultado podría llevar a redefinir el Coeficiente de Variación de fabricación de un emisor, que según la norma UNE-EN-ISO 9261, se calcula a partir de un solo ensayo de laboratorio consistente en someter al emisor a la presión nominal en el caso de los emisores no autocompensantes y a la presión media del intervalo de compensación para los emisores autocompensantes. Vistas las fluctuaciones que sufre el  $CV_{ensayo}$ , asumir que este valor caracteriza a un emisor no es adecuado.

Esto se comprueba analizando los valores de la Tabla XX en la que se comparan los valores de los coeficientes de variación promedio del ensayo,  $CV_{ensayo}$  con los valores de los coeficientes que establece la Norma UNE-EN-ISO 9261,  $CV_{9261}$  calculando su desviación como la diferencia relativa entre dichos coeficientes de variación tomando como referencia  $CV_{9261}$ .

Tabla XX: CV de ensayo. Comparativa entre los valores medios y los dictados por la norma UNE-EN-ISO 9261

Emisor		Media $CV_{ensayo}$ (%)	Según norma $CV_{9261}$ (%)	Desviación (%)
NO AUTOCOMPENSANTES	Noauto-1	1,198	1,192	-0,50
	Noauto-2	4,223	5,124	21,34
	Noauto-2a	3,242	2,528	-22,02
	Noauto-3	1,059	1,106	4,44
	Noauto-3a	0,431	0,385	-10,67
	Noauto-4	0,965	0,832	-13,78
	Noauto-5	1,973	1,988	0,76
	Noauto-6	2,340	2,818	20,43
	Noauto-6a	1,602	1,760	9,86
	Noauto-7	2,494	2,498	0,16
	Noauto-8	2,414	2,386	-1,16
Noauto-9	1,398	1,367	-2,22	
AUTOCOMPENSANTES	Auto-1	3,352	3,117	-7,01
	Auto-1c	3,370	3,230	-4,15
	Auto-2	4,593	3,773	-17,86
	Auto-2c	4,515	3,773	-16,45
	Auto-3	2,460	2,216	-9,94
	Auto-3c	2,651	2,549	-3,85
	Auto-4	2,021	1,624	-19,67
	Auto-4a	1,873	1,686	-10,01
	Auto-5	4,281	3,981	-7,01
	Auto-6	2,972	2,974	0,07
	Auto-6a	2,058	1,824	-11,37
	Auto-7	7,736	5,658	-26,86
	Auto-8	7,067	5,543	-21,57
	Auto-8a	6,093	5,295	-13,11
	Auto-8ac	6,415	4,855	-24,32
	Auto-9	2,767	2,124	-23,26
	Auto-9a	2,059	1,994	-3,18
	Auto-10	3,276	3,050	-6,90
	Auto-11	7,001	7,527	7,51
Auto-11a	4,293	4,508	5,00	
Auto-12	9,442	6,682	-29,24	
Auto-12a	7,817	5,588	-28,51	
Auto-12ac	6,270	5,005	-20,18	
Auto-13	2,072	1,806	-12,86	
Auto-14	2,640	2,465	-6,63	
Auto-15	3,077	2,162	-29,75	
Auto-16	2,124	2,273	6,99	
Auto-17	1,955	2,087	6,75	
Auto-18	3,832	2,948	-23,07	
Auto-19	4,744	5,241	10,48	

El coeficiente de variación según norma,  $CV_{9261}$  se ha calculado de la siguiente manera:

- Para emisores no autocompensantes: Es el coeficiente de variación para la presión nominal de 100 kPa. Valores obtenidos directamente de los ensayos.
- Para emisores autocompensantes: Es el coeficiente de variación para la presión media de ensayo que es la presión media del rango de compensación del emisor. Si en el ensayo se ha utilizado dicha presión media, es el valor obtenido para ella; pero si no es así, se calcula como el valor medio del coeficiente de variación obtenido para las presiones de ensayo inmediatamente anterior y posterior a dicha presión media de ensayo.

Se puede comprobar como en general hay desviaciones importantes tanto para emisores no autocompensantes como para emisores autocompensantes, llegando a valores superiores al 20% en términos absolutos (*Noauto-2, Noauto-2a, Noauto-6, Auto-7, Auto-8, Auto-8ac, Auto-9, Auto-12, Auto-12a, Auto-12ac, Auto15 y Auto-18*).

Los emisores no autocompensantes que presentan mayores desviaciones positivas, es decir, con el  $CV_{ensayo}$  menor que el  $CV_{9261}$ , son el *Noauto-2* y el *Noauto-6*, y en sus ensayos se constata que el CV para la presión nominal ha salido anormalmente alto, quizá debido a errores de medida no controlados. Esto se puede apreciar en la siguiente figura de ejemplo:

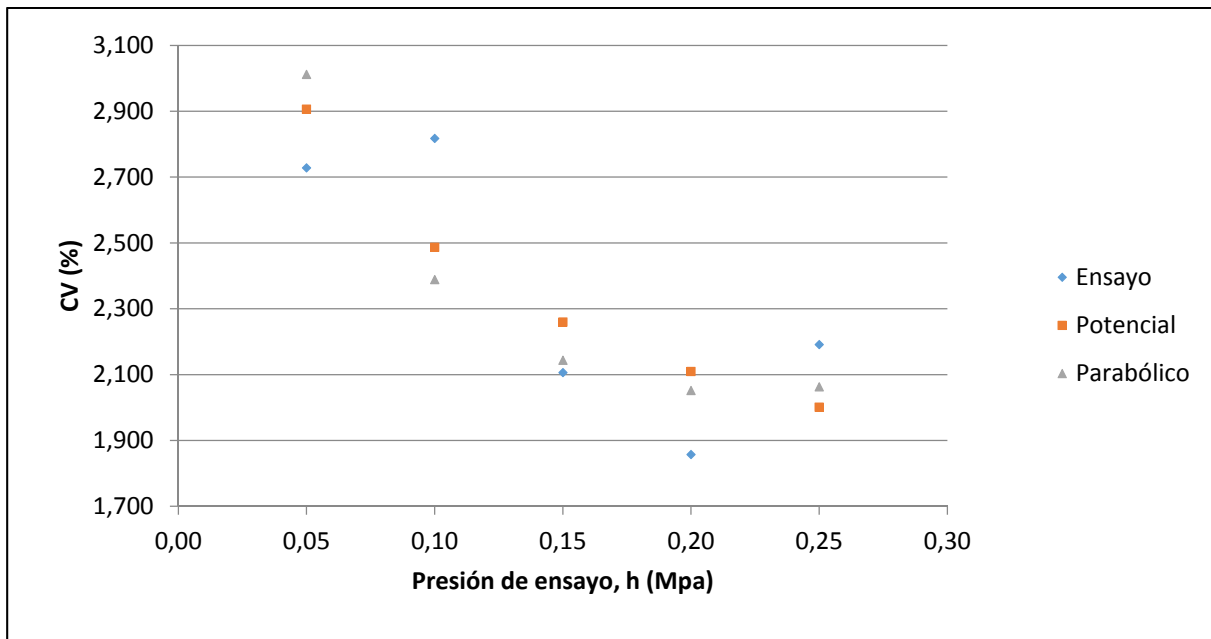


Figura 21: Variación del CV con la presión para el emisor no autocompensante *Noauto-6*

El emisor no autocompensante con mayor desviación negativa ( $CV_{ensayo}$  mayor que  $CV_{9261}$ ) ha sido el *Noauto-2a*. Esto es así porque presenta una tendencia de variación del CV con la presión claramente ascendente (tendencia “b”), con un valor final muy elevado con respecto a la media.



Por su parte, todos los emisores autocompensantes citados presentan desviaciones negativas. Esto tiene relación con la variación del CV con la presión, anteriormente discutida (Ver apartado 4.3.2.2) ya que la mayor parte de los emisores autocompensantes ensayados presentaban la tendencia denominada “d”, que consistía en que el CV tenía un valor mínimo en la zona intermedia del intervalo de presiones de compensación, la cual coincide con la presión de ensayo del emisor que es la que se usa para establecer el  $CV_{9261}$ .

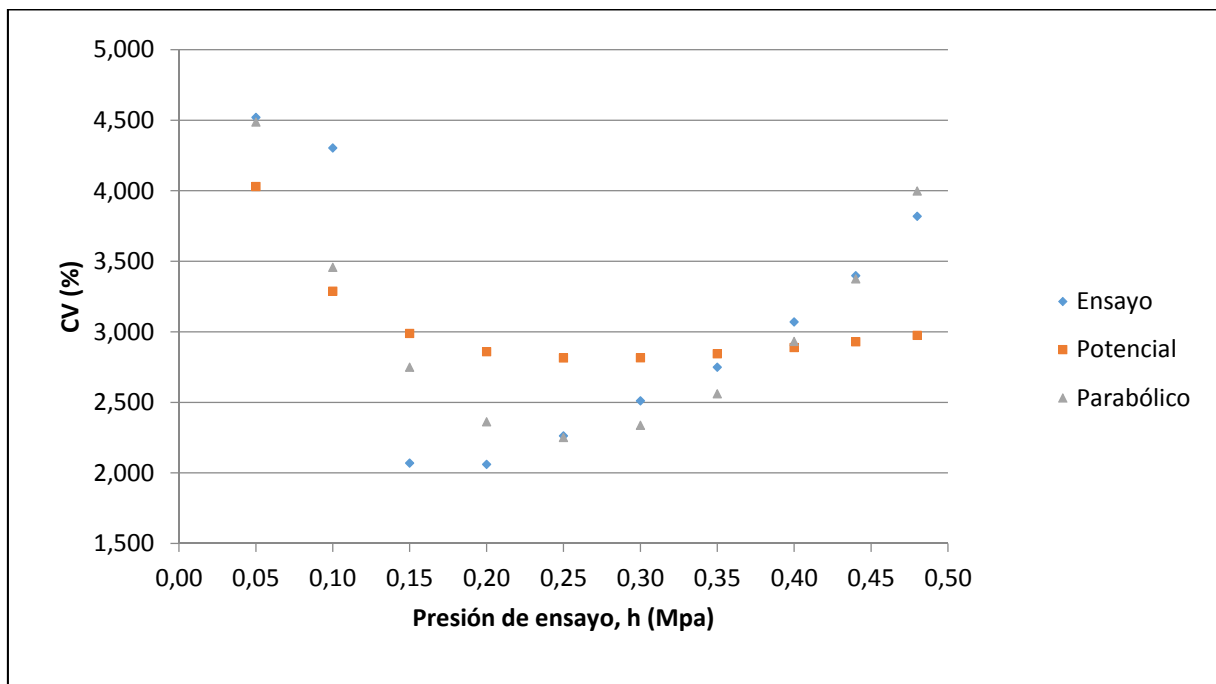


Figura 22: Variación del CV con la presión para el emisor autocompensante *Auto-15*

La influencia de estas desviaciones no es importante para los emisores no autocompensantes, ya que las subunidades de las que forman parte se diseñan para que la presión media sea la nominal y las variaciones relativas de presión no excedan del 20%, aproximadamente, lo que traducido a variación absoluta, viene a representar unos 20 kPa (2,04 m). Es decir, en el caso de los emisores no autocompensantes el coeficiente de variación que habría que tomar como referencia sería el  $CV_{9261}$ , siempre y cuando las condiciones de diseño y funcionamiento de las subunidades fuesen las descritas.

En lo que respecta a los emisores autocompensantes, hay que comentar que las desviaciones observadas son muy importantes, dado que las subunidades constituidas por este tipo de emisores se diseñan de manera que se cubra todo el intervalo de presiones de compensación por lo que el  $CV_{9261}$  no sería la referencia adecuada para el coeficiente de variación del emisor. Por tanto, se propone que se tome como referencia, el  $CV_{ensayo}$ .

#### 4.4. PROGRAMA DE ANÁLISIS DE SUBUNIDADES

El modelo teórico propuesto refrendado con los resultados de los ensayos de los emisores en el laboratorio permite analizar una subunidad de riego localizado teniendo en cuenta la mayor parte de las variables que intervienen en su funcionamiento.

Pero dada la complejidad del modelo, es necesario elaborar una herramienta informática que permita solucionar las ecuaciones, realizar todos los cálculos y establecer las iteraciones necesarias para llegar a la solución final en cada caso.

La aplicación informática elaborada por el autor de esta tesis se denomina “ANASUB”, acrónimo de “Programa de análisis de subunidades”. Se ha utilizado el entorno Visual Basic 6.0® de Microsot® para generar el diseño de las pantallas, la definición de los objetos y el código de programación. Posteriormente, mediante el empaquetador de objetos disponible, se ha compilado y construido una aplicación ejecutable en el sistema operativo Windows XP (o versiones posteriores).



Imagen 7: Programa de Análisis de subunidades de Riego localizado

#### 4.4.1. Características del programa

Las características más importantes del programa son:

- a) Utiliza datos reales de emisores ensayados en laboratorio, lo cual representa una ventaja porque dota de más realismo al análisis, pero también un inconveniente, porque necesita los datos de cada uno de los 25 emisores individuales probados en cada ensayo.
- b) Permite la definición de cualquier tipo de subunidad, aunque sea de geometría irregular y pendientes variables.
- c) Adopta como simplificación inicial que los diámetros de todos los tramos de la tubería terciaria son constantes. Lo mismo sucede con todos los tramos de todos los laterales portaemisores.
- d) Genera una población de emisores a partir de los datos de ensayo y extrae una muestra aleatoria representativa de dicha población con un tamaño igual al número total de emisores de la subunidad. Esto permite realizar una “siembra” aleatoria de emisores considerando su variabilidad de características que confiere más realismo al análisis de la subunidad.
- e) La obtención de las pérdidas de carga continuas que se utilizan en los cálculos hidráulicos se efectúa aplicando la fórmula más adecuada al tipo de régimen hidráulico (laminar, de transición o turbulento). No obstante, también se puede optar por usar la fórmula de Blasius, que aun siendo específica para tubería hidrodinámicamente lisas, suele usarse con carácter general.
- f) Para la determinación de las pérdidas de carga localizadas debidas a la inserción de los emisores en las tuberías laterales y de éstas en la tubería terciaria, el programa puede utilizar fórmulas empíricas deducidas por distintos autores y que tienen en cuenta la geometría de la inserción. También se puede optar por el método del coeficiente mayorante o por la consideración de la longitud equivalente, aunque esto último sólo está disponible para las pérdidas por inserción de emisores.
- g) El análisis hidráulico de la subunidad lo realiza considerando que todos los emisores individuales, distribuidos aleatoriamente, tienen su propia ecuación de descarga, por lo que el caudal emitido por cada uno de ellos depende de sus coeficientes de ajuste y de la presión de entrada a los mismos.

#### 4.4.2. Módulos del programa

El programa se divide en diferentes módulos básicos interrelacionados entre sí, como se aprecia en la Figura 23.

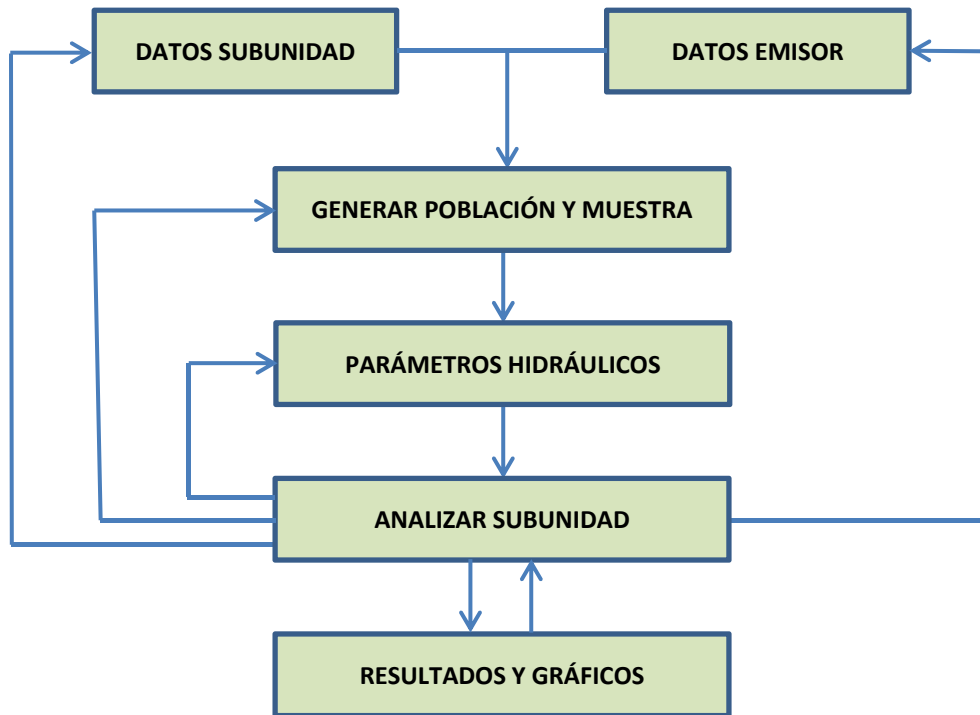


Figura 23: Esquema general de los módulos del programa informático

La descripción de estos módulos básicos es:

- a) Gestión de subunidades: Introducción, grabación y recuperación de datos de subunidades.
- b) Gestión de emisores: Introducción, grabación y recuperación de datos de emisores.
- c) Generación de población y muestra: A partir de los datos del emisor y del tamaño de la subunidad, se genera una población ficticia de emisores y se extrae de ella una muestra representativa aleatoria que luego se “siembra” también aleatoriamente por la subunidad.
- d) Establecimiento de parámetros hidráulicos: Para definir las pérdidas de carga, tanto continuas (rozamiento) como localizadas (por inserción de emisores y laterales).
- e) Análisis de la subunidad: Tomando los datos de la subunidad, del emisor y teniendo en cuenta los parámetros hidráulicos, se analiza la subunidad calculando el caudal realmente arrojado por cada uno de los emisores que la componen.
- f) Obtención de resultados y gráficos: A partir de la subunidad analizada, se determinan diversos parámetros que caracterizan su funcionamiento. También se representan en forma gráfica las presiones y caudales máximos y mínimos y las líneas de energía.

En el Anexo III: “Descripción del programa informático ANASUB” se puede consultar el funcionamiento pormenorizado de la aplicación en todas sus pantallas y módulos. También se detallan los algoritmos más importantes utilizados, así como la forma de operar y navegar entre las diferentes partes del programa.

#### 4.4.3. Algoritmo de análisis hidráulico

El núcleo más importante del programa es el algoritmo de análisis hidráulico, ya que permite determinar el funcionamiento real de la subunidad considerando la mayor parte de las variables que intervienen, que se derivan de:

- Geometría y topografía de la subunidad.
- Presión de entrada.
- Características de las tuberías.
- Características de las conexiones de los laterales y los emisores.
- Regímenes hidrodinámicos en cada tramo de tubería.
- Distribución y características hidráulicas de los emisores.

El procedimiento de cálculo es iterativo, como se puede ver en la Figura 23, asumiendo unas condiciones iniciales que se van modificando según se rehacen los cálculos hasta que se consigue la convergencia entre los resultados esperados y los obtenidos en forma de caudal total de la subunidad. Se pueden establecer los siguientes pasos:

1. Se adjudica a todos los emisores el mismo caudal, que es el correspondiente a la presión nominal aplicando la ecuación de descarga promedio.
2. Se calcula el caudal total  $Q_{TOTAL1}$  como suma de los caudales de todos los emisores.
3. Se establece la presión de entrada a la subunidad,  $h_0$ , introducida por el usuario en el programa.
4. Avanzando desde el origen de la subunidad en el sentido de aguas abajo, se determinan las pérdidas de carga en cada tramo de tubería terciaria y tuberías laterales utilizando los valores de los caudales obtenidos en la iteración anterior.
5. Se calculan, utilizando la ecuación de Bernouilli entre el origen y el final de cada tramo, las presiones de entrada a cada emisor,  $h_i$
6. Se aplica la ecuación de descarga de cada emisor y se obtienen los caudales emitidos por todos ellos,  $q_i$
7. Se calcula el caudal total  $Q_{TOTAL2}$  como suma de los caudales de todos los emisores.
8. Se halla la diferencia de los caudales totales  $Q_{TOTAL1}$  y  $Q_{TOTAL2}$  y se comparan con el error admisible establecido en 0,1 l/h
  - 8.1. Si su diferencia es menor o igual que el error, se da por bueno el análisis.
  - 8.2. Si su diferencia es mayor que el error, se vuelve a calcular la presión a la entrada de cada emisor siguiendo el procedimiento expuestos en los puntos 4 y 5.

Se trata de un algoritmo que va realizando aproximaciones sucesivas a la solución final y que tiene las siguientes ventajas:

- Considera el caudal real de los emisores, al tratarlos de forma individual dado que se utiliza la ecuación de descarga ajustada para cada uno de ellos.
- El error de cierre es muy pequeño, ya que en la mayoría de los casos, para subunidades reales, representa menos del 0,01% del caudal total de la subunidad.
- El número de iteraciones que tiene que hacer no es muy elevado. De hecho, en la mayoría de los casos converge rápidamente, bastando unas pocas iteraciones (menos de 10).
- Considera los caudales y las pérdidas de carga tramo a tramo, por lo que los cálculos de las presiones son extremadamente fiables.

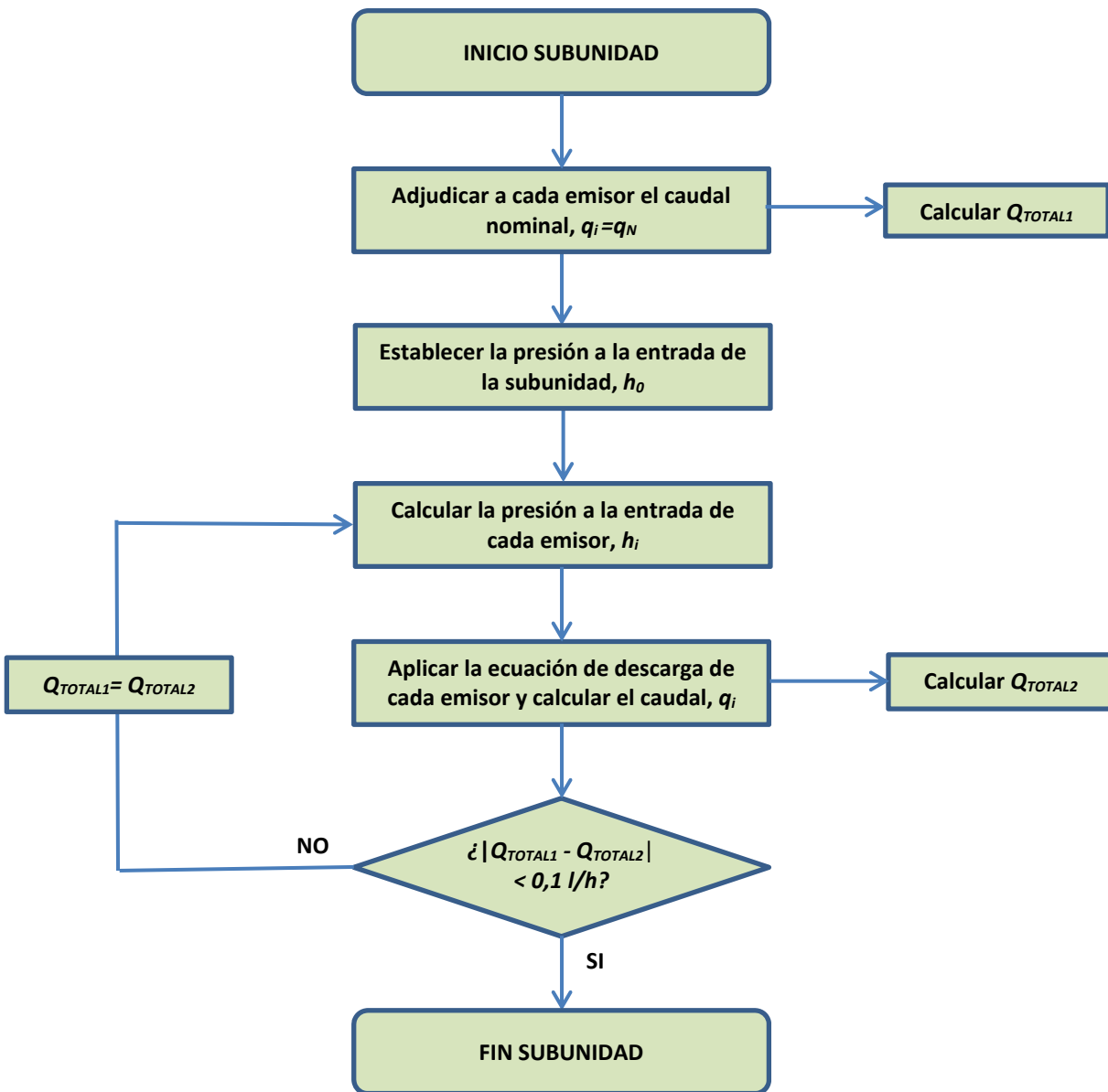


Figura 24: Diagrama de flujo del algoritmo de análisis hidráulico de la subunidad

## 4.5. ANÁLISIS DE SUBUNIDADES TIPO

### 4.5.1. Resultados de los análisis de las subunidades

Tal como se indicó en la sección Materiales y Métodos, se ha utilizado el programa informático **ANASUB** para analizar una serie de subunidades tipo con el objetivo de determinar su tamaño máximo aplicando los criterios y condiciones de diseño establecidos.

Para un mismo diseño agronómico se han considerado tres variables: tipo de emisor, CV del emisor y punto de alimentación de la tubería terciaria. Esto ha dado lugar a un total de 8 subunidades todas ellas rectangulares y horizontales, que se relacionan a continuación:

Tabla XXI: Subunidades tipo analizadas. Emisores y punto de alimentación de la terciaria

Subunidad	Emisor autocomp.	Emisor	CV (%)	Punto de alimentación terciaria
Subnocomp-1	NO	Noauto-3a	0,431	Extremo
Subnocomp-2	NO	Noauto-5	1,973	Extremo
Subnocomp-3	NO	Noauto-3a	0,431	Medio
Subnocomp-4	NO	Noauto-5	1,973	Medio
Subcomp-1	SI	Auto-4a	1,873	Extremo
Subcomp-2	SI	Auto-8ac	6,415	Extremo
Subcomp-3	SI	Auto-4a	1,873	Medio
Subcomp-4	SI	Auto-8ac	6,415	Medio

Una vez introducidos los datos de cada una de ellas en el programa, se ejecuta este y se comprueba que se cumplen los requisitos del diseño hidráulico, que consistían en establecer una diferencia de presión admisible entre emisores. Así mismo también se comprueba que la diferencia relativa de caudales entre plantas es menor del 10% como restricción adicional que no es posible cumplir en todos los casos como luego se verá.

Para cada subunidad se han elegido cuatro pantallas de salida de datos del programa al ser las más interesantes y relevantes a la hora de caracterizar su funcionamiento. La primera de ellas es una representación gráfica de la subunidad, la segunda muestra el resultado tomando como referencia los emisores, la tercera tomando como referencia las plantas y la cuarta muestra los coeficientes de uniformidad tanto de diseño como de análisis.

En el Anexo nº 4: “Resultados de los análisis de subunidades tipo definidas” pueden verse todas ellas. No obstante, a continuación se incluyen los resultados de una de las subunidades a modo de ejemplo (*Subnocomp-3*).

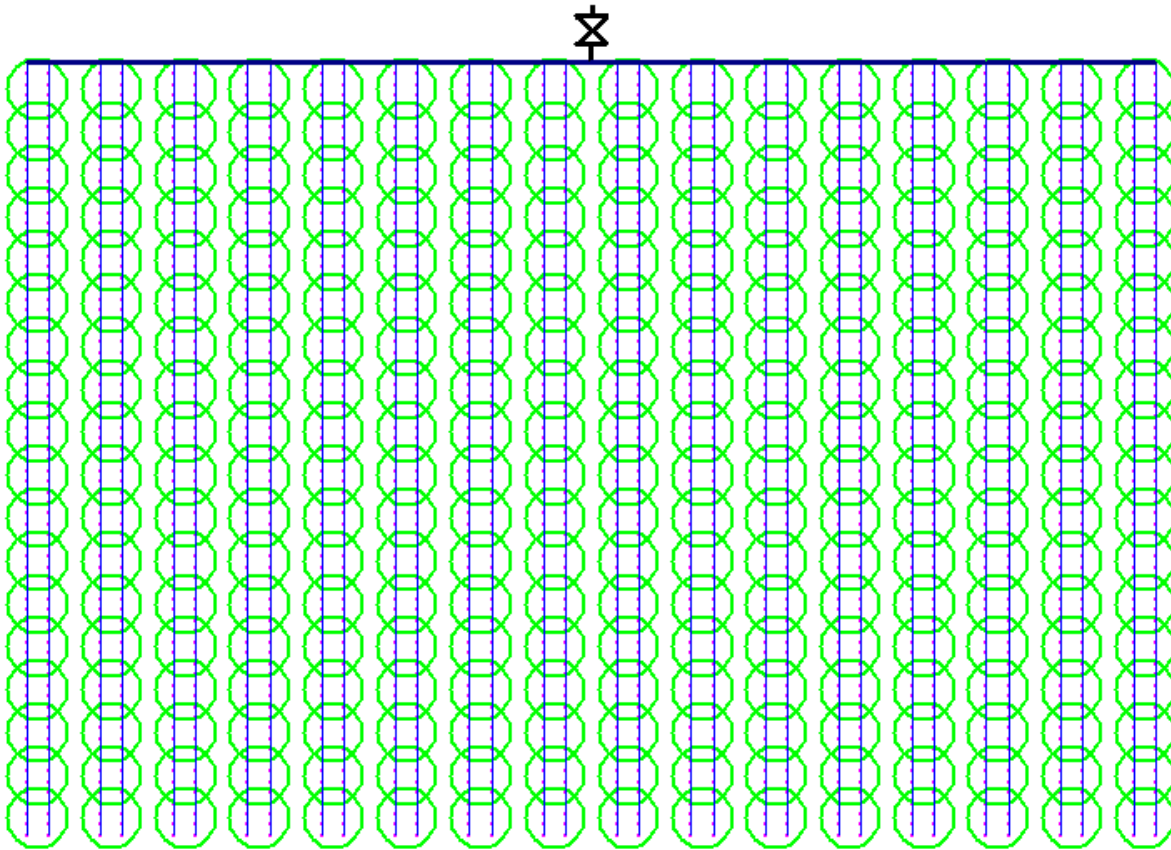


Imagen 8: Configuración geométrica de la subunidad *Subnocomp-3*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-3 - TORO PLASTRO 4 SIN ANÓMALOS

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral:  mm Recalcular

Terciaria:  mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR:  l/h

Presión origen:  m.c.a.

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL:  l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=12,9285 \cdot h^{0,4997}$   $q_n=4,09$  l/h

Parabólico  $q=1,5754+28,4668 \cdot h-36,2610 \cdot h^2$   $q_n=4,06$  l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
Presiones		Caudales		Presiones		Caudales	
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	11,08	11,08	11,09	Planta 1	10,98	10,92	10,91
Emisor 1	11,08	11,03	11,00	Planta 2	10,80	10,74	10,73
Emisor 2	11,03	10,98	10,95	Planta 3	10,63	10,58	10,56
Emisor 3	10,98	10,93	10,91	Planta 4	10,49	10,43	10,42
Emisor 4	10,93	10,88	10,86	Planta 5	10,36	10,30	10,29
Emisor 5	10,89	10,84	10,81	Planta 6	10,24	10,19	10,18
Emisor 6	10,84	10,79	10,77	Planta 7	10,14	10,09	10,08
Emisor 7	10,80	10,75	10,73	Planta 8	10,06	10,00	9,99
Emisor 8	10,76	10,71	10,68	Planta 9	9,99	9,93	9,92
Emisor 9	10,72	10,67	10,64	Planta 10	9,93	9,87	9,87
Emisor 10	10,68	10,63	10,60	Planta 11	9,89	9,83	9,82
Emisor 11	10,64	10,59	10,56	Planta 12	9,86	9,80	9,80
Finisor 12	10,60	10,55	10,53	Planta 13	9,84	9,79	9,78

**RESUMEN DE RESULTADOS**

h mínima:    m.c.a.

h máxima:    m.c.a.

q mínimo:    l/h

q máximo:    l/h

Diferencia presión:  m.c.a.  %

Diferencia caudal:  l/h  %

Presión media:  m.c.a.

Caudal medio:  l/h

Caudal a presión media:  l/h

CV:  %

CU GRÁFICOS POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 9: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-3* referidos a emisor



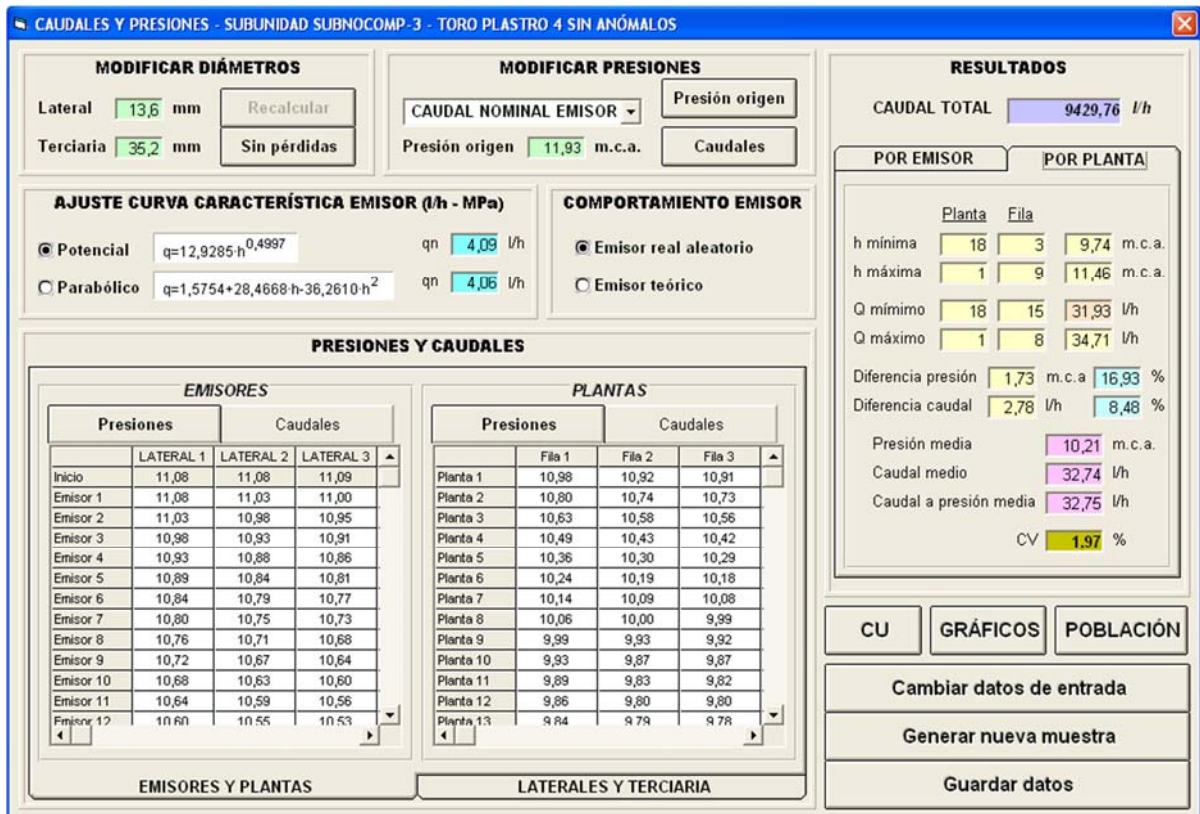


Imagen 10: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-3* referidos a planta

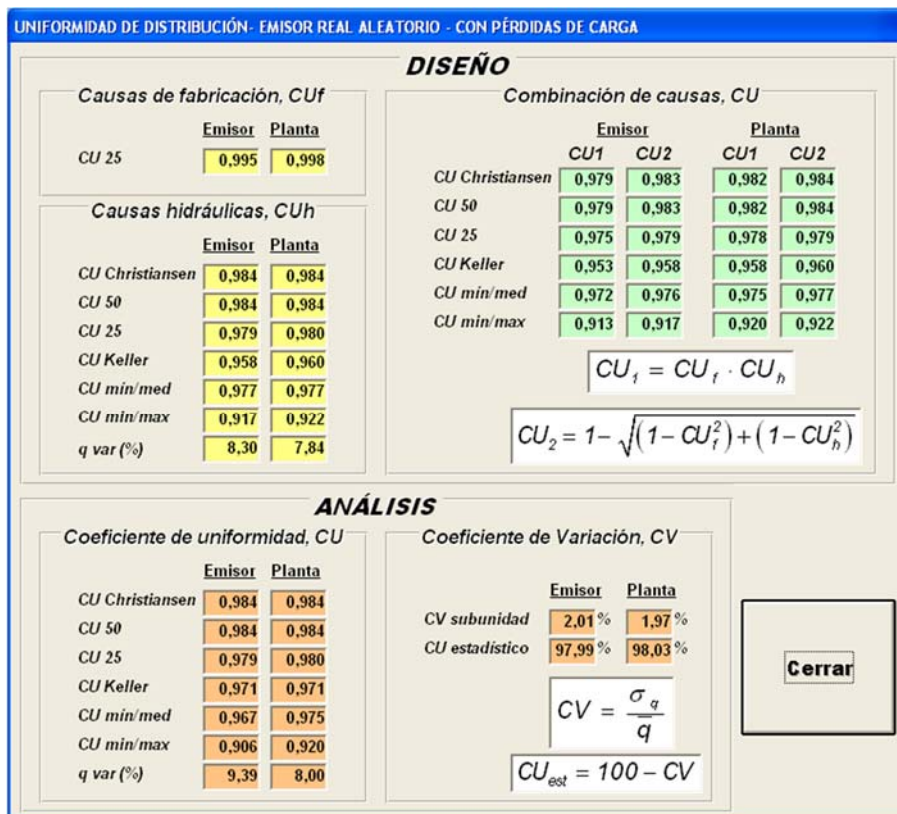


Imagen 11: Uniformidad de distribución para la subunidad *Subnocomp-3*.

Observando todos los resultados del análisis de las subunidades se puede confeccionar el resumen expuesto en la Tabla XXII, en la que aparecen las dimensiones definitivas y otros datos relevantes, tales como el número de emisores y de plantas y la superficie total que abarcan.

Tabla XXII: Subunidades tipos analizadas. Dimensiones definitivas

Subunidad	Filas de plantas Terciaria		Plantas por fila Laterales		Número total de plantas	Número total de emisores	Caudal nominal total (l/h)	Superficie total		
	nº	L (m)	nº	L (m)				m <sup>2</sup>	ha	hg
Subnocomp-1	16	78,25	10	50	160	1280	5120	4000	0,40	4,81
Subnocomp-2	16	78,25	9	45	144	1152	4608	3600	0,36	4,33
Subnocomp-3	16	76,50	18	90	288	2304	9216	7200	0,72	8,66
Subnocomp-4	16	76,50	18	90	288	2304	9216	7200	0,72	8,66
Subcomp-1	16	78,25	36	180	576	4608	18432	14400	1,44	17,33
Subcomp-2	16	78,25	33	170	528	4224	16896	13200	1,32	15,88
Subcomp-3	32	156,5	36	180	1152	9216	36864	28800	2,88	34,66
Subcomp-4	32	156,5	33	170	1056	8448	33792	26400	2,64	31,77

#### 4.5.2. Discusión de los resultados

##### 4.5.2.1. COMPARATIVA ALIMENTACIÓN EXTREMO-PUNTO MEDIO

Aunque puede resultar una obviedad, queda patente en la Tabla XXII que las subunidades cuya tubería terciaria se alimenta por el punto medio pueden ser más grandes que las que se alimentan por su extremo. Esto se cumple tanto para las subunidades con emisores no autocompensantes como para las subunidades con emisores autocompensantes.

En general, se puede decir que las subunidades con terciaria alimentada por el punto medio tienen el doble de tamaño que las que tienen la terciaria alimentada por su extremo, como ocurre con la *Subnocomp-2* y *Subnocomp-4* (144 y 288 plantas, respectivamente), la *Subcomp-1* y la *Subcomp-3* (576 y 1152 plantas, respectivamente), la *Subcomp-2* y la *Subcomp-4* (528 y 1056 plantas, respectivamente). La única excepción se da entre las subunidades *Subnocomp-1* y *Subnocomp-3* (160 y 288 plantas, respectivamente).

La explicación es ligeramente diferente para los dos tipos de subunidad. Así, en las subunidades con emisores no autocompensantes, como lo que se hace para pasar de *Subnocomp-1* a *Subnocomp-3* ó de *Subnocomp-2* a *Subnocomp-4* es alimentar la misma terciaria por el punto medio, se consigue una disminución importante de las pérdidas de carga en dicha tubería terciaria, por lo que los laterales pueden ser más largos al disponer de más energía para perder. Por su parte, las subunidades con emisores autocompensantes alimentadas por su punto medio (*Subcomp-2* y

*Subcomp-4*) realmente son la unión de dos subunidades iguales alimentadas por sus puntos extremos (*Subcomp-1* y *Subcomp-3*, respectivamente).

En cualquier caso, alimentar la tubería terciaria por su punto medio permite aumentar considerablemente el tamaño de las subunidades.

#### 4.5.2.2. DIFERENCIAS DE PRESIÓN Y DE CAUDAL ENTRE EMISORES Y ENTRE PLANTAS

Como se indicó en el apartado 1.3.1 de la Introducción, una condición que garantiza una adecuada uniformidad de distribución del agua de riego en una subunidad consiste en limitar la diferencia relativa de caudales entre plantas a un máximo del 10%. Se puede apreciar en la Tabla XXIII que dicho criterio se cumple en todas las subunidades analizadas excepto en las *Subcomp-2* y *Subcomp-4*.

**Tabla XXIII: Resultados del análisis de subunidades. Diferencias de presión y de caudal**

Subunidad	Presión origen (m)	Diferencias relativas de presión (%)		Diferencias relativas de caudal (%)	
		Entre emisores	Entre plantas	Entre emisores	Entre plantas
Subnocomp-1	12,02	19,38	18,60	10,46	9,06
Subnocomp-2	11,59	15,01	14,41	19,34	8,66
Subnocomp-3	11,93	18,06	16,93	10,02	8,48
Subnocomp-4	11,81	17,23	16,10	17,00	9,65
Subcomp-1	40,34	157,60	152,88	15,41	7,43
Subcomp-2	39,61	152,31	147,41	55,62	17,45
Subcomp-3	39,83	156,63	152,80	14,23	7,03
Subcomp-4	39,38	151,55	147,14	53,71	16,81

Si se considera la norma china GB/T 50485-2009 (The Ministry of Water Resources of PRC 2009) todas las subunidades que cumplían el criterio anterior, también cumplen este, puesto que la diferencia relativa de caudales entre emisores es menor del 20%. Por descontado, las subunidades *Subcomp-2* y *Subcomp-4* tampoco cumpliría este nuevo criterio, ya que presentan unas diferencias relativas de caudal entre emisores del 54,03% y del 62,05%, respectivamente.

Esto es debido a que el emisor utilizado tiene un coeficiente de variación de fabricación muy alto (6,415%) que hace que la variabilidad de los caudales emitidos también sea muy grande. Además, al tratarse de un emisor autocompensante, se constata que las denominadas “causas de fabricación” son en general, más importantes que las “causas hidráulicas” a la hora de generar dicha variabilidad en los caudales. Esto se ve en la Imagen 12 y la Imagen 13, que muestran los análisis de la subunidad considerando que no hay diferencias de presión entre los diferentes puntos, es decir, despreciando las pérdidas de carga y por tanto, no considerando las causas hidráulicas. Ni aun así se consigue que la diferencia relativa de caudales sea menor del 10% entre plantas ni del 20% entre emisores.

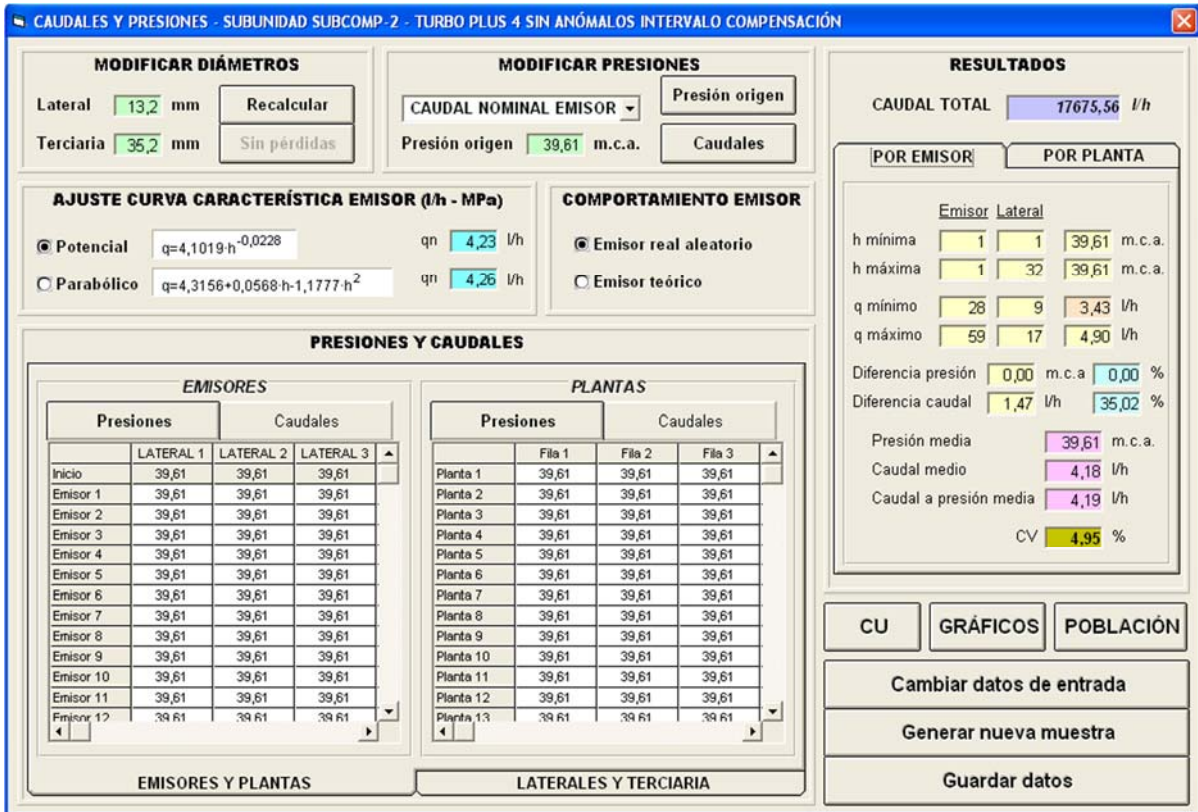


Imagen 12: Resultados del análisis de la subunidad *Subcomp-4* referido a emisor considerando sólo causas hidráulicas

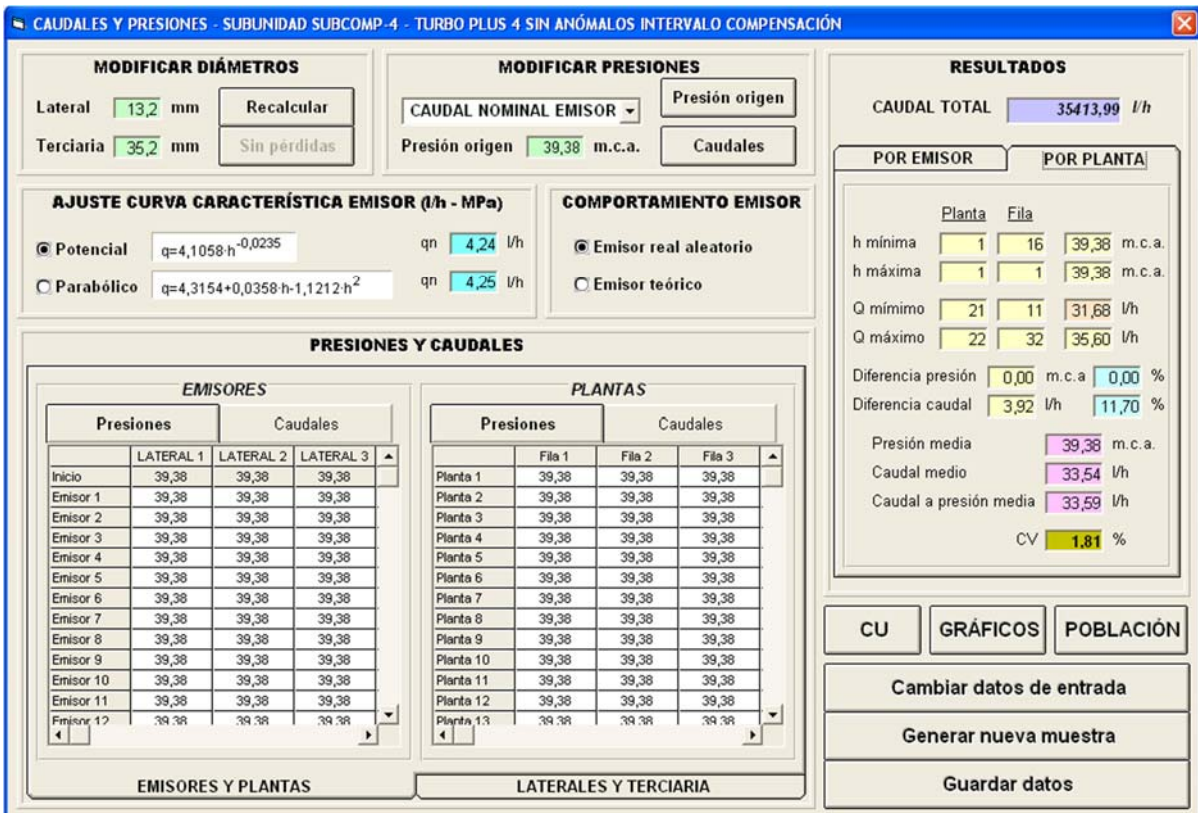


Imagen 13: Resultados del análisis de la subunidad *Subcomp-4* referido a emisor considerando sólo causas hidráulicas

Este resultado demuestra fehacientemente la importancia del coeficiente de variación de fabricación de un emisor en el comportamiento hidráulico de una subunidad. De hecho, emisores que pueden calificarse como de “mala calidad” al tener un CV muy alto harían que las subunidades que los utilizan no serían admisibles desde el punto de vista de la uniformidad de distribución. En este sentido resulta interesante considerar la limitación impuesta por la Norma UNE-EN-ISO 9261 que dice que el CV de un emisor debe ser inferior al 7%.

#### 4.5.2.3. COMPARATIVA AUTOCOMPENSANTE-NO AUTOCOMPENSANTE

Para los emisores autocompensantes, las causas hidráulicas generan menos variabilidad en los caudales arrojados que las causas de fabricación siempre y cuando el coeficiente de variación de fabricación no sea muy pequeño. Esto queda de manifiesto en los datos de la Tabla XXIII en los que se ve que diferencias relativas de presión de más del 150% (tanto entre emisores como entre plantas) no conllevan diferencias relativas de caudal tan importantes.

Como consecuencia de lo anterior y como se ve en la Tabla XXII, las dimensiones de las subunidades con emisores autocompensantes prácticamente cuadruplican las dimensiones de las subunidades con emisores no autocompensantes. Esto implica que una instalación de riego localizado con emisores autocompensantes necesita menos subunidades para cubrir toda la superficie a regar, lo que simplifica la ejecución de las obras.

Esto no significa que estas instalaciones sean más económicas puesto que los emisores autocompensantes en general son más caros que los emisores no autocompensantes. Además, al reducir el número de válvulas de corte y de puntos de control de presión se dificulta el manejo y el mantenimiento de las instalaciones ya que, por ejemplo en caso de rotura, hay que dejar una gran superficie sin regar para proceder a la reparación. También las tuberías tienen que ser de más presión nominal (PN4) para que se puedan soportar las mayores presiones que requieren los emisores autocompensantes.

Además el elemento elastomérico móvil con el que cuentan este tipo de emisores para la regulación del caudal, se degrada y deteriora con el uso y el paso del tiempo y pierde parte de su elasticidad original lo que sin duda aportará más variabilidad a los caudales arrojados, haciendo que dejen de cumplirse los criterios de uniformidad de distribución.

#### 4.5.2.4. ASPECTOS ENERGÉTICOS

En las subunidades con emisores autocompensantes se permite más diferencia de presión que en el caso de las subunidades con emisores no autocompensantes, por lo que es necesario aumentar

la presión al inicio de la subunidad, debiendo llegar, en los casos extremos, hasta 400 kPa (40,80 m). Esto contrasta con las presiones al inicio que requieren las subunidades con emisores no autocompensantes, que rondan los 12 m.

Dados esos requerimientos de presión de las subunidades con emisores autocompensantes, las redes de distribución deben estar más presurizadas con lo que las tuberías serán de mayor presión nominal y el coste energético será, en general más elevado. Además, hay más riesgo de roturas y desconexiones en las tuberías y las piezas de unión entre las mismas.

En este sentido, la tendencia actual va hacia el uso de emisores autocompensantes de pequeño caudal y bajas presiones de funcionamiento, en un intento de reducir los costes energéticos de las instalaciones.

#### 4.5.2.5. VELOCIDADES MÁXIMAS EN LATERALES Y TERCIARIA

Otra consecuencia de la mayor dimensión de las subunidades que permite la utilización de emisores autocompensantes es que los caudales al inicio de la tubería terciaria son muy elevados. Como se ha elegido una tubería normalizada de polietileno PN 0,4 y DN 40 para la terciaria, es de esperar que las velocidades sean también grandes.

Esto queda patente en la Tabla XXIV, donde se aprecia claramente que para las subunidades con emisores no autocompensantes, la velocidad máxima al inicio de la terciaria no supera los 1,5 m/s y al inicio de los laterales está en torno a 0,5 m/s. Sin embargo, en las subunidades con emisores autocompensantes, la velocidad máxima en la tubería terciaria supera los 5,0 m/s y en el inicio de los laterales supera 1,0 m/s.

Esta velocidad tan grande al inicio de la terciaria provoca unas pérdidas de carga muy importantes, lo que va asociado con el incremento en el consumo energético anteriormente apuntado.

**Tabla XXIV: Resultados del análisis de subunidades. Velocidades máximas al inicio de la terciaria y los laterales**

Subunidad	Tubería Terciaria			Tubería lateral		
	Q <sub>inicio</sub> (l/h)	D <sub>interior</sub> (mm)	V (m/s)	Q <sub>inicio</sub> (l/h)	D <sub>interior</sub> (mm)	V (m/s)
Subnocomp-1	5238,36	35,2	1,50	163,70	13,6	0,31
Subnocomp-2	4568,88	35,2	1,30	142,78	13,6	0,27
Subnocomp-3	4714,88	35,2	1,35	294,68	13,6	0,56
Subnocomp-4	4569,75	35,2	1,30	285,61	13,6	0,55
Subcomp-1	18283,06	35,2	5,22	571,35	13,2	1,16
Subcomp-2	18046,68	35,2	5,15	563,96	13,2	1,14
Subcomp-3	18286,06	35,2	5,22	571,44	13,2	1,16
Subcomp-4	18089,74	35,2	5,16	565,30	13,2	1,15

4.5.2.6. COEFICIENTES DE UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN

La determinación de los coeficientes de uniformidad de distribución permite verificar cómo se reparte el agua entre los diferentes emisores y plantas que conforman la subunidad de manera que no haya mucha diferencia entre los emisores con más y menos caudal o entre las plantas más regadas y menos regadas. En cierta medida, estos coeficientes están relacionados con las diferencias relativas de caudal entre emisores y entre plantas anteriormente discutidas.

Para establecer una comparativa entre las diferentes subunidades analizadas, se han elegido tres coeficientes, por ser los más relevantes y representativos:

- $CU_{25}$ : Relación entre el promedio del 25% de los caudales más pequeños (cuarto más bajo) y el promedio de todos los caudales, referidos tanto a emisor como a planta.
- $CU_{\min-\max}$ : Relación entre el caudal mínimo y el caudal máximo, de emisor y de planta.
- $CU_{est}$ : Coeficiente de uniformidad estadístico, calculado con el coeficiente de variación de los caudales  $CV_q$ , medida de la variabilidad de los mismos, ya sea por emisor o por planta.

**Tabla XXV: Resultados del análisis de subunidades. Coeficientes de Uniformidad de distribución**

Subunidad	$CU_{25}$		$CU_{\min-\max}$		$CU_{est}$	
	Emisor	Planta	Emisor	Planta	Emisor	Planta
Subnocomp-1	0,976	0,977	0,902	0,915	0,974	0,974
Subnocomp-2	0,966	0,978	0,825	0,918	0,971	0,978
Subnocomp-3	0,979	0,980	0,906	0,920	0,980	0,980
Subnocomp-4	0,966	0,978	0,845	0,909	0,972	0,979
Subcomp-1	0,975	0,984	0,859	0,929	0,980	0,986
Subcomp-2	0,915	0,969	0,583	0,840	0,930	0,975
Subcomp-3	0,976	0,983	0,869	0,932	0,980	0,986
Subcomp-4	0,914	0,968	0,586	0,845	0,929	0,973

A tenor de los resultados expuestos en la tabla anterior, se puede afirmar que el coeficiente de uniformidad de distribución  $CU_{25}$  referido a planta, presenta un valor relativamente elevado para cualquier subunidad, ya sea con emisores no autocompensantes o autocompensantes, siendo superior en todos los casos a 0,960. Incluso las subunidades que no cumplían con el criterio hidráulico del 10% de diferencia relativa de caudal entre plantas (*Subcomp-2* y *Subcomp-4*) tienen un valor de  $CU_{25}$  de 0,969 y 0,968 respectivamente. Aunque si se toman estos coeficientes referidos a emisor sí que se aprecia una diferencia mucho más grande entre subunidades (0,915 para *Subcomp-2*, 0,914 para *Subcomp-4* y en el entorno de 0,970 para el resto). Aun así este  $CU_{25}$  sería admisible según la norma ASAE EP405.

De nuevo, este último resultado se explica porque el emisor que constituye esas dos subunidades tiene un coeficiente de variación de fabricación medio muy alto (6,415%), lo que implica

una gran variabilidad entre emisores que queda amortiguada al considerar las plantas en las que se da una agrupación de 8 emisores. Es decir, al haberse realizado una “siembra aleatoria” de emisores en la subunidad es poco probable que los emisores de menor o mayor caudal coincidan todos juntos en la misma planta.

Se puede apuntar además que el rango de variación del coeficiente  $CU_{25}$  aún para subunidades tan dispares es bastante pequeño, lo que se explica por la propia definición de este coeficiente, que tiene su sentido cuando las distribuciones son normales, hecho que no se cumple en general al actuar simultáneamente las causas de fabricación y las causas hidráulicas. Y es que, para subunidades horizontales, se puede demostrar que la distribución de presiones es claramente asimétrica.

Si se considera ahora el coeficiente de uniformidad de distribución  $CU_{\text{mín-máx}}$  se aprecia que sus valores son menores que los del  $CU_{25}$  además de que las diferencias entre las subunidades son más acentuadas, especialmente tomando como referencia los emisores. De hecho, los  $CU_{\text{mín-máx}}$  referidos a emisor para las subunidades *Subcomp-2* y *Subcomp-4* son inferiores a 0,600 mientras que para el resto de subunidades fluctúan entre 0,845 y 0,906. Por su parte los  $CU_{\text{mín-máx}}$  referidos a planta están en el entorno de 0,840 para las *Subcomp-2* y *Subcomp-4* y superan el valor de 0,900 para las demás subunidades.

La explicación puede residir en que el coeficiente de uniformidad de distribución  $CU_{\text{mín-máx}}$  refleja mejor que el  $CU_{25}$  las diferencias entre los emisores de menor y mayor caudal o las plantas menos y más regadas. De hecho, considerando las diferencias relativas de caudales expuestas en la Tabla XXIII, se comprueba que significativamente más altas en las subunidades *Subcomp-2* y *Subcomp-4* que en las otra subunidades, ya sean referidas a emisor o a planta.

En cuanto al coeficiente de uniformidad estadístico  $CU_{\text{est}}$ , cabe decir que sus valores son en todos los casos más elevados que los de los otros coeficientes, aunque están próximos a los del  $CU_{25}$ . De hecho, tomando como referencia los emisores, el menor valor observado es 0,929 (*Subcomp-2*) y el mayor 0,980; mientras que si se toma como referencia las plantas, los valores van desde 0,973 (*Subcomp-4*) hasta 0,986 (*Subcomp-3*). Este estrecho rango de variación le puede restar interpretabilidad, ya que resulta difícil de asumir que por ejemplo un valor de 0,930 represente una mala uniformidad de distribución.

Otro aspecto interesante a resaltar es el hecho de que el  $CU_{\text{est}}$  es mayor en general en las subunidades con emisores autocompensantes que en las subunidades con emisores no autocompensantes (incluso en las subunidades *Subcomp-2* y *Subcomp-4* que no eran admisibles desde el punto de vista de la uniformidad de distribución).



Por ello, el autor de esta tesis propone una forma alternativa de considerar la uniformidad estadística, y que consiste en tomar el Coeficiente de Variación Global de la subunidad,  $CV_{subunidad}$ , referido a emisor o a planta. Se calcula de la forma habitual, como cociente entre la desviación típica de los datos y el valor medio. A menor valor de este coeficiente, menores diferencias relativas habrán entre los caudales de los emisores o de las plantas de la subunidad.

Así, los datos de la Tabla XXV pueden transformarse dando lugar a la tabla Tabla XXVI, expuesta a continuación.

**Tabla XXVI: Coeficiente de variación de la subunidad,  $CV_{subunidad}$**

Subunidad	$CV_{subunidad}$ (%)	
	Emisor	Planta
Subnocomp-1	2,60	2,57
Subnocomp-2	2,91	2,17
Subnocomp-3	2,01	1,97
Subnocomp-4	2,79	2,06
Subcomp-1	2,03	1,36
Subcomp-2	7,00	2,54
Subcomp-3	2,00	1,36
Subcomp-4	7,13	2,66

Otra ventaja que presenta este coeficiente propuesto es que permite estimar qué proporción de la variabilidad se debe a causas hidráulicas y a causas de fabricación, sin más que compararlo con el coeficiente de variación de fabricación del emisor obtenido en el ensayo.

**Tabla XXVII: Comparativa entre los CV del emisor y de la subunidad**

Subunidad	$CV_{emisor}$ (%)	$CV_{subunidad}$ (%)	Diferencia relativa de caudal entre emisores (%)
Subnocomp-1	0,43	2,60	10,46
Subnocomp-2	1,97	2,91	19,34
Subnocomp-3	0,43	2,01	10,02
Subnocomp-4	1,97	2,79	17,00
Subcomp-1	1,87	2,03	15,41
Subcomp-2	6,42	7,00	55,62
Subcomp-3	1,87	2,00	14,23
Subcomp-4	6,42	7,13	53,71

Se ve claramente que en las subunidades con emisores no autocompensantes, las causas hidráulicas de variabilidad son más importantes relativamente que para las subunidades con emisores autocompensantes. Véase por ejemplo la *Subnocomp-1* o la *Subnocomp-3* en las que se pasa de un  $CV_{emisor}$  del 0,43% a un  $CV_{subunidad}$  del 2,60% y 2,01%, respectivamente. Por su parte, para cualquier subunidad con emisores autocompensantes, se ve cómo se produce un pequeño incremento en el CV achacable, como se ha comentado antes, a causas hidráulicas.

También se aprecia una clara correlación entre el coeficiente de variación global de la subunidad  $CV_{subunidad}$  referida a emisor y la diferencia relativa de caudales entre emisores. Es un hecho que las subunidades con mayores diferencias relativas de caudales (*Subcomp-2* y *Subcomp-4*) presentan unos valores para el  $CV_{subunidad}$  superiores al 7%, mientras que las subunidades que en principio serían admisibles según los criterios establecidos en el diseño hidráulico, tiene valores del  $CV_{subunidad}$  de entre el 2% y el 3%.

Este valor límite del 7% que la Norma UNE-EN-ISO 9261 establece con carácter general para considerar un emisor como no aceptable, también podría adoptarse para establecer si una subunidad es o no aceptable desde el punto de vista hidráulico.

En cualquier caso, el autor de la presente tesis considera que es más adecuado el uso del  $CV_{subunidad}$  referido a emisor o a planta frente a cualquier otro coeficiente como un parámetro que caracteriza la uniformidad de distribución del agua de riego en una subunidad.

## **5. CONCLUSIONES**

**ÍNDICE**

Pag.

<b>5.1. CONCLUSIONES.....</b>	<b>147</b>
<b>5.2. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>150</b>
<b>5.3. TRABAJOS FUTUROS .....</b>	<b>151</b>

## 5. CONCLUSIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

Las conclusiones que pueden extraerse de la presente tesis doctoral se agrupan según los temas tratados y son las siguientes:

#### ***I. En relación con el ensayo de emisores comerciales en el laboratorio:***

- I.1. El coeficiente de variación de fabricación  $CV_{ensayo}$  varía con la presión, por lo que a efectos de caracterizar un emisor, es más adecuado obtener el coeficiente de variación medio para el intervalo de presiones considerado.
- I.2. El  $CV_{ensayo}$  es mayor en los emisores autocompensantes que en los emisores no autocompensantes, debido a su diseño interno y forma de fabricación.
- I.3. A pesar de la presencia de datos anómalos en algunos emisores, en general los caudales medidos en los ensayos siguen distribuciones normales, lo que se deduce observando su representación en papel probabilístico normal o realizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov.
- I.4. Para los emisores no autocompensantes, el ajuste que mejor explica su funcionamiento hidráulico es el dado por una ecuación del tipo potencial, mientras que para los emisores autocompensantes, el mejor ajuste es el dado por una ecuación parabólica.
- I.5. En general, los coeficientes de ajuste de los emisores individuales tanto en su versión potencial como en la parabólica siguen distribuciones normales según la prueba de Kolmogorov-Smirnov. Esto valida el modelo teórico propuesto, especialmente en lo referente a la creación de la población y posterior extracción de la muestra.
- I.6. El promedio de los exponentes  $x_i$  de los emisores individuales coincide con el exponente global obtenido considerando los caudales medio de todos los emisores, sin embargo el promedio de los coeficientes  $K_i$  de los emisores individuales no coincide con el coeficiente global  $K$ .
- I.7. Los valores promedio de los coeficientes de ajuste de la ecuación parabólica obtenidos para cada emisor individual ( $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$ ) coinciden exactamente con los coeficientes de ajuste determinados para los caudales medios.
- I.8. La variabilidad de los coeficientes de ajuste de los emisores no autocompensantes es menor que la de los emisores autocompensantes.
- I.9. A la hora de determinar las ecuaciones de ajuste y el coeficiente de variación de ensayo para los emisores autocompensantes, es mejor contemplar sólo el intervalo de presiones de compensación, dado que algunos emisores presentan anomalías al someterlos a 50 kPa de presión.

**II. En relación con la determinación de los diferentes coeficientes de variación, CV:**

- II.1. Se han definido dos coeficientes de variación, denominados coeficiente de variación predicho y coeficiente de variación calculado, tanto para ajuste potencial como para ajuste parabólico. El  $CV_{predicho}$  se obtiene a partir de los caudales calculados para cada emisor aplicando las ecuaciones de ajuste individuales. El  $CV_{calculado}$  se deduce a partir de las varianzas y covarianzas de los coeficientes de ajuste individuales.
- II.2. El CV obtenido en los ensayos para diferentes presiones difiere en general del  $CV_{predicho}$  y del  $CV_{calculado}$  tanto para el ajuste potencial como para el ajuste parabólico. No obstante, considerando todo el intervalo de presiones adoptado en cada ensayo, se comprueba que los valores medios de  $CV_{ensayo}$ ,  $CV_{predicho}$  y  $CV_{calculado}$  son muy parecidos en la mayor parte de los casos.
- II.3. Las tendencias de variación con la presión de los coeficientes  $CV_{ensayo}$ ,  $CV_{predicho}$  y  $CV_{calculado}$  para un emisor dado son semejantes, por lo que puede afirmarse que el coeficiente de variación de un emisor depende de la presión.
- II.4. La dependencia de la presión del CV puede caracterizarse mediante las siguientes tendencias: constante, ascendente, descendente y con valor mínimo en el intervalo de presiones.
- II.5. La mayor parte de los emisores autocompensantes siguen las tendencias ascendente y con valor mínimo en el intervalo de presiones, mientras que entre los emisores no autocompensantes no predomina ninguna tendencia.
- II.6. Para el ajuste parabólico, sea cual sea el tipo de emisor, coinciden exactamente los valores medios del  $CV_{predicho}$  y  $CV_{calculado}$ . No ocurre así en el caso del ajuste potencial donde se detectan desviaciones a veces importantes que son achacables a la presencia de datos anómalos o al incumplimiento de la condición de normalidad de los datos.
- II.7. Para el ajuste potencial el  $CV_{calculado}$  se puede obtener a partir de los valores individuales de  $K_i$  o de sus logaritmos naturales  $\ln K_i$ . Se recomienda utilizar esta segunda opción ya que la primera depende de la normalidad de los datos y puede introducir desviaciones importantes con respecto al  $CV_{predicho}$ .
- II.8. El coeficiente de variación de fabricación determinado según la norma UNE-EN-ISO 9261, denominado  $CV_{9261}$  presenta desviaciones importantes con respecto a los valores medios de los coeficientes  $CV_{ensayo}$ ,  $CV_{predicho}$  y  $CV_{calculado}$ . Por tanto, para caracterizar un emisor se recomienda utilizar el valor medio del  $CV_{ensayo}$ .

**III. En relación con la elaboración del programa de análisis de subunidades, ANASUB:**

- III.1. Es una herramienta muy útil y potente porque considera la mayor parte de las variables que intervienen en el funcionamiento hidráulico de una subunidad de riego, por lo que reduce la incertidumbre asociada a las simplificaciones habituales que se adoptan.
- III.2. El algoritmo de análisis hidráulico es del tipo “paso a paso en el sentido aguas abajo” y se basa en un modelo integral y realista porque: considera el caudal real de los emisores, tiene un error de cierre muy pequeño, no requiere un número elevado de iteraciones para alcanzar la solución y considera los caudales y pérdidas de carga tramo a tramo.
- III.3. Todas las fórmulas y expresiones utilizadas proceden de una exhaustiva revisión bibliográfica realizada por el autor de la tesis y que recoge cronológicamente todos los avances en materia de subunidades de riego.

**IV. En relación con el análisis de subunidades tipo definidas:**

- IV.1. Las subunidades cuya tubería terciaria se alimenta por su punto medio son más grandes que las que se alimentan por su punto extremo.
- IV.2. El coeficiente de variación de fabricación de un emisor influye considerablemente en el comportamiento hidráulico de una subunidad. De hecho CV muy altos, asociados con emisores de mala calidad, pueden hacer que una subunidad no sea admisible desde el punto de vista de la uniformidad de distribución.
- IV.3. Para los emisores autocompensantes las causas hidráulicas de falta de uniformidad generan menos variabilidad en los caudales arrojados que las causas de fabricación, siempre que el CV no sea muy pequeño. Como consecuencia, una instalación de riego localizado con emisores autocompensantes necesita menos subunidades para cubrir toda la superficie a regar.
- IV.4. Las subunidades con emisores autocompensantes requieren mucha más presión al inicio que las subunidades con emisores no autocompensantes, lo que incrementa los costes energéticos considerablemente. Esto sólo se da si las subunidades son completamente horizontales.

**V. En relación con los coeficientes de uniformidad de distribución obtenidos de los análisis:**

- V.1. Los valores del coeficiente de uniformidad de distribución del cuarto más bajo  $CU_{25}$  referido a planta son relativamente elevados para cualquiera de las subunidades definidas y siempre admisibles según la norma ASAE EP405. Además, su rango de variación es bastante pequeño a pesar de la disparidad en la definición de las subunidades.

- V.2. El coeficiente de uniformidad de distribución de los caudales mínimo y máximo  $CU_{\text{mín-máx}}$  refleja mejor que el  $CU_{25}$  las diferencias entre los emisores de menor y mayor caudal o entre las plantas menos y más regadas.
- V.3. El coeficiente de uniformidad de distribución estadístico  $CU_{\text{est}}$  presenta valores más elevados que los otros dos coeficientes. Además, tiene un estrecho rango de variación, lo que le puede restar interpretabilidad.
- V.4. Se propone como alternativa al  $CU_{\text{est}}$  el uso de un coeficiente de variación global de la subunidad referido a emisor o a planta y denominado  $CV_{\text{subunidad}}$ . Así cuanto peor sea la uniformidad de distribución del agua en una subunidad, mayor será su valor. Además, este coeficiente permite discriminar qué proporción de la variabilidad se debe a causas hidráulicas y qué proporción se debe a causas de fabricación.
- V.5. El autor de la presente tesis recomienda el uso del  $CV_{\text{subunidad}}$  frente a cualquier otro coeficiente como un parámetro que caracteriza la uniformidad de distribución del agua de riego en una subunidad. También se propone establecer un límite del 7% para definir una subunidad como admisible o no.

## 5.2. RECOMENDACIONES

A tenor de las conclusiones expuestas, se recomienda lo siguiente:

1. Cuando se realicen ensayos de emisores en laboratorio siguiendo la Norma UNE-EN-ISO 9261:
  - a. Obtener los ajustes para cada emisor individual, tanto en su versión potencial como parabólica.
  - b. Establecer el rango de presiones de ensayo según el intervalo de presiones recomendado por el fabricante, prescindiendo de aquellas presiones que puedan dar resultados anómalos.
  - c. Hallar el CV promedio para el rango de presiones de ensayo considerado.
2. Utilizar como criterio de diseño de subunidades una limitación del 20% en la diferencia relativa de caudales entre emisores y del 10% en la diferencia relativa de caudales entre plantas.
3. A la hora de analizar subunidades se recomienda utilizar un modelo de comportamiento como el propuesto, de manera que se contemple el mayor número de variables intervinientes así como que se le dote del mayor realismo posible y esté actualizado.
4. Utilizar el coeficiente de variación global de la subunidad  $CV_{\text{subunidad}}$  como parámetro para evaluar la uniformidad de distribución del agua de riego.



### 5.3. TRABAJOS FUTUROS

Entre las posibles líneas de trabajo que pueden surgir de la presente tesis se pueden citar:

1. Incluir las obturaciones de los emisores en el modelo de comportamiento hidráulico, dada su gran influencia en la uniformidad de distribución.
2. Verificar la influencia de la temperatura en la determinación de las presiones y los caudales emitidos.
3. Comprobar la relación entre los coeficientes de uniformidad a efectos de diseño y los coeficientes de uniformidad a efectos de análisis, aspecto este contemplado en el programa *ANASUB* pero no analizado ni discutido.
4. Estudiar subunidades con diferentes pendientes para los laterales y la tubería terciaria.



## **6. BIBLIOGRAFÍA**



## 6. BIBLIOGRAFÍA

AENOR. *UNE 53367-1:2012: Plásticos. Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua para microirrigación. Polietileno (PE). Parte 1: Especificaciones para tubos*. Madrid: Asociación española de normalización y certificación, 2012a.

AENOR. *UNE-EN 12201-2:2012: Sistemas de canalización en materiales plásticos para conducción de agua y saneamiento con presión. Polietileno (PE). Parte 2: Tubos*. Madrid: Asociación española de normalización y certificación, 2012b.

AENOR. *UNE-EN ISO 9261:2010: Equipos de riego. Emisores y tuberías emisoras. Especificaciones y métodos de ensayo*. Madrid: Asociación española de normalización y certificación, 2010.

AL-AMOUD, A.I. Significance of energy losses due to emitter connections in trickle irrigation lines. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 1995, **60**(1), 1-5.

ARVIZA, J. *Riego localizado*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 1996. ISBN 84-7721-362-3.

ARVIZA, J. *Pérdidas de carga singulares por la conexión de emisores en laterales de riego localizado*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 1992.

ASAE STANDARD. *EP 405.1: Design and installation of microirrigation system*. St. Joseph, Michigan: American Society of Agricultural Engineers, 2003.

ASCOUGH, G. y KIKER, G. The effect of irrigation uniformity on irrigation water requirements. *Water SA*, 2002, **28**(2), 235-242.

BAGARELLO, V., FERRO, V., PROVENZANO, G. y PUMO, D. Evaluating pressure losses in drip-irrigation lines. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1997, **123**(1), 1-7.

BAGARELLO, V., FERRO, V., PROVENZANO, G. y PUMO, D. Experimental study on flow-resistance law for small-diameter plastic pipes. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1995, **121**(5), 313-316.

BARRAGAN, J., BRALTS, V. y WU, I.P. Assessment of emission uniformity for micro-irrigation design. *Biosystems Engineering*, 2006, **93**(1), 89-97.

BLASIUS, H. *Das Ähnlichkeitsgesetz bei Reibungsvorgängen in Flüssigkeiten*. Springer, 1913.

BRALTS, V.F. y EDWARDS, D.M. Field evaluation of drip irrigation submain units. *Transactions of the ASAE*, 1986, **29**.

BRALTS, V.F., EDWARDS, D.M. y WU, I.P. Drip irrigation design and evaluation based on the statistical uniformity concept. *Advances in Irrigation*, 1987, **4**.

BRALTS, V.F. y KESNER, C.D. Drip irrigation field uniformity estimation (statistics). *Transactions of the ASAE*, 1983, **26**.

BRALTS, V.F. y SEGERLIND, L.J. Finite element analysis of drip irrigation submain units. *Transactions of the ASAE*, 1985, **28**.

BRALTS, V.F., WU, J.P. y GITLIN, H.M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. *Transactions of the ASAE*, 1981, **24**.

BRKIĆ, D. Review of explicit approximations to the colebrook relation for flow friction. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 2011, **77**(1), 34-48.

BURT, C.M. et al. Irrigation performance measures: Efficiency and uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1997, **123**(6), 423-442.

CARRIÓN, F., TARJUELO, J.M., HERNÁNDEZ, D. y MORENO, M.A. Design of microirrigation subunit of minimum cost with proper operation. *Irrigation Science*, 2013, **31**, 1-13.

CHRISTIANSEN, J.E. *Irrigation by sprinkling*. Berkeley: Agricultural Experimental Station. University of California., 1942.

CLEMMENS, A.J. y SOLOMON, K.H. Estimation of global irrigation distribution uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1997, **123**(6), 454-461.

COLEBROOK, C.F. Turbulent flow in pipes, with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe laws. *Journal of the ICE*, 1939, **11**(4), 133-156.

DANDY, G.C. y HASSANLI, A.M. Optimum design and operation of multiple subunit drip irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1996, **122**(5), 265-275.

DEMIR, V., YURDEM, H. y DEGIRMENCIOGLU, A. Development of prediction models for friction losses in drip irrigation laterals equipped with integrated in-line and on-line emitters using dimensional analysis. *Biosystems Engineering*, 2007, **96**(4), 617-631. ISSN 1537-5110.

DOGAN, E. y KIRNAK, H. Water temperature and system pressure effect on drip lateral properties. *Irrigation Science*, 2009, **28**(5), 407-419.

DUNLOP, E. *WADI user's manual*. Dublin: Local government computer services board, 1991.

HART, W.E. y REYNOLDS, W.N. Analytical design of sprinkler systems. *Transactions of the ASAE*, 1965, **8**(1), 83-85.

HATHOOT, H.M., AL-AMOUD, A.I. y MOHAMMAD, F.S. Analysis and design of trickle-irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1993, **119**(5), 756-767.

HOWELL, T.A. Irrigation efficiency. En: *Encyclopedia of water science*, 2003, New York: , Marcel Dekker, 467-472. *Irrigation Efficiency*.

HOWELL, T.A. y HILER, E.A. Trickle irrigation lateral design. *Transactions of the ASAE*, 1974, **17**.

HOWELL, T.A. y BARINAS, F.A. Pressure losses across trickle irrigation fittings and emitters. *Transactions of the ASAE*, 1980, **23**(4), 928-933. ISSN ISSN 0001-2351. CABDirect2.

JAIN, S.K., SINGH, K.K. y SINGH, R.P. Microirrigation lateral design using lateral discharge equation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2002, **128**(2), 125-128.

- JUANA, L., LOSADA, A., RODRÍGUEZ-SINOBAS, L. y SÁNCHEZ, R. Analytical relationships for designing rectangular drip irrigation units. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2004, **130**(1), 47-59.
- JUANA, L., RODRÍGUEZ-SINOBAS, L. y LOSADA, A. Determining minor head losses in drip irrigation laterals. I: Methodology. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2002, **128**(6), 376-384. ISSN 0733-9437.
- KALE, R.V., SINGH, R.P. y MAHAR, P.S. Optimal design of pressurized irrigation subunit. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2008, **134**(2), 137-146.
- KANG, Y. y NISHIYAMA, S. An improved method for designing microirrigation submain units. *Irrigation Science*, 1997, **17**(4), 183-193.
- KANG, Y. y NISHIYAMA, S. Analysis and design of microirrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1996a, **122**(2), 75-82.
- KANG, Y. y NISHIYAMA, S. Analysis of microirrigation systems using a lateral discharge equation. *Transactions of the ASAE*, 1996b, **39**(3), 921-930.
- KANG, Y. y NISHIYAMA, S. Design of microirrigation submain units. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1996c, **122**(2), 83-89.
- KARMELI, D. y KELLER, J. *Trickle irrigation design*. Glendora, California (USA): Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975.
- KELLER, J. y BLIESNER, R.D. *Sprinkler and trickle irrigation*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990.
- KELLER, J. y KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. *Transactions of the ASAE*, 1974, **17**.
- KORSON, L., DROST-HANSEN, W. y MILLERO, F.J. Viscosity of water at various temperatures. *The Journal of Physical Chemistry*, 1969, **73**(1), 34-39.
- LI, P., SEEM, J.E. y LI, Y. A new explicit equation for accurate friction factor calculation of smooth pipes. *International Journal of Refrigeration*, 2011, **34**(6), 1535-1541.
- LIU, C. Limitations and proper use of the hazen-williams equation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1998, **124**(9), 951-954. ISSN 0733-9429.
- MASSEY JR, F.J. The kolmogorov-smirnov test for goodness of fit. *Journal of the American Statistical Association*, 1951, **46**(253), 68-78.
- MONTALVO, T. *Riego localizado: Diseño de instalaciones*. Valencia: Ediciones VJ, 2007. ISBN 978-84-96741-88-1.
- MOODY, L.F. Friction factors for pipe flow. *Transactions of the ASME*, 1944, **66**(8), 671-684.
- MOYA, J.A. *Riego localizado y fertirrigación*. Madrid: Mundi-Prensa, 2009.
- NOORI, J.S. y AL THAMIRY, H.A. Hydraulic and statistical analyses of design emission uniformity of trickle irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2012, **138**(9), 791-798.

PALAU, G. *Caracterización hidrodinámica de dispositivos de riego mediante técnicas computacionales de fluidos (CFD). aplicación al caso de emisores de riego localizado y válvulas hidráulicas de control*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia, 2005.

PALAU, G., SANCHIS, L.H., GONZÁLEZ-ALTOZANO, P. y ARVIZA, J. Real local losses estimation for on-line emitters using empirical and numerical procedures. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2006, **132**(6), 522-530.

PARCHOMCHUK, P. Temperature effects on emitter discharge rates (trickle irrigation). *Transactions of the ASAE*, 1976, **19**.

PIZARRO, F. *Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): Goteo, microaspersión, exudación*. Madrid: Mundi-Prensa, 1996.

PRANDTL, L. *The mechanics of viscous fluids*. Springer, 1935.

PROVENZANO, G. y PUMO, D. Experimental analysis of local pressure losses for microirrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2004, **130**(4), 318-324.

PROVENZANO, G., PUMO, D. y DI DIO, P. Simplified procedure to evaluate head losses in drip irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2005, **131**(6), 525-532.

RODRIGO, J., HERNÁNDEZ, J.M., PÉREZ, A. y GONZÁLEZ, J.F. *Riego localizado*. Madrid: Mundi-Prensa: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1997.

RODRÍGUEZ-SINOBAS, L., JUANA, L. y LOSADA, A. Effects of temperature changes on emitter discharge. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1999, **125**(2), 64-73.

ROMERO, R. *Métodos estadísticos en ingeniería*. Valencia: Editorial UPV, 2012.

ROSSMAN, L.A. *EPANET 2 user's manual*. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, 2000.

ROYUELA, Á. *Determinación de las pérdidas de carga singulares producidas por la conexión de las laterales en las tuberías terciarias de riego localizado*. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de València, 1998.

ROYUELA, Á., MARTÍ, P.C., ZARZO, M.I. and TURÉGANO, J.V. Assessment of local head losses considering different lateral insertions in manifolds. En: *Actas de la International Conference of Agricultural Engineering. CIGR-AgEng2012. Valencia: International Commission of Agricultural and Biosystem Engineering, 2012*. ISBN 978-84-615-9928-8.

ROYUELA, Á., MONTALVO, T. and TURÉGANO, J.V. Head losses produced by the connection of laterals with manifold pipelines in trickle irrigation. En: *Actas del ICID 17th congress. Granada: International Commission on Irrigation and Drainage, 1999*.

ROYUELA, Á. and TURÉGANO, J.V. Assessment of hydraulic behaviour of regulated emitters in laboratory. En: *Actas de la International Conference of Agricultural Engineering. CIGR-AgEng2012. Valencia: International Commission of Agricultural and Biosystem Engineering, 2012*. ISBN 978-84-615-9928-8.



SINGH, A., SINGH, R.P., MAHAR, P.S. y SINGH, K.K. Optimal design of tapered microirrigation submain manifolds. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2000, **126**(6), 371-374.

SMESRUD, J.K. y SELKER, J.S. Analytical solution for normal irrigation distribution parameters. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2001, **127**(1), 45-48.

SOLOMON, K.H. Global uniformity of trickle irrigation systems. *Transactions of the ASAE*, 1985, **28**(4), 1151-1158.

SOLOMON, K.H. Manufacturing variation of trickle emitters [irrigation equipment]. *Transactions of the ASAE*, 1979, **22**.

SONNAD, J.R. y GOUDAR, C.T. Explicit reformulation of the colebrook-white equation for turbulent flow friction factor calculation. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 2007, **46**(8), 2593-2600. ISSN 0888-5885.

SWANEE, P.K. y JAIN, A.K. Explicit equations for pipeflow problems. *Journal of the Hydraulics Division*, 1976, **102**(5).

The Ministry of Water Resources of PRC. *Technical code for micro-irrigation engineering (GB/T 50485-2009)*. Beijing: China planning press, 2009.

TURÉGANO, J.V. and ARVIZA, J. Influence of Manufacturer's Coefficient of Variation of Emitters on Relative Flow Difference in a Microirrigation Submain Unit. En: *Actas del ASAE Annual International Meeting. Tampa (USA): American Society of Agricultural Engineers, 2005*.

TURÉGANO, J.V., MARTÍ, P. y ROYUELA, Á. Discussion of "Hydraulic and statistical analyses of design emission uniformity of trickle irrigation systems" by jafar safaa noori and hayder A. al thamiry. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2013, **139**(12), 1045-1048. ISSN 0733-9437.

TURÉGANO, J.V. and ROYUELA, Á. Influencia de las simplificaciones adoptadas en el diseño y el análisis de las subunidades de riego localizado. En: *Actas del XXV Congreso nacional de riegos. Pamplona: Asociación española de Riegos y Drenajes, 2007*.

VALIANTZAS, J.D. Analytical approach for direct drip lateral hydraulic calculation. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1998, **124**(6), 300-305.

VALLESQUINO, P. y LUQUE-ESCAMILLA, P. Equivalent friction factor method for hydraulic calculation in irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2002, **128**(5), 278-286. ISSN 0733-9437.

VALLESQUINO, P. y LUQUE-ESCAMILLA, P.L. New algorithm for hydraulic calculation in irrigation laterals. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 2001, **127**(4), 254-260.

VERMEIREN, L. y JOBLING, G.A. *Estudio FAO riego y drenaje nº 36: Riego localizado*. Roma: FAO, 1986. ISBN 92-5-300986-1.

VON BERNUTH, R.D. Simple and accurate friction loss equation for plastic pipe. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1990, **116**(2), 294-298.

VON BERNUTH, R.D. y WILSON, T. Friction factors for small diameter plastic pipes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1989, **115**(2), 183-192.

VON KARMAN, T. Turbulence and skin friction. *Journal of the Aeronautical Sciences (Institute of the Aeronautical Sciences)*, 1934, **1**(1), 1-20.

WARRICK, A.W. y YITAYEW, M. Trickle lateral hydraulics. I: Analytical solution. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1988, **114**(2), 281-288.

WATTERS, G.Z. y KELLER, J. Trickle irrigation tubing hydraulics. *Paper*, 1978, (78-2015).

WEI, Q. et al. Study on hydraulic performance of drip emitters by computational fluid dynamics. *Agricultural Water Management*, 2006, **84**(1), 130-136.

WILCOX, J.C. y SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. *Scientific Agriculture*, 1947, **27**(11), 565-583.

WILLIAMS, G.S. y HAZEN, A. *Hydraulic tables*. 3rd ed. New York: Wiley & sons, 1933.

WU, I.P. An assessment of hydraulic design of micro-irrigation systems. *Agricultural Water Management*, 1997, **32**(3), 275-284.

WU, I.P. y GITLIN, H.M. Drip irrigation application efficiency and schedules. *Transactions of the ASAE*, 1983, **26**.

WU, I.P. y GITLIN, H.M. Drip irrigation design based on uniformity. *Transactions of the ASAE*, 1974, .

WU, I.P. y GITLIN, H.M. Energy gradient line for drip irrigation laterals. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 1975, **101**(4), 323-326.

YILDIRIM, G. An assessment of hydraulic design of trickle laterals considering effect of minor losses. *Irrigation and Drainage*, 2007, **56**(4), 399-421.

YITAYEW, M. Head loss in manifolds or trickle lateral: Simplified approach. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1989, **115**(4), 739-743. ISSN 0733-9437.

YITAYEW, M. y WARRICK, A.W. Trickle lateral hydraulics. II: Design and examples. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 1988, **114**(2), 289-300.

ZELLA, L., KETTAB, A. y CHASSERIAUX, G. Hydraulic simulation of micro-irrigation lateral using control volume method. *Agronomie*, 2003, **23**.

ZETZSCHE, J.B. y NEWMAN, J.S. The design of sub-irrigation laterals with uniformity spaced orifices. *ASAE Paper*, 1968, .

ZHANG, L., WU, P. y ZHU, D. Hydraulic design procedure for drip irrigation submain unit based on relative flow difference. *Irrigation Science*, 2013, **31**(5), 1065-1073. ISSN 0342-7188.

ZUR, B. y TAL, S. Emitter discharge sensitivity to pressure and temperature. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*, 1981, **107**(1), 1-9.

## **7. ANEXOS**

**ÍNDICE**

	<u>Pag.</u>
<b>ANEXO I: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE EMISORES COMERCIALES .....</b>	<b>163</b>
I.1. EMISORES ENSAYADOS.....	163
I.2. EMISORES NO AUTOCOMPENSANTES.....	164
I.3. EMISORES AUTOCOMPENSANTES.....	176
<b>ANEXO II: COEFICIENTES DE VARIACIÓN.....</b>	<b>207</b>
II.1. EMISORES ENSAYADOS.....	207
II.2. EMISORES NO AUTOCOMPENSANTES.....	208
II.3. EMISORES AUTOCOMPENSANTES .....	220
<b>ANEXO III: DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO “ANASUB” .....</b>	<b>251</b>
III.1. INTRODUCCIÓN .....	251
III.2. INICIO.....	253
III.3. GESTIÓN DE SUBUNIDADES.....	254
III.4. GESTIÓN DE EMISORES.....	263
III.5. GENERACIÓN DE LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA DE EMISORES .....	266
III.6. PARÁMETROS HIDRÁULICOS .....	269
III.7. ANÁLISIS DE LA SUBUNIDAD.....	273
III.8. OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y GRÁFICOS.....	277
<b>ANEXO IV: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS SUBUNIDADES TIPO .....</b>	<b>281</b>
IV.1. INTRODUCCIÓN .....	281
IV.2. SUBUNIDADES ANALIZADAS.....	281

## ANEXO I: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE EMISORES COMERCIALES

### I.1. EMISORES ENSAYADOS

Tabla XXVIII: Emisores no autocompensantes ensayados

Denominación comercial	Emisor	Presencia de anómalos	Intervalo de presiones (kPa)
Netafim botón 2	Noauto-1	NO	0 – 250
Bricorriego 2	Noauto-2	SI	0 – 250
	Noauto-2a	NO	0 – 250
Toroplastro 4	Noauto-3	SI	0 – 250
	Noauto-3a	NO	0 – 250
Bricorriego 4	Noauto-4	NO	0 – 250
Azud drip compact 4	Noauto-5	NO	0 – 250
Azud pro 4	Noauto-6	SI	0 – 250
	Noauto-6a	NO	0 – 250
Azud drip compact 2,2	Noauto-8	NO	0 – 250
Azud pro 2,2	Noauto-9	NO	0 – 250
Tuftiff 8	Noauto-10	NO	0 – 250

Tabla XXIX: Emisores autocompensantes ensayados

Denominación comercial	Emisor	Presencia de anómalos	Intervalo de presiones (kPa)
Twin plus 1,8	Auto-1	NO	50 – 400
	Auto-1c	NO	100 – 400
Hydro PC 2,2	Auto-2	NO	50 – 400
	Auto-2c	NO	100 – 350
Netafim botón 4	Auto-3	NO	50 – 400
	Auto-3c	NO	100 – 400
Netafim PCJ 4	Auto-4	SI	50 – 400
	Auto-4a	NO	50 – 400
Flapper 7	Auto-5	NO	50 – 400
Netafim Technet 2	Auto-6	SI	50 – 400
	Auto-6a	NO	50 – 400
Netafim botón 2	Auto-7	NO	50 – 400
Turboplus 4	Auto-8	SI	50 – 400
	Auto-8a	NO	50 – 400
	Auto-8ac	NO	100 – 400
Azud premier line 2,3	Auto-9	SI	50 – 400
	Auto-9a	NO	50 – 400
Azud premier line 1,5	Auto-10	NO	50 – 400
Azud premier line 1,1	Auto-11	SI	50 – 400
	Auto-11a	NO	50 – 400
LBC 4	Auto-12	SI	50 – 400
	Auto-12a	NO	50 – 400
	Auto-12ac	NO	100 – 400
Azud premier line 2.3L 9261	Auto-13	NO	50 – 480
Azud premier line 1.6L 9261	Auto-14	NO	50 – 480
Azud premier line 1.0L 9261	Auto-15	NO	50 – 480
Azud premier line 3.0L 9261	Auto-16	NO	50 – 480
Azud premier line 3.5L 9261	Auto-17	NO	50 – 480
Ibán 1,6	Auto-18	NO	100 – 480
Ibán 2,3	Auto-19	NO	50 – 420

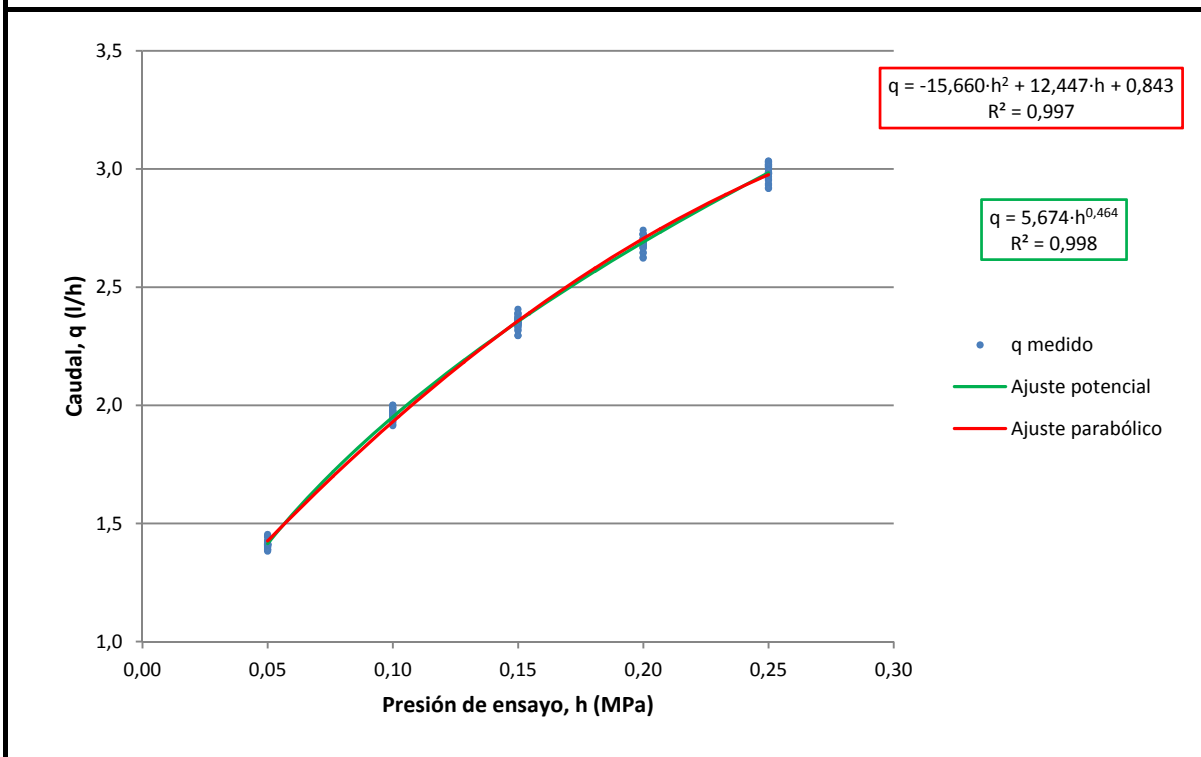
**I.2. EMISORES NO AUTOCOMPENSANTES**

**I.2.1. Noauto-1 (Netafim botón 2)**

Tipo: *No autocompensante*  
 Conexión: *Pinchado*  
 Rango de trabajo: *0 – 250 kPa*  
 Caudal nominal: *2,0 l/h*  
 Caudal a presión nominal (100 kPa): *1,959 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	1,391	1,928	2,315	2,644	2,938	5,582	0,463	0,828	12,287	-15,557
2	1,390	1,942	2,329	2,666	2,967	5,684	0,469	0,819	12,495	-15,802
3	1,417	1,980	2,373	2,705	3,018	5,759	0,467	0,840	12,655	-16,007
4	1,410	1,973	2,375	2,720	3,028	5,838	0,473	0,822	12,846	-16,267
5	1,412	1,970	2,366	2,695	3,003	5,734	0,467	0,834	12,672	-16,190
6	1,382	1,919	2,295	2,626	2,918	5,534	0,462	0,827	12,139	-15,283
7	1,428	1,974	2,362	2,690	2,982	5,614	0,456	0,857	12,506	-16,197
8	1,424	1,977	2,366	2,707	3,019	5,733	0,465	0,857	12,402	-15,206
9	1,409	1,957	2,350	2,697	3,000	5,732	0,468	0,839	12,422	-15,258
10	1,443	1,999	2,388	2,725	3,033	5,723	0,459	0,872	12,507	-15,648
11	1,412	1,959	2,352	2,681	2,981	5,659	0,463	0,840	12,508	-15,970
12	1,408	1,953	2,348	2,686	2,980	5,680	0,465	0,832	12,560	-16,026
13	1,414	1,969	2,361	2,697	3,010	5,739	0,467	0,844	12,470	-15,430
14	1,413	1,949	2,358	2,696	3,011	5,746	0,469	0,846	12,281	-14,653
15	1,406	1,933	2,320	2,647	2,932	5,518	0,456	0,845	12,214	-15,605
16	1,400	1,955	2,346	2,681	2,978	5,701	0,468	0,821	12,666	-16,327
17	1,401	1,941	2,340	2,674	2,956	5,643	0,464	0,819	12,667	-16,595
18	1,447	2,000	2,406	2,740	3,032	5,746	0,460	0,854	12,923	-17,000
19	1,446	1,990	2,385	2,726	3,025	5,698	0,458	0,874	12,446	-15,522
20	1,405	1,942	2,341	2,671	2,985	5,678	0,466	0,845	12,189	-14,701
21	1,386	1,913	2,295	2,623	2,921	5,521	0,461	0,838	11,951	-14,651
22	1,409	1,960	2,349	2,685	2,987	5,686	0,465	0,839	12,481	-15,731
23	1,453	1,989	2,390	2,723	3,016	5,652	0,454	0,879	12,470	-15,832
24	1,411	1,949	2,334	2,665	2,951	5,570	0,458	0,844	12,372	-15,926
25	1,409	1,950	2,340	2,681	2,999	5,697	0,467	0,856	12,057	-14,127
Media	1,413	1,959	2,351	2,686	2,987	5,675	0,464	0,843	12,447	-15,660
CV (%)	1,315	1,192	1,183	1,129	1,171	1,419	1,051	1,974	1,854	-4,209
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

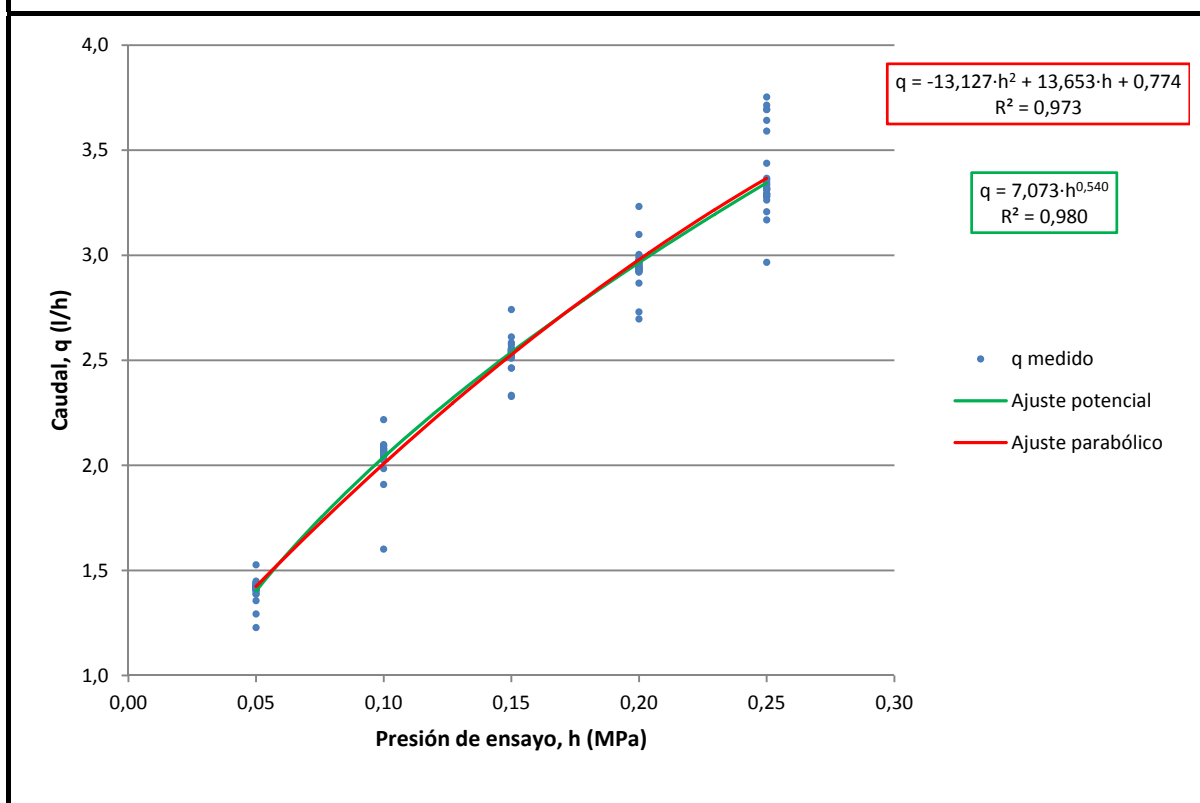


## I.2.2. Noauto-2 (Bricorriego 2)

Tipo: **No autocompensante**Conexión: **Pinchado**Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**Caudal nominal: **2,0 l/h**Caudal a presión nominal (100 kPa): **2,039 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	1,428	2,062	2,546	2,975	3,366	7,002	0,531	0,768	14,215	-15,467
2	1,526	2,217	2,741	3,231	3,753	7,927	0,552	0,867	14,127	-10,637
3	1,401	2,057	2,522	2,930	3,311	6,919	0,531	0,733	14,582	-17,318
4	1,419	2,090	2,548	2,983	3,693	7,753	0,571	0,941	10,419	1,537
5	1,409	2,046	2,509	2,921	3,281	6,792	0,524	0,744	14,437	-17,332
6	1,448	2,094	2,611	3,098	3,714	7,928	0,573	0,888	11,838	-2,555
7	1,425	2,073	2,539	2,963	3,333	6,916	0,526	0,755	14,552	-17,138
8	1,292	1,908	2,333	2,696	3,168	6,615	0,545	0,743	12,077	-10,000
9	1,438	2,048	2,583	3,003	3,642	7,639	0,564	0,905	11,219	-1,646
10	1,407	2,044	2,546	2,947	3,339	7,011	0,536	0,730	14,614	-16,932
11	1,227	1,601	2,327	2,729	2,966	6,723	0,581	0,489	14,338	-17,091
12	1,441	2,098	2,574	2,995	3,437	7,141	0,534	0,799	13,941	-13,869
13	1,427	2,079	2,554	2,973	3,590	7,487	0,557	0,894	11,540	-3,659
14	1,427	2,068	2,546	2,957	3,320	6,879	0,524	0,749	14,700	-17,830
15	1,432	2,080	2,557	2,968	3,694	7,671	0,565	0,968	10,045	2,602
16	1,419	2,047	2,528	2,932	3,287	6,793	0,522	0,745	14,577	-17,787
17	1,416	2,044	2,522	2,927	3,292	6,804	0,523	0,750	14,407	-17,133
18	1,355	1,984	2,462	2,867	3,206	6,783	0,536	0,674	14,755	-18,619
19	1,438	2,051	2,539	2,955	3,312	6,806	0,520	0,771	14,314	-16,694
20	1,408	2,029	2,522	2,929	3,279	6,825	0,527	0,728	14,654	-17,905
21	1,412	2,070	2,533	2,944	3,318	6,906	0,528	0,740	14,681	-17,709
22	1,388	2,031	2,463	2,919	3,292	6,873	0,534	0,752	13,807	-14,716
23	1,415	2,065	2,522	2,939	3,362	6,972	0,532	0,782	13,791	-14,184
24	1,409	2,023	2,534	2,942	3,262	6,823	0,526	0,701	15,165	-19,718
25	1,386	2,056	2,529	2,932	3,351	7,090	0,543	0,723	14,518	-16,363
Media	1,408	2,039	2,528	2,946	3,383	7,083	0,540	0,774	13,653	-13,127
CV (%)	3,847	5,124	3,107	3,341	5,694	5,608	3,360	12,657	10,911	-51,654
Normal	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	NO	SI

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

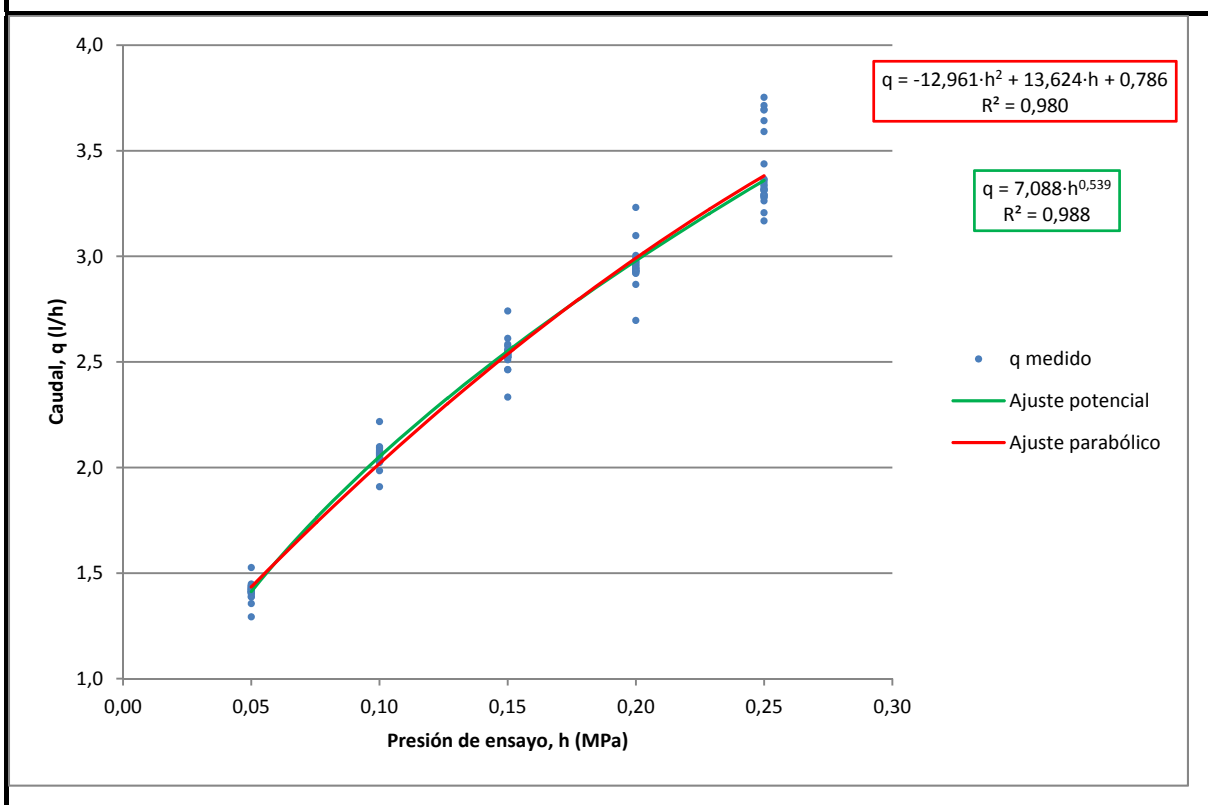


**1.2.3. Noauto-2a (Bricorriego 2; Sin datos anómalos)**

Tipo: **No autocompensante**  
 Conexión: **Pinchado**  
 Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**  
 Caudal nominal: **2,0 l/h**  
 Caudal a presión nominal (100 kPa): **2,057 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	1,428	2,062	2,546	2,975	3,366	7,002	0,531	0,768	14,215	-15,467
2	1,526	2,217	2,741	3,231	3,753	7,927	0,552	0,867	14,127	-10,637
3	1,401	2,057	2,522	2,930	3,311	6,919	0,531	0,733	14,582	-17,318
4	1,419	2,090	2,548	2,983	3,693	7,753	0,571	0,941	10,419	1,537
5	1,409	2,046	2,509	2,921	3,281	6,792	0,524	0,744	14,437	-17,332
6	1,448	2,094	2,611	3,098	3,714	7,928	0,573	0,888	11,838	-2,555
7	1,425	2,073	2,539	2,963	3,333	6,916	0,526	0,755	14,552	-17,138
8	1,292	1,908	2,333	2,696	3,168	6,615	0,545	0,743	12,077	-10,000
9	1,438	2,048	2,583	3,003	3,642	7,639	0,564	0,905	11,219	-1,646
10	1,407	2,044	2,546	2,947	3,339	7,011	0,536	0,730	14,614	-16,932
11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12	1,441	2,098	2,574	2,995	3,437	7,141	0,534	0,799	13,941	-13,869
13	1,427	2,079	2,554	2,973	3,590	7,487	0,557	0,894	11,540	-3,659
14	1,427	2,068	2,546	2,957	3,320	6,879	0,524	0,749	14,700	-17,830
15	1,432	2,080	2,557	2,968	3,694	7,671	0,565	0,968	10,045	2,602
16	1,419	2,047	2,528	2,932	3,287	6,793	0,522	0,745	14,577	-17,787
17	1,416	2,044	2,522	2,927	3,292	6,804	0,523	0,750	14,407	-17,133
18	1,355	1,984	2,462	2,867	3,206	6,783	0,536	0,674	14,755	-18,619
19	1,438	2,051	2,539	2,955	3,312	6,806	0,520	0,771	14,314	-16,694
20	1,408	2,029	2,522	2,929	3,279	6,825	0,527	0,728	14,654	-17,905
21	1,412	2,070	2,533	2,944	3,318	6,906	0,528	0,740	14,681	-17,709
22	1,388	2,031	2,463	2,919	3,292	6,873	0,534	0,752	13,807	-14,716
23	1,415	2,065	2,522	2,939	3,362	6,972	0,532	0,782	13,791	-14,184
24	1,409	2,023	2,534	2,942	3,262	6,823	0,526	0,701	15,165	-19,718
25	1,386	2,056	2,529	2,932	3,351	7,090	0,543	0,723	14,518	-16,363
Media	1,415	2,057	2,536	2,955	3,400	7,098	0,539	0,786	13,624	-12,961
CV (%)	2,816	2,528	2,679	3,023	5,164	5,614	3,052	10,142	11,117	-53,039
Normal	SI	SI	SI	SI	NO	NO	NO	NO	NO	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**



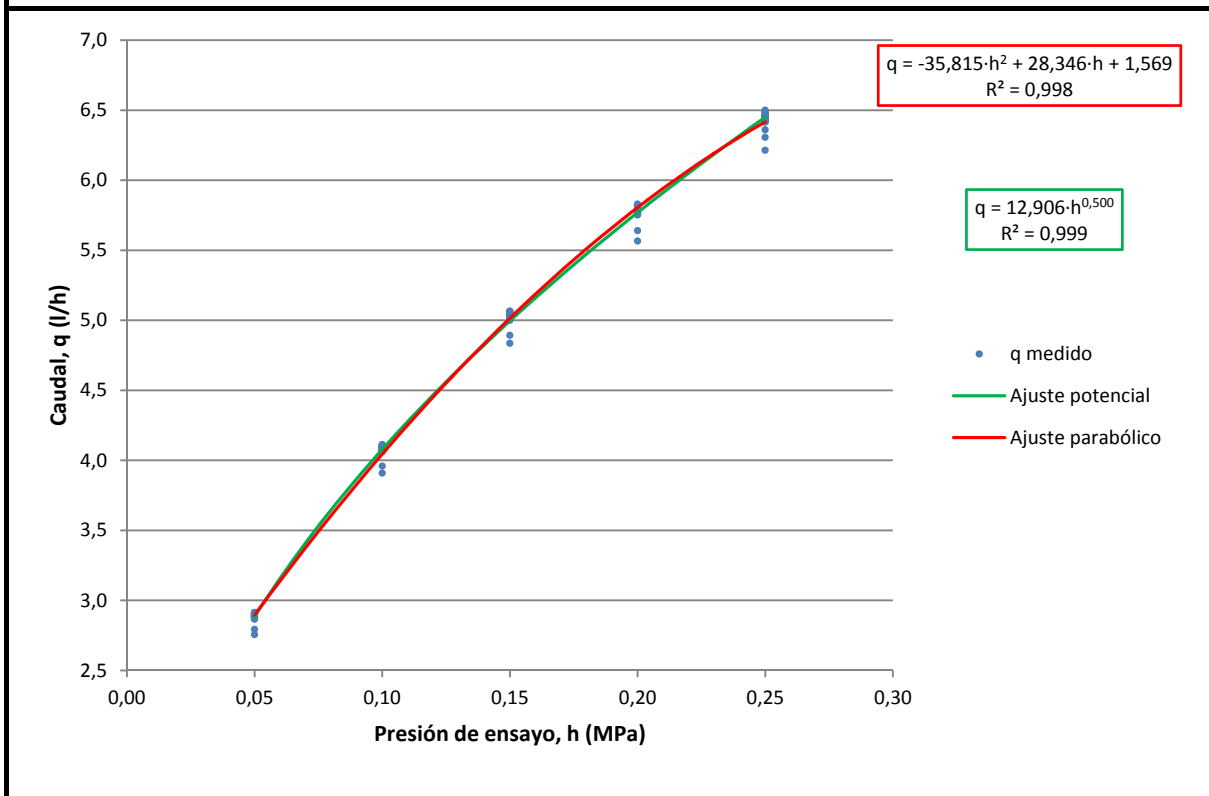


## I.2.4. Noauto-3 (Toroplastro 4)

Tipo: **No autocompensante**Conexión: **Pinchado**Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**Caudal nominal: **4,0 l/h**Caudal a presión nominal (100 kPa): **4,073 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	2,900	4,099	5,057	5,807	6,474	12,992	0,500	1,576	28,596	-36,283
2	2,893	4,092	5,033	5,779	6,359	12,720	0,493	1,530	29,500	-40,882
3	2,879	4,074	5,025	5,772	6,426	12,913	0,501	1,554	28,614	-36,762
4	2,905	4,093	5,042	5,797	6,465	12,922	0,498	1,597	28,213	-35,221
5	2,888	4,077	5,015	5,765	6,430	12,856	0,498	1,585	28,142	-35,325
6	2,869	4,067	5,000	5,756	6,414	12,883	0,501	1,559	28,325	-35,891
7	2,885	4,064	5,002	5,751	6,425	12,828	0,498	1,596	27,805	-34,242
8	2,880	4,074	5,034	5,792	6,460	13,017	0,503	1,559	28,484	-35,758
9	2,902	4,102	5,056	5,815	6,486	13,019	0,501	1,581	28,513	-35,839
10	2,865	4,063	5,011	5,758	6,423	12,936	0,503	1,548	28,472	-36,163
11	2,911	4,109	5,059	5,821	6,490	12,996	0,499	1,595	28,401	-35,536
12	2,793	3,959	4,892	5,640	6,306	12,754	0,507	1,514	27,568	-33,850
13	2,903	4,098	5,047	5,800	6,466	12,942	0,499	1,588	28,402	-35,820
14	2,896	4,072	5,028	5,785	6,447	12,903	0,499	1,587	28,164	-35,119
15	2,879	4,089	5,024	5,784	6,444	12,963	0,502	1,557	28,598	-36,486
16	2,889	4,082	5,032	5,797	6,448	12,957	0,501	1,565	28,539	-36,237
17	2,900	4,090	5,036	5,791	6,452	12,903	0,498	1,589	28,304	-35,652
18	2,913	4,110	5,063	5,816	6,492	12,989	0,499	1,598	28,382	-35,509
19	2,905	4,094	5,047	5,796	6,460	12,918	0,498	1,590	28,368	-35,805
20	2,870	4,063	5,008	5,757	6,418	12,900	0,501	1,555	28,404	-36,081
21	2,878	4,065	5,006	5,761	6,421	12,875	0,500	1,571	28,191	-35,412
22	2,755	3,909	4,835	5,566	6,213	12,577	0,507	1,480	27,498	-34,510
23	2,887	4,084	5,030	5,784	6,457	12,956	0,501	1,577	28,304	-35,424
24	2,911	4,111	5,065	5,829	6,500	13,033	0,500	1,591	28,488	-35,667
25	2,884	4,080	5,024	5,773	6,438	12,911	0,500	1,571	28,374	-35,907
Media	2,882	4,073	5,019	5,772	6,433	12,906	0,500	1,569	28,346	-35,815
CV (%)	1,235	1,106	1,018	0,975	0,961	0,791	0,562	1,809	1,327	-3,480
Normal	SI	NO	NO	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

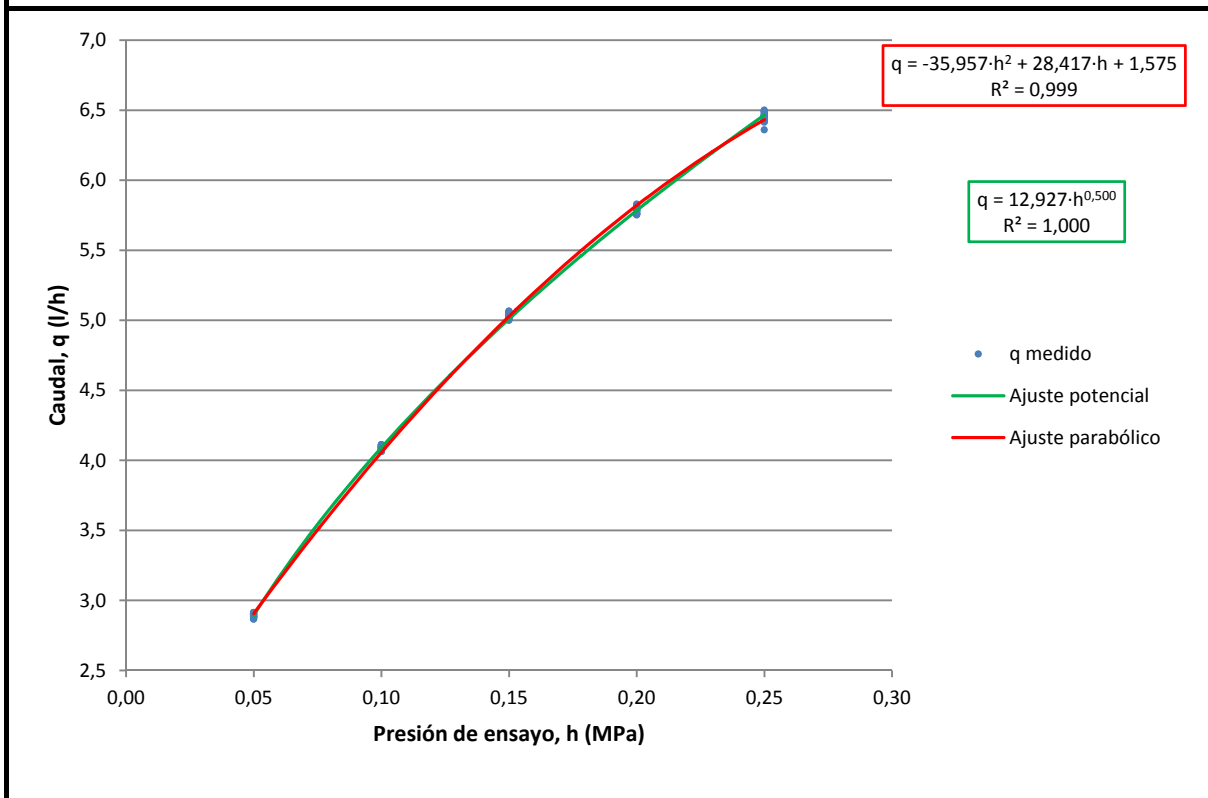


**I.2.5. Noauto-3a (Toroplastro 4; Sin datos anómalos)**

Tipo: **No autocompensante**  
 Conexión: **Pinchado**  
 Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**  
 Caudal nominal: **4,0 l/h**  
 Caudal a presión nominal (100 kPa): **4,085 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	2,900	4,099	5,057	5,807	6,474	12,992	0,500	1,576	28,596	-36,283
2	2,893	4,092	5,033	5,779	6,359	12,720	0,493	1,530	29,500	-40,882
3	2,879	4,074	5,025	5,772	6,426	12,913	0,501	1,554	28,614	-36,762
4	2,905	4,093	5,042	5,797	6,465	12,922	0,498	1,597	28,213	-35,221
5	2,888	4,077	5,015	5,765	6,430	12,856	0,498	1,585	28,142	-35,325
6	2,869	4,067	5,000	5,756	6,414	12,883	0,501	1,559	28,325	-35,891
7	2,885	4,064	5,002	5,751	6,425	12,828	0,498	1,596	27,805	-34,242
8	2,880	4,074	5,034	5,792	6,460	13,017	0,503	1,559	28,484	-35,758
9	2,902	4,102	5,056	5,815	6,486	13,019	0,501	1,581	28,513	-35,839
10	2,865	4,063	5,011	5,758	6,423	12,936	0,503	1,548	28,472	-36,163
11	2,911	4,109	5,059	5,821	6,490	12,996	0,499	1,595	28,401	-35,536
12	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
13	2,903	4,098	5,047	5,800	6,466	12,942	0,499	1,588	28,402	-35,820
14	2,896	4,072	5,028	5,785	6,447	12,903	0,499	1,587	28,164	-35,119
15	2,879	4,089	5,024	5,784	6,444	12,963	0,502	1,557	28,598	-36,486
16	2,889	4,082	5,032	5,797	6,448	12,957	0,501	1,565	28,539	-36,237
17	2,900	4,090	5,036	5,791	6,452	12,903	0,498	1,589	28,304	-35,652
18	2,913	4,110	5,063	5,816	6,492	12,989	0,499	1,598	28,382	-35,509
19	2,905	4,094	5,047	5,796	6,460	12,918	0,498	1,590	28,368	-35,805
20	2,870	4,063	5,008	5,757	6,418	12,900	0,501	1,555	28,404	-36,081
21	2,878	4,065	5,006	5,761	6,421	12,875	0,500	1,571	28,191	-35,412
22	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
23	2,887	4,084	5,030	5,784	6,457	12,956	0,501	1,577	28,304	-35,424
24	2,911	4,111	5,065	5,829	6,500	13,033	0,500	1,591	28,488	-35,667
25	2,884	4,080	5,024	5,773	6,438	12,911	0,500	1,571	28,374	-35,907
Media	2,891	4,085	5,032	5,786	6,448	12,927	0,500	1,575	28,417	-35,957
CV (%)	0,496	0,385	0,393	0,389	0,494	0,544	0,418	1,174	1,050	-3,314
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

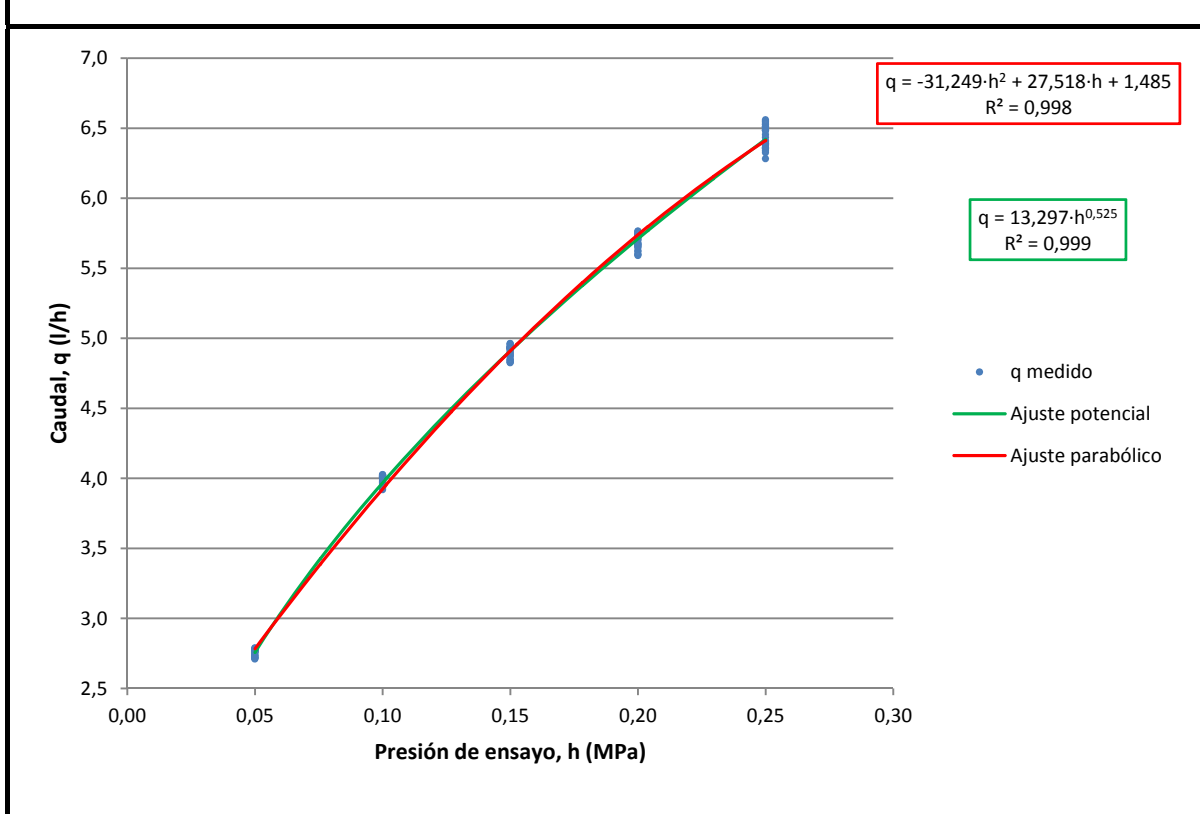


## I.2.6. Noauto-4 (Bricorriego 4)

Tipo: *No autocompensante*Conexión: *Pinchado*Rango de trabajo: *0 – 250 kPa*Caudal nominal: *4,0 l/h*Caudal a presión nominal (100 kPa): *3,987 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	2,723	3,919	4,825	5,597	6,339	13,032	0,523	1,485	26,772	-29,838
2	2,723	3,954	4,842	5,672	6,407	13,305	0,529	1,470	27,152	-29,931
3	2,775	4,009	4,929	5,720	6,454	13,299	0,523	1,493	27,808	-32,237
4	2,771	4,013	4,930	5,705	6,487	13,361	0,525	1,513	27,351	-30,348
5	2,721	3,941	4,847	5,626	6,353	13,134	0,525	1,457	27,428	-31,760
6	2,774	4,019	4,939	5,744	6,524	13,501	0,528	1,509	27,415	-29,883
7	2,788	4,023	4,961	5,765	6,560	13,565	0,528	1,527	27,265	-28,979
8	2,771	4,026	4,962	5,756	6,511	13,527	0,528	1,471	28,209	-32,642
9	2,775	4,010	4,928	5,725	6,510	13,426	0,526	1,523	27,126	-29,188
10	2,767	4,011	4,932	5,730	6,530	13,520	0,530	1,515	27,150	-28,862
11	2,779	4,002	4,943	5,733	6,486	13,390	0,525	1,498	27,661	-31,233
12	2,710	3,943	4,848	5,619	6,326	13,118	0,525	1,423	28,003	-33,962
13	2,764	4,017	4,921	5,720	6,506	13,450	0,528	1,511	27,273	-29,665
14	2,773	4,007	4,938	5,742	6,551	13,564	0,530	1,526	26,970	-27,960
15	2,764	3,999	4,917	5,703	6,433	13,274	0,523	1,479	27,877	-32,637
16	2,786	4,023	4,955	5,761	6,542	13,525	0,528	1,519	27,402	-29,668
17	2,768	4,014	4,931	5,723	6,483	13,398	0,526	1,494	27,669	-31,308
18	2,755	3,976	4,881	5,658	6,361	13,062	0,519	1,475	27,781	-33,305
19	2,737	3,966	4,873	5,655	6,378	13,175	0,524	1,461	27,707	-32,545
20	2,736	3,969	4,867	5,645	6,358	13,113	0,522	1,459	27,779	-33,121
21	2,757	4,000	4,896	5,666	6,393	13,135	0,520	1,481	27,817	-33,143
22	2,716	3,937	4,829	5,591	6,282	12,928	0,519	1,441	27,767	-33,992
23	2,714	3,931	4,831	5,601	6,386	13,181	0,527	1,491	26,554	-28,425
24	2,736	3,985	4,905	5,683	6,408	13,317	0,527	1,436	28,281	-33,978
25	2,753	3,975	4,889	5,672	6,389	13,161	0,522	1,474	27,723	-32,618
Media	2,753	3,987	4,901	5,689	6,438	13,298	0,525	1,485	27,518	-31,249
CV (%)	0,894	0,832	0,905	0,946	1,249	1,398	0,625	1,960	1,540	-6,114
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

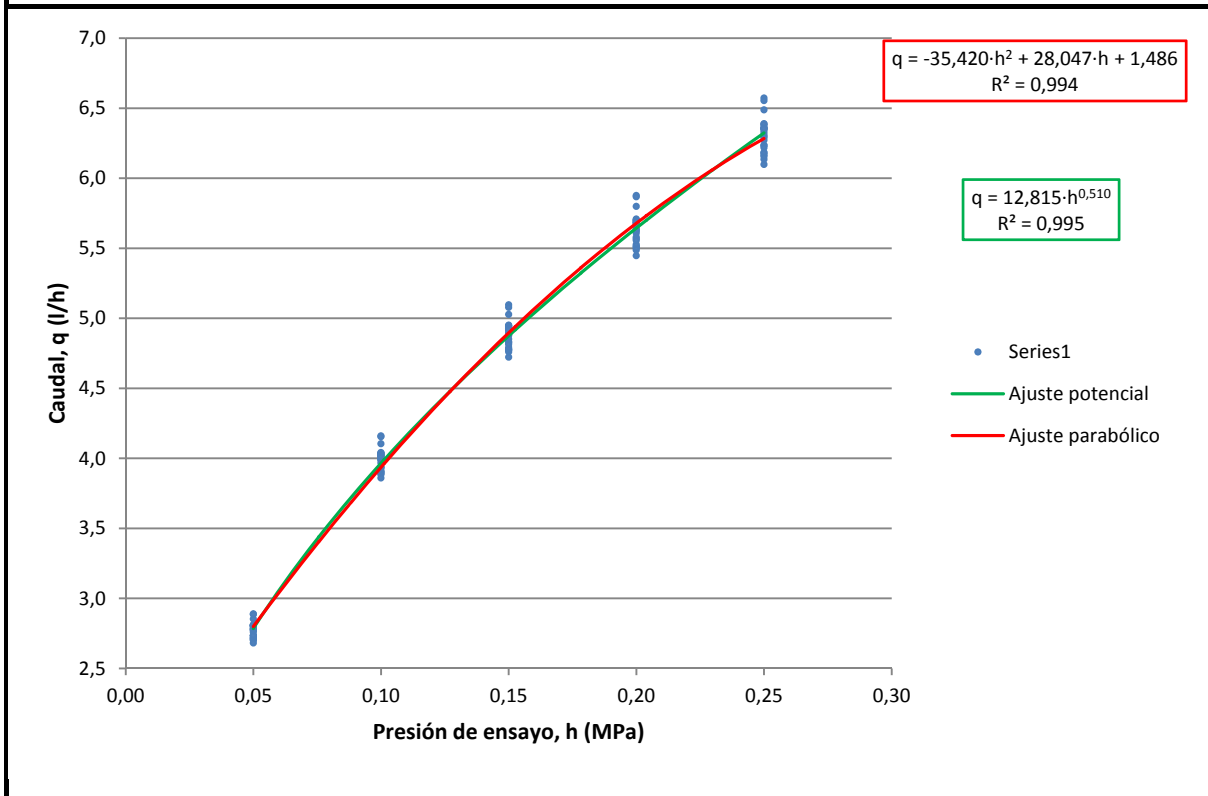


**1.2.7. Noauto-5 (Azudrip compact 4)**

Tipo: **No autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**  
 Caudal nominal: **4,0 l/h**  
 Caudal a presión nominal (100 kPa): **3,990 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	2,770	3,988	4,877	5,624	6,291	12,776	0,509	1,484	28,025	-35,563
2	2,703	3,887	4,759	5,486	6,134	12,458	0,509	1,446	27,366	-34,805
3	2,758	3,967	4,851	5,608	6,271	12,746	0,510	1,482	27,774	-34,802
4	2,715	3,901	4,779	5,515	6,165	12,528	0,509	1,454	27,430	-34,669
5	2,852	4,103	5,028	5,799	6,487	13,197	0,510	1,525	28,891	-36,526
6	2,734	3,937	4,831	5,568	6,234	12,708	0,512	1,455	27,823	-35,206
7	2,804	4,023	4,924	5,685	6,357	12,889	0,508	1,511	28,120	-35,279
8	2,889	4,159	5,096	5,876	6,572	13,373	0,510	1,542	29,345	-37,270
9	2,811	4,041	4,950	5,708	6,388	12,980	0,509	1,507	28,372	-35,758
10	2,784	3,999	4,895	5,642	6,313	12,802	0,508	1,497	28,011	-35,355
11	2,886	4,154	5,077	5,867	6,553	13,321	0,509	1,544	29,217	-37,061
12	2,714	3,901	4,774	5,510	6,156	12,500	0,508	1,454	27,430	-34,810
13	2,734	3,937	4,827	5,579	6,235	12,725	0,512	1,453	27,846	-35,187
14	2,777	4,016	4,912	5,663	6,331	12,914	0,511	1,470	28,541	-36,776
15	2,777	3,990	4,883	5,631	6,299	12,779	0,508	1,492	27,967	-35,317
16	2,806	4,035	4,940	5,695	6,349	12,889	0,507	1,492	28,631	-37,139
17	2,704	3,888	4,774	5,500	6,180	12,585	0,512	1,456	27,134	-33,349
18	2,798	4,018	4,927	5,684	6,359	12,925	0,510	1,500	28,220	-36,478
19	2,806	4,035	4,945	5,700	6,376	12,959	0,509	1,501	28,403	-35,977
20	2,721	3,909	4,791	5,526	6,184	12,563	0,509	1,461	27,424	-34,468
21	2,811	4,034	4,945	5,701	6,387	12,963	0,509	1,515	28,168	-35,094
22	2,735	3,929	4,813	5,556	6,217	12,632	0,510	1,470	27,524	-34,477
23	2,681	3,859	4,722	5,446	6,098	12,389	0,509	1,440	27,050	-34,036
24	2,802	4,022	4,929	5,678	6,353	12,886	0,508	1,505	28,221	-35,676
25	2,788	4,009	4,918	5,678	6,355	12,950	0,512	1,489	28,233	-35,420
Media	2,774	3,990	4,887	5,637	6,306	12,817	0,510	1,486	28,047	-35,420
CV (%)	1,983	1,988	1,973	1,978	1,945	1,954	0,258	1,980	2,133	-2,739
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

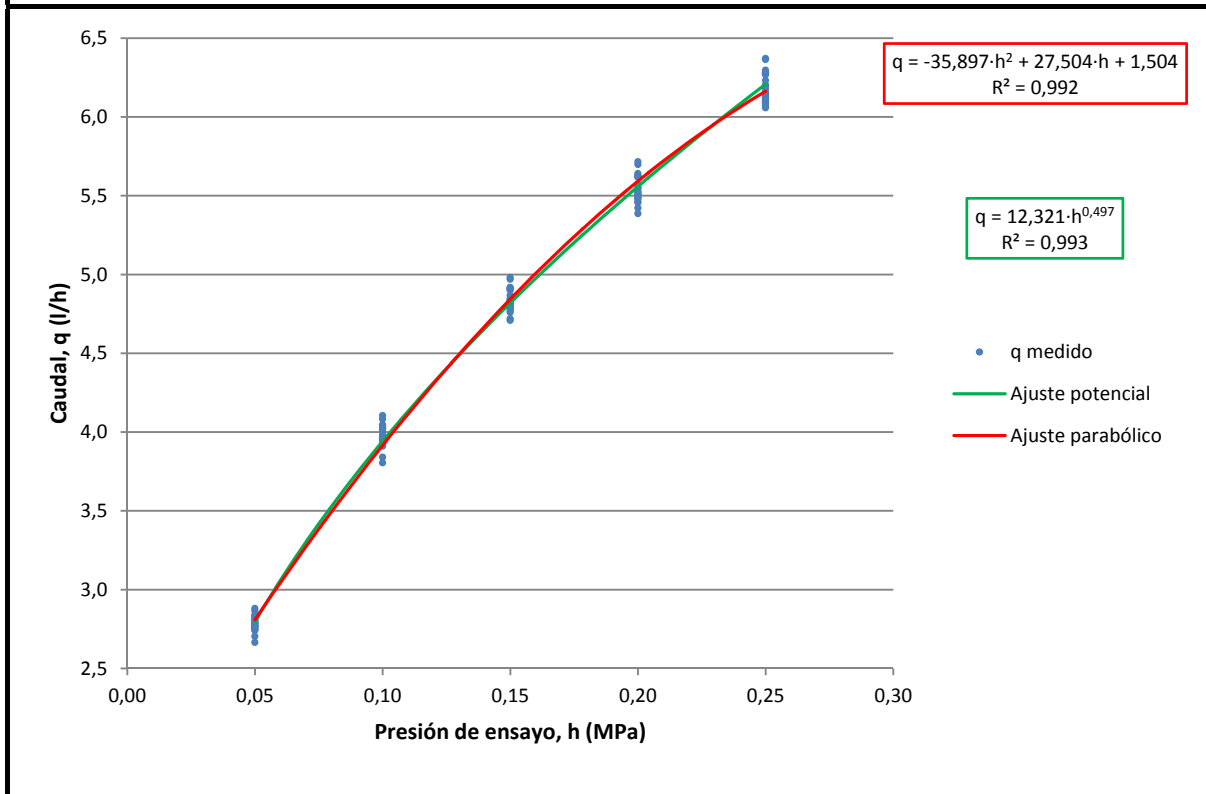


## I.2.8. Noauto-6 (Azudpro 4)

Tipo: **No autocompensante**Conexión: **Integrado**Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**Caudal nominal: **4,0 l/h**Caudal a presión nominal (100 kPa): **3,947 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	2,824	4,031	4,902	5,620	6,271	12,488	0,495	1,553	27,807	-36,141
2	2,744	3,916	4,770	5,461	6,092	12,140	0,495	1,502	27,155	-35,575
3	2,783	3,978	4,840	5,552	6,200	12,378	0,496	1,526	27,488	-35,573
4	2,785	3,978	4,845	5,552	6,202	12,377	0,496	1,528	27,487	-35,569
5	2,771	3,957	4,803	5,500	6,140	12,199	0,493	1,528	27,211	-35,485
6	2,814	4,023	4,901	5,620	6,269	12,531	0,497	1,534	27,976	-36,545
7	2,771	3,958	4,816	5,520	6,154	12,271	0,495	1,515	27,462	-36,013
8	2,704	3,841	4,719	5,387	6,073	12,141	0,501	1,503	26,108	-31,798
9	2,563	3,595	4,520	5,338	5,726	11,898	0,513	1,229	28,111	-39,898
10	2,790	3,974	4,813	5,509	6,102	12,054	0,486	1,527	27,678	-37,863
11	2,751	3,932	4,785	5,478	6,124	12,208	0,496	1,513	27,112	-35,094
12	2,832	4,042	4,913	5,629	6,296	12,524	0,495	1,567	27,670	-35,467
13	2,758	3,933	4,790	5,490	6,128	12,210	0,495	1,515	27,140	-35,151
14	2,769	3,954	4,816	5,514	6,157	12,277	0,495	1,517	27,373	-35,667
15	2,865	4,082	4,969	5,698	6,371	12,682	0,495	1,585	27,953	-35,661
16	2,803	4,002	4,866	5,573	6,232	12,402	0,495	1,548	27,470	-35,381
17	2,837	4,046	4,918	5,640	6,279	12,489	0,493	1,556	28,011	-36,847
18	2,786	3,968	4,833	5,528	6,141	12,201	0,491	1,516	27,750	-37,369
19	2,768	3,962	4,815	5,543	6,181	12,370	0,498	1,514	27,406	-35,317
20	2,881	4,104	4,981	5,715	6,364	12,628	0,492	1,590	28,230	-36,913
21	2,741	3,910	4,759	5,457	6,095	12,143	0,495	1,509	26,920	-34,708
22	2,802	4,022	4,912	5,620	6,279	12,617	0,500	1,510	28,267	-37,208
23	2,757	3,933	4,788	5,488	6,112	12,178	0,494	1,506	27,326	-35,987
24	2,665	3,804	4,708	5,422	6,057	12,351	0,511	1,411	27,081	-34,256
25	2,573	3,721	4,636	5,296	5,943	12,297	0,521	1,310	27,415	-35,949
Media	2,765	3,947	4,817	5,526	6,160	12,322	0,497	1,504	27,504	-35,897
CV (%)	2,728	2,818	2,107	1,858	2,191	1,569	1,490	5,263	1,725	-4,008
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	NO	SI	SI

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

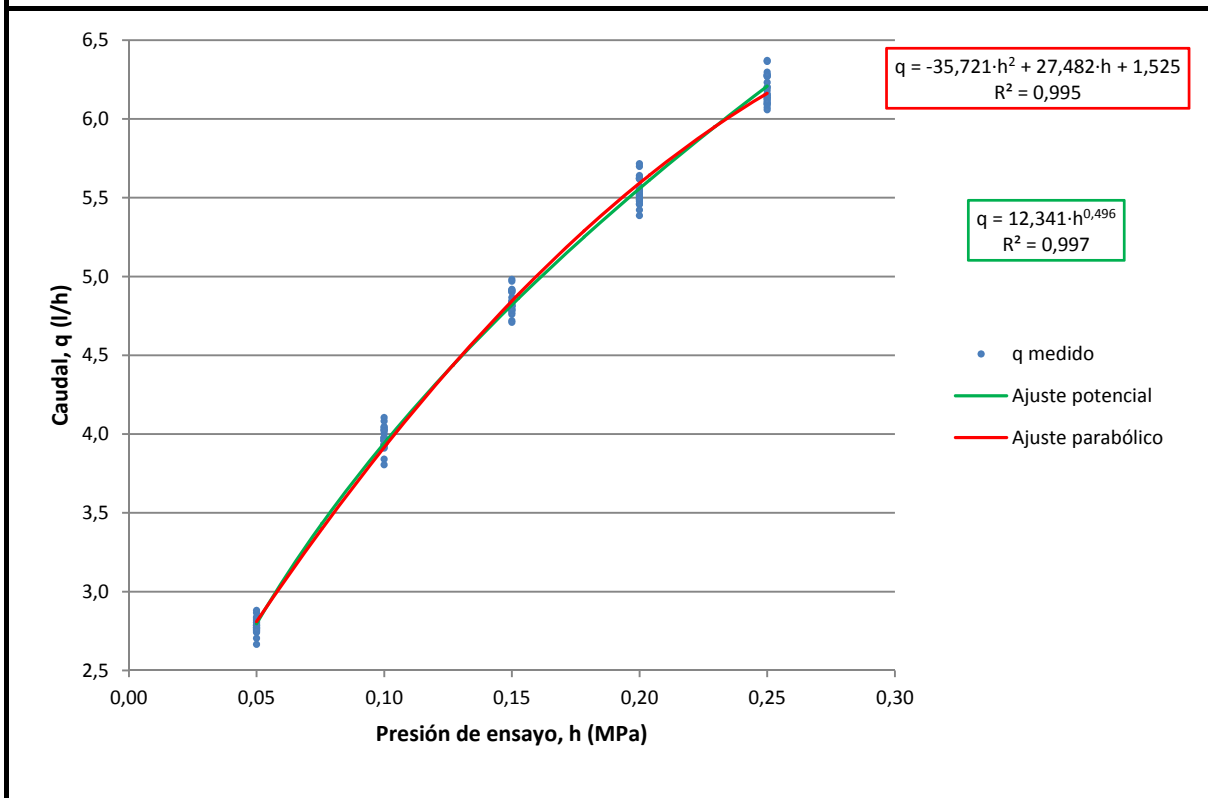


**I.2.9. Noauto-6a (Azud pro 4; Sin datos anómalos)**

Tipo: **No autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**  
 Caudal nominal: **4,0 l/h**  
 Caudal a presión nominal (100 kPa): **3,972 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	2,824	4,031	4,902	5,620	6,271	12,488	0,495	1,553	27,807	-36,141
2	2,744	3,916	4,770	5,461	6,092	12,140	0,495	1,502	27,155	-35,575
3	2,783	3,978	4,840	5,552	6,200	12,378	0,496	1,526	27,488	-35,573
4	2,785	3,978	4,845	5,552	6,202	12,377	0,496	1,528	27,487	-35,569
5	2,771	3,957	4,803	5,500	6,140	12,199	0,493	1,528	27,211	-35,485
6	2,814	4,023	4,901	5,620	6,269	12,531	0,497	1,534	27,976	-36,545
7	2,771	3,958	4,816	5,520	6,154	12,271	0,495	1,515	27,462	-36,013
8	2,704	3,841	4,719	5,387	6,073	12,141	0,501	1,503	26,108	-31,798
9	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10	2,790	3,974	4,813	5,509	6,102	12,054	0,486	1,527	27,678	-37,863
11	2,751	3,932	4,785	5,478	6,124	12,208	0,496	1,513	27,112	-35,094
12	2,832	4,042	4,913	5,629	6,296	12,524	0,495	1,567	27,670	-35,467
13	2,758	3,933	4,790	5,490	6,128	12,210	0,495	1,515	27,140	-35,151
14	2,769	3,954	4,816	5,514	6,157	12,277	0,495	1,517	27,373	-35,667
15	2,865	4,082	4,969	5,698	6,371	12,682	0,495	1,585	27,953	-35,661
16	2,803	4,002	4,866	5,573	6,232	12,402	0,495	1,548	27,470	-35,381
17	2,837	4,046	4,918	5,640	6,279	12,489	0,493	1,556	28,011	-36,847
18	2,786	3,968	4,833	5,528	6,141	12,201	0,491	1,516	27,750	-37,369
19	2,768	3,962	4,815	5,543	6,181	12,370	0,498	1,514	27,406	-35,317
20	2,881	4,104	4,981	5,715	6,364	12,628	0,492	1,590	28,230	-36,913
21	2,741	3,910	4,759	5,457	6,095	12,143	0,495	1,509	26,920	-34,708
22	2,802	4,022	4,912	5,620	6,279	12,617	0,500	1,510	28,267	-37,208
23	2,757	3,933	4,788	5,488	6,112	12,178	0,494	1,506	27,326	-35,987
24	2,665	3,804	4,708	5,422	6,057	12,351	0,511	1,411	27,081	-34,256
25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Media	2,783	3,972	4,838	5,544	6,188	12,342	0,496	1,525	27,482	-35,721
CV (%)	1,741	1,760	1,506	1,525	1,479	1,454	0,913	2,310	1,737	-3,427
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

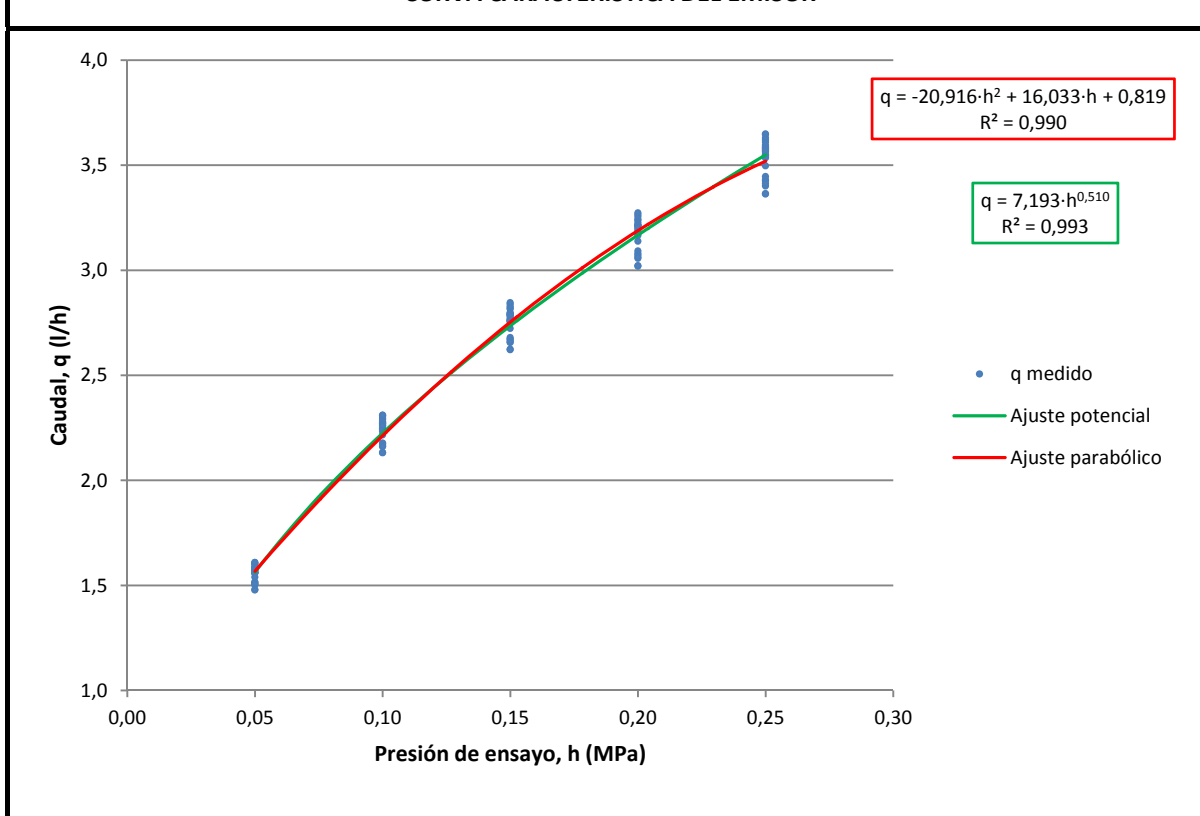


## I.2.10. Noauto-7 (Azudrip compact 2,2)

Tipo: *No autocompensante*Conexión: *Integrado*Rango de trabajo: *0 – 250 kPa*Caudal nominal: *2,2 l/h*Caudal a presión nominal (100 kPa): *2,237 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	1,599	2,295	2,820	3,243	3,620	7,351	0,508	0,849	16,325	-21,162
2	1,583	2,278	2,792	3,214	3,588	7,293	0,508	0,840	16,186	-20,973
3	1,515	2,177	2,679	3,091	3,446	7,036	0,511	0,797	15,593	-20,144
4	1,515	2,175	2,673	3,079	3,431	6,982	0,509	0,800	15,537	-20,208
5	1,589	2,289	2,815	3,238	3,609	7,367	0,510	0,831	16,503	-21,746
6	1,506	2,168	2,668	3,072	3,424	6,994	0,511	0,788	15,608	-20,431
7	1,563	2,244	2,758	3,174	3,538	7,195	0,508	0,825	16,029	-20,893
8	1,502	2,160	2,656	3,057	3,401	6,933	0,509	0,785	15,591	-20,667
9	1,508	2,162	2,659	3,062	3,412	6,936	0,508	0,797	15,429	-20,047
10	1,582	2,269	2,787	3,213	3,581	7,277	0,508	0,839	16,138	-20,851
11	1,559	2,248	2,764	3,186	3,547	7,256	0,512	0,811	16,256	-21,428
12	1,571	2,258	2,774	3,197	3,563	7,258	0,509	0,828	16,138	-20,971
13	1,479	2,131	2,622	3,021	3,363	6,877	0,511	0,770	15,410	-20,313
14	1,561	2,246	2,759	3,181	3,546	7,231	0,510	0,822	16,074	-20,884
15	1,582	2,275	2,798	3,226	3,596	7,343	0,511	0,830	16,324	-21,216
16	1,584	2,271	2,794	3,215	3,582	7,281	0,508	0,836	16,238	-21,194
17	1,558	2,232	2,754	3,166	3,535	7,199	0,510	0,822	15,956	-20,604
18	1,561	2,246	2,764	3,179	3,551	7,244	0,511	0,821	16,083	-20,861
19	1,609	2,309	2,839	3,265	3,646	7,410	0,508	0,855	16,400	-21,131
20	1,604	2,305	2,828	3,255	3,630	7,376	0,508	0,849	16,418	-21,371
21	1,608	2,310	2,846	3,273	3,648	7,442	0,510	0,842	16,630	-21,803
22	1,478	2,132	2,624	3,019	3,365	6,884	0,512	0,769	15,441	-20,404
23	1,575	2,266	2,786	3,212	3,574	7,295	0,510	0,824	16,329	-21,470
24	1,539	2,216	2,723	3,138	3,497	7,136	0,510	0,808	15,911	-20,791
25	1,573	2,260	2,784	3,203	3,569	7,281	0,510	0,824	16,271	-21,331
Media	1,556	2,237	2,751	3,167	3,531	7,195	0,510	0,819	16,033	-20,916
CV (%)	2,556	2,498	2,475	2,449	2,490	2,401	0,263	2,926	2,297	-2,309
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

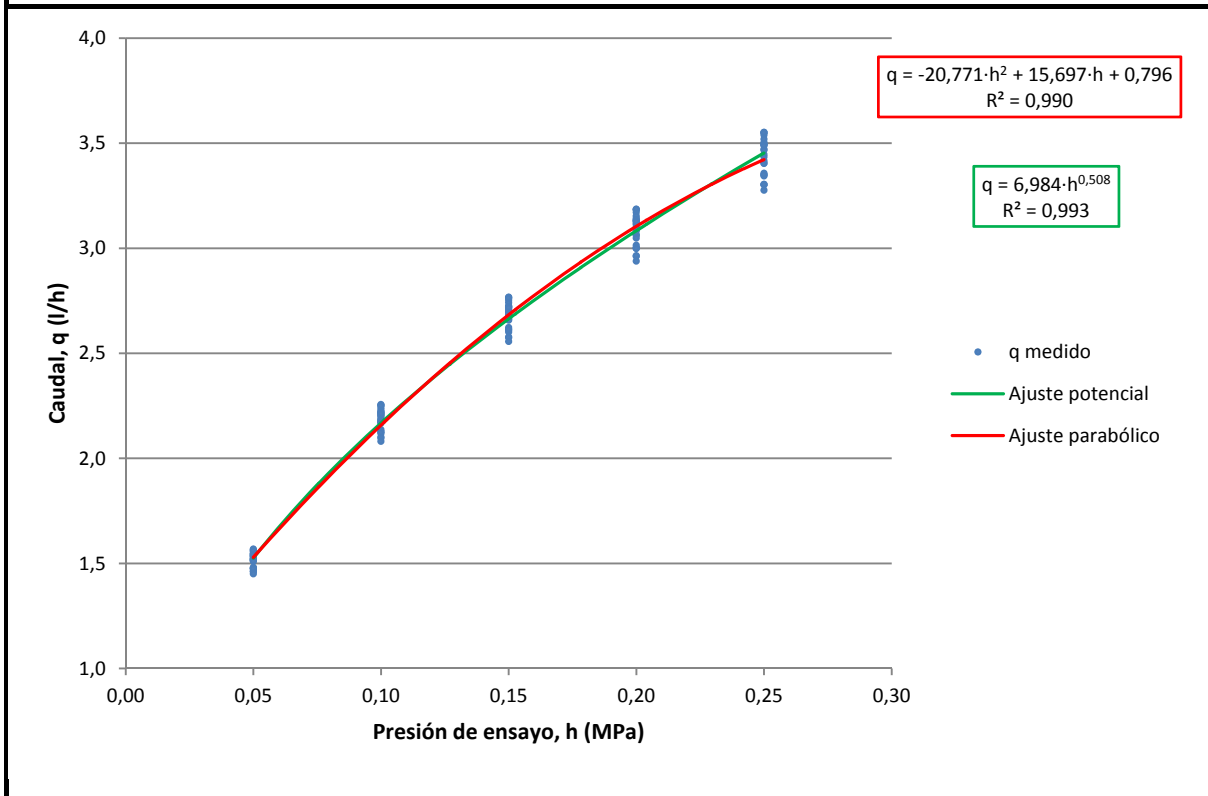


**I.2.11. Noauto-8 (Azudpro 2,2)**

Tipo: **No autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de trabajo: **0 – 250 kPa**  
 Caudal nominal: **2,2 l/h**  
 Caudal a presión nominal (100 kPa): **2,182 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	1,463	2,101	2,577	2,961	3,302	6,696	0,506	0,775	14,974	-19,650
2	1,474	2,118	2,601	2,999	3,344	6,809	0,509	0,779	15,098	-19,522
3	1,514	2,172	2,667	3,064	3,416	6,925	0,506	0,803	15,484	-20,307
4	1,525	2,231	2,699	3,113	3,467	7,070	0,509	0,797	16,040	-21,690
5	1,556	2,241	2,753	3,171	3,539	7,220	0,511	0,819	16,039	-20,826
6	1,564	2,256	2,767	3,184	3,550	7,236	0,509	0,821	16,190	-21,295
7	1,546	2,222	2,726	3,143	3,503	7,126	0,509	0,818	15,829	-20,534
8	1,533	2,208	2,717	3,128	3,492	7,137	0,512	0,804	15,839	-20,534
9	1,568	2,253	2,765	3,183	3,552	7,219	0,508	0,831	16,025	-20,766
10	1,481	2,136	2,623	3,014	3,356	6,842	0,509	0,773	15,443	-20,619
11	1,521	2,189	2,693	3,100	3,303	6,735	0,492	0,705	17,762	-29,373
12	1,514	2,181	2,682	3,089	3,446	7,040	0,511	0,793	15,676	-20,441
13	1,541	2,217	2,720	3,134	3,497	7,117	0,509	0,815	15,795	-20,463
14	1,546	2,198	2,741	3,153	3,519	7,200	0,513	0,810	15,834	-20,120
15	1,518	2,181	2,677	3,081	3,435	6,981	0,508	0,802	15,572	-20,345
16	1,460	2,096	2,574	2,965	3,304	6,715	0,508	0,773	14,941	-19,426
17	1,531	2,204	2,706	3,119	3,471	7,078	0,509	0,801	15,864	-20,911
18	1,477	2,127	2,610	3,003	3,350	6,818	0,509	0,780	15,200	-19,857
19	1,560	2,251	2,763	3,186	3,549	7,253	0,511	0,816	16,201	-21,248
20	1,520	2,171	2,661	3,062	3,405	6,865	0,502	0,813	15,367	-20,153
21	1,539	2,219	2,722	3,135	3,494	7,126	0,510	0,807	15,934	-20,933
22	1,509	2,167	2,657	3,048	3,403	6,885	0,505	0,804	15,378	-20,136
23	1,476	2,124	2,614	2,999	3,349	6,822	0,509	0,775	15,256	-20,039
24	1,449	2,081	2,556	2,938	3,276	6,651	0,507	0,767	14,857	-19,455
25	1,537	2,212	2,717	3,128	3,488	7,106	0,509	0,810	15,828	-20,643
Media	1,517	2,182	2,680	3,084	3,432	6,987	0,508	0,796	15,697	-20,771
CV (%)	2,297	2,386	2,374	2,439	2,573	2,723	0,796	3,292	3,725	-9,065
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**



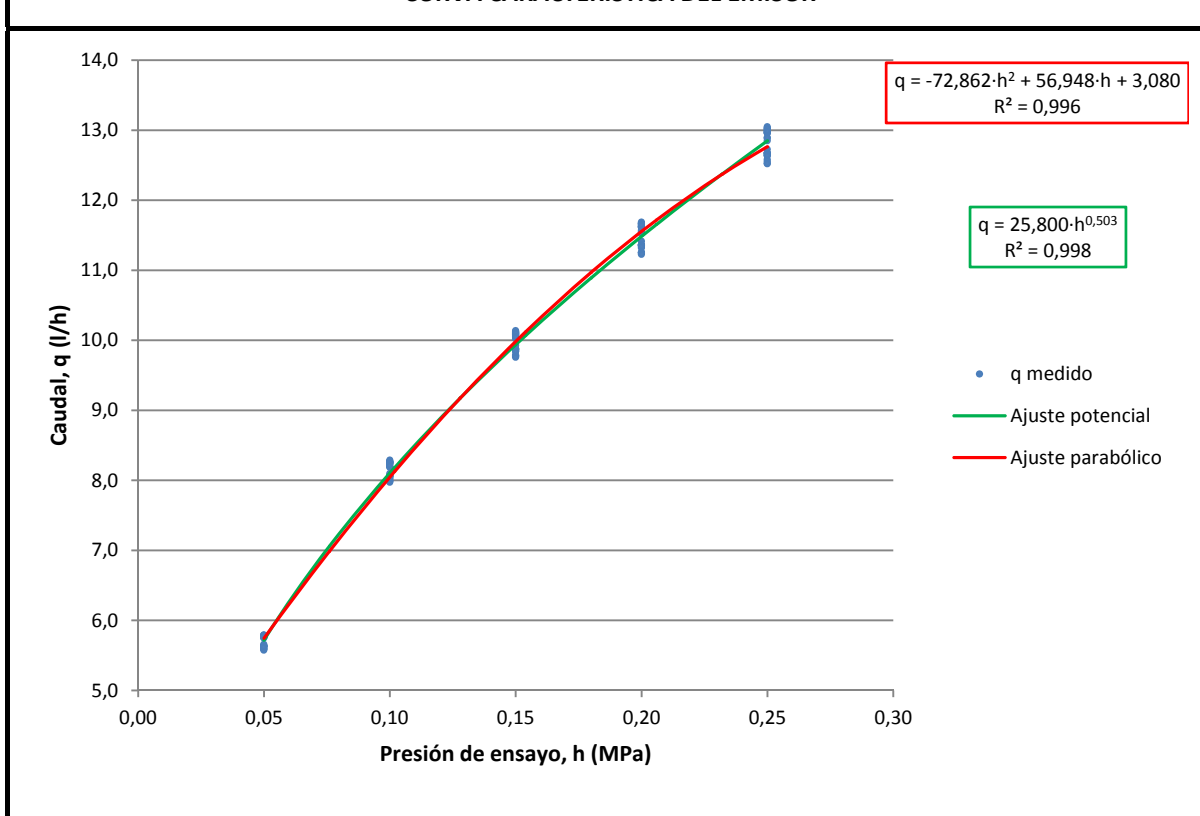


## I.2.12. Noauto-9 (Tuftiff 8)

Tipo: *No autocompensante*Conexión: *Pinchado*Rango de trabajo: *0 – 250 kPa*Caudal nominal: *8,0 l/h*Caudal a presión nominal (100 kPa): *8,142 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)					COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)					POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	K	x	A	B	C
1	5,759	8,236	10,077	11,610	12,957	26,136	0,504	3,112	57,565	-73,407
2	5,790	8,288	10,136	11,687	13,047	26,340	0,504	3,130	57,869	-73,479
3	5,596	8,000	9,774	11,247	12,527	25,191	0,501	3,021	56,066	-72,817
4	5,635	8,067	9,878	11,363	12,671	25,575	0,504	3,025	56,800	-73,545
5	5,636	8,056	9,864	11,358	12,673	25,558	0,503	3,041	56,409	-72,190
6	5,750	8,192	10,022	11,546	12,850	25,809	0,500	3,116	57,224	-73,728
7	5,767	8,229	10,077	11,619	12,963	26,127	0,503	3,124	57,368	-72,681
8	5,633	8,056	9,860	11,351	12,666	25,541	0,503	3,040	56,408	-72,285
9	5,778	8,258	10,102	11,648	12,996	26,205	0,504	3,128	57,606	-73,175
10	5,777	8,266	10,111	11,666	13,023	26,302	0,505	3,124	57,676	-72,965
11	5,790	8,270	10,123	11,664	13,008	26,217	0,503	3,130	57,802	-73,799
12	5,627	8,062	9,873	11,364	12,677	25,620	0,505	3,018	56,781	-73,268
13	5,783	8,266	10,116	11,670	13,030	26,301	0,505	3,132	57,596	-72,661
14	5,774	8,250	10,088	11,618	12,963	26,091	0,502	3,131	57,512	-73,412
15	5,776	8,248	10,091	11,625	12,975	26,126	0,503	3,133	57,446	-72,988
16	5,588	7,986	9,778	11,252	12,554	25,301	0,503	3,017	55,907	-71,699
17	5,751	8,187	10,057	11,522	12,886	25,877	0,501	3,125	57,048	-72,794
18	5,624	8,029	9,843	11,318	12,642	25,472	0,503	3,042	56,098	-71,496
19	5,598	7,996	9,788	11,253	12,583	25,320	0,503	3,044	55,567	-70,382
20	5,656	8,096	9,928	11,414	12,726	25,714	0,504	3,026	57,213	-74,321
21	5,642	8,057	9,878	11,360	12,643	25,485	0,502	3,022	56,929	-74,393
22	5,783	8,249	10,098	11,639	12,987	26,149	0,503	3,139	57,412	-72,719
23	5,575	7,971	9,758	11,226	12,521	25,234	0,503	3,005	55,909	-72,050
24	5,770	8,208	10,045	11,567	12,894	25,862	0,500	3,146	56,956	-72,474
25	5,618	8,033	9,841	11,339	12,635	25,518	0,504	3,016	56,525	-72,813
<b>Media</b>	<b>5,699</b>	<b>8,142</b>	<b>9,968</b>	<b>11,477</b>	<b>12,804</b>	<b>25,803</b>	<b>0,503</b>	<b>3,080</b>	<b>56,948</b>	<b>-72,862</b>
<b>CV (%)</b>	<b>1,418</b>	<b>1,367</b>	<b>1,344</b>	<b>1,419</b>	<b>1,440</b>	<b>1,447</b>	<b>0,268</b>	<b>1,721</b>	<b>1,180</b>	<b>-1,218</b>
<b>Normal</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>	<b>SI</b>

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR



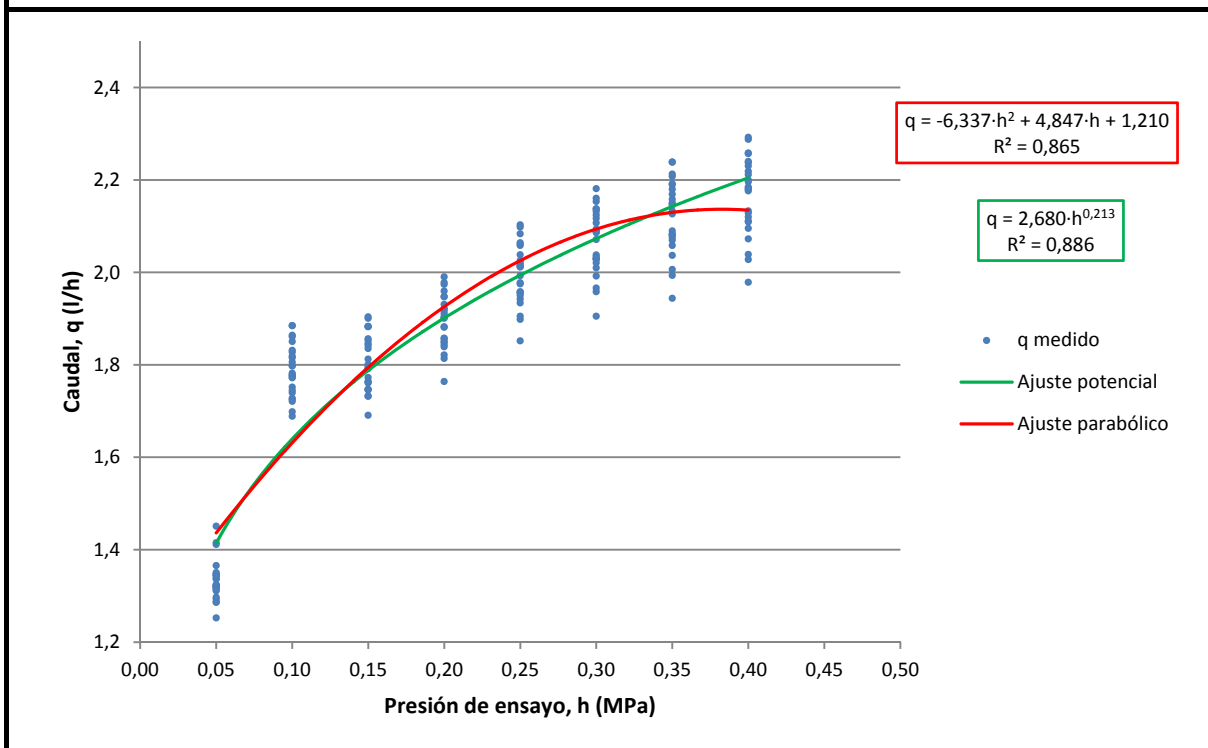
### I.3. EMISORES AUTOCOMPENSANTES

#### I.3.1. Auto-1 (Twin plus 1,8)

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **1,8 l/h**  
 Caudal medio: **1,896 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,319	1,827	1,746	1,821	1,898	1,958	1,993	2,028	---	---	2,438	0,178	1,256	4,182	-5,854
2	1,287	1,725	1,747	1,850	1,955	2,029	2,083	2,133	---	---	2,665	0,225	1,154	4,857	-6,212
3	1,337	1,752	1,763	1,882	1,975	2,038	2,080	2,111	---	---	2,609	0,206	1,198	4,807	-6,461
4	1,323	1,798	1,842	1,900	2,011	2,089	2,150	2,200	---	---	2,744	0,222	1,200	5,028	-6,545
5	1,345	1,815	1,846	1,921	2,025	2,107	2,169	2,219	---	---	2,756	0,219	1,224	4,938	-6,333
6	1,252	1,698	1,691	1,764	1,852	1,905	1,944	1,979	---	---	2,427	0,198	1,151	4,468	-6,204
7	1,293	1,777	1,793	1,858	1,957	2,029	2,075	2,120	---	---	2,635	0,214	1,180	4,920	-6,656
8	1,345	1,782	1,800	1,921	2,021	2,093	2,145	2,184	---	---	2,723	0,218	1,200	5,023	-6,573
9	1,321	1,773	1,772	1,843	1,942	2,010	2,058	2,095	---	---	2,566	0,201	1,216	4,532	-6,020
10	1,347	1,864	1,883	1,947	2,061	2,153	2,208	2,257	---	---	2,825	0,224	1,228	5,197	-6,781
11	1,311	1,689	1,732	1,856	1,958	2,029	2,081	2,129	---	---	2,648	0,222	1,159	4,754	-5,972
12	1,320	1,806	1,852	1,931	2,038	2,117	2,179	2,230	---	---	2,810	0,230	1,184	5,298	-6,935
13	1,322	1,740	1,746	1,848	1,950	2,021	2,070	2,109	---	---	2,597	0,208	1,197	4,568	-5,873
14	1,286	1,727	1,732	1,814	1,905	1,966	2,006	2,039	---	---	2,512	0,202	1,171	4,647	-6,382
15	1,366	1,884	1,883	1,948	2,058	2,132	2,190	2,237	---	---	2,768	0,212	1,260	4,997	-6,615
16	1,451	1,744	1,856	1,990	2,103	2,181	2,239	2,288	---	---	2,823	0,218	1,261	4,841	-5,777
17	1,337	1,777	1,792	1,915	2,017	2,086	2,126	2,176	---	---	2,711	0,218	1,192	5,048	-6,663
18	1,325	1,818	1,835	1,909	1,978	2,033	2,090	2,179	---	---	2,656	0,208	1,235	4,696	-6,202
19	1,411	1,885	1,901	1,974	2,083	2,160	2,212	2,258	---	---	2,773	0,206	1,293	4,890	-6,395
20	1,350	1,850	1,882	1,959	2,064	2,137	2,191	2,240	---	---	2,803	0,221	1,220	5,312	-7,148
21	1,343	1,861	1,812	1,903	2,014	2,137	2,148	2,196	---	---	2,726	0,214	1,235	4,861	-6,308
22	1,415	1,831	1,904	1,978	2,098	2,124	2,238	2,292	---	---	2,808	0,213	1,287	4,747	-5,810
23	1,297	1,797	1,764	1,839	1,934	1,992	2,037	2,072	---	---	2,547	0,200	1,203	4,668	-6,457
24	1,317	1,772	1,798	1,902	2,013	2,088	2,158	2,212	---	---	2,770	0,230	1,183	4,978	-6,206
25	1,314	1,721	1,761	1,881	1,993	2,071	2,133	2,182	---	---	2,734	0,230	1,164	4,905	-6,046
Media	1,333	1,789	1,805	1,894	1,996	2,067	2,120	2,167			2,683	0,213	1,210	4,847	-6,337
CV (%)	3,226	3,137	3,331	3,004	3,230	3,395	3,664	3,827			4,361	5,678	3,287	5,297	-5,636
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

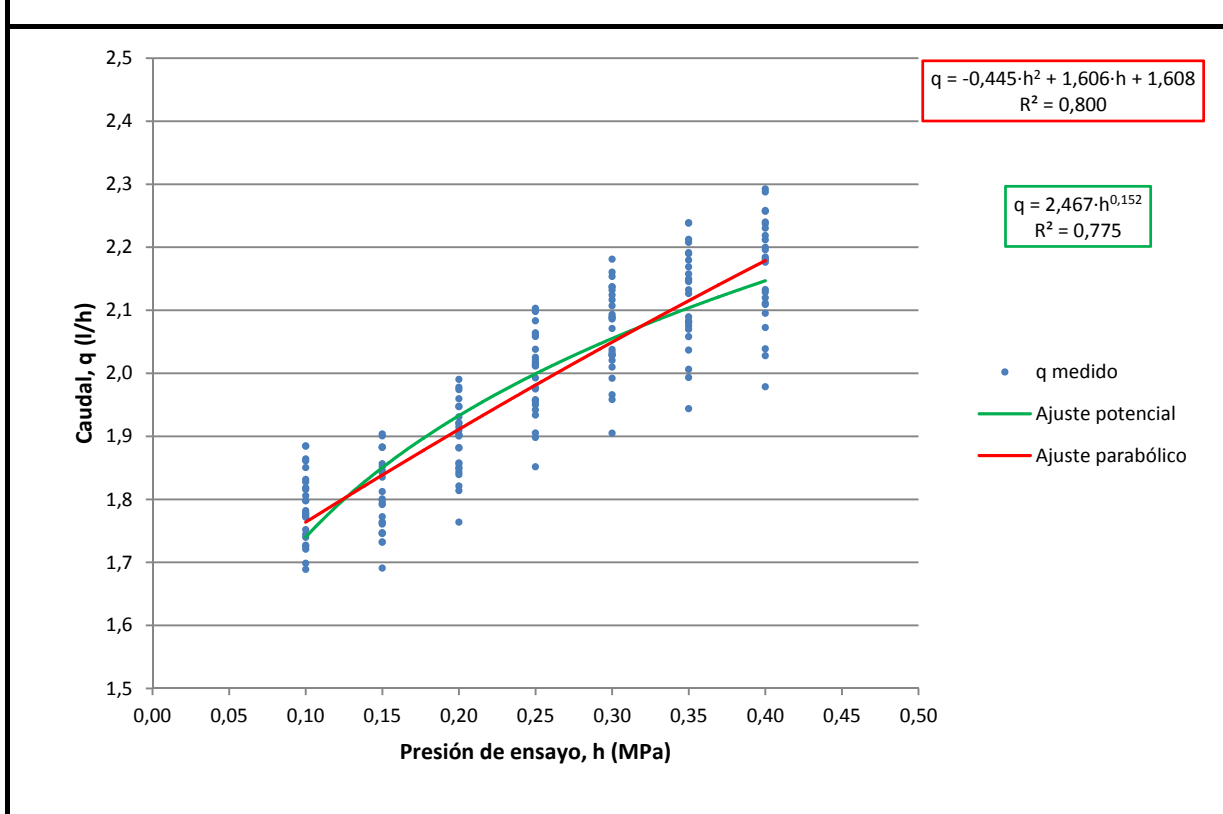


## I.3.2. Auto-1c (Twin plus 1,8; Intervalo de compensación)

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: *100 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *1,8 l/h*  
 Caudal medio: *1,977 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	---	1,827	1,746	1,821	1,898	1,958	1,993	2,028	---	---	2,180	0,095	0,242	13,015	-22,543
2	---	1,725	1,747	1,850	1,955	2,029	2,083	2,133	---	---	2,467	0,167	0,209	13,054	-21,657
3	---	1,752	1,763	1,882	1,975	2,038	2,080	2,111	---	---	2,426	0,152	0,209	13,354	-22,545
4	---	1,798	1,842	1,900	2,011	2,089	2,150	2,200	---	---	2,508	0,155	0,224	13,507	-22,544
5	---	1,815	1,846	1,921	2,025	2,107	2,169	2,219	---	---	2,532	0,156	0,226	13,599	-22,667
6	---	1,698	1,691	1,764	1,852	1,905	1,944	1,979	---	---	2,201	0,125	0,214	12,603	-21,550
7	---	1,777	1,793	1,858	1,957	2,029	2,075	2,120	---	---	2,384	0,139	0,224	13,241	-22,366
8	---	1,782	1,800	1,921	2,021	2,093	2,145	2,184	---	---	2,530	0,163	0,213	13,572	-22,669
9	---	1,773	1,772	1,843	1,942	2,010	2,058	2,095	---	---	2,351	0,135	0,223	13,145	-22,260
10	---	1,864	1,883	1,947	2,061	2,153	2,208	2,257	---	---	2,563	0,152	0,234	13,848	-23,117
11	---	1,689	1,732	1,856	1,958	2,029	2,081	2,129	---	---	2,506	0,181	0,197	13,059	-21,584
12	---	1,806	1,852	1,931	2,038	2,117	2,179	2,230	---	---	2,565	0,163	0,222	13,662	-22,719
13	---	1,740	1,746	1,848	1,950	2,021	2,070	2,109	---	---	2,419	0,156	0,211	13,098	-21,930
14	---	1,727	1,732	1,814	1,905	1,966	2,006	2,039	---	---	2,295	0,135	0,214	12,945	-22,025
15	---	1,884	1,883	1,948	2,058	2,132	2,190	2,237	---	---	2,505	0,138	0,240	13,868	-23,368
16	---	1,744	1,856	1,990	2,103	2,181	2,239	2,288	---	---	2,772	0,204	0,193	13,995	-22,921
17	---	1,777	1,792	1,915	2,017	2,086	2,126	2,176	---	---	2,513	0,161	0,212	13,534	-22,643
18	---	1,818	1,835	1,909	1,978	2,033	2,090	2,179	---	---	2,397	0,131	0,238	13,378	-22,606
19	---	1,885	1,901	1,974	2,083	2,160	2,212	2,258	---	---	2,552	0,144	0,236	14,060	-23,679
20	---	1,850	1,882	1,959	2,064	2,137	2,191	2,240	---	---	2,545	0,149	0,229	13,922	-23,399
21	---	1,861	1,812	1,903	2,014	2,137	2,148	2,196	---	---	2,481	0,144	0,233	13,576	-22,757
22	---	1,831	1,904	1,978	2,098	2,124	2,238	2,292	---	---	2,633	0,166	0,227	13,921	-23,081
23	---	1,797	1,764	1,839	1,934	1,992	2,037	2,072	---	---	2,288	0,120	0,230	13,134	-22,447
24	---	1,772	1,798	1,902	2,013	2,088	2,158	2,212	---	---	2,567	0,174	0,215	13,370	-22,024
25	---	1,721	1,761	1,881	1,993	2,071	2,133	2,182	---	---	2,575	0,186	0,202	13,217	-21,683
Media		1,789	1,805	1,894	1,996	2,067	2,120	2,167			2,470	0,152	1,608	1,606	-0,445
CV (%)		3,137	3,331	3,004	3,230	3,395	3,664	3,827			5,440	15,059	6,049	44,398	-246,121
Normal		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

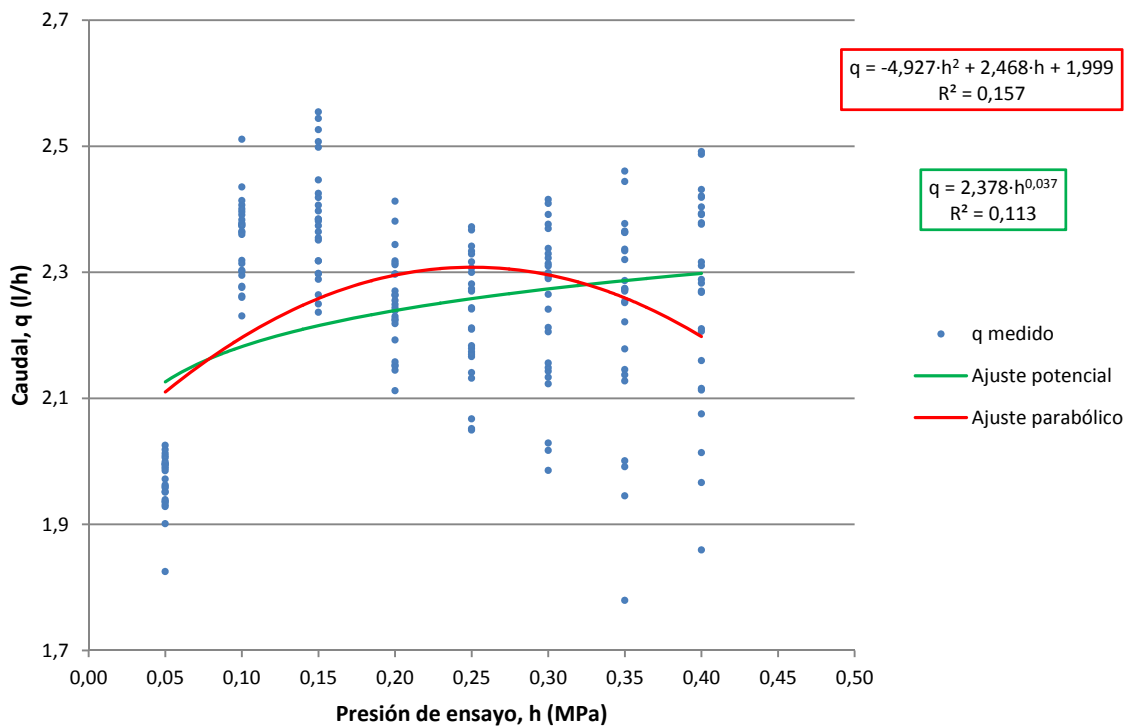


**I.3.3. Auto-2 (Hydro PC 2,2)**

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: *80 – 350 kPa*  
 Caudal nominal: *2,2 l/h*  
 Caudal medio: *2,240 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	2,013	2,373	2,526	2,381	2,367	2,415	2,444	2,487	---	---	2,694	0,077	1,997	3,201	-5,355
2	1,991	2,391	2,381	2,224	2,242	2,265	2,274	2,310	---	---	2,413	0,040	2,056	1,910	-3,546
3	1,996	2,383	2,374	2,312	2,333	2,392	2,365	2,492	---	---	2,635	0,075	2,024	2,281	-3,241
4	2,025	2,365	2,355	2,270	2,281	2,338	2,377	2,419	---	---	2,544	0,060	2,067	1,716	-2,344
5	2,009	2,407	2,397	2,318	2,300	2,329	2,363	2,393	---	---	2,538	0,056	2,043	2,341	-4,010
6	2,006	2,364	2,385	2,249	2,274	2,314	2,363	2,403	---	---	2,528	0,059	2,056	1,815	-2,661
7	1,995	2,303	2,298	2,151	2,141	2,133	2,272	2,316	---	---	2,337	0,036	2,116	0,377	0,003
8	1,972	2,376	2,384	2,263	2,179	2,299	2,334	2,378	---	---	2,491	0,056	2,052	1,724	-2,617
9	1,989	2,435	2,507	2,344	2,307	2,017	1,945	2,014	---	---	2,056	-0,036	2,002	3,847	-10,550
10	1,985	2,301	2,318	2,244	2,270	2,310	2,336	2,391	---	---	2,531	0,066	2,002	1,983	-2,807
11	1,825	2,396	2,425	2,315	2,341	2,409	2,460	2,431	---	---	2,781	0,110	1,803	4,434	-7,451
12	1,928	2,295	2,364	2,145	2,166	2,143	2,001	1,966	---	---	2,091	-0,009	1,911	3,331	-8,379
13	1,936	2,231	2,236	2,112	2,067	2,123	2,137	2,160	---	---	2,216	0,025	2,004	1,169	-2,221
14	1,931	2,262	2,250	2,218	2,050	2,029	1,991	2,206	---	---	2,148	0,010	2,045	0,969	-2,290
15	1,995	2,319	2,297	2,230	2,243	2,293	2,320	2,376	---	---	2,488	0,059	2,036	1,599	-2,141
16	1,999	2,414	2,498	2,297	2,316	2,290	2,252	2,283	---	---	2,423	0,034	2,014	3,128	-6,652
17	1,960	2,378	2,447	2,297	2,329	2,376	2,146	2,075	---	---	2,328	0,022	1,849	5,043	-11,491
18	2,019	2,511	2,544	2,413	2,372	2,369	2,287	2,421	---	---	2,545	0,045	2,057	3,259	-6,645
19	1,951	2,314	2,351	2,192	2,052	1,985	1,779	1,859	---	---	1,850	-0,062	1,995	2,627	-8,247
20	1,935	2,277	2,289	2,153	2,210	2,322	2,127	2,270	---	---	2,379	0,048	1,943	2,349	-4,295
21	1,962	2,360	2,554	2,226	2,174	2,149	2,221	2,268	---	---	2,331	0,025	2,059	2,090	-4,551
22	1,901	2,400	2,419	2,239	2,170	2,205	2,270	2,113	---	---	2,323	0,030	1,927	3,401	-7,493
23	1,939	2,276	2,318	2,255	2,183	2,212	2,274	2,116	---	---	2,332	0,037	1,897	3,256	-6,793
24	1,958	2,374	2,406	2,264	2,212	2,241	2,254	2,288	---	---	2,406	0,041	2,011	2,388	-4,690
25	1,952	2,260	2,264	2,158	2,132	2,156	2,178	2,210	---	---	2,283	0,033	2,006	1,467	-2,704
Media	1,967	2,351	2,384	2,251	2,228	2,245	2,231	2,266			2,388	0,037	1,999	2,468	-4,927
CV (%)	2,249	2,769	3,830	3,326	4,309	5,546	7,312	7,399			8,752	94,586	3,666	44,250	-58,490
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

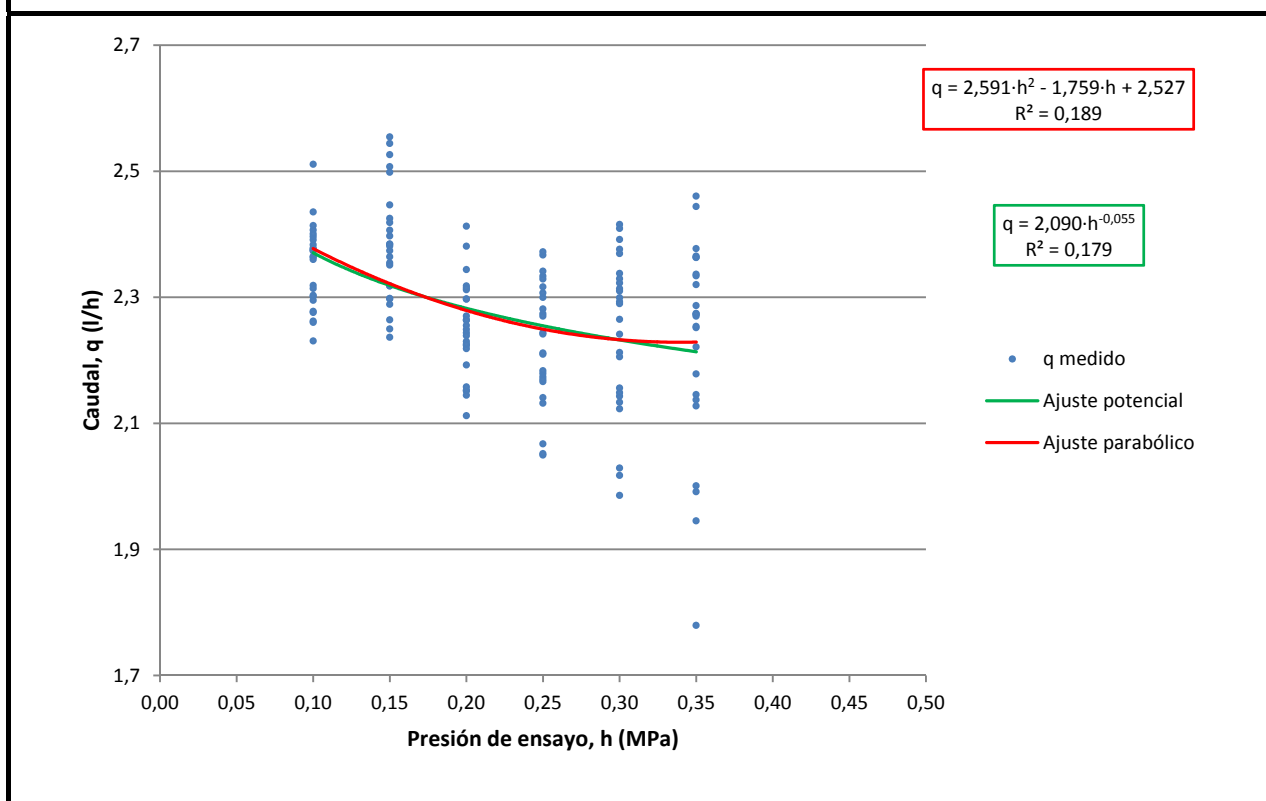


## I.3.4. Auto-2c (Hydro PC 2,2; Intervalo de compensación)

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: **80 – 350 kPa**  
 Caudal nominal: **2,2 l/h**  
 Caudal medio: **2,281 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	---	2,373	2,526	2,381	2,367	2,415	2,444	---	---	---	2,421	0,001	2,464	-0,485	1,085
2	---	2,391	2,381	2,224	2,242	2,265	2,274	---	---	---	2,120	-0,051	2,668	-3,161	5,863
3	---	2,383	2,374	2,312	2,333	2,392	2,365	---	---	---	2,345	-0,004	2,484	-1,282	2,828
4	---	2,365	2,355	2,270	2,281	2,338	2,377	---	---	---	2,312	-0,005	2,579	-2,591	5,786
5	---	2,407	2,397	2,318	2,300	2,329	2,363	---	---	---	2,259	-0,026	2,611	-2,351	4,669
6	---	2,364	2,385	2,249	2,274	2,314	2,363	---	---	---	2,269	-0,015	2,610	-2,821	6,026
7	---	2,303	2,298	2,151	2,141	2,133	2,272	---	---	---	2,071	-0,043	2,697	-4,485	9,131
8	---	2,376	2,384	2,263	2,179	2,299	2,334	---	---	---	2,183	-0,034	2,716	-3,841	7,837
9	---	2,435	2,507	2,344	2,307	2,017	1,945	---	---	---	1,667	-0,190	2,389	1,674	-8,745
10	---	2,301	2,318	2,244	2,270	2,310	2,336	---	---	---	2,314	0,005	2,430	-1,524	3,612
11	---	2,396	2,425	2,315	2,341	2,409	2,460	---	---	---	2,421	0,008	2,608	-2,480	5,891
12	---	2,295	2,364	2,145	2,166	2,143	2,001	---	---	---	1,845	-0,107	2,374	-0,339	-1,932
13	---	2,231	2,236	2,112	2,067	2,123	2,137	---	---	---	1,988	-0,050	2,497	-2,939	5,450
14	---	2,262	2,250	2,218	2,050	2,029	1,991	---	---	---	1,781	-0,114	2,389	-0,983	-0,590
15	---	2,319	2,297	2,230	2,243	2,293	2,320	---	---	---	2,264	-0,005	2,503	-2,279	5,071
16	---	2,414	2,498	2,297	2,316	2,290	2,252	---	---	---	2,106	-0,068	2,553	-1,078	0,596
17	---	2,378	2,447	2,297	2,329	2,376	2,146	---	---	---	2,113	-0,061	2,282	1,513	-5,064
18	---	2,511	2,544	2,413	2,372	2,369	2,287	---	---	---	2,136	-0,078	2,613	-0,756	-0,460
19	---	2,314	2,351	2,192	2,052	1,985	1,779	---	---	---	1,526	-0,204	2,353	0,490	-6,054
20	---	2,277	2,289	2,153	2,210	2,322	2,127	---	---	---	2,121	-0,031	2,295	-0,225	-0,251
21	---	2,360	2,554	2,226	2,174	2,149	2,221	---	---	---	1,953	-0,097	2,720	-3,066	4,322
22	---	2,400	2,419	2,239	2,170	2,205	2,270	---	---	---	2,032	-0,074	2,797	-4,293	7,812
23	---	2,276	2,318	2,255	2,183	2,212	2,274	---	---	---	2,174	-0,023	2,448	-1,714	3,302
24	---	2,374	2,406	2,264	2,212	2,241	2,254	---	---	---	2,085	-0,060	2,622	-2,552	4,210
25	---	2,260	2,264	2,158	2,132	2,156	2,178	---	---	---	2,046	-0,043	2,479	-2,407	4,384
Media		2,351	2,384	2,251	2,228	2,245	2,231				2,102	-0,055	2,527	-1,759	2,591
CV (%)		2,769	3,830	3,326	4,309	5,546	7,312				10,548	-100,493	5,516	-92,227	173,717
Normal		SI	SI	SI	SI	SI	SI				SI	SI	SI	SI	SI

CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

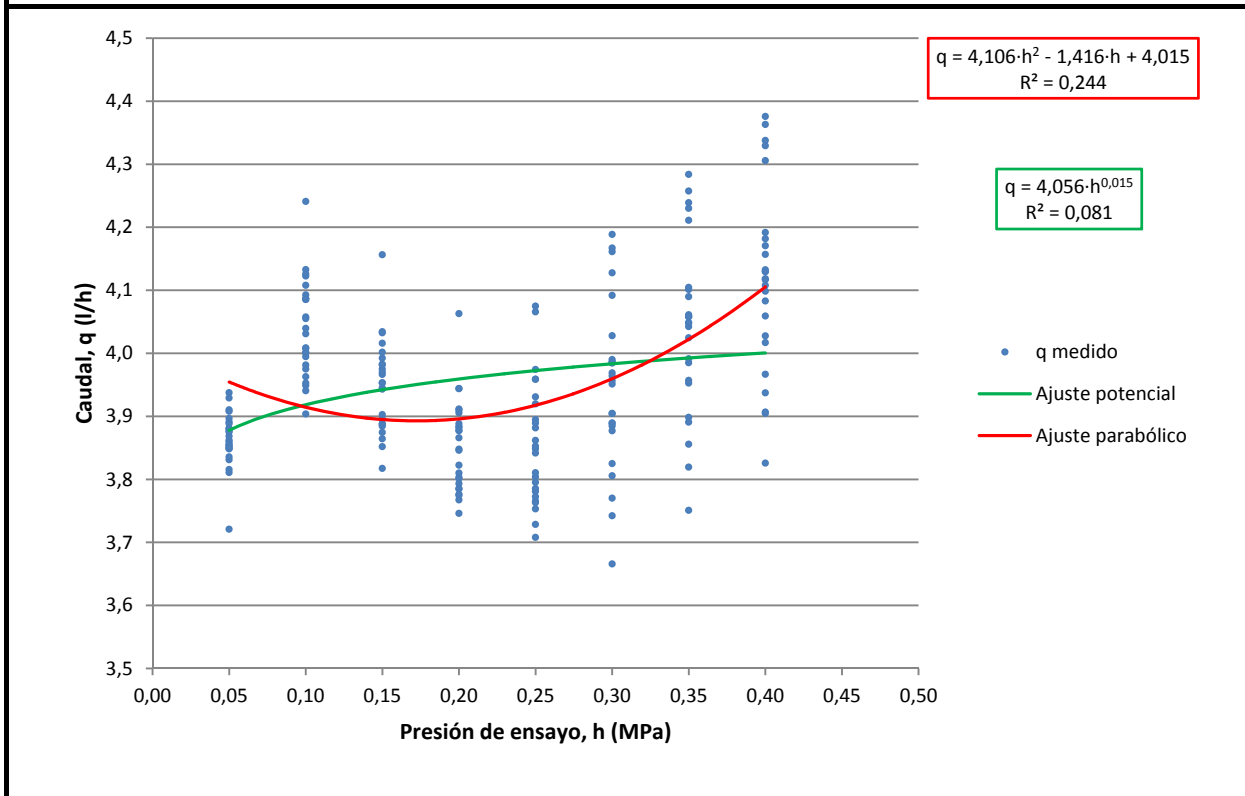


**I.3.5. Auto-3 (Netafim botón 4)**

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Pinchado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *4 l/h*  
 Caudal medio: *3,958 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	3,831	3,981	3,874	3,775	3,862	3,969	4,058	4,129	---	---	4,094	0,024	3,966	-1,521	4,883
2	3,862	4,085	4,002	3,912	3,974	4,128	4,230	4,329	---	---	4,344	0,040	3,992	-0,913	4,374
3	3,877	4,008	3,895	3,767	3,708	3,770	3,856	3,905	---	---	3,760	-0,014	4,077	-2,339	4,669
4	3,929	4,122	4,016	3,910	3,959	4,092	4,211	4,338	---	---	4,277	0,030	4,107	-1,862	6,032
5	3,835	3,995	3,903	3,810	3,781	3,904	4,024	4,118	---	---	4,030	0,017	4,016	-1,987	5,528
6	3,848	4,040	3,966	3,905	4,075	4,189	4,284	4,363	---	---	4,451	0,052	3,909	-0,192	3,421
7	3,937	4,057	3,975	3,877	3,920	4,028	4,101	4,157	---	---	4,110	0,015	4,065	-1,493	4,352
8	3,868	3,940	3,852	3,746	3,765	3,825	3,898	3,937	---	---	3,840	-0,002	4,011	-1,975	4,501
9	3,910	4,085	3,992	3,883	3,804	3,904	4,061	4,192	---	---	4,044	0,010	4,142	-2,572	6,514
10	3,849	3,949	3,884	3,776	3,763	3,889	3,985	4,083	---	---	3,981	0,013	4,018	-2,181	5,809
11	3,721	4,133	4,034	3,944	3,895	3,964	4,042	4,098	---	---	4,144	0,025	3,851	0,757	-0,660
12	3,815	4,000	3,943	3,803	3,848	3,957	4,048	4,133	---	---	4,094	0,023	3,961	-1,246	4,114
13	3,852	3,963	3,888	3,785	3,795	3,877	3,953	4,017	---	---	3,938	0,007	3,995	-1,679	4,300
14	3,881	4,093	3,982	3,883	3,810	3,885	3,957	4,028	---	---	3,931	-0,001	4,061	-1,442	3,194
15	3,908	4,241	4,156	4,063	4,066	4,161	4,239	4,306	---	---	4,347	0,029	4,027	0,259	0,902
16	3,855	3,975	3,895	3,785	3,728	3,742	3,819	3,907	---	---	3,761	-0,012	4,035	-1,983	3,914
17	3,875	4,087	3,970	3,866	3,882	3,985	4,090	4,171	---	---	4,112	0,018	4,045	-1,521	4,512
18	3,896	3,953	3,864	3,822	3,889	3,984	4,059	4,117	---	---	4,079	0,020	3,993	-1,546	4,759
19	3,891	4,002	3,887	3,801	3,753	3,666	3,751	3,826	---	---	3,654	-0,027	4,071	-2,011	3,185
20	3,860	4,108	3,982	3,888	3,842	3,951	4,058	4,130	---	---	4,064	0,013	4,044	-1,404	3,915
21	3,880	4,008	3,945	3,848	3,785	3,806	3,891	3,967	---	---	3,848	-0,007	4,042	-1,619	3,351
22	3,855	4,031	3,953	3,878	3,931	3,990	4,049	4,108	---	---	4,102	0,019	3,951	-0,536	2,260
23	3,888	4,126	4,032	3,944	3,959	4,167	4,257	4,376	---	---	4,372	0,040	4,043	-1,203	5,047
24	3,850	4,055	3,953	3,846	3,772	3,889	3,991	4,059	---	---	3,968	0,006	4,040	-1,712	4,269
25	3,811	3,904	3,817	3,793	3,853	3,986	4,105	4,182	---	---	4,172	0,036	3,915	-1,488	5,512
Media	<b>3,863</b>	<b>4,038</b>	<b>3,947</b>	<b>3,852</b>	<b>3,857</b>	<b>3,948</b>	<b>4,041</b>	<b>4,119</b>			<b>4,061</b>	<b>0,015</b>	<b>4,015</b>	<b>-1,416</b>	<b>4,106</b>
CV (%)	<b>1,127</b>	<b>1,908</b>	<b>1,858</b>	<b>1,882</b>	<b>2,549</b>	<b>3,376</b>	<b>3,397</b>	<b>3,586</b>			<b>4,961</b>	<b>123,699</b>	<b>1,606</b>	<b>-55,189</b>	<b>37,967</b>
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

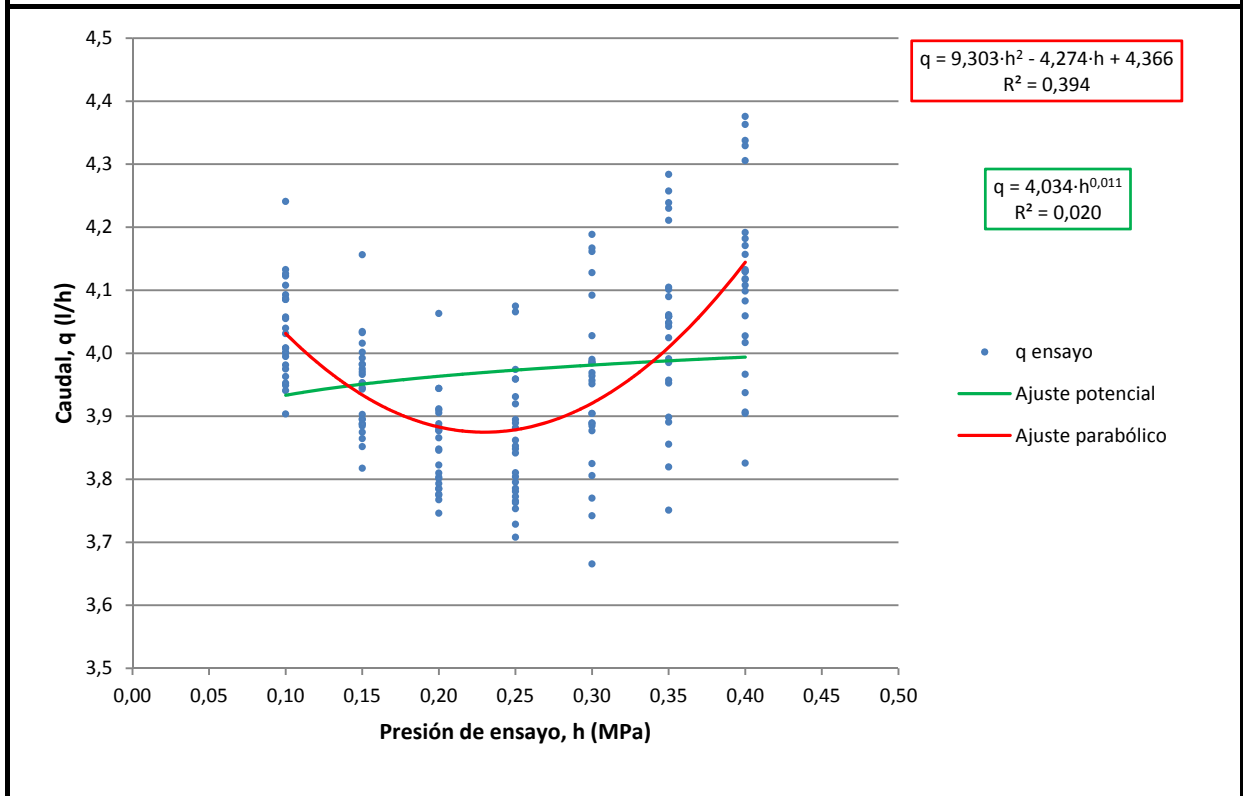


**I.3.6. Auto-3c (Netafim botón 4; Intervalo de compensación)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Pinchado**  
 Rango de regulación: **100 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **4 l/h**  
 Caudal medio: **3,972 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	α	A	B	C
1	---	3,981	3,874	3,775	3,862	3,969	4,058	4,129	---	---	4,126	0,030	4,239	-3,748	8,933
2	---	4,085	4,002	3,912	3,974	4,128	4,230	4,329	---	---	4,359	0,043	4,358	-3,898	9,801
3	---	4,008	3,895	3,767	3,708	3,770	3,856	3,905	---	---	3,705	-0,025	4,443	-5,319	10,087
4	---	4,122	4,016	3,910	3,959	4,092	4,211	4,338	---	---	4,302	0,034	4,490	-4,987	11,713
5	---	3,995	3,903	3,810	3,781	3,904	4,024	4,118	---	---	4,032	0,017	4,382	-4,968	10,948
6	---	4,040	3,966	3,905	4,075	4,189	4,284	4,363	---	---	4,516	0,063	4,138	-2,062	6,821
7	---	4,057	3,975	3,877	3,920	4,028	4,101	4,157	---	---	4,129	0,019	4,311	-3,497	7,996
8	---	3,940	3,852	3,746	3,765	3,825	3,898	3,937	---	---	3,845	-0,001	4,227	-3,728	7,688
9	---	4,085	3,992	3,883	3,804	3,904	4,061	4,192	---	---	4,023	0,006	4,605	-6,341	13,365
10	---	3,949	3,884	3,776	3,763	3,889	3,985	4,083	---	---	4,010	0,018	4,304	-4,519	10,060
11	---	4,133	4,034	3,944	3,895	3,964	4,042	4,098	---	---	3,953	-0,011	4,491	-4,460	8,826
12	---	4,000	3,943	3,803	3,848	3,957	4,048	4,133	---	---	4,080	0,020	4,324	-4,200	9,486
13	---	3,963	3,888	3,785	3,795	3,877	3,953	4,017	---	---	3,937	0,007	4,261	-3,851	8,250
14	---	4,093	3,982	3,883	3,810	3,885	3,957	4,028	---	---	3,842	-0,018	4,506	-5,071	9,793
15	---	4,241	4,156	4,063	4,066	4,161	4,239	4,306	---	---	4,231	0,009	4,544	-3,953	8,560
16	---	3,975	3,895	3,785	3,728	3,742	3,819	3,907	---	---	3,701	-0,024	4,385	-4,839	9,107
17	---	4,087	3,970	3,866	3,882	3,985	4,090	4,171	---	---	4,084	0,013	4,451	-4,825	10,520
18	---	3,953	3,864	3,822	3,889	3,984	4,059	4,117	---	---	4,155	0,034	4,111	-2,514	6,518
19	---	4,002	3,887	3,801	3,753	3,666	3,751	3,826	---	---	3,567	-0,045	4,410	-4,772	8,205
20	---	4,108	3,982	3,888	3,842	3,951	4,058	4,130	---	---	3,995	0,000	4,520	-5,285	10,970
21	---	4,008	3,945	3,848	3,785	3,806	3,891	3,967	---	---	3,788	-0,018	4,386	-4,421	8,446
22	---	4,031	3,953	3,878	3,931	3,990	4,049	4,108	---	---	4,075	0,014	4,237	-2,871	6,505
23	---	4,126	4,032	3,944	3,959	4,167	4,257	4,376	---	---	4,384	0,042	4,454	-4,555	11,142
24	---	4,055	3,953	3,846	3,772	3,889	3,991	4,059	---	---	3,908	-0,005	4,483	-5,323	10,835
25	---	3,904	3,817	3,793	3,853	3,986	4,105	4,182	---	---	4,272	0,054	4,082	-2,851	7,990
Media		<b>4,038</b>	<b>3,947</b>	<b>3,852</b>	<b>3,857</b>	<b>3,948</b>	<b>4,041</b>	<b>4,119</b>			<b>4,041</b>	<b>0,011</b>	<b>4,366</b>	<b>-4,274</b>	<b>9,303</b>
CV (%)		<b>1,908</b>	<b>1,858</b>	<b>1,882</b>	<b>2,549</b>	<b>3,376</b>	<b>3,397</b>	<b>3,586</b>			<b>5,694</b>	<b>237,404</b>	<b>3,204</b>	<b>-23,283</b>	<b>18,161</b>
Normal		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

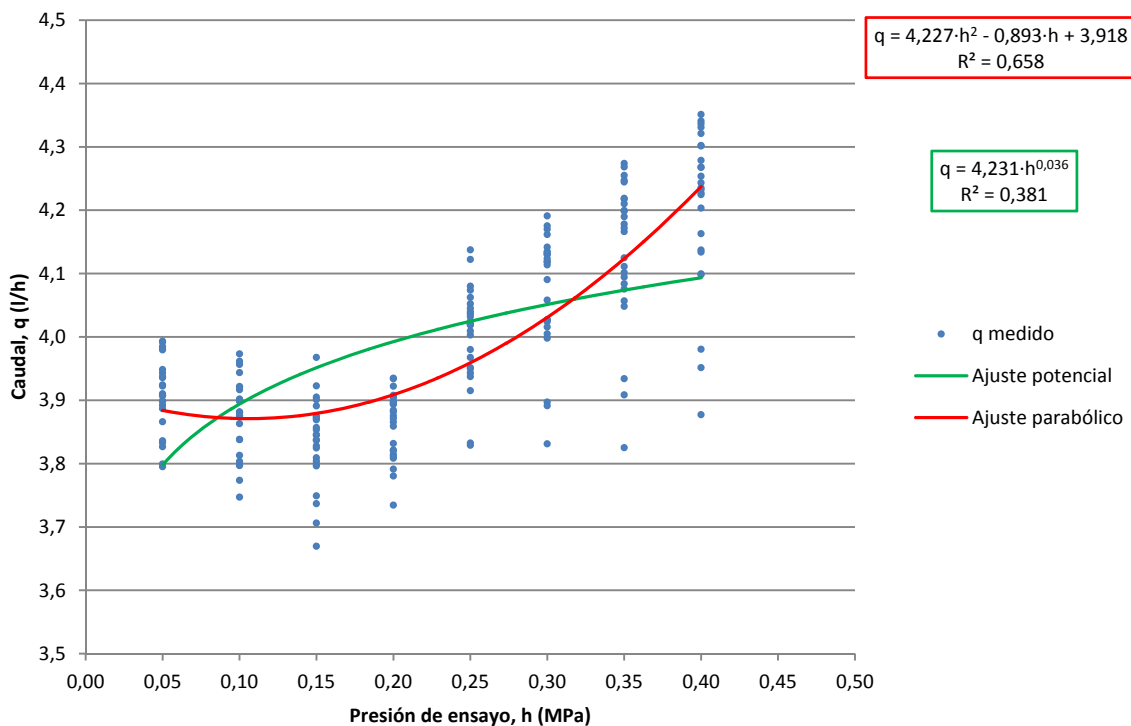


**I.3.7. Auto-4 (Netafim PCJ 4)**

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Pinchado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *4,0 l/h*  
 Caudal medio: *3,987 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	3,892	3,881	3,871	3,906	4,080	4,142	4,244	4,321	---	---	4,401	0,051	3,878	-0,384	3,924
2	3,982	3,973	3,905	3,934	4,052	4,130	4,178	4,243	---	---	4,258	0,030	4,006	-0,948	4,035
3	3,833	3,797	3,809	3,814	3,950	4,027	4,101	4,227	---	---	4,247	0,045	3,851	-0,926	4,742
4	3,943	3,956	3,967	3,898	4,122	4,170	4,255	4,341	---	---	4,393	0,044	3,958	-0,587	4,007
5	3,826	3,774	3,706	3,734	3,832	3,897	3,934	3,980	---	---	3,967	0,020	3,852	-1,228	4,078
6	3,985	3,921	3,853	3,894	4,036	4,090	4,166	4,232	---	---	4,230	0,030	4,008	-1,371	5,065
7	3,924	3,900	3,857	3,894	4,039	4,131	4,200	4,268	---	---	4,315	0,042	3,928	-0,784	4,320
8	3,866	3,838	3,669	3,821	4,003	4,005	4,057	4,099	---	---	4,143	0,034	3,845	-0,685	3,593
9	3,887	3,838	3,846	3,875	4,020	4,119	4,172	4,235	---	---	4,307	0,045	3,860	-0,393	3,558
10	3,993	3,902	3,828	3,832	3,943	4,027	4,094	4,163	---	---	4,105	0,020	4,056	-2,158	6,308
11	3,799	3,798	3,796	3,820	3,980	4,058	4,111	4,203	---	---	4,279	0,049	3,781	-0,189	3,244
12	3,899	3,875	3,824	3,922	4,062	4,162	4,247	4,336	---	---	4,411	0,053	3,884	-0,579	4,500
13	3,922	3,900	3,875	3,908	4,045	4,134	4,198	4,267	---	---	4,321	0,042	3,919	-0,604	3,895
14	3,936	3,898	3,869	3,882	4,025	4,118	4,217	4,302	---	---	4,323	0,042	3,964	-1,245	5,441
15	3,908	3,881	3,891	3,904	4,032	4,133	4,210	4,278	---	---	4,339	0,045	3,904	-0,551	3,920
16	3,910	3,882	3,837	3,884	4,009	4,114	4,190	4,254	---	---	4,299	0,042	3,917	-0,870	4,526
17	3,898	3,813	3,749	3,791	3,915	3,998	4,048	4,098	---	---	4,096	0,027	3,914	-1,392	4,916
18	3,937	3,916	3,874	3,865	4,019	3,831	3,825	3,877	---	---	3,836	-0,009	3,931	-0,104	-0,220
19	3,979	3,962	3,923	3,935	4,137	4,191	4,274	4,351	---	---	4,403	0,044	3,982	-0,750	4,402
20	3,907	3,875	3,845	3,871	4,074	4,175	4,268	4,331	---	---	4,413	0,053	3,896	-0,712	4,821
21	3,948	3,922	3,837	3,780	3,829	3,891	3,908	3,951	---	---	3,859	-0,004	4,044	-1,992	4,515
22	3,992	3,944	3,901	3,897	3,968	4,024	4,084	4,137	---	---	4,099	0,016	4,041	-1,446	4,356
23	3,907	3,863	3,799	3,808	3,937	4,016	4,076	4,134	---	---	4,127	0,028	3,942	-1,387	4,895
24	3,836	3,803	3,804	3,859	4,020	4,124	4,219	4,301	---	---	4,395	0,058	3,811	-0,400	4,303
25	3,795	3,747	3,737	3,812	3,951	4,026	4,125	4,224	---	---	4,286	0,053	3,781	-0,634	4,533
Media	3,908	3,874	3,835	3,862	4,003	4,069	4,136	4,206			4,234	0,036	3,918	-0,893	4,227
CV (%)	1,481	1,560	1,764	1,354	1,893	2,319	2,799	2,995			3,928	47,331	1,979	-58,352	26,641
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**



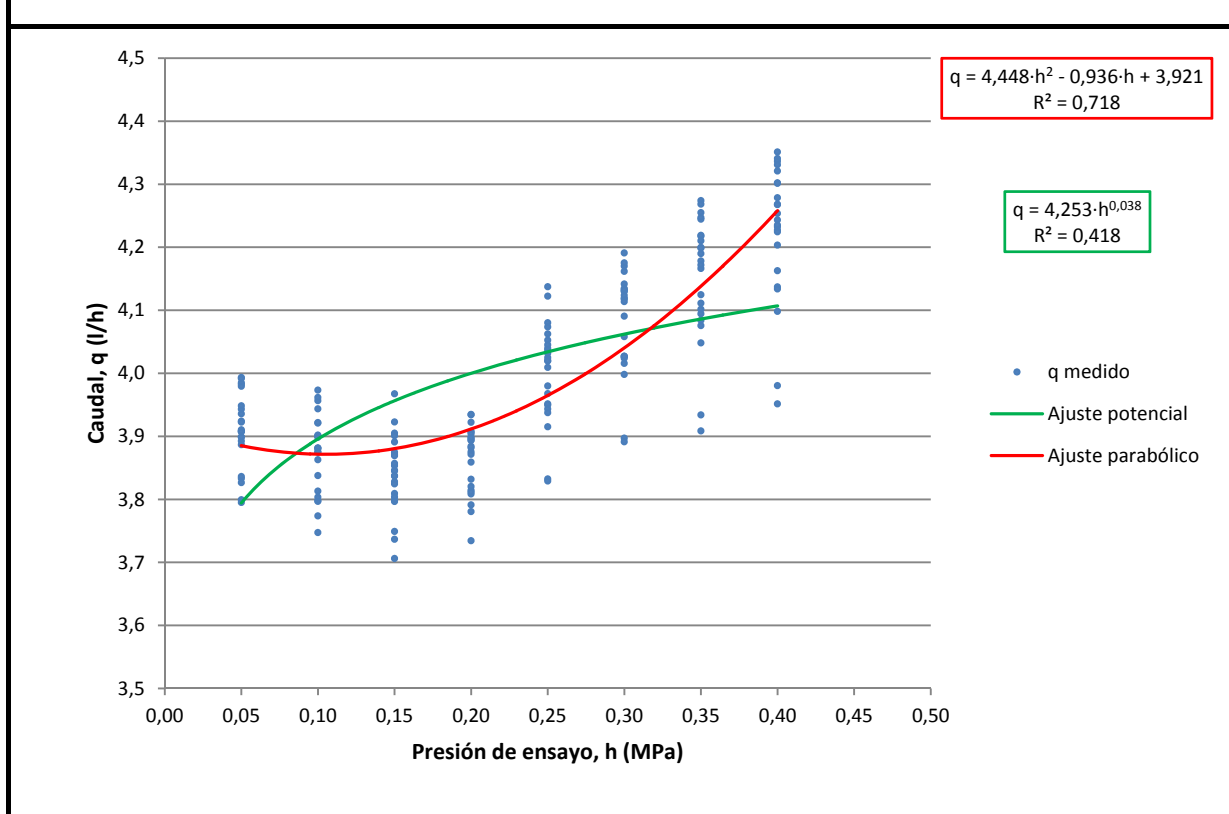


## I.3.8. Auto-4a (Netafim PCJ 4; Sin datos anómalos)

Tipo: **Autocompensante**Conexión: **Pinchado**Rango de regulación: **50 – 400 kPa**Caudal nominal: **4,0 l/h**Caudal medio: **3,994 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	3,892	3,881	3,871	3,906	4,080	4,142	4,244	4,321	---	---	4,401	0,051	3,878	-0,384	3,924
2	3,982	3,973	3,905	3,934	4,052	4,130	4,178	4,243	---	---	4,258	0,030	4,006	-0,948	4,035
3	3,833	3,797	3,809	3,814	3,950	4,027	4,101	4,227	---	---	4,247	0,045	3,851	-0,926	4,742
4	3,943	3,956	3,967	3,898	4,122	4,170	4,255	4,341	---	---	4,393	0,044	3,958	-0,587	4,007
5	3,826	3,774	3,706	3,734	3,832	3,897	3,934	3,980	---	---	3,967	0,020	3,852	-1,228	4,078
6	3,985	3,921	3,853	3,894	4,036	4,090	4,166	4,232	---	---	4,230	0,030	4,008	-1,371	5,065
7	3,924	3,900	3,857	3,894	4,039	4,131	4,200	4,268	---	---	4,315	0,042	3,928	-0,784	4,320
8	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
9	3,887	3,838	3,846	3,875	4,020	4,119	4,172	4,235	---	---	4,307	0,045	3,860	-0,393	3,558
10	3,993	3,902	3,828	3,832	3,943	4,027	4,094	4,163	---	---	4,105	0,020	4,056	-2,158	6,308
11	3,799	3,798	3,796	3,820	3,980	4,058	4,111	4,203	---	---	4,279	0,049	3,781	-0,189	3,244
12	3,899	3,875	3,824	3,922	4,062	4,162	4,247	4,336	---	---	4,411	0,053	3,884	-0,579	4,500
13	3,922	3,900	3,875	3,908	4,045	4,134	4,198	4,267	---	---	4,321	0,042	3,919	-0,604	3,895
14	3,936	3,898	3,869	3,882	4,025	4,118	4,217	4,302	---	---	4,323	0,042	3,964	-1,245	5,441
15	3,908	3,881	3,891	3,904	4,032	4,133	4,210	4,278	---	---	4,339	0,045	3,904	-0,551	3,920
16	3,910	3,882	3,837	3,884	4,009	4,114	4,190	4,254	---	---	4,299	0,042	3,917	-0,870	4,526
17	3,898	3,813	3,749	3,791	3,915	3,998	4,048	4,098	---	---	4,096	0,027	3,914	-1,392	4,916
18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19	3,979	3,962	3,923	3,935	4,137	4,191	4,274	4,351	---	---	4,403	0,044	3,982	-0,750	4,402
20	3,907	3,875	3,845	3,871	4,074	4,175	4,268	4,331	---	---	4,413	0,053	3,896	-0,712	4,821
21	3,948	3,922	3,837	3,780	3,829	3,891	3,908	3,951	---	---	3,859	-0,004	4,044	-1,992	4,515
22	3,992	3,944	3,901	3,897	3,968	4,024	4,084	4,137	---	---	4,099	0,016	4,041	-1,446	4,356
23	3,907	3,863	3,799	3,808	3,937	4,016	4,076	4,134	---	---	4,127	0,028	3,942	-1,387	4,895
24	3,836	3,803	3,804	3,859	4,020	4,124	4,219	4,301	---	---	4,395	0,058	3,811	-0,400	4,303
25	3,795	3,747	3,737	3,812	3,951	4,026	4,125	4,224	---	---	4,286	0,053	3,781	-0,634	4,533
Media	3,909	3,874	3,840	3,863	4,003	4,082	4,153	4,225			4,255	0,038	3,921	-0,936	4,448
CV (%)	1,521	1,601	1,573	1,395	1,976	2,015	2,364	2,537			3,495	39,035	2,025	-54,875	14,491
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

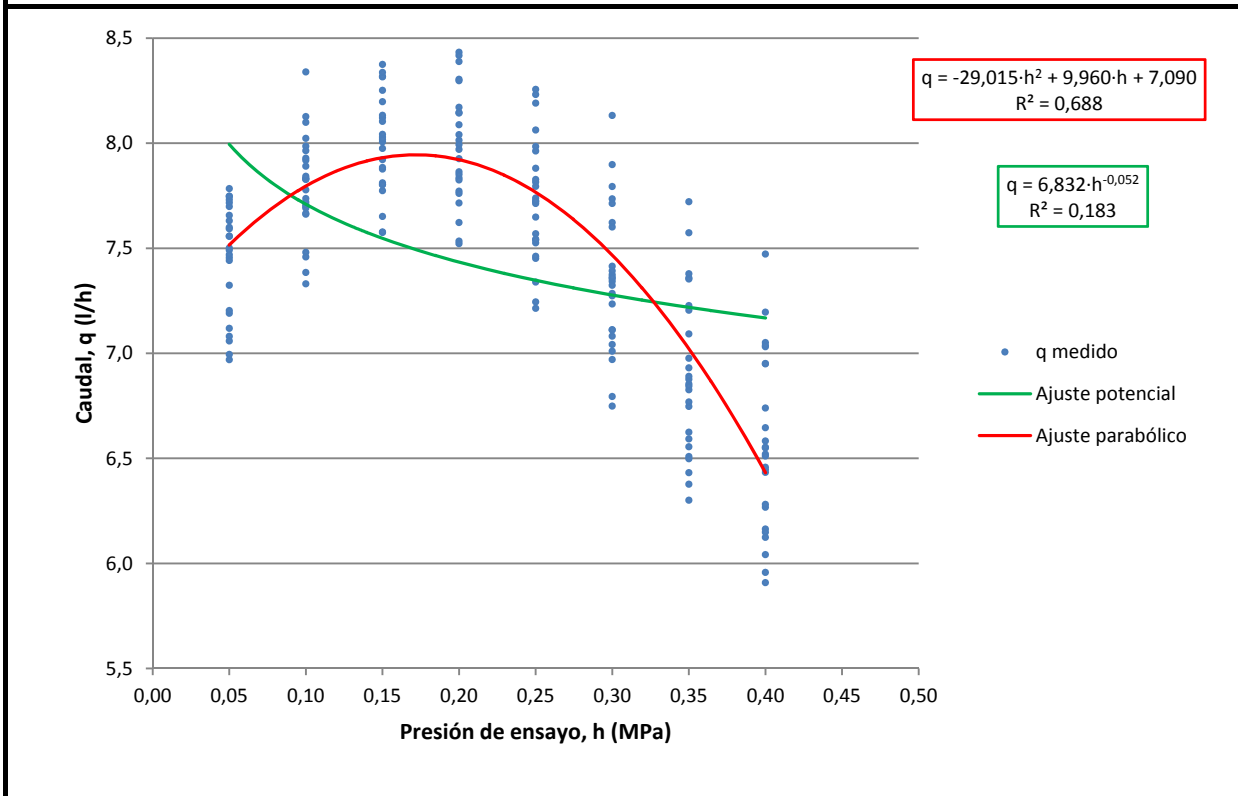


**I.3.9. Auto-5 (Flapper 7)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Pinchado**  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **7,0 l/h**  
 Caudal a presión media (250 kPa): **7,481 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	---	7,830	8,029	8,041	7,794	7,374	6,976	6,582	---	---	6,750	-0,066	7,455	7,183	-23,841
2	---	7,385	7,575	7,533	7,244	6,794	6,376	5,956	---	---	5,930	-0,103	7,451	3,470	-18,221
3	---	7,458	7,774	7,715	7,451	7,010	6,508	6,163	---	---	6,251	-0,084	7,257	6,455	-23,527
4	---	7,737	7,876	7,835	7,542	7,081	6,592	6,267	---	---	6,329	-0,085	7,405	6,363	-23,730
5	---	7,698	7,811	7,771	7,525	7,111	6,747	6,446	---	---	6,526	-0,069	7,346	5,871	-20,919
6	---	8,023	8,316	8,297	8,062	7,713	7,359	7,051	---	---	7,489	-0,022	7,067	11,929	-30,848
7	---	7,827	8,104	8,171	7,963	7,622	7,204	6,951	---	---	7,573	-0,001	6,519	15,075	-36,185
8	---	7,891	8,041	8,014	7,739	7,273	6,853	6,549	---	---	6,781	-0,057	7,152	9,551	-28,637
9	---	7,691	8,121	8,143	7,881	7,414	7,092	6,739	---	---	7,235	-0,023	6,702	13,436	-34,373
10	---	7,661	7,802	7,761	7,461	6,970	6,497	6,148	---	---	6,191	-0,092	7,382	6,002	-23,387
11	---	7,918	8,318	8,433	8,256	7,898	7,573	7,195	---	---	8,017	0,015	6,472	17,298	-39,689
12	---	7,832	8,006	7,863	7,721	7,342	6,876	6,519	---	---	6,729	-0,061	7,267	8,109	-25,523
13	---	7,986	8,133	8,087	7,815	7,392	6,930	6,645	---	---	6,886	-0,055	7,214	9,739	-28,922
14	---	7,707	7,922	7,926	7,648	7,234	6,768	6,433	---	---	6,531	-0,075	7,436	6,416	-22,851
15	---	7,666	7,884	7,852	7,568	7,112	6,624	6,280	---	---	6,351	-0,085	7,417	6,273	-23,387
16	---	8,126	8,336	8,304	7,984	7,601	7,226	6,950	---	---	7,516	-0,013	6,701	15,115	-37,710
17	---	8,339	8,668	8,713	8,519	8,132	7,721	7,472	---	---	8,282	0,015	6,670	18,330	-42,326
18	---	7,720	7,975	7,970	7,712	7,285	6,826	6,511	---	---	6,745	-0,057	7,129	9,211	-27,694
19	---	7,964	8,251	8,388	8,231	7,735	7,378	7,031	---	---	7,824	0,008	6,387	17,976	-42,172
20	---	7,777	8,018	7,993	7,726	7,323	6,890	6,552	---	---	6,756	-0,060	7,261	8,370	-26,044
21	---	7,330	7,577	7,521	7,214	6,748	6,300	5,908	---	---	5,954	-0,095	7,181	5,564	-22,350
22	---	7,928	8,197	8,145	7,827	7,356	6,843	6,457	---	---	6,846	-0,054	6,912	12,965	-36,392
23	---	7,842	7,804	7,824	7,539	7,042	6,555	6,124	---	---	6,181	-0,098	7,502	5,861	-23,744
24	---	7,480	7,651	7,622	7,339	7,361	6,431	6,041	---	---	6,162	-0,092	7,351	5,720	-22,413
25	---	8,099	8,375	8,417	8,190	7,793	7,353	7,037	---	---	7,724	-0,004	6,616	16,725	-40,485
Media		7,797	8,022	8,014	7,758	7,349	6,900	6,560			6,862	-0,052	7,090	9,960	-29,015
CV (%)		3,020	3,335	3,746	4,216	4,621	5,554	6,265			9,769	-72,507	5,013	46,104	-25,523
Normal		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

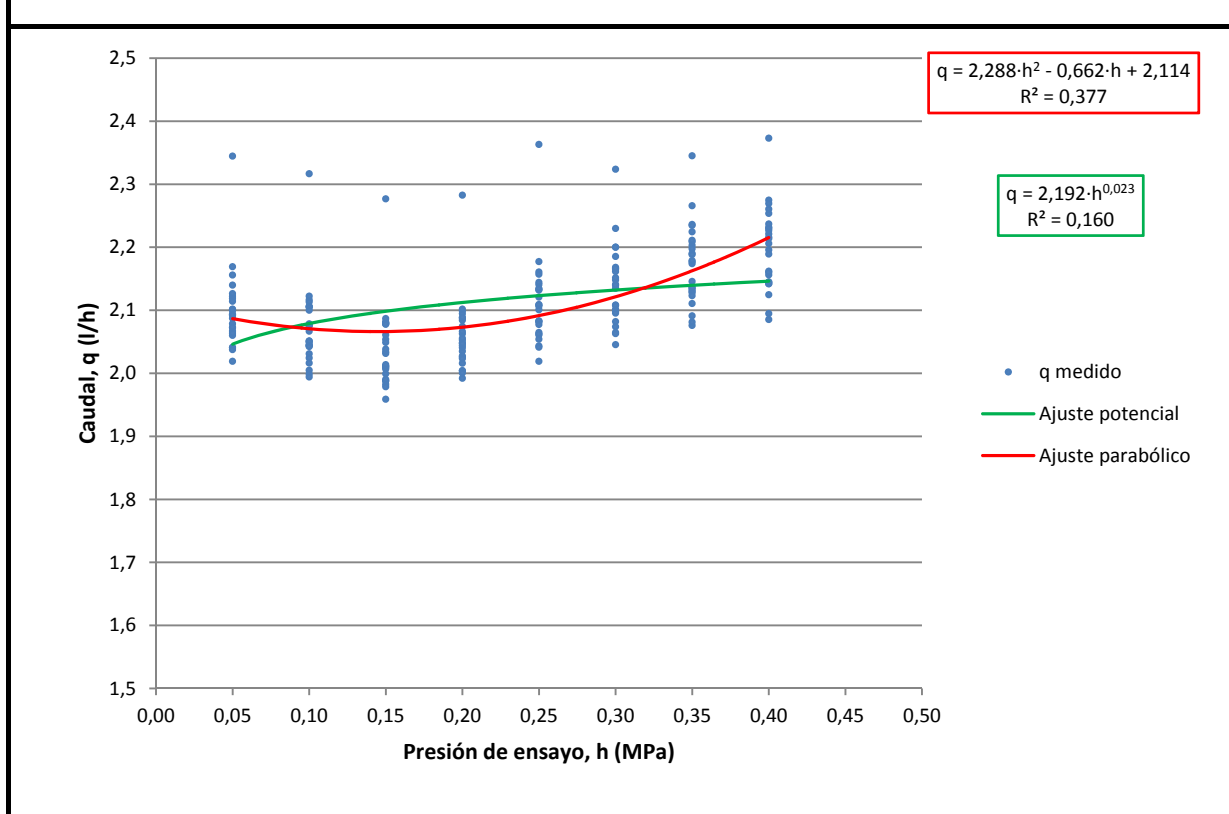


## I.3.10. Auto-6 (Netafim Technet 2)

Tipo: **Autocompensante**Conexión: **Integrado**Rango de regulación: **50 – 400 kPa**Caudal nominal: **2,0 l/h**Caudal medio: **2,111 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	2,067	2,043	2,031	2,099	2,177	2,230	2,266	2,221	---	---	2,327	0,050	2,003	0,509	0,385
2	2,087	2,044	1,999	2,026	2,065	2,108	2,135	2,142	---	---	2,133	0,016	2,102	-0,797	2,409
3	2,122	2,106	2,079	2,074	2,106	2,148	2,174	2,196	---	---	2,180	0,015	2,149	-0,724	2,187
4	2,060	2,051	2,009	2,053	2,121	2,151	2,190	2,227	---	---	2,246	0,039	2,062	-0,401	2,138
5	2,078	2,031	1,988	1,992	2,019	2,045	2,076	2,085	---	---	2,047	0,002	2,112	-1,063	2,611
6	2,092	2,049	2,010	2,035	2,081	2,101	2,130	2,156	---	---	2,137	0,016	2,108	-0,791	2,378
7	2,040	2,005	1,982	2,004	2,043	2,065	2,081	2,094	---	---	2,093	0,016	2,042	-0,451	1,556
8	2,072	2,024	1,988	2,016	2,061	2,082	2,132	2,162	---	---	2,141	0,021	2,094	-0,928	2,855
9	2,119	2,106	2,079	2,087	2,141	2,165	2,203	2,230	---	---	2,228	0,024	2,135	-0,563	2,085
10	2,344	2,316	2,277	2,283	2,363	2,324	2,345	2,373	---	---	2,350	0,006	2,356	-0,565	1,554
11	2,156	2,116	2,082	2,063	2,132	2,168	2,209	2,254	---	---	2,215	0,019	2,200	-1,223	3,498
12	2,064	2,045	2,007	2,040	2,109	2,141	2,197	2,232	---	---	2,242	0,038	2,075	-0,628	2,670
13	2,169	2,113	2,061	2,048	2,083	2,108	2,128	2,142	---	---	2,084	-0,006	2,215	-1,332	2,991
14	2,094	2,075	2,054	2,066	2,101	2,135	2,177	2,214	---	---	2,203	0,025	2,117	-0,690	2,395
15	2,100	2,067	2,034	2,084	2,161	2,200	2,236	2,275	---	---	2,299	0,042	2,092	-0,441	2,381
16	2,019	1,999	1,979	2,004	2,062	2,074	2,111	2,145	---	---	2,152	0,029	2,022	-0,398	1,827
17	2,126	2,105	2,079	2,094	2,144	2,185	2,211	2,237	---	---	2,240	0,025	2,136	-0,535	2,074
18	2,093	2,051	2,011	2,044	2,083	2,100	2,136	2,160	---	---	2,142	0,016	2,109	-0,776	2,359
19	2,114	2,100	2,077	2,089	2,133	2,161	2,188	2,216	---	---	2,215	0,022	2,126	-0,482	1,837
20	2,041	1,994	1,959	2,027	2,109	2,139	2,179	2,206	---	---	2,240	0,044	2,020	-0,347	2,199
21	2,038	2,016	1,990	2,000	2,054	2,098	2,146	2,189	---	---	2,181	0,033	2,063	-0,802	2,886
22	2,102	2,076	2,038	2,047	2,077	2,095	2,123	2,144	---	---	2,118	0,009	2,129	-0,787	2,138
23	2,140	2,122	2,087	2,102	2,157	2,200	2,234	2,269	---	---	2,266	0,028	2,159	-0,699	2,539
24	2,101	2,078	2,049	2,023	2,041	2,063	2,091	2,125	---	---	2,070	0,000	2,153	-1,101	2,599
25	2,073	2,042	2,014	2,056	2,134	2,166	2,224	2,260	---	---	2,282	0,044	2,073	-0,533	2,644
Media	2,100	2,071	2,038	2,058	2,110	2,138	2,173	2,198			2,193	0,023	2,114	-0,662	2,288
CV (%)	2,991	3,082	3,076	2,768	3,180	2,880	2,871	2,930			3,689	64,529	3,441	-53,979	25,986
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

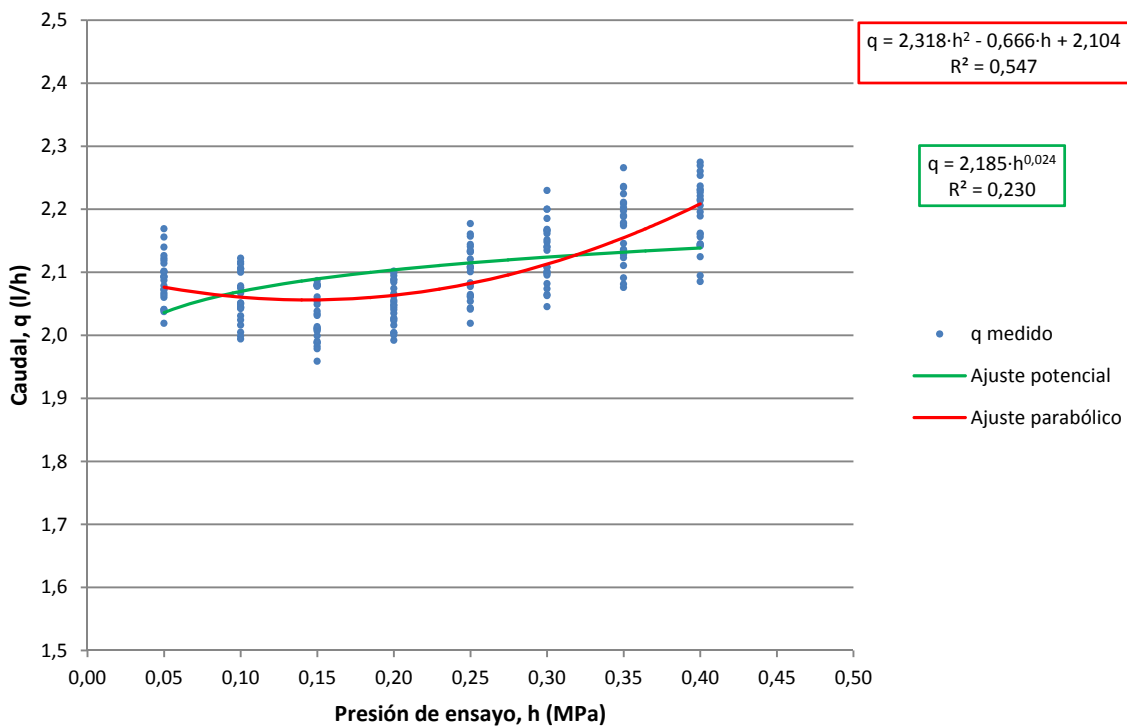


**I.3.11. Auto-6a (Netafim Technet 2; Sin datos anómalos)**

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *2,0 l/h*  
 Caudal medio: *2,102 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	2,067	2,043	2,031	2,099	2,177	2,230	2,266	2,221	---	---	2,327	0,050	2,003	0,509	0,385
2	2,087	2,044	1,999	2,026	2,065	2,108	2,135	2,142	---	---	2,133	0,016	2,102	-0,797	2,409
3	2,122	2,106	2,079	2,074	2,106	2,148	2,174	2,196	---	---	2,180	0,015	2,149	-0,724	2,187
4	2,060	2,051	2,009	2,053	2,121	2,151	2,190	2,227	---	---	2,246	0,039	2,062	-0,401	2,138
5	2,078	2,031	1,988	1,992	2,019	2,045	2,076	2,085	---	---	2,047	0,002	2,112	-1,063	2,611
6	2,092	2,049	2,010	2,035	2,081	2,101	2,130	2,156	---	---	2,137	0,016	2,108	-0,791	2,378
7	2,040	2,005	1,982	2,004	2,043	2,065	2,081	2,094	---	---	2,093	0,016	2,042	-0,451	1,556
8	2,072	2,024	1,988	2,016	2,061	2,082	2,132	2,162	---	---	2,141	0,021	2,094	-0,928	2,855
9	2,119	2,106	2,079	2,087	2,141	2,165	2,203	2,230	---	---	2,228	0,024	2,135	-0,563	2,085
10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
11	2,156	2,116	2,082	2,063	2,132	2,168	2,209	2,254	---	---	2,215	0,019	2,200	-1,223	3,498
12	2,064	2,045	2,007	2,040	2,109	2,141	2,197	2,232	---	---	2,242	0,038	2,075	-0,628	2,670
13	2,169	2,113	2,061	2,048	2,083	2,108	2,128	2,142	---	---	2,084	-0,006	2,215	-1,332	2,991
14	2,094	2,075	2,054	2,066	2,101	2,135	2,177	2,214	---	---	2,203	0,025	2,117	-0,690	2,395
15	2,100	2,067	2,034	2,084	2,161	2,200	2,236	2,275	---	---	2,299	0,042	2,092	-0,441	2,381
16	2,019	1,999	1,979	2,004	2,062	2,074	2,111	2,145	---	---	2,152	0,029	2,022	-0,398	1,827
17	2,126	2,105	2,079	2,094	2,144	2,185	2,211	2,237	---	---	2,240	0,025	2,136	-0,535	2,074
18	2,093	2,051	2,011	2,044	2,083	2,100	2,136	2,160	---	---	2,142	0,016	2,109	-0,776	2,359
19	2,114	2,100	2,077	2,089	2,133	2,161	2,188	2,216	---	---	2,215	0,022	2,126	-0,482	1,837
20	2,041	1,994	1,959	2,027	2,109	2,139	2,179	2,206	---	---	2,240	0,044	2,020	-0,347	2,199
21	2,038	2,016	1,990	2,000	2,054	2,098	2,146	2,189	---	---	2,181	0,033	2,063	-0,802	2,886
22	2,102	2,076	2,038	2,047	2,077	2,095	2,123	2,144	---	---	2,118	0,009	2,129	-0,787	2,138
23	2,140	2,122	2,087	2,102	2,157	2,200	2,234	2,269	---	---	2,266	0,028	2,159	-0,699	2,539
24	2,101	2,078	2,049	2,023	2,041	2,063	2,091	2,125	---	---	2,070	0,000	2,153	-1,101	2,599
25	2,073	2,042	2,014	2,056	2,134	2,166	2,224	2,260	---	---	2,282	0,044	2,073	-0,533	2,644
Media	2,090	2,061	2,029	2,049	2,100	2,130	2,166	2,191			2,187	0,024	2,104	-0,666	2,318
CV (%)	1,805	1,894	1,932	1,626	2,022	2,298	2,408	2,477			3,457	62,031	2,546	-54,718	25,314
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

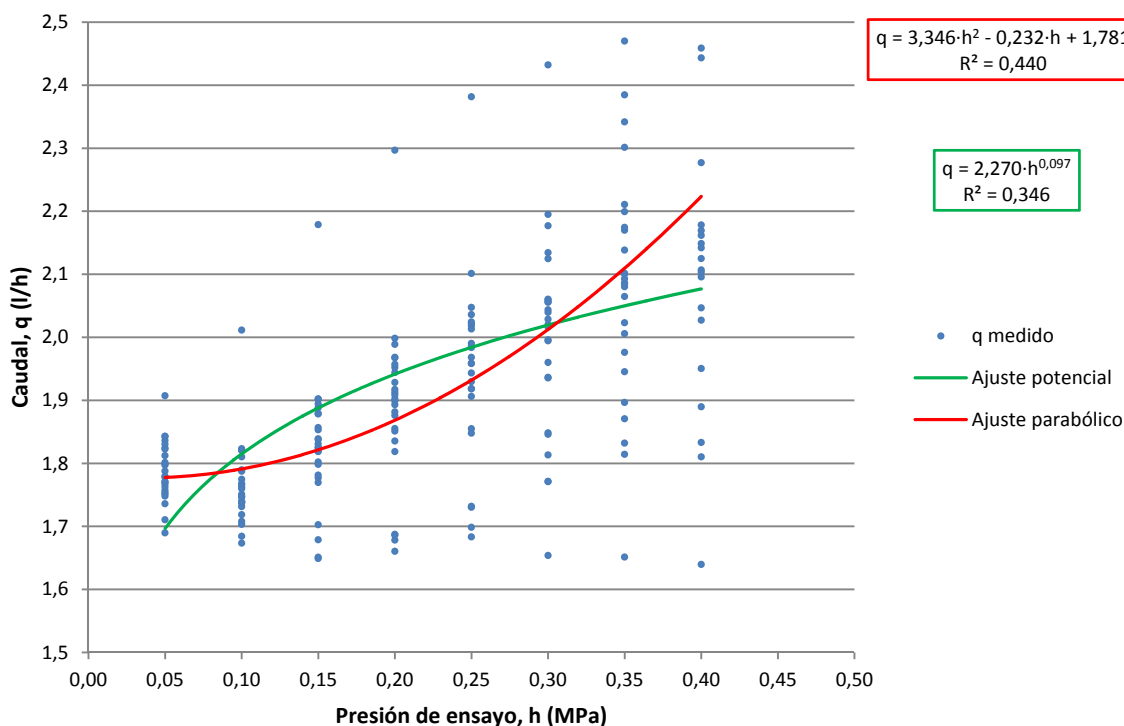


## I.3.12. Auto-7 (Netafim botón 2)

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Pinchado**  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **2,0 l/h**  
 Caudal medio: **1,942 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,758	1,747	1,802	1,876	1,918	1,936	1,945	1,950	---	---	2,067	0,062	1,669	1,239	-1,280
2	1,812	1,787	1,888	1,968	2,021	2,056	2,085	2,125	---	---	2,271	0,087	1,710	1,380	-0,827
3	1,779	1,766	1,826	1,899	1,958	2,016	2,080	2,169	---	---	2,270	0,097	1,733	0,450	1,606
4	1,754	1,708	1,777	1,855	1,906	1,935	1,976	2,027	---	---	2,123	0,078	1,683	0,679	0,491
5	1,751	1,737	1,857	1,944	2,036	2,177	2,385	2,931	---	---	2,936	0,209	1,867	-2,263	11,669
6	1,824	1,790	1,798	1,835	1,855	1,846	1,832	1,810	---	---	1,844	0,007	1,780	0,412	-0,768
7	1,823	1,810	1,879	1,952	2,018	2,134	2,342	2,618	---	---	2,658	0,154	1,886	-1,428	7,964
8	1,907	2,011	2,179	2,297	2,382	2,432	2,470	2,507	---	---	2,867	0,142	1,715	3,723	-4,393
9	1,710	1,673	1,651	1,687	1,730	1,771	1,897	2,162	---	---	2,037	0,081	1,831	-2,442	7,904
10	1,736	1,703	1,649	1,660	1,698	1,813	2,170	2,863	---	---	2,450	0,159	2,129	-6,958	21,152
11	1,836	1,775	1,702	1,678	1,683	1,654	1,651	1,640	---	---	1,551	-0,055	1,895	-1,451	2,096
12	1,797	1,751	1,831	1,912	1,984	2,044	2,100	2,178	---	---	2,297	0,100	1,726	0,605	1,368
13	1,768	1,747	1,839	1,908	1,968	2,059	2,211	2,963	---	---	2,754	0,183	1,982	-3,710	14,279
14	1,842	1,820	1,902	1,998	2,101	2,195	2,301	2,443	---	---	2,596	0,137	1,788	0,380	3,173
15	1,778	1,768	1,819	1,882	1,929	1,960	2,006	2,096	---	---	2,165	0,078	1,741	0,390	1,187
16	1,830	1,821	1,902	1,989	2,047	2,125	2,199	2,277	---	---	2,423	0,110	1,762	0,819	1,220
17	1,801	1,739	1,679	1,686	1,732	1,771	1,814	1,833	---	---	1,784	0,009	1,847	-1,449	3,706
18	1,748	1,718	1,824	1,902	1,959	1,994	2,023	2,047	---	---	2,204	0,089	1,637	1,484	-1,086
19	1,690	1,684	1,781	1,851	1,918	2,020	2,174	2,601	---	---	2,594	0,172	1,775	-1,611	8,667
20	1,763	1,731	1,819	1,893	1,943	1,996	2,138	2,459	---	---	2,447	0,134	1,817	-1,217	6,665
21	1,843	1,823	1,894	1,967	2,024	2,060	2,086	2,107	---	---	2,237	0,075	1,753	1,167	-0,626
22	1,788	1,763	1,878	1,957	2,013	2,056	2,101	2,149	---	---	2,308	0,098	1,685	1,395	-0,555
23	1,770	1,739	1,838	1,917	1,986	2,039	2,093	2,142	---	---	2,296	0,102	1,676	1,130	0,159
24	1,771	1,738	1,770	1,819	1,848	1,871	1,890	---	---	---	1,934	0,037	1,730	0,365	0,118
25	1,799	1,760	1,853	1,928	1,990	2,028	2,065	2,103	---	---	2,238	0,086	1,705	1,114	-0,229
Media	1,787	1,764	1,825	1,890	1,946	1,999	2,081	2,243			2,294	0,097	1,781	-0,232	3,346
CV (%)	2,632	3,705	5,701	6,872	7,444	8,067	9,025	15,565			14,490	60,600	6,170	-922,427	173,918
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

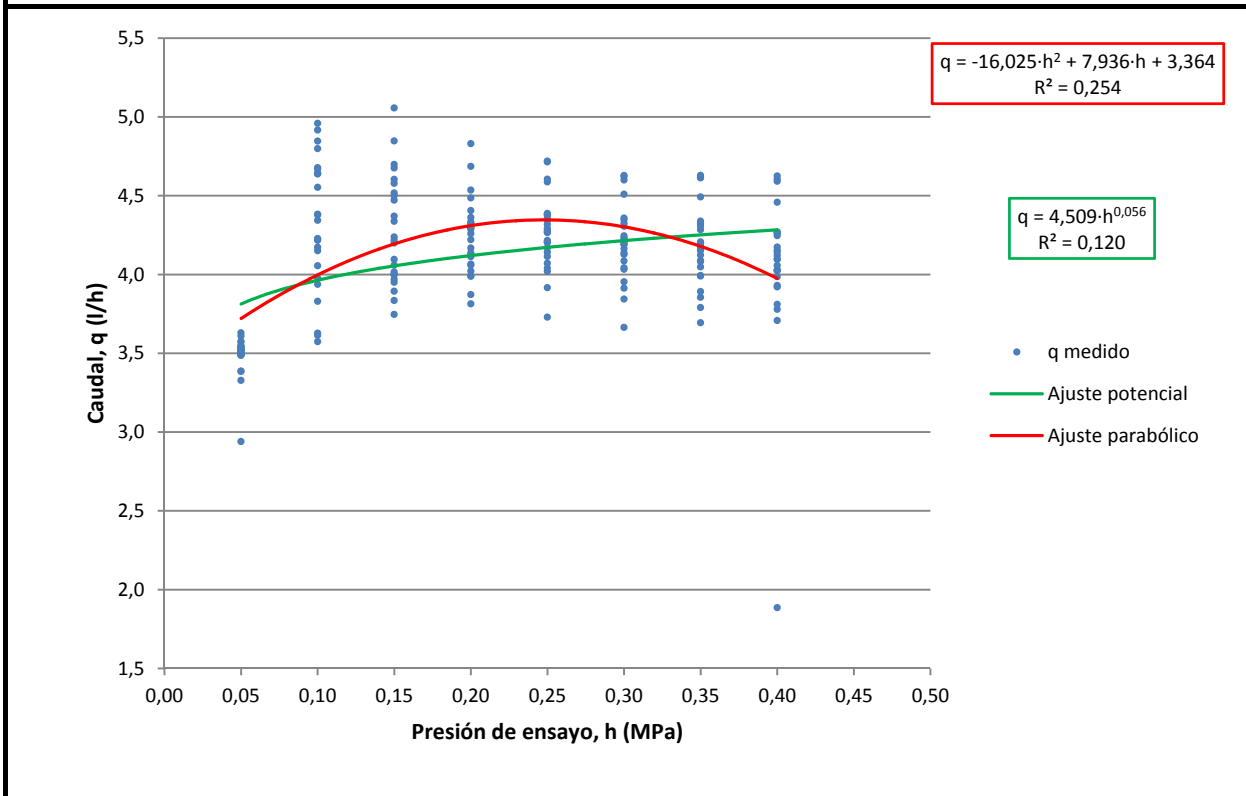


**I.3.13. Auto-8 (Turboplus 4)**

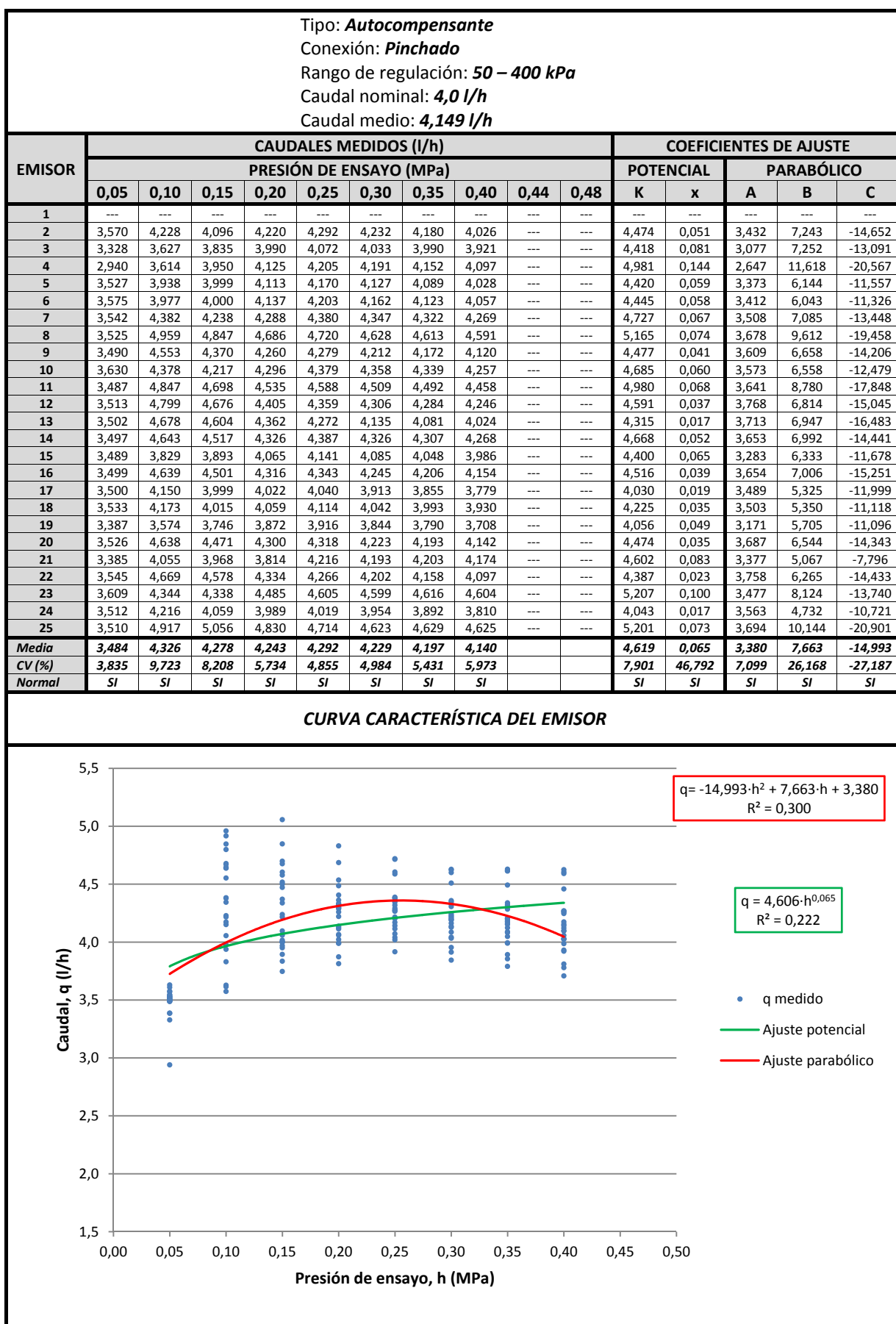
Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Pinchado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *4,0 l/h*  
 Caudal medio: *4,128 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	3,546	4,224	4,199	4,168	3,729	3,664	3,694	1,886	---	---	2,665	-0,166	3,045	14,392	-41,073
2	3,570	4,228	4,096	4,220	4,292	4,232	4,180	4,026	---	---	4,474	0,051	3,432	7,243	-14,652
3	3,328	3,627	3,835	3,990	4,072	4,033	3,990	3,921	---	---	4,418	0,081	3,077	7,252	-13,091
4	2,940	3,614	3,950	4,125	4,205	4,191	4,152	4,097	---	---	4,981	0,144	2,647	11,618	-20,567
5	3,527	3,938	3,999	4,113	4,170	4,127	4,089	4,028	---	---	4,420	0,059	3,373	6,144	-11,557
6	3,575	3,977	4,000	4,137	4,203	4,162	4,123	4,057	---	---	4,445	0,058	3,412	6,043	-11,326
7	3,542	4,382	4,238	4,288	4,380	4,347	4,322	4,269	---	---	4,727	0,067	3,508	7,085	-13,448
8	3,525	4,959	4,847	4,686	4,720	4,628	4,613	4,591	---	---	5,165	0,074	3,678	9,612	-19,458
9	3,490	4,553	4,370	4,260	4,279	4,212	4,172	4,120	---	---	4,477	0,041	3,609	6,658	-14,206
10	3,630	4,378	4,217	4,296	4,379	4,358	4,339	4,257	---	---	4,685	0,060	3,573	6,558	-12,479
11	3,487	4,847	4,698	4,535	4,588	4,509	4,492	4,458	---	---	4,980	0,068	3,641	8,780	-17,848
12	3,513	4,799	4,676	4,405	4,359	4,306	4,284	4,246	---	---	4,591	0,037	3,768	6,814	-15,045
13	3,502	4,678	4,604	4,362	4,272	4,135	4,081	4,024	---	---	4,315	0,017	3,713	6,947	-16,483
14	3,497	4,643	4,517	4,326	4,387	4,326	4,307	4,268	---	---	4,668	0,052	3,653	6,992	-14,441
15	3,489	3,829	3,893	4,065	4,141	4,085	4,048	3,986	---	---	4,400	0,065	3,283	6,333	-11,678
16	3,499	4,639	4,501	4,316	4,343	4,245	4,206	4,154	---	---	4,516	0,039	3,654	7,006	-15,251
17	3,500	4,150	3,999	4,022	4,040	3,913	3,855	3,779	---	---	4,030	0,019	3,489	5,325	-11,999
18	3,533	4,173	4,015	4,059	4,114	4,042	3,993	3,930	---	---	4,225	0,035	3,503	5,350	-11,118
19	3,387	3,574	3,746	3,872	3,916	3,844	3,790	3,708	---	---	4,056	0,049	3,171	5,705	-11,096
20	3,526	4,638	4,471	4,300	4,318	4,223	4,193	4,142	---	---	4,474	0,035	3,687	6,544	-14,343
21	3,385	4,055	3,968	3,814	4,216	4,193	4,203	4,174	---	---	4,602	0,083	3,377	5,067	-7,796
22	3,545	4,669	4,578	4,334	4,266	4,202	4,158	4,097	---	---	4,387	0,023	3,758	6,265	-14,433
23	3,609	4,344	4,338	4,485	4,605	4,599	4,616	4,604	---	---	5,207	0,100	3,477	8,124	-13,740
24	3,512	4,216	4,059	3,989	4,019	3,954	3,892	3,810	---	---	4,043	0,017	3,563	4,732	-10,721
25	3,510	4,917	5,056	4,830	4,714	4,623	4,629	4,625	---	---	5,201	0,073	3,694	10,144	-20,901
Media	<b>3,487</b>	<b>4,322</b>	<b>4,275</b>	<b>4,240</b>	<b>4,269</b>	<b>4,206</b>	<b>4,177</b>	<b>4,050</b>			<b>4,543</b>	<b>0,056</b>	<b>3,364</b>	<b>7,936</b>	<b>-16,025</b>
CV (%)	<b>3,768</b>	<b>9,539</b>	<b>8,050</b>	<b>5,629</b>	<b>5,457</b>	<b>5,592</b>	<b>5,860</b>	<b>12,637</b>			<b>11,525</b>	<b>97,017</b>	<b>7,372</b>	<b>30,111</b>	<b>-40,710</b>
Normal	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	NO	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**



## I.3.14. Auto-8a (Turboplus 4; Sin datos anómalos)

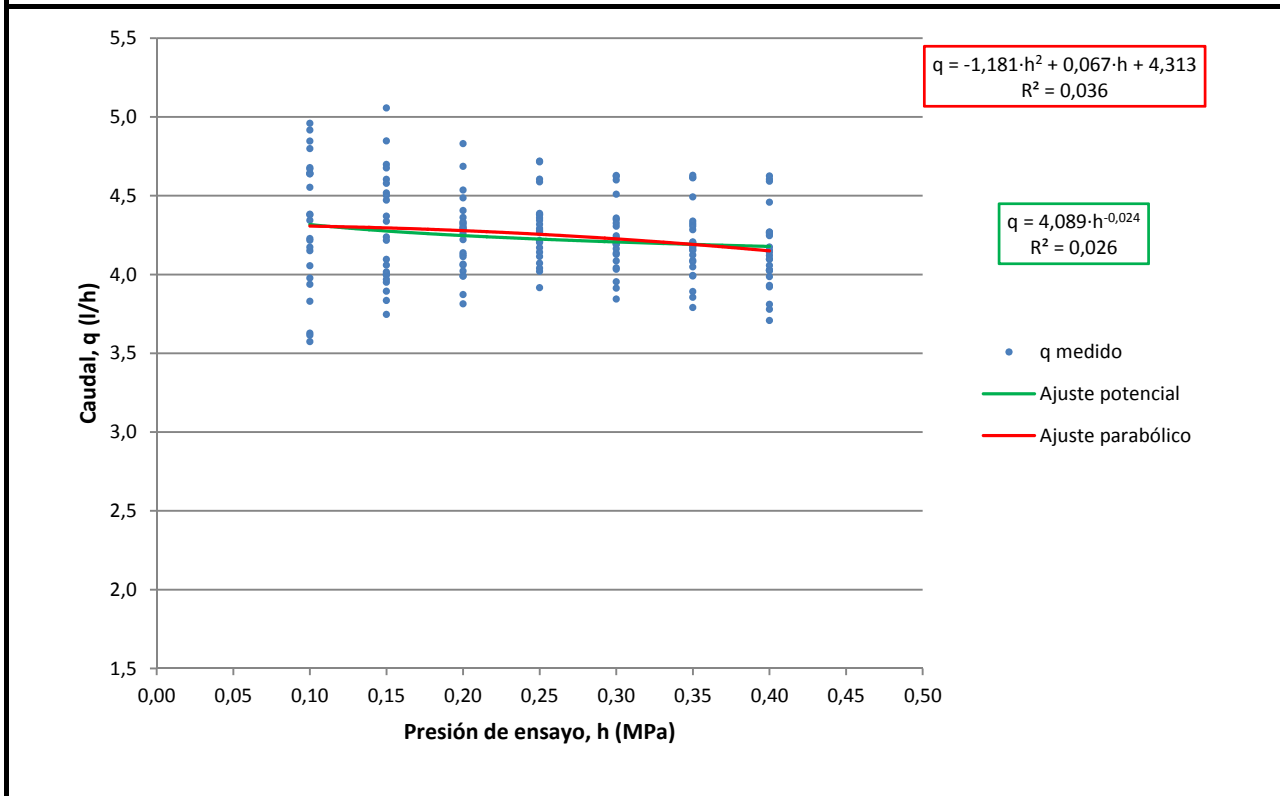


**I.3.15. Auto-8ac (Turboplus 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Pinchado**  
 Rango de regulación: **100 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **4,0 l/h**  
 Caudal medio: **4,244 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2	---	4,228	4,096	4,220	4,292	4,232	4,180	4,026	---	---	4,108	-0,012	3,945	2,673	-5,953
3	---	3,627	3,835	3,990	4,072	4,033	3,990	3,921	---	---	4,297	0,062	3,050	7,106	-12,451
4	---	3,614	3,950	4,125	4,205	4,191	4,152	4,097	---	---	4,623	0,091	2,902	9,022	-15,307
5	---	3,938	3,999	4,113	4,170	4,127	4,089	4,028	---	---	4,215	0,024	3,591	4,063	-7,458
6	---	3,977	4,000	4,137	4,203	4,162	4,123	4,057	---	---	4,251	0,025	3,618	4,035	-7,343
7	---	4,382	4,238	4,288	4,380	4,347	4,322	4,269	---	---	4,291	-0,004	4,295	0,327	-0,812
8	---	4,959	4,847	4,686	4,720	4,628	4,613	4,591	---	---	4,342	-0,056	5,244	-3,383	4,436
9	---	4,553	4,370	4,260	4,279	4,212	4,172	4,120	---	---	3,882	-0,066	4,800	-3,225	3,963
10	---	4,378	4,217	4,296	4,379	4,358	4,339	4,257	---	---	4,304	-0,002	4,252	0,680	-1,443
11	---	4,847	4,698	4,535	4,588	4,509	4,492	4,458	---	---	4,214	-0,057	5,136	-3,624	4,956
12	---	4,799	4,676	4,405	4,359	4,306	4,284	4,246	---	---	3,864	-0,093	5,307	-5,758	7,884
13	---	4,678	4,604	4,362	4,272	4,135	4,081	4,024	---	---	3,615	-0,117	5,118	-4,524	4,426
14	---	4,643	4,517	4,326	4,387	4,326	4,307	4,268	---	---	4,032	-0,058	4,935	-3,603	4,993
15	---	3,829	3,893	4,065	4,141	4,085	4,048	3,986	---	---	4,246	0,039	3,379	5,192	-9,240
16	---	4,639	4,501	4,316	4,343	4,245	4,206	4,154	---	---	3,867	-0,078	4,948	-3,669	4,314
17	---	4,150	3,999	4,022	4,040	3,913	3,855	3,779	---	---	3,639	-0,058	4,156	-0,325	-1,509
18	---	4,173	4,015	4,059	4,114	4,042	3,993	3,930	---	---	3,871	-0,030	4,126	0,026	-1,180
19	---	3,574	3,746	3,872	3,916	3,844	3,790	3,708	---	---	3,954	0,031	3,095	6,052	-11,444
20	---	4,638	4,471	4,300	4,318	4,223	4,193	4,142	---	---	3,846	-0,079	4,969	-4,027	5,023
21	---	4,055	3,968	3,814	4,216	4,193	4,203	4,174	---	---	4,351	0,042	3,939	0,234	1,255
22	---	4,669	4,578	4,334	4,266	4,202	4,158	4,097	---	---	3,736	-0,099	5,100	-4,691	5,538
23	---	4,344	4,338	4,485	4,605	4,599	4,616	4,604	---	---	4,878	0,053	4,021	3,254	-4,436
24	---	4,216	4,059	3,989	4,019	3,954	3,892	3,810	---	---	3,637	-0,063	4,332	-1,677	1,085
25	---	4,917	5,056	4,830	4,714	4,623	4,629	4,625	---	---	4,347	-0,062	5,240	-2,561	2,356
Media		<b>4,326</b>	<b>4,278</b>	<b>4,243</b>	<b>4,292</b>	<b>4,229</b>	<b>4,197</b>	<b>4,140</b>			<b>4,100</b>	<b>-0,024</b>	<b>4,313</b>	<b>0,067</b>	<b>-1,181</b>
CV (%)		<b>9,723</b>	<b>8,208</b>	<b>5,734</b>	<b>4,855</b>	<b>4,984</b>	<b>5,431</b>	<b>5,973</b>			<b>7,786</b>	<b>-246,190</b>	<b>17,758</b>	<b>6335,98</b>	<b>-556,249</b>
Normal		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**



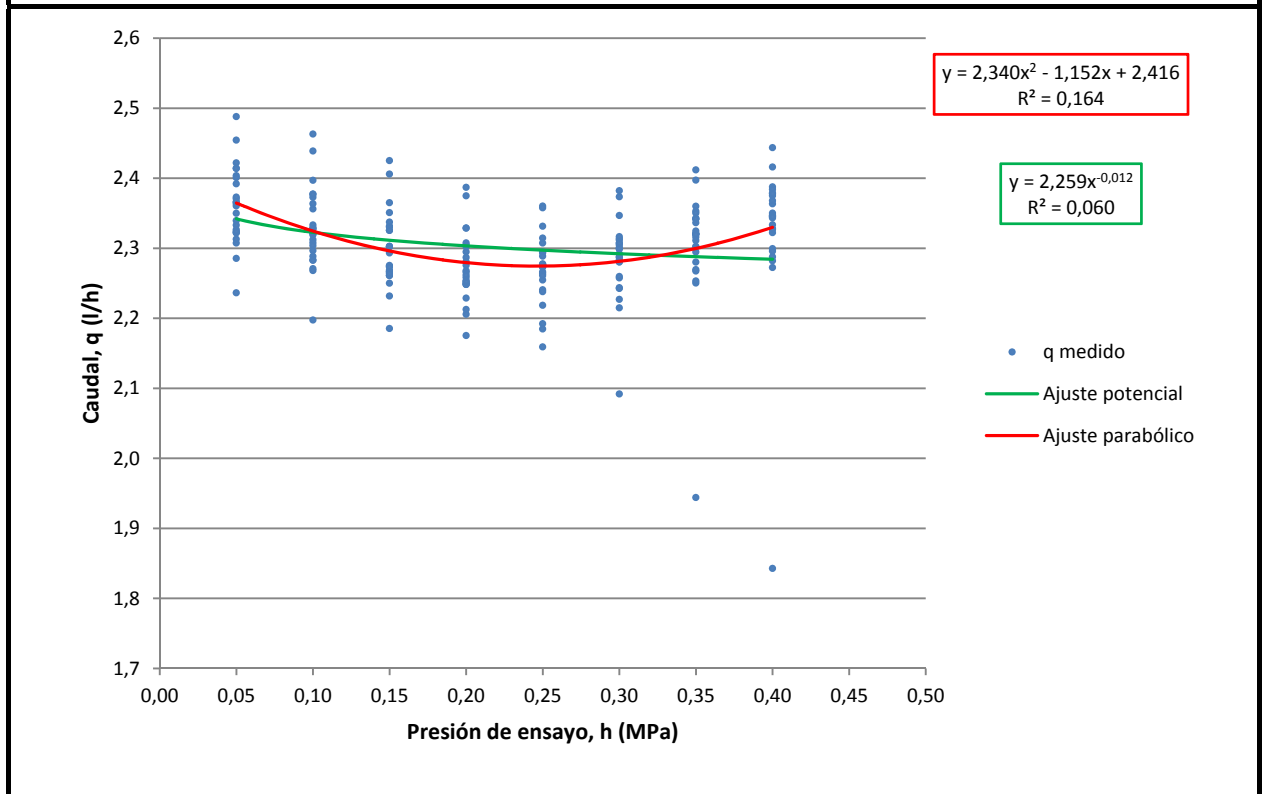


## I.3.16. Auto-9 (Azud premier line 2,3)

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *2,3 l/h*  
 Caudal medio: *2,306 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	2,327	2,288	2,261	2,248	2,276	2,314	2,360	2,388	---	---	2,346	0,010	2,372	-1,162	3,096
2	2,488	2,463	2,425	2,387	2,360	2,382	2,397	2,416	---	---	2,333	-0,020	2,560	-1,340	2,456
3	2,392	2,356	2,332	2,308	2,307	2,299	2,336	2,363	---	---	2,293	-0,011	2,448	-1,182	2,417
4	2,322	2,312	2,302	2,287	2,294	2,312	2,343	2,379	---	---	2,343	0,006	2,360	-0,735	1,943
5	2,404	2,364	2,330	2,302	2,294	2,301	2,320	2,346	---	---	2,267	-0,017	2,465	-1,304	2,518
6	2,454	2,439	2,406	2,375	2,358	2,347	2,353	2,375	---	---	2,301	-0,022	2,512	-1,007	1,614
7	2,360	2,321	2,266	2,248	2,255	2,257	2,295	2,322	---	---	2,239	-0,013	2,430	-1,501	3,114
8	2,350	2,308	2,268	2,251	2,273	2,287	2,311	2,328	---	---	2,272	-0,007	2,396	-1,170	2,570
9	2,371	2,328	2,303	2,268	2,266	2,308	2,342	2,368	---	---	2,298	-0,005	2,435	-1,419	3,187
10	2,373	2,329	2,293	2,266	2,264	2,280	2,303	2,333	---	---	2,254	-0,013	2,437	-1,401	2,876
11	2,236	2,197	2,185	2,175	2,192	2,215	2,250	2,282	---	---	2,242	0,007	2,272	-0,948	2,471
12	2,307	2,271	2,261	2,249	2,276	2,305	2,350	2,384	---	---	2,350	0,013	2,343	-0,957	2,703
13	2,401	2,377	2,351	2,329	2,331	2,373	2,412	2,444	---	---	2,390	0,003	2,458	-1,187	2,925
14	2,333	2,304	2,266	2,254	2,185	2,280	2,302	2,327	---	---	2,251	-0,008	2,410	-1,516	3,327
15	2,339	2,333	2,325	2,305	2,289	2,292	2,324	2,350	---	---	2,304	-0,004	2,384	-0,734	1,586
16	2,366	2,328	2,302	2,281	2,274	2,260	2,280	2,299	---	---	2,230	-0,018	2,415	-1,061	1,915
17	2,422	2,373	2,325	2,275	2,241	2,244	2,267	2,288	---	---	2,171	-0,036	2,516	-1,830	3,143
18	2,322	2,283	2,250	2,229	2,238	2,242	2,269	2,296	---	---	2,229	-0,010	2,375	-1,203	2,534
19	2,285	2,268	2,264	2,252	2,273	2,307	2,342	2,378	---	---	2,356	0,016	2,315	-0,699	2,171
20	2,363	2,319	2,275	2,258	2,276	2,300	2,321	2,346	---	---	2,282	-0,006	2,416	-1,297	2,870
21	2,313	2,283	2,232	2,206	2,218	2,227	2,253	2,272	---	---	2,201	-0,013	2,375	-1,319	2,703
22	2,366	2,322	2,274	2,212	2,159	2,092	1,944	1,843	---	---	1,788	-0,109	2,372	-0,149	-2,924
23	2,414	2,397	2,365	2,329	2,314	2,316	2,320	2,347	---	---	2,272	-0,020	2,475	-1,084	1,875
24	2,414	2,377	2,337	2,295	2,278	2,288	2,316	2,343	---	---	2,247	-0,022	2,495	-1,573	2,985
25	2,324	2,297	2,273	2,262	2,261	2,283	2,320	2,345	---	---	2,296	0,000	2,371	-1,020	2,419
Media	2,362	2,329	2,299	2,274	2,270	2,284	2,305	2,326			2,262	-0,012	2,416	-1,152	2,340
CV (%)	2,322	2,416	2,319	2,134	2,113	2,468	3,686	4,676			4,936	-196,985	2,745	-29,793	51,353
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO			SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

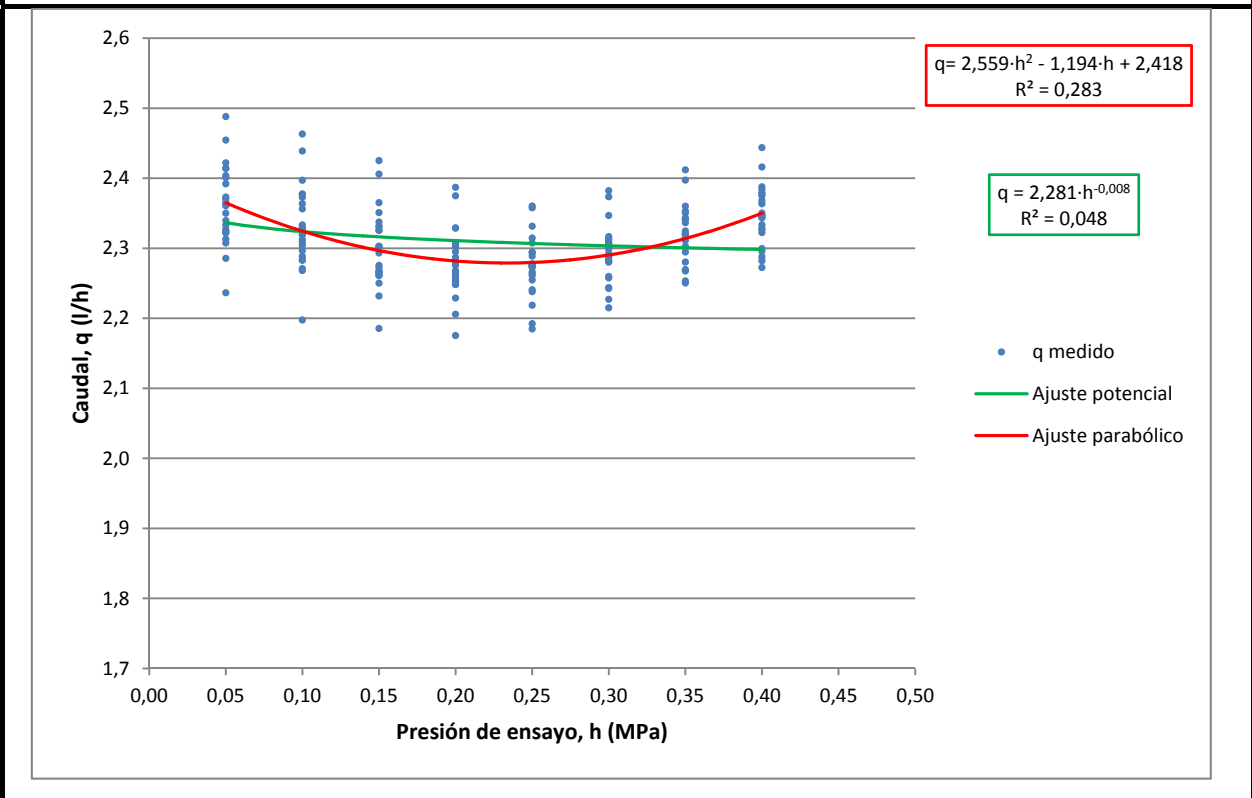


**I.3.17. Auto-9a (Azud premier line 2,3; Sin datos anómalos)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **2,3 l/h**  
 Caudal medio: **2,313 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	2,327	2,288	2,261	2,248	2,276	2,314	2,360	2,388	---	---	2,346	0,010	2,372	-1,162	3,096
2	2,488	2,463	2,425	2,387	2,360	2,382	2,397	2,416	---	---	2,333	-0,020	2,560	-1,340	2,456
3	2,392	2,356	2,332	2,308	2,307	2,299	2,336	2,363	---	---	2,293	-0,011	2,448	-1,182	2,417
4	2,322	2,312	2,302	2,287	2,294	2,312	2,343	2,379	---	---	2,343	0,006	2,360	-0,735	1,943
5	2,404	2,364	2,330	2,302	2,294	2,301	2,320	2,346	---	---	2,267	-0,017	2,465	-1,304	2,518
6	2,454	2,439	2,406	2,375	2,358	2,347	2,353	2,375	---	---	2,301	-0,022	2,512	-1,007	1,614
7	2,360	2,321	2,266	2,248	2,255	2,257	2,295	2,322	---	---	2,239	-0,013	2,430	-1,501	3,114
8	2,350	2,308	2,268	2,251	2,273	2,287	2,311	2,328	---	---	2,272	-0,007	2,396	-1,170	2,570
9	2,371	2,328	2,303	2,268	2,266	2,308	2,342	2,368	---	---	2,298	-0,005	2,435	-1,419	3,187
10	2,373	2,329	2,293	2,266	2,264	2,280	2,303	2,333	---	---	2,254	-0,013	2,437	-1,401	2,876
11	2,236	2,197	2,185	2,175	2,192	2,215	2,250	2,282	---	---	2,242	0,007	2,272	-0,948	2,471
12	2,307	2,271	2,261	2,249	2,276	2,305	2,350	2,384	---	---	2,350	0,013	2,343	-0,957	2,703
13	2,401	2,377	2,351	2,329	2,331	2,373	2,412	2,444	---	---	2,390	0,003	2,458	-1,187	2,925
14	2,333	2,304	2,266	2,254	2,185	2,280	2,302	2,327	---	---	2,251	-0,008	2,410	-1,516	3,327
15	2,339	2,333	2,325	2,305	2,289	2,292	2,324	2,350	---	---	2,304	-0,004	2,384	-0,734	1,586
16	2,366	2,328	2,302	2,281	2,274	2,260	2,280	2,299	---	---	2,230	-0,018	2,415	-1,061	1,915
17	2,422	2,373	2,325	2,275	2,241	2,244	2,267	2,288	---	---	2,171	-0,036	2,516	-1,830	3,143
18	2,322	2,283	2,250	2,229	2,238	2,242	2,269	2,296	---	---	2,229	-0,010	2,375	-1,203	2,534
19	2,285	2,268	2,264	2,252	2,273	2,307	2,342	2,378	---	---	2,356	0,016	2,315	-0,699	2,171
20	2,363	2,319	2,275	2,258	2,276	2,300	2,321	2,346	---	---	2,282	-0,006	2,416	-1,297	2,870
21	2,313	2,283	2,232	2,206	2,218	2,227	2,253	2,272	---	---	2,201	-0,013	2,375	-1,319	2,703
22	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
23	2,414	2,397	2,365	2,329	2,314	2,316	2,320	2,347	---	---	2,272	-0,020	2,475	-1,084	1,875
24	2,414	2,377	2,337	2,295	2,278	2,288	2,316	2,343	---	---	2,247	-0,022	2,495	-1,573	2,985
25	2,324	2,297	2,273	2,262	2,261	2,283	2,320	2,345	---	---	2,296	0,000	2,371	-1,020	2,419
Media	2,362	2,330	2,300	2,277	2,275	2,292	2,320	2,347			2,282	-0,008	2,418	-1,194	2,559
CV (%)	2,372	2,467	2,357	2,100	1,887	1,765	1,737	1,786			2,330	-158,729	2,775	-23,304	19,602
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

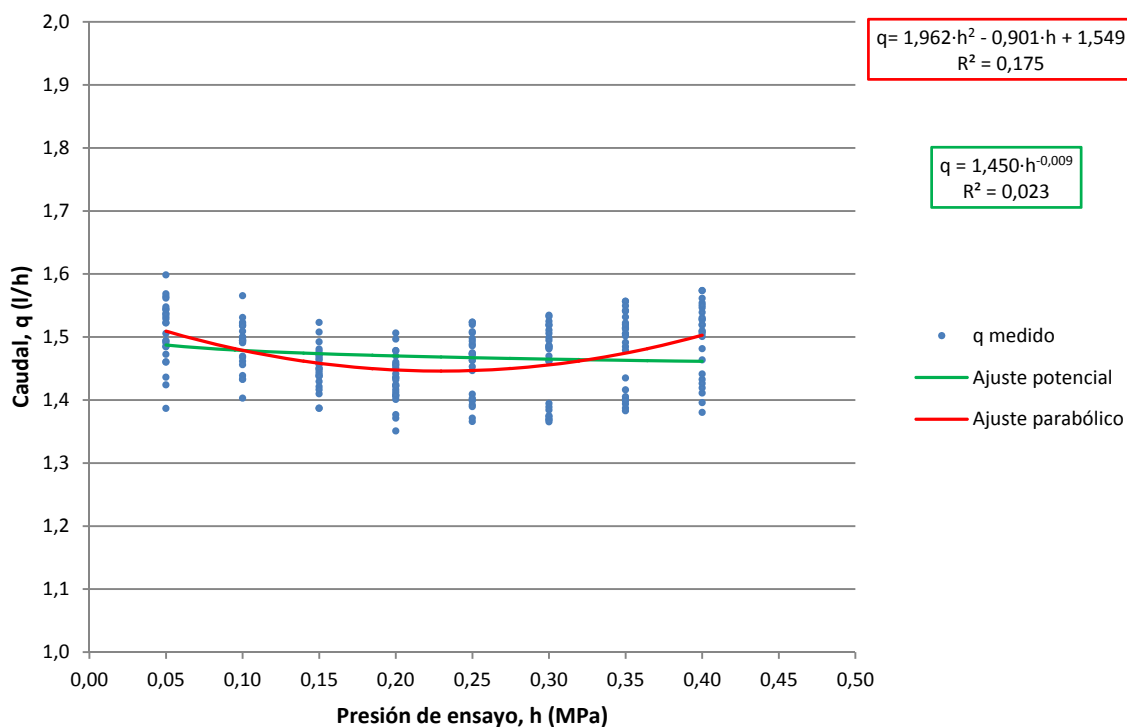


## I.3.18. Auto-10 (Azud premier line 1,5)

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *1,5 l/h*  
 Caudal medio: *1,472 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,538	1,494	1,438	1,425	1,473	1,486	1,514	1,528	---	---	1,477	-0,004	1,583	-1,243	2,884
2	1,424	1,433	1,421	1,371	1,392	1,395	1,435	1,464	---	---	1,419	0,001	1,477	-0,821	1,946
3	1,564	1,518	1,465	1,451	1,488	1,499	1,522	1,539	---	---	1,481	-0,010	1,612	-1,263	2,797
4	1,491	1,500	1,469	1,460	1,486	1,495	1,515	1,519	---	---	1,508	0,006	1,513	-0,403	1,092
5	1,494	1,494	1,458	1,436	1,474	1,484	1,505	1,509	---	---	1,487	0,002	1,524	-0,625	1,535
6	1,522	1,492	1,450	1,416	1,400	1,375	1,394	1,411	---	---	1,323	-0,047	1,590	-1,282	2,048
7	1,485	1,439	1,410	1,423	1,463	1,481	1,505	1,520	---	---	1,501	0,014	1,499	-0,740	2,084
8	1,484	1,433	1,387	1,408	1,447	1,462	1,485	1,501	---	---	1,470	0,008	1,506	-0,915	2,369
9	1,543	1,509	1,463	1,457	1,497	1,511	1,532	1,546	---	---	1,508	0,000	1,577	-0,969	2,320
10	1,387	1,403	1,387	1,351	1,366	1,373	1,416	1,441	---	---	1,407	0,007	1,435	-0,703	1,788
11	1,505	1,497	1,472	1,470	1,520	1,534	1,556	1,574	---	---	1,570	0,021	1,519	-0,447	1,527
12	1,544	1,519	1,472	1,412	1,409	1,389	1,387	1,380	---	---	1,299	-0,061	1,611	-1,225	1,633
13	1,598	1,565	1,523	1,497	1,524	1,525	1,557	1,573	---	---	1,513	-0,013	1,652	-1,201	2,572
14	1,472	1,469	1,444	1,436	1,471	1,483	1,502	1,510	---	---	1,501	0,011	1,490	-0,433	1,266
15	1,548	1,500	1,447	1,442	1,475	1,486	1,513	1,527	---	---	1,473	-0,008	1,591	-1,218	2,744
16	1,529	1,491	1,440	1,405	1,399	1,384	1,401	1,419	---	---	1,328	-0,045	1,600	-1,439	2,463
17	1,562	1,531	1,492	1,478	1,506	1,518	1,541	1,554	---	---	1,511	-0,005	1,600	-0,965	2,199
18	1,532	1,523	1,481	1,478	1,508	1,519	1,542	1,550	---	---	1,527	0,004	1,560	-0,669	1,680
19	1,460	1,462	1,450	1,432	1,463	1,462	1,479	1,481	---	---	1,475	0,006	1,474	-0,276	0,772
20	1,436	1,456	1,429	1,401	1,390	1,369	1,405	1,433	---	---	1,377	-0,016	1,493	-0,751	1,419
21	1,494	1,468	1,416	1,377	1,371	1,369	1,398	1,426	---	---	1,333	-0,035	1,575	-1,529	2,885
22	1,522	1,522	1,508	1,506	1,523	1,532	1,550	1,561	---	---	1,554	0,010	1,536	-0,297	0,924
23	1,569	1,518	1,456	1,408	1,403	1,365	1,383	1,396	---	---	1,284	-0,067	1,654	-1,730	2,700
24	1,536	1,494	1,438	1,422	1,453	1,470	1,491	1,506	---	---	1,446	-0,012	1,587	-1,285	2,804
25	1,460	1,495	1,477	1,455	1,493	1,506	1,520	1,530	---	---	1,538	0,018	1,475	-0,098	0,608
Media	1,508	1,489	1,452	1,433	1,456	1,459	1,482	1,496			1,452	-0,009	1,549	-0,901	1,962
CV (%)	3,306	2,457	2,284	2,663	3,437	4,142	4,024	3,894			5,726	-284,915	3,849	-48,142	35,600
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

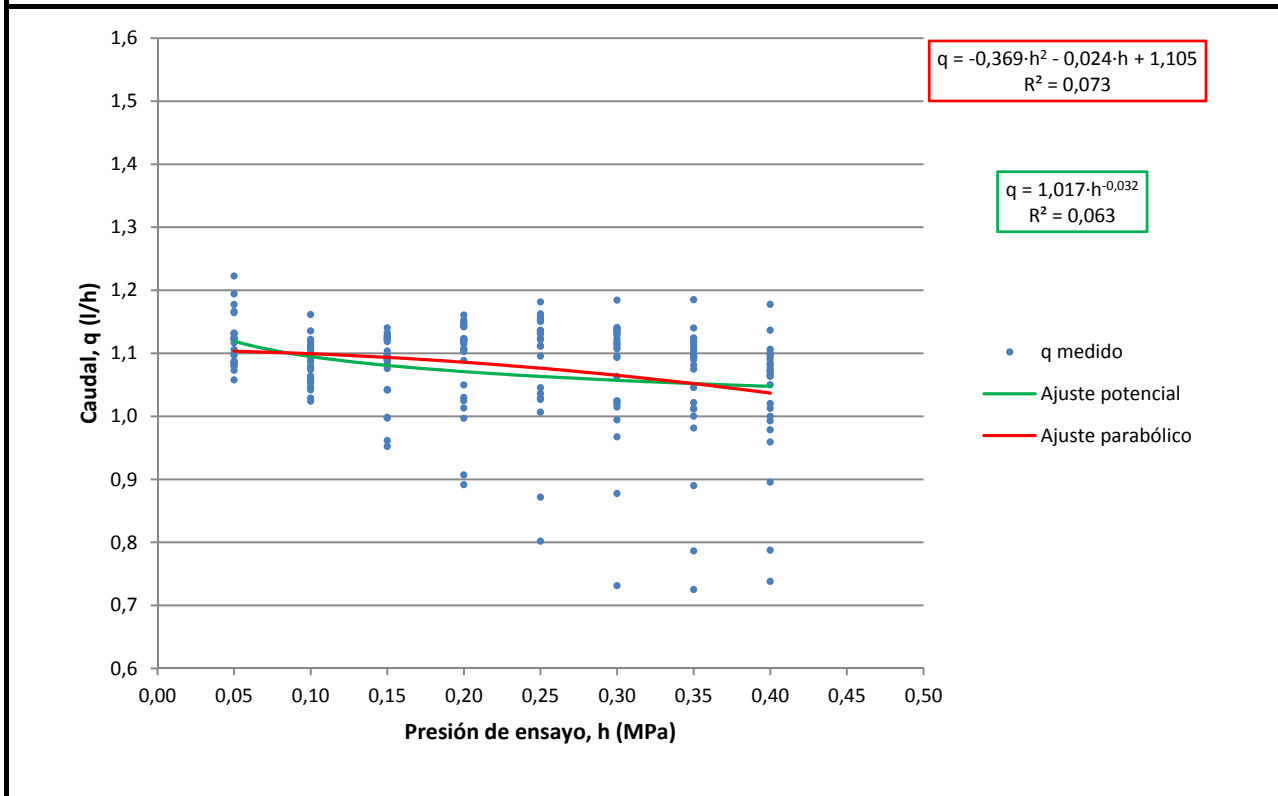


**I.3.19. Auto-11 (Azud premier line 1,1)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **1,1 l/h**  
 Caudal a presión media (250 kPa): **1,077 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,177	1,118	1,126	1,147	1,159	1,141	1,123	1,101	---	---	1,105	-0,017	1,148	0,047	-0,345
2	1,164	1,113	1,122	1,143	1,151	1,132	1,113	1,090	---	---	1,097	-0,017	1,135	0,118	-0,518
3	1,084	1,046	1,091	1,123	1,136	1,123	1,107	1,084	---	---	1,135	0,019	1,023	0,750	-1,445
4	1,073	1,042	0,997	0,997	1,006	0,994	0,981	0,959	---	---	0,930	-0,047	1,088	-0,539	0,616
5	1,222	1,161	1,128	1,050	1,045	1,024	1,022	1,013	---	---	0,918	-0,098	1,296	-1,552	2,134
6	1,166	1,122	1,132	1,148	1,155	1,139	1,124	1,106	---	---	1,111	-0,013	1,142	0,094	-0,412
7	1,086	1,029	0,998	1,013	1,027	1,019	1,012	1,000	---	---	0,974	-0,029	1,090	-0,559	0,921
8	1,117	1,104	1,042	1,030	1,036	1,024	1,011	0,993	---	---	0,951	-0,056	1,150	-0,708	0,844
9	1,123	1,062	0,952	0,891	0,802	0,731	0,725	0,738	---	---	0,582	-0,238	1,269	-2,613	3,091
10	1,122	1,077	1,098	1,118	1,121	1,107	1,090	1,067	---	---	1,083	-0,009	1,087	0,277	-0,770
11	1,131	1,080	1,089	1,105	1,112	1,095	1,081	1,064	---	---	1,064	-0,017	1,108	0,015	-0,267
12	1,194	1,135	1,096	1,088	1,096	1,063	1,046	1,020	---	---	0,975	-0,068	1,212	-0,720	0,669
13	1,106	1,074	1,103	1,123	1,132	1,115	1,098	1,077	---	---	1,107	0,002	1,063	0,505	-1,143
14	1,097	1,064	1,089	1,115	1,124	1,110	1,094	1,071	---	---	1,103	0,004	1,052	0,503	-1,097
15	1,099	1,094	1,076	1,107	1,136	1,138	1,140	1,136	---	---	1,160	0,024	1,080	0,138	0,067
16	1,087	1,056	1,083	1,103	1,111	1,093	1,075	1,050	---	---	1,080	-0,001	1,044	0,510	-1,200
17	1,079	1,058	1,096	1,122	1,136	1,114	1,094	1,073	---	---	1,120	0,013	1,023	0,801	-1,673
18	1,086	1,024	0,961	0,907	0,872	0,877	0,890	0,895	---	---	0,781	-0,109	1,185	-2,024	3,283
19	1,100	1,087	1,042	1,025	1,029	1,015	1,000	0,979	---	---	0,944	-0,054	1,125	-0,537	0,472
20	1,123	1,111	1,124	1,153	1,181	1,184	1,185	1,178	---	---	1,221	0,034	1,086	0,439	-0,467
21	1,132	1,096	1,121	1,142	1,151	1,132	1,118	1,098	---	---	1,122	-0,001	1,092	0,409	-0,954
22	1,058	1,052	1,096	1,121	1,133	1,119	1,103	1,082	---	---	1,142	0,025	0,999	0,956	-1,858
23	1,131	1,108	1,140	1,160	1,163	1,129	1,098	1,064	---	---	1,099	-0,013	1,078	0,782	-2,031
24	1,125	1,088	1,118	1,143	1,153	0,967	1,119	1,096	---	---	1,067	-0,018	1,128	-0,129	0,029
25	1,081	1,061	1,091	1,120	1,131	1,136	0,786	0,787	---	---	0,841	-0,112	0,931	2,444	-7,168
Media	1,122	1,087	1,091	1,103	1,113	1,090	1,083	1,064			1,028	-0,032	1,105	-0,024	-0,369
CV (%)	3,723	3,056	3,650	4,435	4,580	5,273	4,711	4,918			13,688	-185,09	7,257	-4335,74	-537,27
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

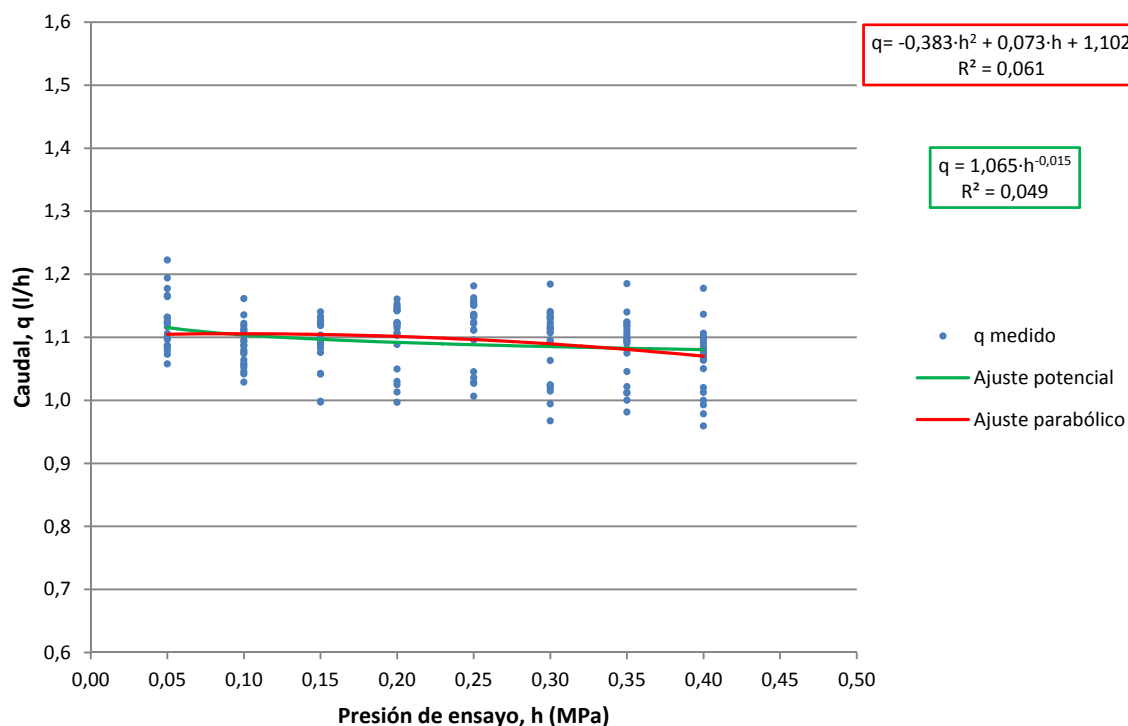


## I.3.20. Auto-11a (Azud premier line 1,1; Sin datos anómalos)

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *1,1 l/h*  
 Caudal medio: *1,094 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,177	1,118	1,126	1,147	1,159	1,141	1,123	1,101	---	---	1,105	-0,017	1,148	0,047	-0,345
2	1,164	1,113	1,122	1,143	1,151	1,132	1,113	1,090	---	---	1,097	-0,017	1,135	0,118	-0,518
3	1,084	1,046	1,091	1,123	1,136	1,123	1,107	1,084	---	---	1,135	0,019	1,023	0,750	-1,445
4	1,073	1,042	0,997	0,997	1,006	0,994	0,981	0,959	---	---	0,930	-0,047	1,088	-0,539	0,616
5	1,222	1,161	1,128	1,050	1,045	1,024	1,022	1,013	---	---	0,918	-0,098	1,296	-1,552	2,134
6	1,166	1,122	1,132	1,148	1,155	1,139	1,124	1,106	---	---	1,111	-0,013	1,142	0,094	-0,412
7	1,086	1,029	0,998	1,013	1,027	1,019	1,012	1,000	---	---	0,974	-0,029	1,090	-0,559	0,921
8	1,117	1,104	1,042	1,030	1,036	1,024	1,011	0,993	---	---	0,951	-0,056	1,150	-0,708	0,844
9	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
10	1,122	1,077	1,098	1,118	1,121	1,107	1,090	1,067	---	---	1,083	-0,009	1,087	0,277	-0,770
11	1,131	1,080	1,089	1,105	1,112	1,095	1,081	1,064	---	---	1,064	-0,017	1,108	0,015	-0,267
12	1,194	1,135	1,096	1,088	1,096	1,063	1,046	1,020	---	---	0,975	-0,068	1,212	-0,720	0,669
13	1,106	1,074	1,103	1,123	1,132	1,115	1,098	1,077	---	---	1,107	0,002	1,063	0,505	-1,143
14	1,097	1,064	1,089	1,115	1,124	1,110	1,094	1,071	---	---	1,103	0,004	1,052	0,503	-1,097
15	1,099	1,094	1,076	1,107	1,136	1,138	1,140	1,136	---	---	1,160	0,024	1,080	0,138	0,067
16	1,087	1,056	1,083	1,103	1,111	1,093	1,075	1,050	---	---	1,080	-0,001	1,044	0,510	-1,200
17	1,079	1,058	1,096	1,122	1,136	1,114	1,094	1,073	---	---	1,120	0,013	1,023	0,801	-1,673
18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19	1,100	1,087	1,042	1,025	1,029	1,015	1,000	0,979	---	---	0,944	-0,054	1,125	-0,537	0,472
20	1,123	1,111	1,124	1,153	1,181	1,184	1,185	1,178	---	---	1,221	0,034	1,086	0,439	-0,467
21	1,132	1,096	1,121	1,142	1,151	1,132	1,118	1,098	---	---	1,122	-0,001	1,092	0,409	-0,954
22	1,058	1,052	1,096	1,121	1,133	1,119	1,103	1,082	---	---	1,142	0,025	0,999	0,956	-1,858
23	1,131	1,108	1,140	1,160	1,163	1,129	1,098	1,064	---	---	1,099	-0,013	1,078	0,782	-2,031
24	1,125	1,088	1,118	1,143	1,153	0,967	1,119	1,096	---	---	1,067	-0,018	1,128	-0,129	0,029
25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Media	1,122	1,087	1,091	1,103	1,113	1,090	1,083	1,064			1,069	-0,015	1,102	0,073	-0,383
CV (%)	3,723	3,056	3,650	4,435	4,580	5,273	4,711	4,918			7,756	-213,817	5,964	858,549	-271,466
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

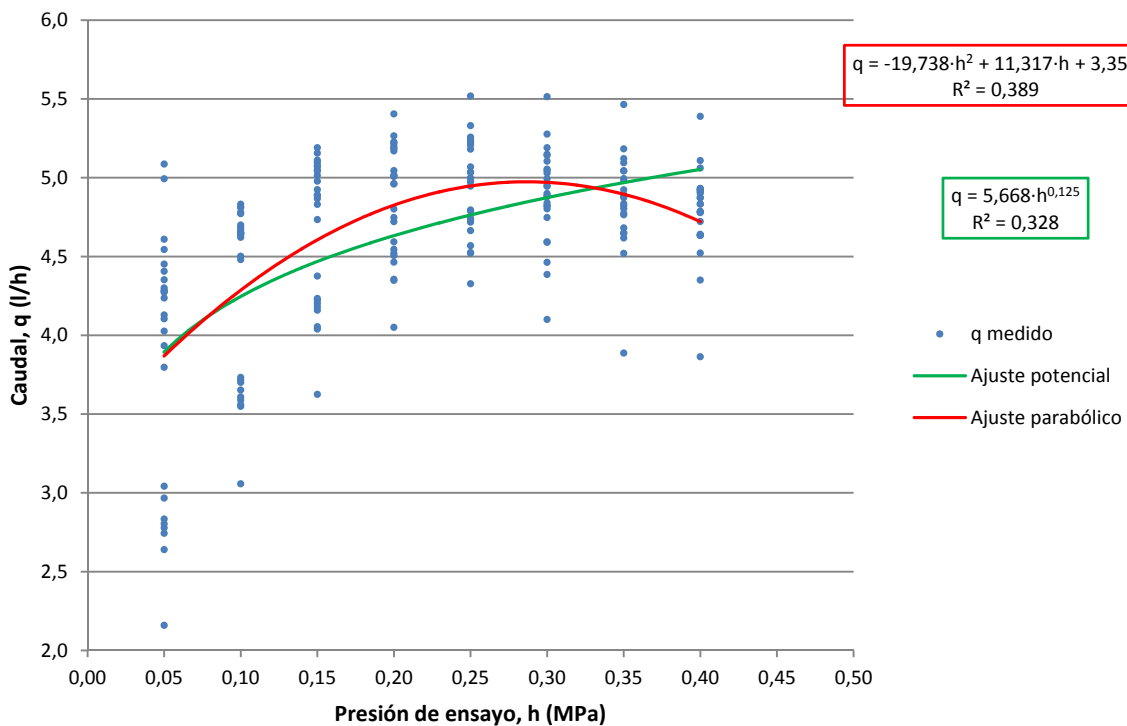


**I.3.21. Auto-12 (LBC 4)**

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Pinchado desmontable*  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **4,0 l/h**  
 Caudal medio: **4,640 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	4,993	4,831	5,072	5,207	5,239	5,190	5,121	4,873	---	---	5,184	0,014	4,655	4,524	-9,527
2	4,129	3,588	4,054	4,348	4,520	4,593	4,648	4,872	---	---	5,171	0,107	3,771	1,899	2,282
3	4,300	4,651	5,190	5,044	5,068	4,993	4,890	4,781	---	---	5,332	0,056	3,936	9,521	-19,045
4	4,452	4,780	5,110	5,226	5,224	5,104	4,994	4,911	---	---	5,440	0,054	4,070	9,138	-18,050
5	5,086	4,810	5,097	5,224	5,257	5,046	4,982	4,782	---	---	4,992	-0,005	4,756	3,921	-9,446
6	3,933	4,684	5,156	5,405	5,518	5,514	5,464	5,389	---	---	6,628	0,157	3,313	15,658	-26,715
7	3,041	3,716	4,202	4,506	4,718	4,821	4,889	4,931	---	---	6,394	0,237	2,436	14,443	-20,902
8	4,026	4,639	4,978	4,721	5,207	5,141	5,043	4,920	---	---	5,706	0,101	3,652	10,442	-18,309
9	3,796	4,480	4,831	4,962	4,974	4,879	4,765	4,640	---	---	5,487	0,099	3,326	13,046	-25,029
10	4,236	4,699	5,075	5,265	5,330	5,277	5,183	5,061	---	---	5,876	0,096	3,732	11,825	-21,589
11	4,104	4,654	5,015	5,169	4,326	4,462	3,887	3,863	---	---	4,131	-0,039	3,829	10,515	-27,612
12	4,544	4,812	4,924	5,014	4,999	4,899	4,772	4,633	---	---	4,961	0,017	4,297	6,197	-13,595
13	2,777	3,548	4,159	4,464	4,664	4,747	4,803	4,834	---	---	6,574	0,271	2,079	16,885	-25,548
14	4,272	4,669	4,867	4,959	4,946	4,821	4,681	4,521	---	---	4,994	0,035	3,942	8,630	-18,305
15	2,967	3,559	4,039	4,355	4,568	4,100	4,646	4,633	---	---	5,772	0,210	2,490	12,337	-18,160
16	4,406	4,772	5,050	5,188	5,226	5,148	5,043	4,920	---	---	5,509	0,063	4,011	9,363	-18,007
17	2,742	3,652	4,221	4,545	4,730	4,802	4,821	4,832	---	---	6,664	0,273	2,027	18,130	-28,435
18	2,640	3,608	4,233	4,592	4,795	4,888	4,923	4,931	---	---	7,019	0,301	1,858	19,589	-30,419
19	4,609	4,621	4,890	5,007	5,033	4,949	4,873	4,787	---	---	5,111	0,032	4,303	5,421	-10,613
20	4,352	4,641	4,886	5,013	5,035	4,945	4,834	4,722	---	---	5,206	0,049	4,001	8,117	-16,053
21	2,803	3,733	4,376	4,747	4,977	5,054	5,094	5,108	---	---	7,174	0,292	2,002	19,611	-30,242
22	4,279	4,502	4,734	4,801	4,788	4,386	4,519	4,350	---	---	4,633	0,012	4,045	6,190	-14,003
23	4,284	4,649	5,042	5,186	5,181	5,029	4,889	4,779	---	---	5,406	0,062	3,823	10,818	-21,594
24	2,834	3,701	4,181	4,520	4,742	4,840	4,888	4,902	---	---	6,637	0,265	2,165	16,777	-25,318
25	2,159	3,057	3,625	4,050	4,524	4,589	4,617	4,636	---	---	7,138	0,378	1,284	19,936	-29,220
Media	3,831	4,282	4,680	4,861	4,944	4,889	4,851	4,784			5,726	0,125	3,352	11,317	-19,738
CV (%)	21,419	13,103	9,751	7,344	6,019	6,154	5,899	5,843			14,513	93,434	29,561	46,314	-39,748
Normal	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

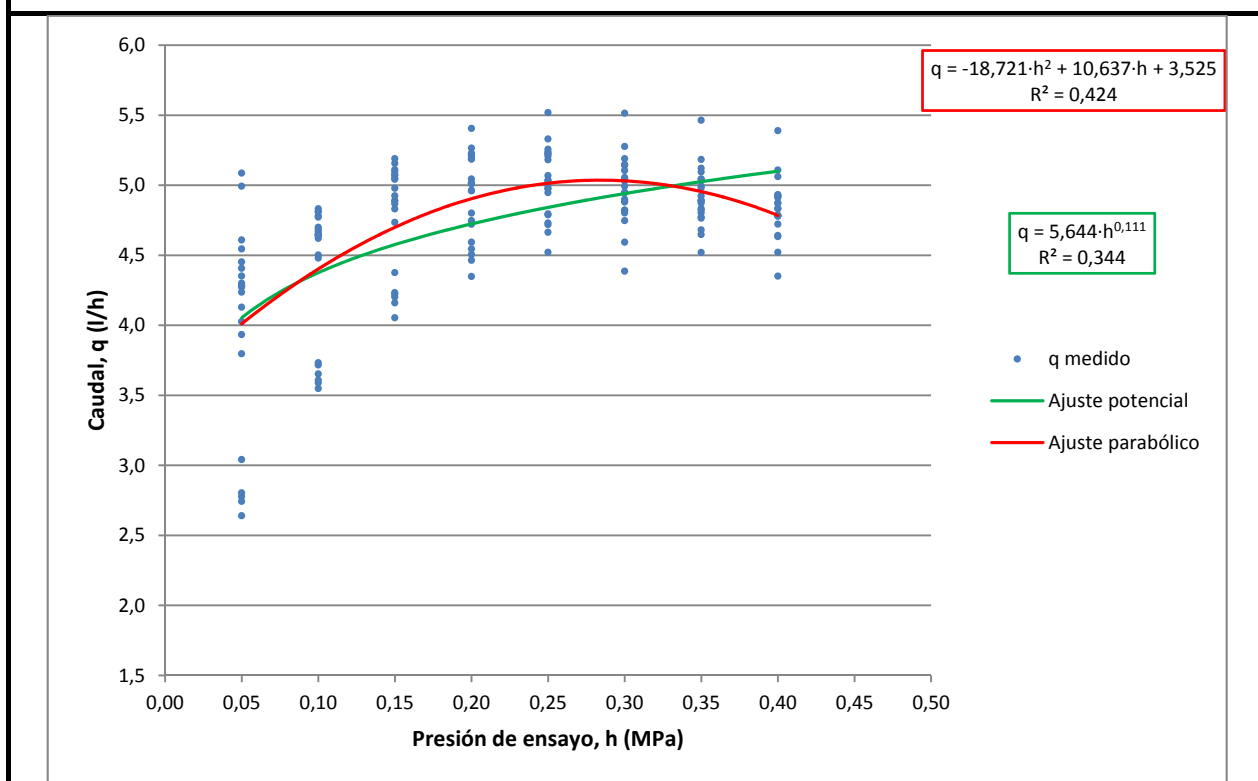


## I.3.22. Auto-12a (LBC 4; Sin datos anómalos)

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Pinchado desmontable*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *4,0 l/h*  
 Caudal medio: *4,725 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	4,993	4,831	5,072	5,207	5,239	5,190	5,121	4,873	---	---	5,184	0,014	4,655	4,524	-9,527
2	4,129	3,588	4,054	4,348	4,520	4,593	4,648	4,872	---	---	5,171	0,107	3,771	1,899	2,282
3	4,300	4,651	5,190	5,044	5,068	4,993	4,890	4,781	---	---	5,332	0,056	3,936	9,521	-19,045
4	4,452	4,780	5,110	5,226	5,224	5,104	4,994	4,911	---	---	5,440	0,054	4,070	9,138	-18,050
5	5,086	4,810	5,097	5,224	5,257	5,046	4,982	4,782	---	---	4,992	-0,005	4,756	3,921	-9,446
6	3,933	4,684	5,156	5,405	5,518	5,514	5,464	5,389	---	---	6,628	0,157	3,313	15,658	-26,715
7	3,041	3,716	4,202	4,506	4,718	4,821	4,889	4,931	---	---	6,394	0,237	2,436	14,443	-20,902
8	4,026	4,639	4,978	4,721	5,207	5,141	5,043	4,920	---	---	5,706	0,101	3,652	10,442	-18,309
9	3,796	4,480	4,831	4,962	4,974	4,879	4,765	4,640	---	---	5,487	0,099	3,326	13,046	-25,029
10	4,236	4,699	5,075	5,265	5,330	5,277	5,183	5,061	---	---	5,876	0,096	3,732	11,825	-21,589
11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12	4,544	4,812	4,924	5,014	4,999	4,899	4,772	4,633	---	---	4,961	0,017	4,297	6,197	-13,595
13	2,777	3,548	4,159	4,464	4,664	4,747	4,803	4,834	---	---	6,574	0,271	2,079	16,885	-25,548
14	4,272	4,669	4,867	4,959	4,946	4,821	4,681	4,521	---	---	4,994	0,035	3,942	8,630	-18,305
15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16	4,406	4,772	5,050	5,188	5,226	5,148	5,043	4,920	---	---	5,509	0,063	4,011	9,363	-18,007
17	2,742	3,652	4,221	4,545	4,730	4,802	4,821	4,832	---	---	6,664	0,273	2,027	18,130	-28,435
18	2,640	3,608	4,233	4,592	4,795	4,888	4,923	4,931	---	---	7,019	0,301	1,858	19,589	-30,419
19	4,609	4,621	4,890	5,007	5,033	4,949	4,873	4,787	---	---	5,111	0,032	4,303	5,421	-10,613
20	4,352	4,641	4,886	5,013	5,035	4,945	4,834	4,722	---	---	5,206	0,049	4,001	8,117	-16,053
21	2,803	3,733	4,376	4,747	4,977	5,054	5,094	5,108	---	---	7,174	0,292	2,002	19,611	-30,242
22	4,279	4,502	4,734	4,801	4,788	4,386	4,519	4,350	---	---	4,633	0,012	4,045	6,190	-14,003
23	4,284	4,649	5,042	5,186	5,181	5,029	4,889	4,779	---	---	5,406	0,062	3,823	10,818	-21,594
24	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Media	3,986	4,385	4,769	4,925	5,020	4,963	4,916	4,837			5,689	0,111	3,525	10,637	-18,721
CV (%)	18,642	11,212	8,051	6,171	5,005	4,852	4,190	4,411			13,139	92,076	25,592	49,026	-42,565
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	NO	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

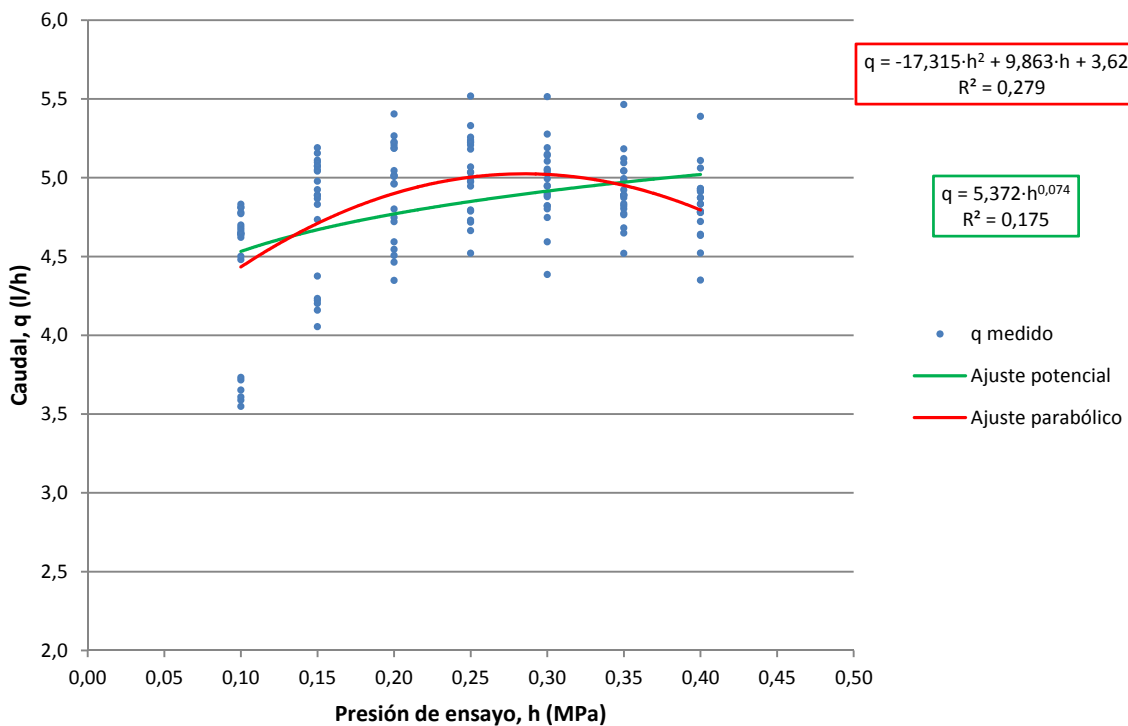


**I.3.23. Auto-12ac (LBC 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación)**

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Pinchado desmontable*  
 Rango de regulación: *100 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *4,0 l/h*  
 Caudal medio: *4,831 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	---	4,831	5,072	5,207	5,239	5,190	5,121	4,873	---	---	5,218	0,019	4,134	8,773	-17,253
2	---	3,588	4,054	4,348	4,520	4,593	4,648	4,872	---	---	5,903	0,205	2,780	9,975	-12,401
3	---	4,651	5,190	5,044	5,068	4,993	4,890	4,781	---	---	4,987	0,006	4,185	7,493	-15,357
4	---	4,780	5,110	5,226	5,224	5,104	4,994	4,911	---	---	5,159	0,015	4,184	8,203	-16,350
5	---	4,810	5,097	5,224	5,257	5,046	4,982	4,782	---	---	5,019	-0,001	4,146	8,886	-18,474
6	---	4,684	5,156	5,405	5,518	5,514	5,464	5,389	---	---	6,156	0,101	3,682	12,650	-21,245
7	---	3,716	4,202	4,506	4,718	4,821	4,889	4,931	---	---	6,112	0,204	2,684	12,421	-17,225
8	---	4,639	4,978	4,721	5,207	5,141	5,043	4,920	---	---	5,349	0,053	4,046	7,230	-12,470
9	---	4,480	4,831	4,962	4,974	4,879	4,765	4,640	---	---	4,963	0,024	3,787	9,287	-18,193
10	---	4,699	5,075	5,265	5,330	5,277	5,183	5,061	---	---	5,566	0,056	3,857	10,800	-19,726
11	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
12	---	4,812	4,924	5,014	4,999	4,899	4,772	4,633	---	---	4,711	-0,022	4,408	5,291	-11,948
13	---	3,548	4,159	4,464	4,664	4,747	4,803	4,834	---	---	6,118	0,217	2,396	14,300	-20,848
14	---	4,669	4,867	4,959	4,946	4,821	4,681	4,521	---	---	4,645	-0,019	4,157	6,878	-15,119
15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16	---	4,772	5,050	5,188	5,226	5,148	5,043	4,920	---	---	5,238	0,025	4,117	8,498	-16,435
17	---	3,652	4,221	4,545	4,730	4,802	4,821	4,832	---	---	6,035	0,199	2,488	14,372	-21,603
18	---	3,608	4,233	4,592	4,795	4,888	4,923	4,931	---	---	6,314	0,222	2,327	15,764	-23,465
19	---	4,621	4,890	5,007	5,033	4,949	4,873	4,787	---	---	5,060	0,025	4,066	7,351	-14,121
20	---	4,641	4,886	5,013	5,035	4,945	4,834	4,722	---	---	4,972	0,015	4,055	7,670	-15,241
21	---	3,733	4,376	4,747	4,977	5,054	5,094	5,108	---	---	6,545	0,223	2,403	16,346	-24,305
22	---	4,502	4,734	4,801	4,788	4,386	4,519	4,350	---	---	4,360	-0,033	4,202	4,913	-11,681
23	---	4,649	5,042	5,186	5,181	5,029	4,889	4,779	---	---	5,071	0,015	3,920	10,023	-20,150
24	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
25	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Media		4,385	4,769	4,925	5,020	4,963	4,916	4,837			5,405	0,074	3,620	9,863	-17,315
CV (%)		11,212	8,051	6,171	5,005	4,852	4,190	4,411			11,393	127,266	20,426	33,411	-21,686
Normal		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI			SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**



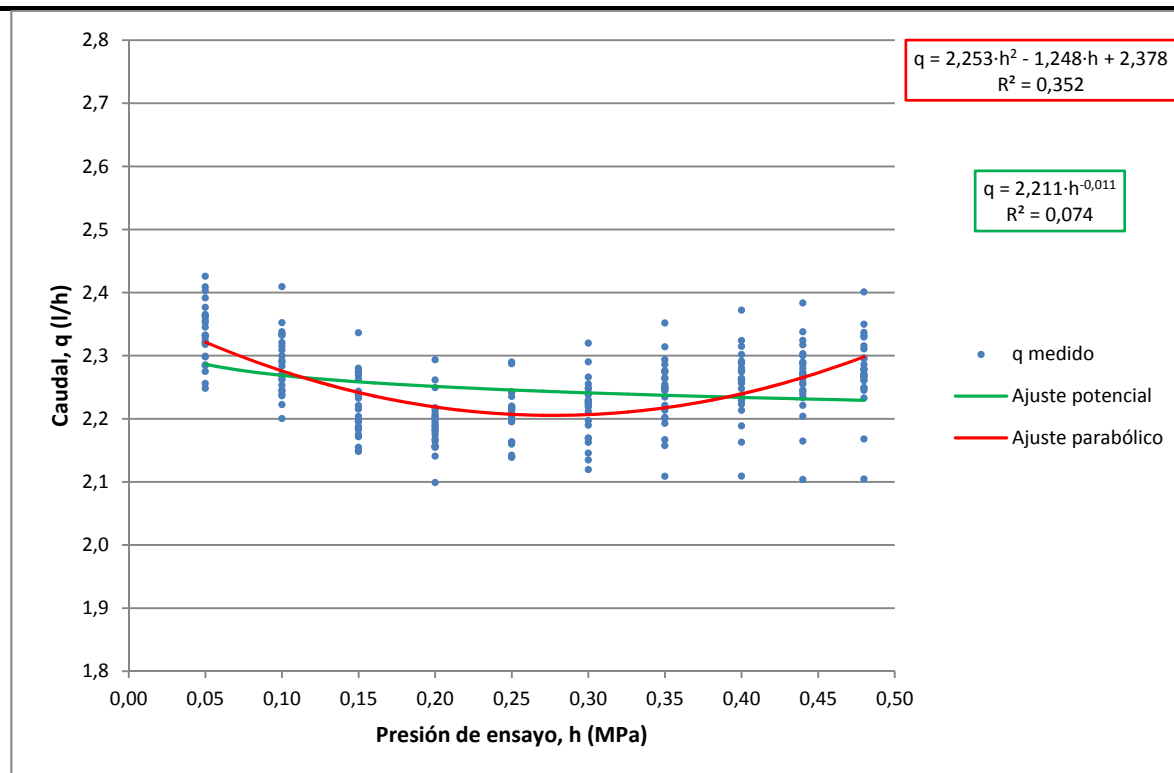


## I.3.24. Auto-13 (Azud premier line 2.3L 9261)

Tipo: *Autocompensante*Conexión: *Integrado*Rango de regulación: *50 – 400 kPa*Caudal nominal: *2,3 l/h*Caudal medio: *2,249 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	2,319	2,262	2,186	2,155	2,162	2,170	2,202	2,223	2,233	2,249	2,168	-0,015	2,375	-1,512	2,702
2	2,299	2,239	2,148	2,099	2,139	2,163	2,201	2,229	2,245	2,260	2,180	-0,006	2,354	-1,651	3,179
3	2,318	2,269	2,195	2,168	2,206	2,219	2,244	2,256	2,257	2,266	2,215	-0,007	2,346	-1,082	2,019
4	2,332	2,292	2,221	2,182	2,220	2,238	2,263	2,277	2,287	2,337	2,255	-0,003	2,381	-1,308	2,563
5	2,409	2,290	2,273	2,214	2,195	2,212	2,234	2,248	2,255	2,262	2,172	-0,026	2,458	-1,666	2,729
6	2,321	2,271	2,196	2,157	2,160	2,168	2,193	2,213	2,221	2,233	2,152	-0,019	2,382	-1,509	2,593
7	2,365	2,309	2,238	2,189	2,205	2,190	2,214	2,236	2,244	2,250	2,165	-0,024	2,429	-1,563	2,576
8	2,275	2,253	2,204	2,193	2,242	2,266	2,294	2,315	2,324	2,333	2,319	0,015	2,280	-0,533	1,439
9	2,426	2,409	2,336	2,293	2,287	2,290	2,314	2,324	2,338	2,350	2,272	-0,019	2,496	-1,361	2,261
10	2,256	2,222	2,155	2,156	2,203	2,221	2,249	2,264	2,274	2,286	2,260	0,010	2,264	-0,689	1,629
11	2,362	2,335	2,275	2,262	2,290	2,320	2,352	2,372	2,383	2,401	2,365	0,009	2,385	-0,843	1,918
12	2,285	2,245	2,187	2,188	2,218	2,223	2,247	2,258	2,263	2,269	2,239	0,000	2,296	-0,711	1,450
13	2,298	2,245	2,171	2,155	2,139	2,135	2,167	2,189	2,204	2,267	2,148	-0,015	2,376	-1,724	3,105
14	2,329	2,262	2,183	2,141	2,142	2,145	2,157	2,163	2,165	2,168	2,083	-0,032	2,386	-1,565	2,409
15	2,332	2,283	2,215	2,184	2,196	2,197	2,221	2,230	2,239	2,245	2,178	-0,017	2,378	-1,269	2,154
16	2,363	2,315	2,239	2,197	2,214	2,240	2,274	2,291	2,300	2,311	2,242	-0,009	2,413	-1,401	2,599
17	2,345	2,300	2,232	2,204	2,208	2,240	2,265	2,281	2,289	2,295	2,237	-0,008	2,386	-1,213	2,246
18	2,403	2,352	2,269	2,208	2,163	2,119	2,109	2,109	2,104	2,104	1,983	-0,067	2,507	-1,952	2,337
19	2,323	2,270	2,187	2,175	2,208	2,227	2,254	2,262	2,270	2,277	2,227	-0,005	2,348	-1,094	2,091
20	2,353	2,338	2,263	2,217	2,235	2,229	2,248	2,274	2,280	2,271	2,214	-0,017	2,411	-1,206	2,017
21	2,248	2,200	2,150	2,165	2,218	2,255	2,286	2,302	2,317	2,329	2,323	0,023	2,233	-0,467	1,504
22	2,356	2,333	2,280	2,249	2,243	2,247	2,276	2,289	2,303	2,315	2,252	-0,011	2,410	-1,137	2,015
23	2,376	2,321	2,237	2,201	2,206	2,225	2,248	2,263	2,270	2,278	2,200	-0,019	2,432	-1,519	2,611
24	2,391	2,332	2,243	2,202	2,216	2,229	2,251	2,263	2,269	2,278	2,195	-0,022	2,448	-1,580	2,665
25	2,284	2,236	2,175	2,179	2,218	2,249	2,276	2,288	2,290	2,296	2,277	0,008	2,282	-0,644	1,522
Media	2,335	2,287	2,218	2,189	2,205	2,217	2,242	2,257	2,265	2,277	2,213	-0,011	2,378	-1,248	2,253
CV (%)	2,004	2,079	2,134	1,830	1,781	2,140	2,304	2,361	2,462	2,544	3,551	-160,828	2,880	-32,456	21,974
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

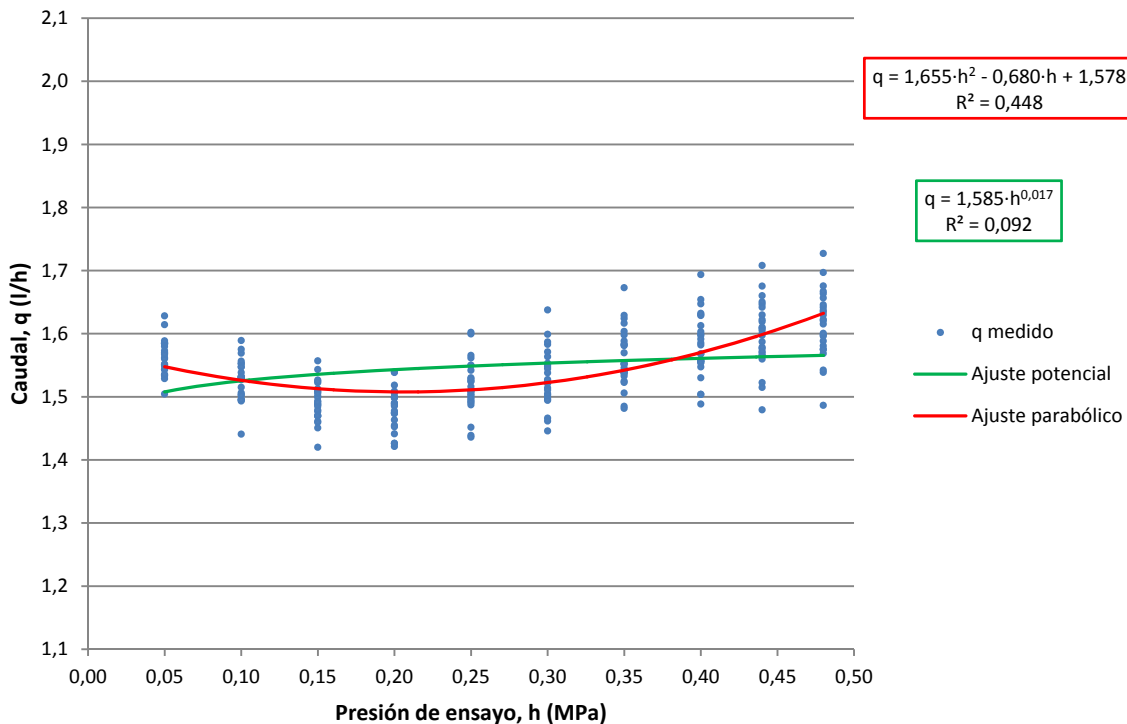


**I.3.25. Auto-14 (Azud premier line 1.6L 9261)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **1,6 l/h**  
 Caudal medio: **1,547 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,585	1,538	1,493	1,499	1,524	1,502	1,539	1,568	1,597	1,623	1,566	0,008	1,617	-0,983	2,117
2	1,543	1,493	1,477	1,426	1,452	1,466	1,485	1,489	1,479	1,486	1,451	-0,013	1,560	-0,744	1,304
3	1,586	1,547	1,501	1,473	1,491	1,499	1,533	1,557	1,577	1,596	1,537	0,001	1,628	-1,107	2,242
4	1,569	1,531	1,488	1,499	1,550	1,583	1,624	1,654	1,675	1,697	1,687	0,041	1,565	-0,531	1,784
5	1,585	1,553	1,499	1,490	1,525	1,548	1,582	1,599	1,619	1,642	1,604	0,017	1,605	-0,818	1,940
6	1,533	1,495	1,469	1,475	1,530	1,571	1,603	1,629	1,647	1,663	1,668	0,045	1,516	-0,310	1,384
7	1,580	1,530	1,487	1,455	1,495	1,514	1,553	1,585	1,609	1,634	1,580	0,016	1,613	-1,109	2,496
8	1,584	1,532	1,470	1,441	1,487	1,505	1,537	1,557	1,578	1,598	1,542	0,006	1,615	-1,145	2,411
9	1,584	1,553	1,527	1,490	1,504	1,521	1,546	1,557	1,569	1,581	1,539	-0,001	1,614	-0,815	1,620
10	1,614	1,569	1,522	1,499	1,503	1,496	1,525	1,547	1,560	1,568	1,507	-0,014	1,659	-1,146	2,069
11	1,549	1,515	1,508	1,538	1,599	1,637	1,673	1,693	1,708	1,727	1,763	0,060	1,505	0,155	0,720
12	1,573	1,529	1,485	1,487	1,516	1,526	1,552	1,568	1,587	1,601	1,567	0,011	1,586	-0,724	1,646
13	1,570	1,556	1,510	1,499	1,528	1,551	1,588	1,613	1,630	1,646	1,620	0,022	1,591	-0,673	1,721
14	1,551	1,527	1,505	1,518	1,561	1,587	1,616	1,630	1,642	1,657	1,665	0,036	1,534	-0,134	0,880
15	1,504	1,441	1,420	1,452	1,510	1,545	1,581	1,597	1,610	1,630	1,644	0,049	1,465	-0,150	1,128
16	1,562	1,532	1,525	1,509	1,542	1,564	1,598	1,632	1,650	1,667	1,653	0,032	1,569	-0,491	1,523
17	1,551	1,506	1,470	1,421	1,439	1,446	1,482	1,504	1,522	1,539	1,474	-0,006	1,600	-1,220	2,356
18	1,543	1,503	1,479	1,506	1,566	1,599	1,629	1,647	1,660	1,676	1,696	0,048	1,509	-0,049	0,918
19	1,529	1,496	1,450	1,463	1,508	1,538	1,570	1,591	1,605	1,620	1,613	0,033	1,522	-0,437	1,433
20	1,534	1,495	1,461	1,475	1,602	1,553	1,584	1,603	1,622	1,637	1,646	0,038	1,503	-0,074	0,792
21	1,560	1,530	1,491	1,478	1,493	1,523	1,552	1,582	1,600	1,615	1,580	0,016	1,585	-0,815	1,915
22	1,628	1,589	1,543	1,506	1,509	1,494	1,523	1,554	1,572	1,588	1,511	-0,017	1,690	-1,337	2,398
23	1,567	1,547	1,513	1,485	1,498	1,511	1,539	1,554	1,565	1,575	1,538	0,001	1,598	-0,764	1,559
24	1,589	1,575	1,557	1,539	1,550	1,527	1,539	1,530	1,565	1,575	1,532	-0,010	1,621	-0,596	1,026
25	1,535	1,502	1,460	1,426	1,436	1,462	1,506	1,504	1,515	1,542	1,488	0,000	1,571	-0,985	1,985
Media	1,564	1,527	1,492	1,482	1,517	1,531	1,562	1,582	1,599	1,615	1,587	0,017	1,578	-0,680	1,655
CV (%)	1,782	2,091	2,039	2,169	2,761	2,926	2,945	3,149	3,235	3,303	4,898	134,914	3,392	-60,607	32,736
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

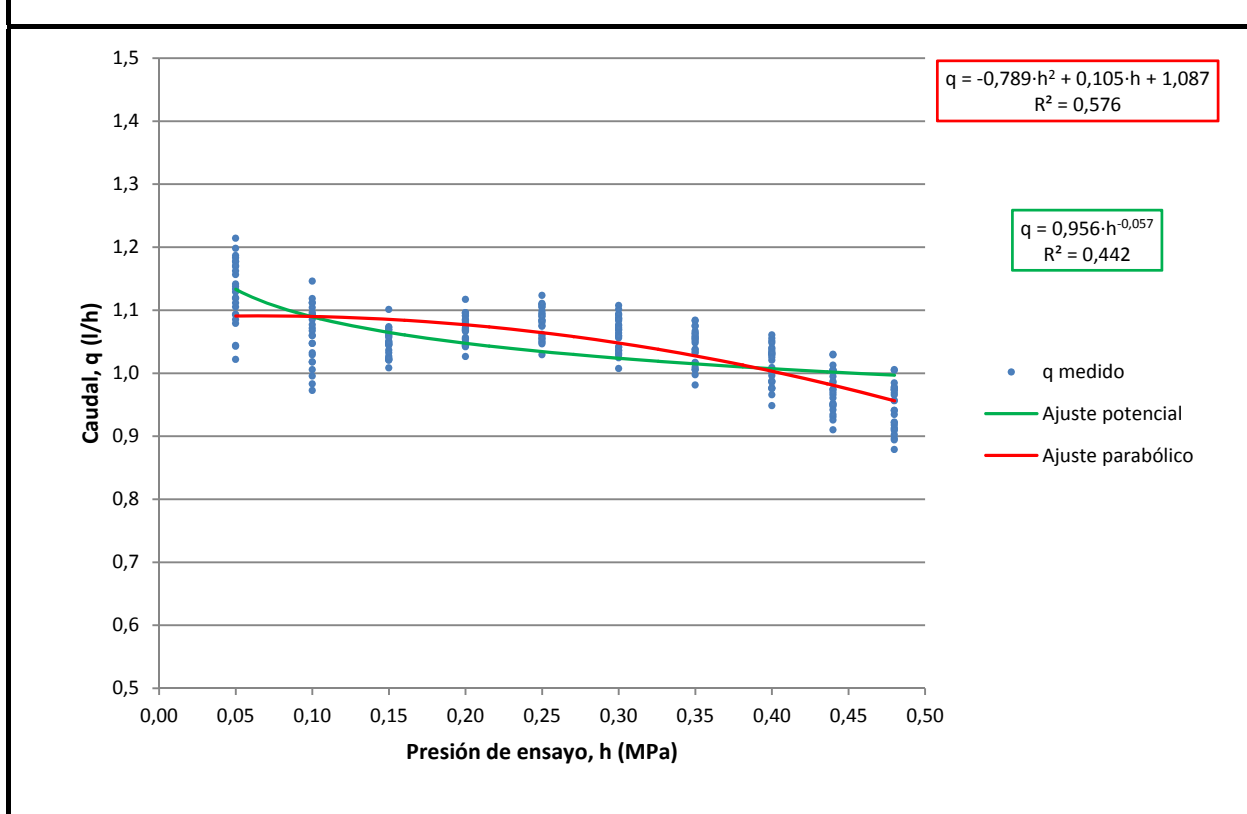


## I.3.26. Auto-15 (Azud premier line 1.0L 9261)

Tipo: *Autocompensante*Conexión: *Integrado*Rango de regulación: *50 – 400 kPa*Caudal nominal: *1,0 l/h*Caudal medio: *1,042 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	1,093	1,047	1,049	1,080	1,090	1,064	1,038	1,005	0,961	0,913	0,955	-0,053	1,035	0,566	-1,655
2	1,129	1,060	1,059	1,091	1,109	1,092	1,076	1,051	1,029	1,005	1,023	-0,030	1,080	0,214	-0,728
3	1,119	1,029	1,023	1,045	1,051	1,031	1,006	0,976	0,931	0,897	0,908	-0,071	1,071	0,059	-0,819
4	1,156	1,112	1,061	1,083	1,095	1,077	1,057	1,035	1,005	0,977	0,976	-0,058	1,137	-0,153	-0,314
5	1,187	1,104	1,074	1,096	1,106	1,086	1,064	1,038	1,003	0,974	0,971	-0,066	1,154	-0,182	-0,337
6	1,093	1,018	1,037	1,055	1,062	1,041	1,016	0,986	0,942	0,909	0,933	-0,056	1,038	0,341	-1,233
7	1,022	0,972	1,008	1,027	1,029	1,007	0,981	0,948	0,910	0,879	0,914	-0,045	0,966	0,613	-1,647
8	1,105	1,032	1,021	1,044	1,054	1,036	1,016	0,987	0,952	0,922	0,933	-0,057	1,063	0,082	-0,727
9	1,214	1,146	1,101	1,117	1,123	1,107	1,083	1,055	1,013	0,985	0,979	-0,074	1,190	-0,239	-0,330
10	1,141	1,071	1,027	1,057	1,085	1,075	1,055	1,029	1,005	0,975	0,981	-0,046	1,103	-0,084	-0,298
11	1,198	1,112	1,072	1,085	1,098	1,083	1,059	1,030	0,985	0,957	0,951	-0,077	1,168	-0,274	-0,270
12	1,112	1,067	1,044	1,070	1,080	1,060	1,034	0,996	0,948	0,918	0,938	-0,064	1,068	0,294	-1,232
13	1,169	1,093	1,051	1,072	1,084	1,069	1,048	1,021	0,975	0,941	0,944	-0,072	1,135	-0,151	-0,441
14	1,183	1,118	1,069	1,091	1,105	1,088	1,067	1,040	1,001	0,969	0,969	-0,067	1,155	-0,173	-0,368
15	1,162	1,085	1,045	1,069	1,083	1,068	1,054	1,032	0,995	0,966	0,966	-0,059	1,130	-0,200	-0,212
16	1,178	1,093	1,046	1,068	1,075	1,056	1,032	1,001	0,966	0,935	0,925	-0,080	1,152	-0,329	-0,183
17	1,120	1,047	1,022	1,043	1,049	1,029	1,005	0,975	0,934	0,902	0,907	-0,072	1,084	-0,043	-0,640
18	1,138	1,059	1,069	1,096	1,109	1,094	1,075	1,048	0,974	0,973	0,991	-0,047	1,076	0,371	-1,214
19	1,177	1,097	1,063	1,084	1,094	1,086	1,062	1,032	1,004	0,978	0,973	-0,061	1,146	-0,208	-0,230
20	1,079	1,018	1,057	1,095	1,111	1,101	1,084	1,061	1,030	1,005	1,053	-0,006	1,005	0,732	-1,501
21	1,085	1,006	1,021	1,042	1,047	1,024	0,997	0,966	0,926	0,894	0,913	-0,060	1,033	0,272	-1,134
22	1,134	1,077	1,046	1,066	1,074	1,059	1,038	1,009	0,969	0,941	0,948	-0,062	1,102	-0,004	-0,634
23	1,171	1,092	1,048	1,076	1,090	1,072	1,051	1,025	0,987	0,956	0,956	-0,066	1,137	-0,180	-0,330
24	1,044	0,995	1,033	1,054	1,059	1,041	1,017	0,987	0,949	0,911	0,956	-0,035	0,982	0,693	-1,723
25	1,043	0,983	1,024	1,049	1,056	1,035	1,009	0,977	0,951	0,921	0,956	-0,032	0,982	0,608	-1,525
Media	1,130	1,061	1,047	1,070	1,081	1,063	1,041	1,012	0,974	0,944	0,957	-0,057	1,087	0,105	-0,789
CV (%)	4,520	4,303	2,070	2,061	2,262	2,511	2,750	3,071	3,398	3,819	3,586	-30,120	5,829	322,374	-67,609
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

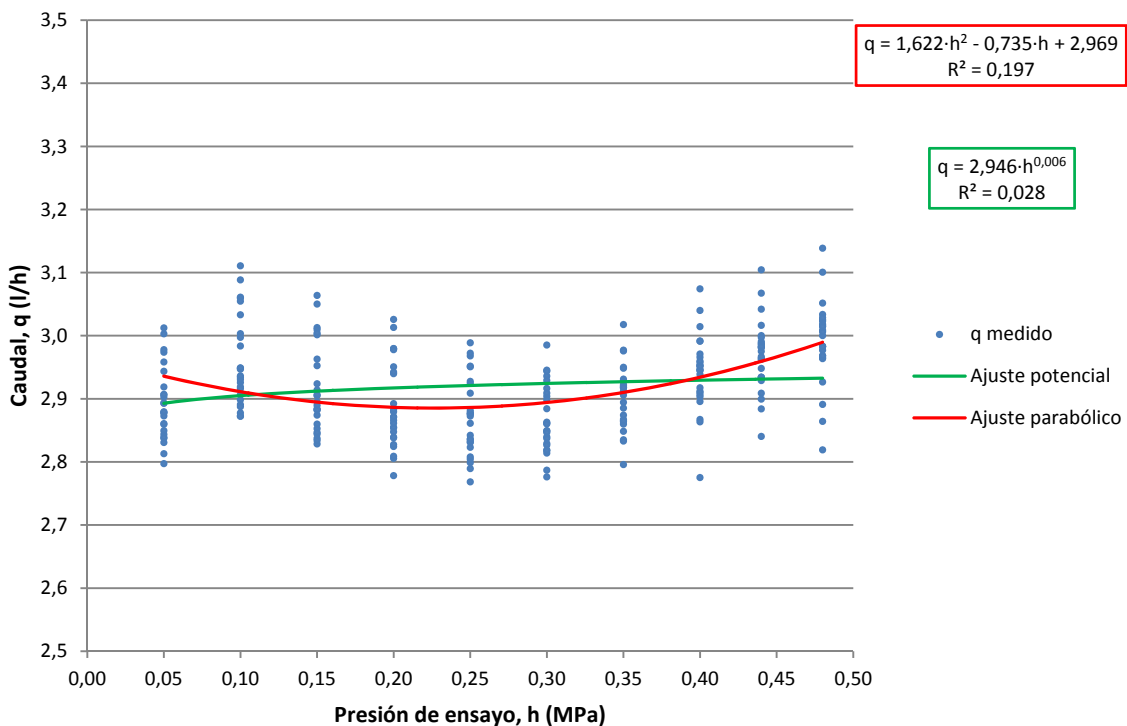


**I.3.27. Auto-16 (Azud premier line 3.0L 9261)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de regulación: **50 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **3,0 l/h**  
 Caudal medio: **2,920 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	2,878	2,926	2,874	2,854	2,831	2,814	2,864	2,910	2,934	2,977	2,906	0,005	2,966	-1,066	2,247
2	3,012	3,110	3,064	3,026	2,968	2,945	2,976	3,040	3,067	3,101	3,023	-0,002	3,134	-1,093	2,076
3	2,907	2,934	2,884	2,855	2,878	2,904	2,950	2,991	3,016	3,052	3,012	0,017	2,958	-0,823	2,168
4	2,837	2,919	2,895	2,866	2,836	2,819	2,860	2,906	2,934	2,964	2,918	0,008	2,922	-0,664	1,525
5	2,843	2,916	2,889	2,871	2,872	2,884	2,931	2,966	2,990	3,023	3,007	0,020	2,894	-0,350	1,281
6	2,849	2,947	2,905	2,879	2,861	2,849	2,835	2,867	2,899	2,927	2,879	-0,001	2,930	-0,491	0,916
7	2,943	2,983	2,924	2,892	2,876	2,861	2,912	2,953	2,964	3,009	2,933	0,000	3,031	-1,156	2,300
8	2,903	2,948	2,906	2,883	2,876	2,863	2,921	2,953	2,987	3,025	2,969	0,010	2,977	-0,893	2,058
9	2,906	2,949	2,914	2,871	2,881	2,839	2,867	2,912	2,934	2,965	2,901	-0,001	2,985	-0,905	1,766
10	2,860	2,891	2,844	2,805	2,799	2,818	2,865	2,903	2,929	2,968	2,907	0,009	2,934	-1,053	2,364
11	2,919	3,003	2,963	2,940	2,928	2,936	2,977	3,014	3,042	3,018	3,023	0,011	2,972	-0,321	0,958
12	2,860	3,033	3,001	2,951	2,924	2,929	2,948	2,991	3,000	3,000	3,006	0,010	2,942	0,009	0,207
13	2,797	2,872	2,828	2,778	2,768	2,776	2,796	2,775	2,840	2,819	2,790	-0,004	2,866	-0,571	1,007
14	2,893	2,997	2,952	2,942	2,909	2,898	2,922	2,958	2,981	2,983	2,965	0,005	2,963	-0,346	0,796
15	2,893	2,930	2,883	2,861	2,842	2,837	2,874	2,917	2,948	2,983	2,917	0,005	2,973	-1,027	2,176
16	2,974	3,061	3,013	2,980	2,972	2,944	2,928	2,960	2,986	3,034	2,963	-0,005	3,064	-0,702	1,200
17	2,877	2,906	2,853	2,824	2,804	2,829	2,885	2,945	2,962	3,006	2,941	0,012	2,957	-1,186	2,726
18	2,839	2,898	2,860	2,838	2,808	2,849	2,906	2,946	2,975	3,016	2,975	0,019	2,909	-0,782	2,108
19	2,978	3,060	3,010	2,979	2,951	2,916	2,917	2,945	2,981	2,968	2,923	-0,011	3,064	-0,686	1,000
20	2,873	2,887	2,837	2,809	2,789	2,787	2,833	2,863	2,884	2,864	2,828	-0,003	2,933	-0,941	1,777
21	2,958	3,054	3,004	2,978	2,951	2,909	2,919	2,951	2,983	3,015	2,948	-0,005	3,057	-0,753	1,285
22	3,003	3,088	3,050	3,013	2,989	2,985	3,018	3,074	3,104	3,139	3,084	0,008	3,096	-0,831	1,885
23	2,879	2,936	2,882	2,848	2,832	2,826	2,848	2,895	2,909	2,891	2,862	-0,003	2,948	-0,745	1,383
24	2,831	2,877	2,847	2,839	2,836	2,847	2,894	2,939	2,966	2,983	2,966	0,019	2,876	-0,486	1,516
25	2,813	2,872	2,834	2,827	2,823	2,860	2,918	2,971	2,997	3,029	3,015	0,028	2,861	-0,507	1,832
Media	2,893	2,960	2,917	2,888	2,872	2,869	2,902	2,942	2,969	2,990	2,946	0,006	2,969	-0,735	1,622
CV (%)	2,008	2,425	2,432	2,370	2,175	1,875	1,756	2,042	1,908	2,244	2,266	157,709	2,393	-40,761	37,513
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

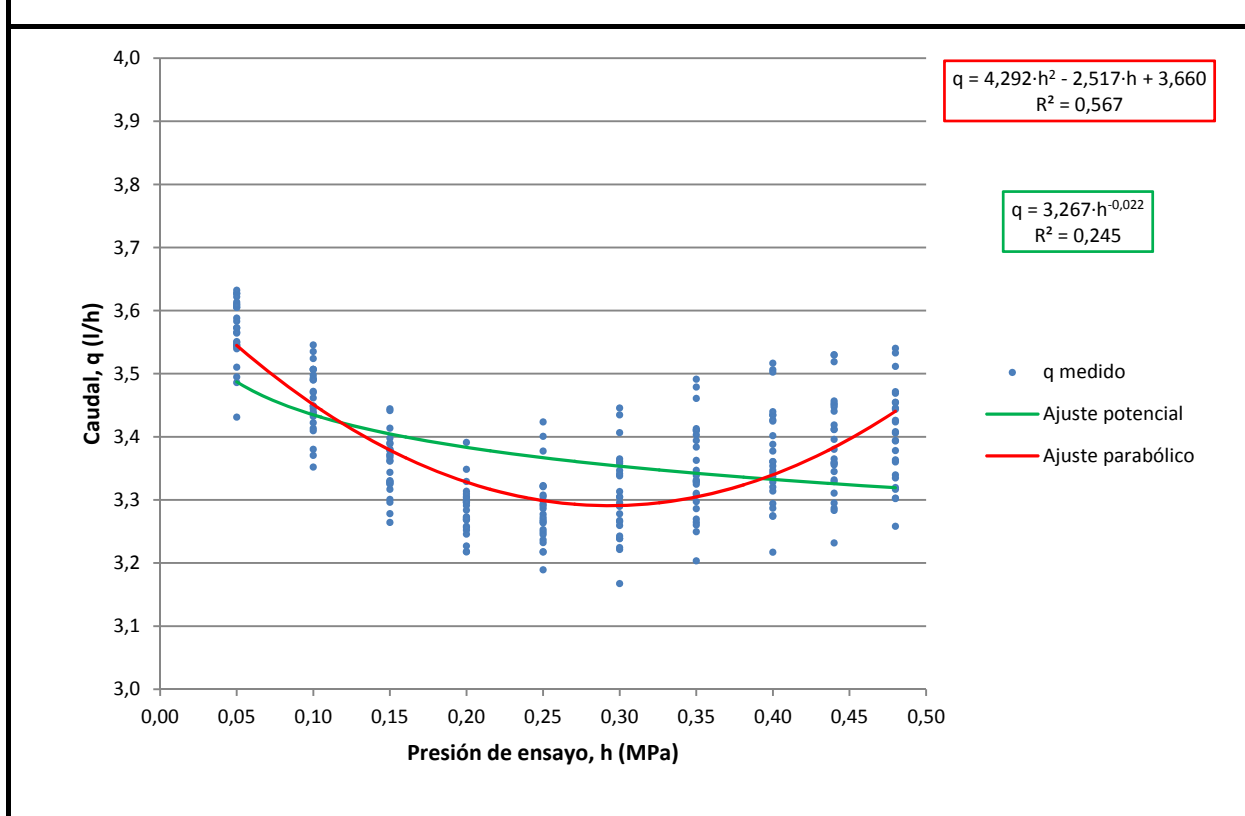


## I.3.28. Auto-17 (Azud premier line 3.5L 9261)

Tipo: *Autocompensante*Conexión: *Integrado*Rango de regulación: *50 – 400 kPa*Caudal nominal: *3,5 l/h*Caudal medio: *3,376 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	K	x	A	B	C
1	3,545	3,432	3,317	3,218	3,218	3,238	3,270	3,294	3,287	3,317	3,159	-0,032	3,655	-2,813	4,542
2	3,605	3,545	3,444	3,391	3,423	3,435	3,479	3,506	3,529	3,511	3,436	-0,010	3,667	-1,763	3,202
3	3,613	3,490	3,389	3,314	3,263	3,238	3,264	3,275	3,283	3,302	3,126	-0,045	3,739	-2,933	4,300
4	3,431	3,352	3,278	3,269	3,377	3,406	3,461	3,502	3,519	3,540	3,517	0,020	3,422	-0,953	2,683
5	3,627	3,498	3,370	3,299	3,249	3,313	3,363	3,388	3,412	3,423	3,262	-0,026	3,743	-3,101	5,293
6	3,539	3,422	3,326	3,258	3,217	3,267	3,310	3,328	3,345	3,393	3,230	-0,022	3,646	-2,759	4,759
7	3,610	3,472	3,328	3,252	3,305	3,338	3,394	3,425	3,451	3,469	3,325	-0,015	3,696	-2,871	5,241
8	3,588	3,507	3,398	3,305	3,277	3,295	3,339	3,360	3,411	3,445	3,268	-0,025	3,730	-2,989	5,095
9	3,545	3,437	3,325	3,227	3,189	3,167	3,203	3,217	3,232	3,258	3,070	-0,044	3,689	-3,138	4,760
10	3,583	3,493	3,378	3,284	3,266	3,290	3,329	3,337	3,356	3,394	3,227	-0,029	3,707	-2,826	4,634
11	3,564	3,449	3,344	3,272	3,245	3,243	3,286	3,314	3,331	3,339	3,187	-0,031	3,676	-2,789	4,509
12	3,495	3,380	3,301	3,291	3,401	3,446	3,491	3,516	3,530	3,533	3,512	0,014	3,470	-1,025	2,643
13	3,627	3,524	3,413	3,303	3,293	3,290	3,331	3,354	3,365	3,378	3,214	-0,035	3,755	-2,952	4,667
14	3,551	3,413	3,296	3,246	3,321	3,346	3,384	3,402	3,419	3,426	3,327	-0,011	3,590	-2,121	3,929
15	3,622	3,507	3,390	3,309	3,286	3,305	3,347	3,377	3,396	3,406	3,249	-0,029	3,738	-2,921	4,825
16	3,486	3,409	3,362	3,329	3,322	3,365	3,413	3,435	3,453	3,471	3,399	-0,001	3,530	-1,470	2,935
17	3,573	3,462	3,361	3,273	3,237	3,265	3,309	3,342	3,358	3,360	3,212	-0,029	3,688	-2,833	4,675
18	3,549	3,445	3,330	3,256	3,232	3,221	3,260	3,287	3,311	3,319	3,160	-0,033	3,670	-2,849	4,559
19	3,542	3,448	3,367	3,297	3,307	3,358	3,410	3,434	3,447	3,454	3,359	-0,009	3,607	-2,032	3,771
20	3,566	3,470	3,380	3,296	3,268	3,278	3,329	3,360	3,380	3,408	3,252	-0,024	3,685	-2,724	4,600
21	3,510	3,370	3,264	3,217	3,322	3,361	3,410	3,426	3,440	3,443	3,375	0,000	3,521	-1,769	3,611
22	3,605	3,490	3,380	3,296	3,253	3,259	3,297	3,320	3,329	3,335	3,174	-0,037	3,727	-2,931	4,565
23	3,573	3,439	3,329	3,268	3,299	3,341	3,403	3,440	3,457	3,455	3,348	-0,010	3,636	-2,421	4,530
24	3,632	3,507	3,372	3,270	3,272	3,305	3,325	3,347	3,359	3,363	3,204	-0,035	3,745	-3,028	4,858
25	3,608	3,535	3,441	3,348	3,290	3,224	3,249	3,274	3,295	3,303	3,123	-0,048	3,765	-2,915	4,116
Media	3,568	3,460	3,355	3,284	3,285	3,304	3,346	3,370	3,388	3,402	3,269	-0,022	3,660	-2,517	4,292
CV (%)	1,405	1,477	1,381	2,472	1,702	2,069	2,210	2,289	2,339	2,202	3,615	-80,649	2,486	-26,545	19,741
Normal	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR

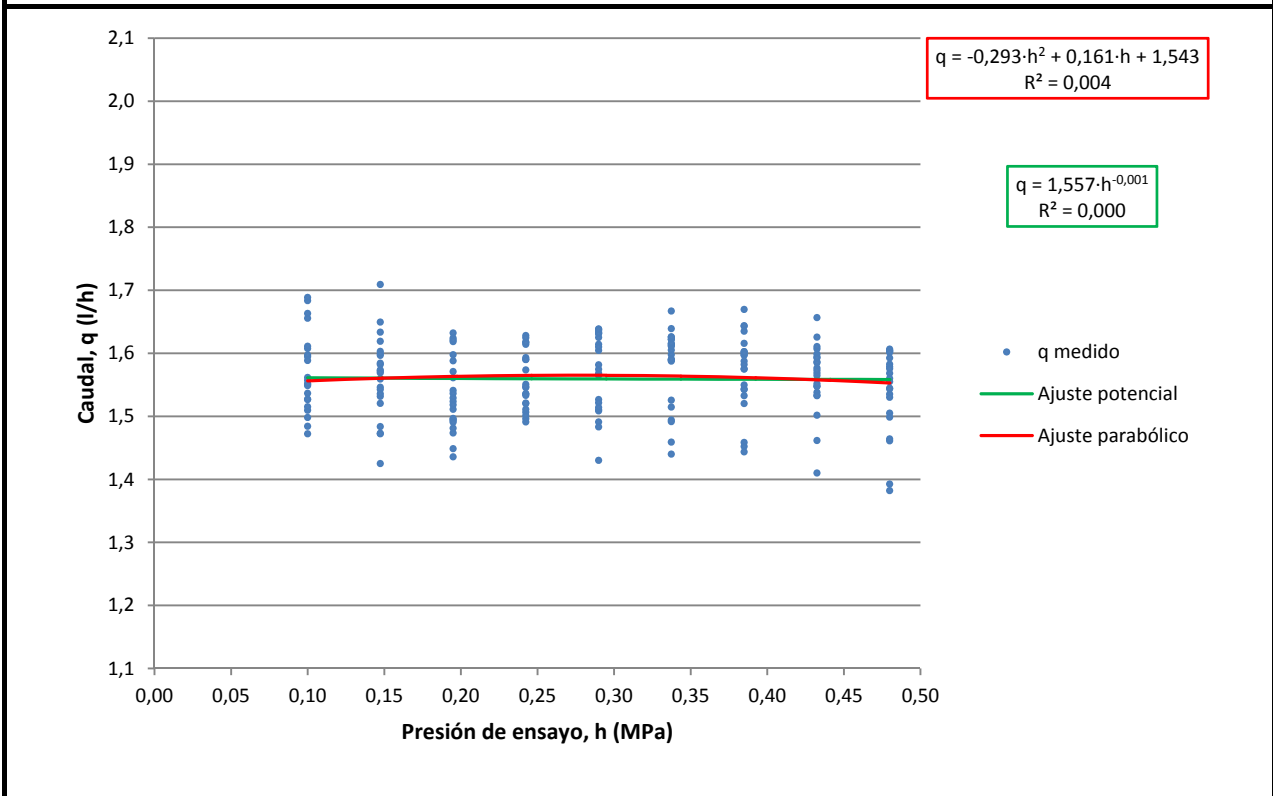


**I.3.29. Auto-18 (Ibán 1,6)**

Tipo: **Autocompensante**  
 Conexión: **Integrado**  
 Rango de regulación: **100 – 400 kPa**  
 Caudal nominal: **1,6 l/h**  
 Caudal medio: **1,561 l/h**

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,24	0,29	0,34	0,39	0,43	0,48	K	x	A	B	C
1	---	1,549	1,473	1,588	1,507	1,509	1,494	1,459	1,548	1,461	1,465	-0,022	1,545	-0,100	-0,068
2	---	1,527	1,572	1,449	1,574	1,527	1,515	1,520	1,502	1,464	1,478	-0,019	1,504	0,293	-0,733
3	---	1,656	1,650	1,598	1,618	1,631	1,615	1,603	1,599	1,593	1,570	-0,022	1,675	-0,281	0,243
4	---	1,510	1,597	1,511	1,546	1,639	1,598	1,616	1,548	1,555	1,614	0,022	1,426	1,049	-1,630
5	---	1,484	1,425	1,474	1,536	1,568	1,622	1,603	1,565	1,603	1,695	0,071	1,340	1,073	-1,102
6	---	1,557	1,574	1,495	1,536	1,614	1,613	1,643	1,657	1,604	1,678	0,041	1,513	0,224	0,105
7	---	1,551	1,546	1,493	1,614	1,491	1,492	1,452	1,410	1,382	1,360	-0,068	1,511	0,487	-1,617
8	---	1,595	1,543	1,541	1,491	1,483	1,459	1,543	1,538	1,545	1,481	-0,022	1,716	-1,470	2,388
9	---	1,684	1,709	1,632	1,590	1,633	1,622	1,597	1,607	1,605	1,550	-0,038	1,770	-0,838	1,046
10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
11	---	1,472	1,484	1,436	1,533	1,522	1,590	1,543	1,533	1,568	1,617	0,046	1,401	0,592	-0,534
12	---	1,515	1,521	1,497	1,521	1,625	1,589	1,575	1,552	1,535	1,602	0,026	1,406	0,985	-1,457
13	---	1,663	1,619	1,624	1,628	1,636	1,605	1,597	1,587	1,607	1,571	-0,022	1,677	-0,290	0,257
14	---	1,608	1,582	1,536	1,593	1,605	1,667	1,670	1,594	1,583	1,636	0,015	1,523	0,543	-0,768
15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16	---	1,537	1,603	1,619	1,617	1,632	1,611	1,600	1,626	1,544	1,621	0,011	1,447	1,247	-2,117
17	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
18	---	1,498	1,472	1,481	1,496	1,430	1,440	1,444	1,462	1,393	1,392	-0,034	1,502	-0,083	-0,211
19	---	1,689	1,584	1,571	1,590	1,638	1,626	1,644	1,585	1,602	1,587	-0,012	1,669	-0,379	0,554
20	---	1,562	1,569	1,529	1,551	1,575	1,626	1,550	1,569	1,530	1,564	0,001	1,511	0,437	-0,761
21	---	1,597	1,634	1,524	1,625	1,610	1,639	1,575	1,577	1,579	1,583	-0,005	1,572	0,257	-0,520
22	---	1,589	1,599	1,561	1,547	1,582	1,616	1,588	1,533	1,560	1,553	-0,010	1,578	0,072	-0,241
23	---	1,552	1,532	1,518	1,520	1,511	1,588	1,635	1,573	1,576	1,609	0,025	1,537	-0,102	0,492
24	---	1,611	1,559	1,621	1,501	1,565	1,526	1,582	1,611	1,505	1,522	-0,020	1,633	-0,411	0,513
25	---	1,527	1,536	1,491	1,511	1,514	1,591	1,533	1,593	1,499	1,556	0,012	1,491	0,239	-0,278
Media		1,569	1,563	1,536	1,556	1,570	1,579	1,571	1,562	1,540	1,559	-0,001	1,543	0,161	-0,293
CV (%)		4,001	4,142	3,822	2,948	3,961	3,938	3,929	3,474	4,272	5,339	-2756,14	7,143	404,405	-344,840
Normal		SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI

**CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR**

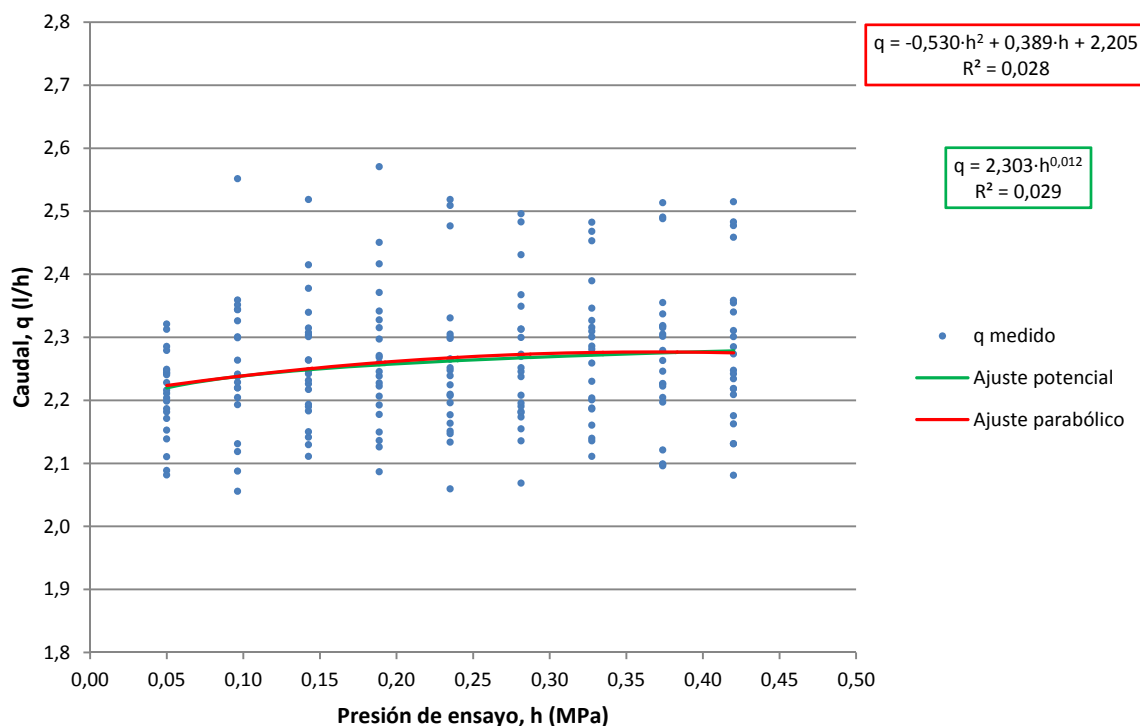


## I.3.30. Auto-19 (Ibán 2,3)

Tipo: *Autocompensante*  
 Conexión: *Integrado*  
 Rango de regulación: *50 – 400 kPa*  
 Caudal nominal: *2,3 l/h*  
 Caudal medio: *2,260 l/h*

EMISOR	CAUDALES MEDIDOS (l/h)										COEFICIENTES DE AJUSTE				
	PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										POTENCIAL		PARABÓLICO		
	0,05	0,10	0,14	0,19	0,24	0,28	0,33	0,37	0,42	0,05	K	x	A	B	C
1	2,211	2,242	2,217	2,193	2,225	2,246	2,301	2,319	2,218	---	2,287	0,013	2,197	0,207	-0,073
2	2,313	2,552	2,519	2,571	2,519	2,496	2,483	2,491	2,515	---	2,587	0,023	2,329	1,611	-3,058
3	2,241	2,264	2,315	2,297	2,265	2,313	2,286	2,246	2,285	---	2,299	0,005	2,226	0,552	-1,110
4	2,111	2,088	2,130	2,087	2,060	2,069	2,111	2,096	2,081	---	2,074	-0,005	2,123	-0,267	0,454
5	2,182	2,131	2,226	2,260	2,298	2,349	2,276	2,263	2,311	---	2,383	0,034	2,083	1,296	-1,914
6	2,321	2,359	2,308	2,328	2,266	2,238	2,316	2,337	2,248	---	2,256	-0,012	2,357	-0,368	0,451
7	2,204	2,238	2,183	2,178	2,177	2,182	2,201	2,226	2,234	---	2,205	0,001	2,249	-0,614	1,404
8	2,243	2,299	2,304	2,315	2,248	2,270	2,281	2,279	2,301	---	2,296	0,004	2,269	0,097	-0,144
9	2,279	2,344	2,415	2,417	2,477	2,431	2,468	2,514	2,477	---	2,595	0,042	2,225	1,423	-1,938
10	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
11	2,187	2,239	2,232	2,239	2,239	2,208	2,188	2,205	2,176	---	2,198	-0,004	2,183	0,494	-1,256
12	2,153	2,220	2,190	2,207	2,151	2,191	2,230	2,197	2,219	---	2,224	0,008	2,177	0,052	0,088
13	2,249	2,239	2,264	2,268	2,196	2,196	2,204	2,227	2,242	---	2,202	-0,008	2,284	-0,442	0,742
14	2,199	2,229	2,242	2,271	2,301	2,300	2,310	2,355	2,355	---	2,409	0,033	2,174	0,552	-0,279
15	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
16	2,171	2,193	2,194	2,246	2,208	2,181	2,186	2,099	2,163	---	2,156	-0,007	2,152	0,582	-1,541
17	2,089	2,119	2,150	2,136	2,147	2,252	2,259	2,305	2,459	---	2,441	0,061	2,125	-0,448	2,773
18	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
19	2,139	2,056	2,142	2,126	2,164	2,174	2,161	2,223	2,209	---	2,237	0,023	2,100	0,099	0,455
20	2,082	2,205	2,111	2,150	2,134	2,136	2,140	2,098	2,131	---	2,135	0,001	2,108	0,317	-0,734
21	2,228	2,220	2,247	2,223	2,210	2,155	2,136	2,121	2,131	---	2,095	-0,026	2,243	-0,060	-0,619
22	2,244	2,301	2,264	2,228	2,252	2,273	2,327	2,318	2,340	---	2,336	0,014	2,281	-0,357	1,224
23	2,248	2,352	2,378	2,451	2,509	2,483	2,453	2,488	2,483	---	2,622	0,048	2,165	2,066	-3,219
24	2,216	2,344	2,340	2,371	2,331	2,368	2,390	2,315	2,359	---	2,422	0,022	2,198	1,232	-2,176
25	2,286	2,326	2,301	2,342	2,305	2,313	2,346	2,302	2,274	---	2,314	0,001	2,267	0,537	-1,189
Media	2,209	2,252	2,258	2,268	2,258	2,264	2,275	2,274	2,282	---	2,308	0,012	2,205	0,389	-0,530
CV (%)	3,003	4,798	4,372	5,063	5,241	4,883	4,727	5,287	5,322	---	6,744	175,077	3,396	190,267	-278,203
Normal	SI	SI	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	---	SI	SI	SI	NO	SI

## CURVA CARACTERÍSTICA DEL EMISOR







## ANEXO II: COEFICIENTES DE VARIACIÓN

### II.1. EMISORES ENSAYADOS

Tabla XXX: Emisores no autocompensantes ensayados

Denominación comercial	Emisor	Presencia de anómalos	Intervalo de presiones (kPa)
Netafim botón 2	Noauto-1	NO	0 – 250
Bricorriego 2	Noauto-2	SI	0 – 250
	Noauto-2a	NO	0 – 250
Toroplastro 4	Noauto-3	SI	0 – 250
	Noauto-3a	NO	0 – 250
Bricorriego 4	Noauto-4	NO	0 – 250
Azud drip compact 4	Noauto-5	NO	0 – 250
Azud pro 4	Noauto-6	SI	0 – 250
	Noauto-6a	NO	0 – 250
Azud drip compact 2,2	Noauto-8	NO	0 – 250
Azud pro 2,2	Noauto-9	NO	0 – 250
Tuftiff 8	Noauto-10	NO	0 – 250

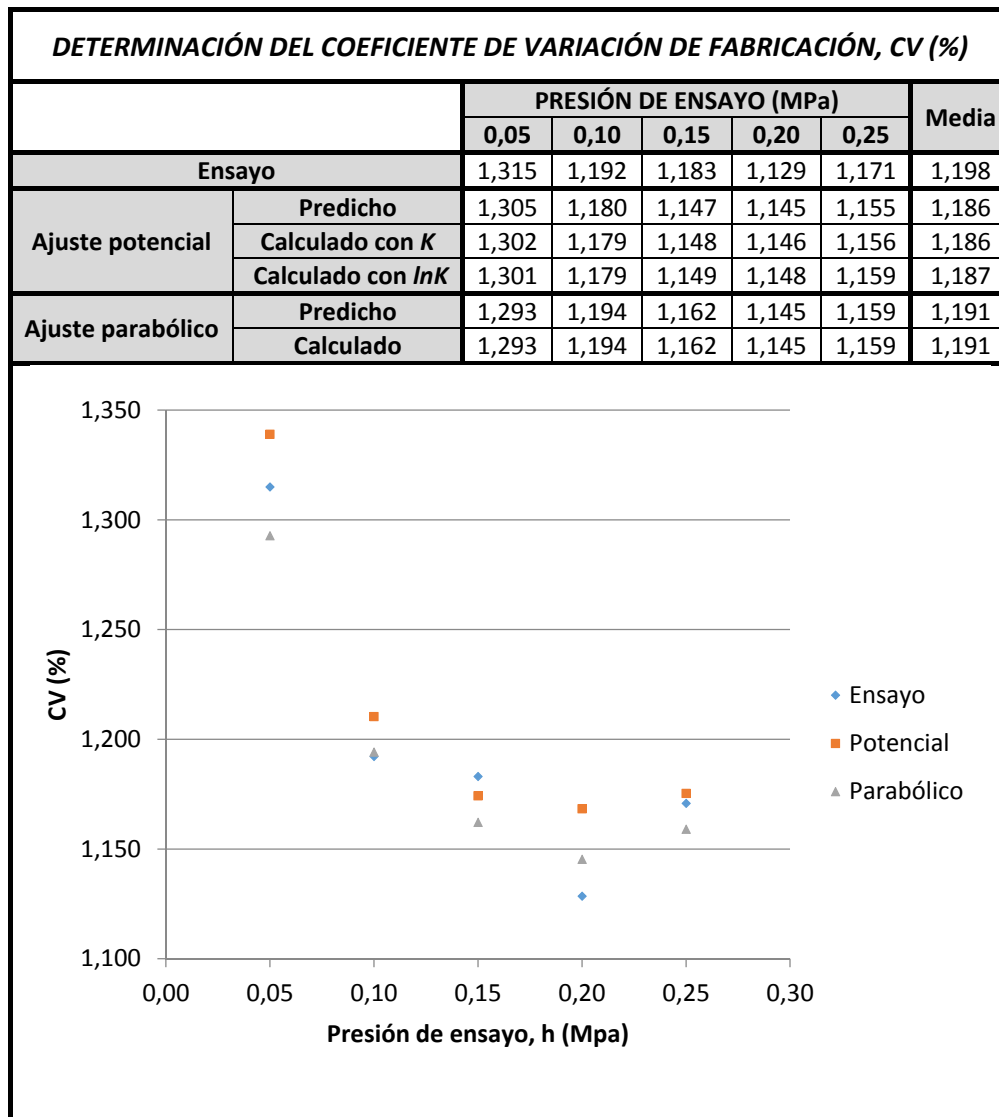
Tabla XXXI: Emisores autocompensantes ensayados

Denominación comercial	Emisor	Presencia de anómalos	Intervalo de presiones (kPa)
Twin plus 1,8	Auto-1	NO	50 – 400
	Auto-1c	NO	100 – 400
Hydro PC 2,2	Auto-2	NO	50 – 400
	Auto-2c	NO	100 – 350
Netafim botón 4	Auto-3	NO	50 – 400
	Auto-3c	NO	100 – 400
Netafim PCJ 4	Auto-4	SI	50 – 400
	Auto-4a	NO	50 – 400
Flapper 7	Auto-5	NO	50 – 400
Netafim Technet 2	Auto-6	SI	50 – 400
	Auto-6a	NO	50 – 400
Netafim botón 2	Auto-7	NO	50 – 400
Turboplus 4	Auto-8	SI	50 – 400
	Auto-8a	NO	50 – 400
	Auto-8ac	NO	100 – 400
Azud premier line 2,3	Auto-9	SI	50 – 400
	Auto-9a	NO	50 – 400
Azud premier line 1,5	Auto-10	NO	50 – 400
Azud premier line 1,1	Auto-11	SI	50 – 400
	Auto-11a	NO	50 – 400
LBC 4	Auto-12	SI	50 – 400
	Auto-12a	NO	50 – 400
	Auto-12ac	NO	100 – 400
Azud premier line 2.3L 9261	Auto-13	NO	50 – 480
Azud premier line 1.6L 9261	Auto-14	NO	50 – 480
Azud premier line 1.0L 9261	Auto-15	NO	50 – 480
Azud premier line 3.0L 9261	Auto-16	NO	50 – 480
Azud premier line 3.5L 9261	Auto-17	NO	50 – 480
Ibán 1,6	Auto-18	NO	100 – 480
Ibán 2,3	Auto-19	NO	50 – 420

## II.2. EMISORES NO AUTOCOMPENSANTES

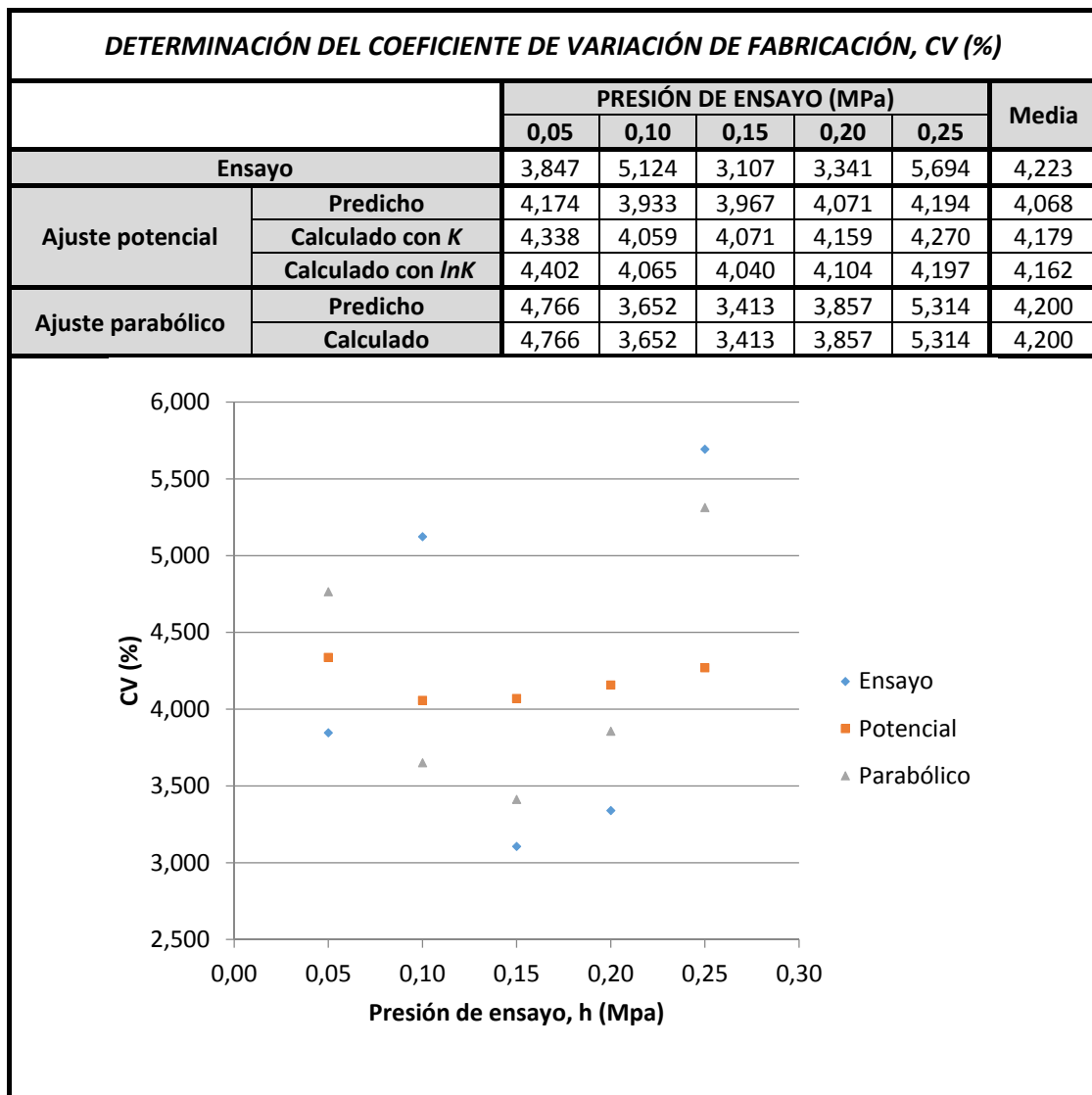
## II.2.1. Noauto-1 (Netafim botón 2)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	5,675	12,447	0,464	0,006	0,053	0,000	0,203		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	0,843	12,447	-15,660	0,000	0,053	0,434	-1,865	-2,495	8,612



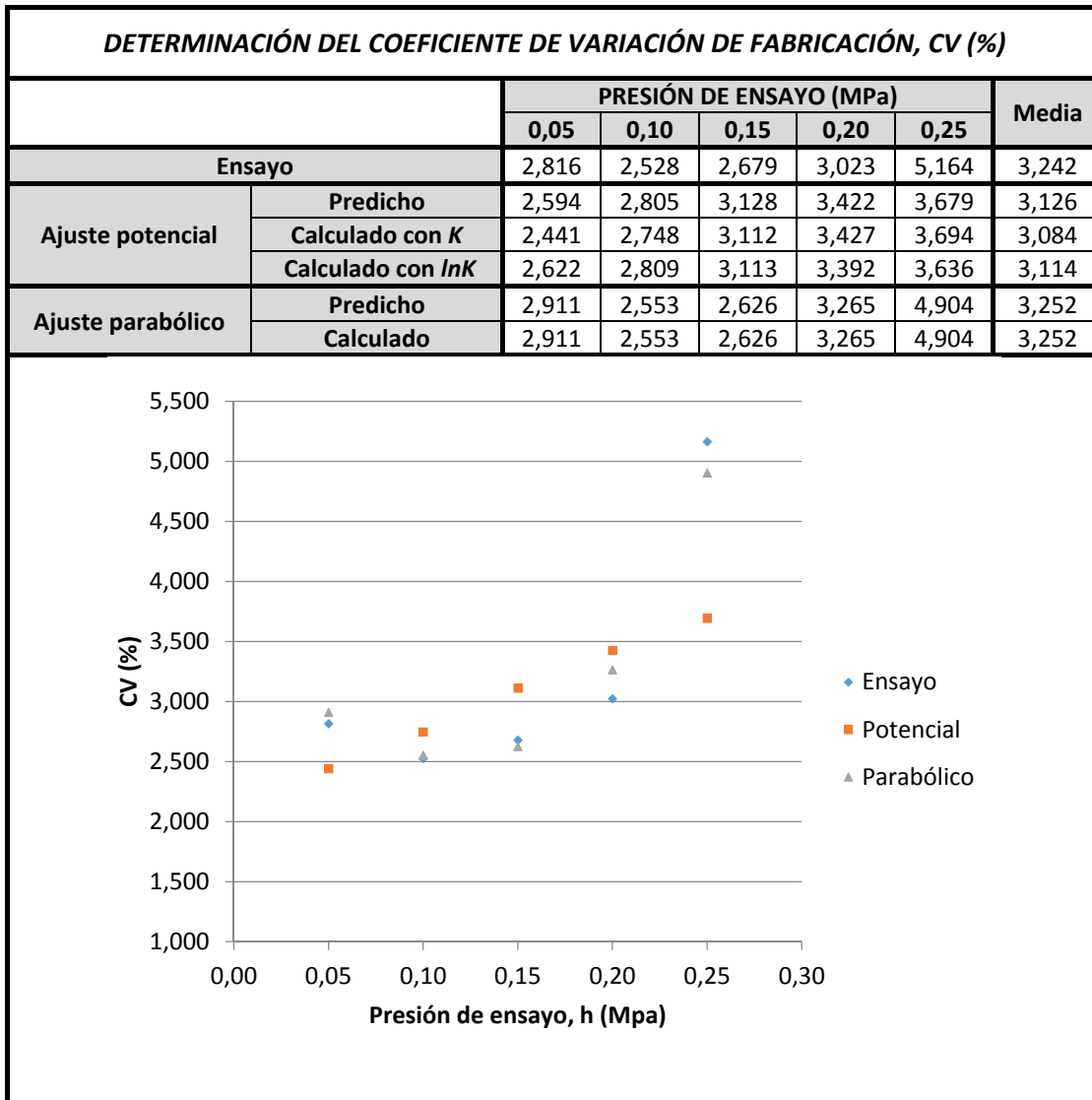
## II.2.2. Noauto-2 (Bricorriego 2 )

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	7,083	13,653	0,540	0,158	2,219	0,000	0,224		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	0,774	13,653	13,127	0,010	2,219	45,973	-	-	56,941



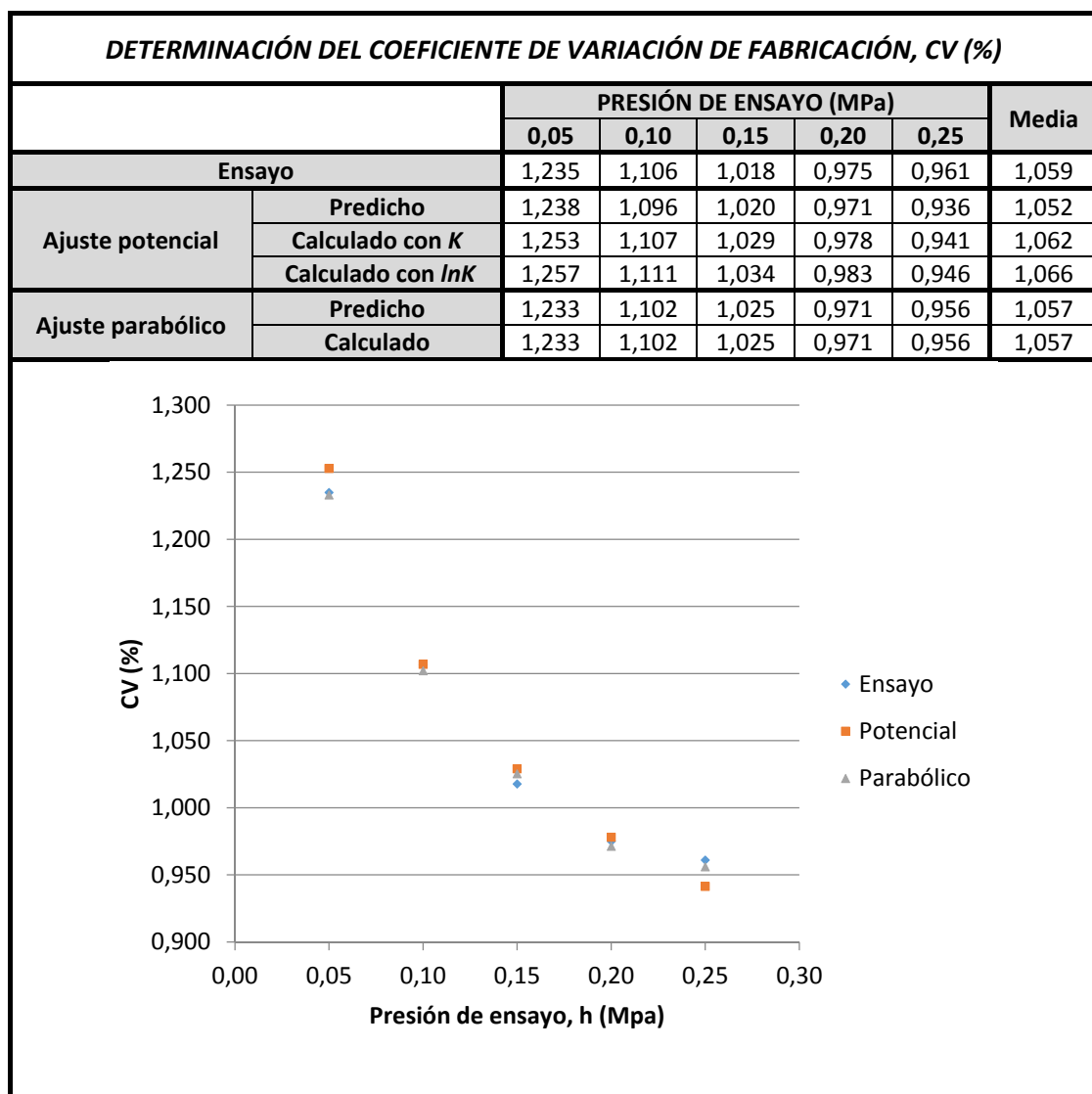
II.2.3. Noauto-2a (Bricorriego 2; Sin datos anómalos)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	7,098	13,624	0,539	0,159	2,294	0,000	0,264		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	0,786	13,624	-	0,006	2,294	47,259	-	-	81,721



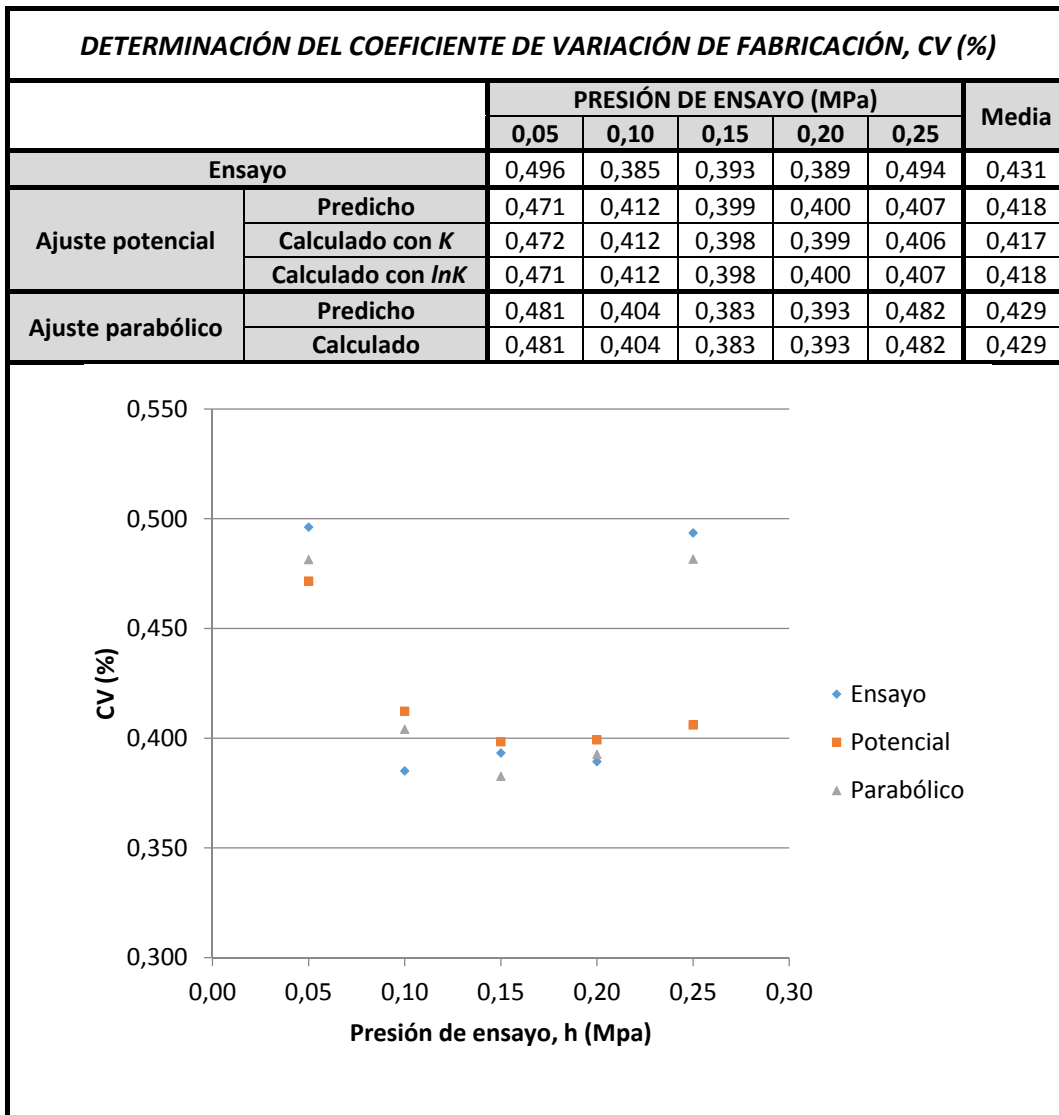
## II.2.4. Noauto-3 (Toroplastro 4)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	12,906	28,346	0,500	0,010	0,142	0,000	-0,062		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,569	28,346	-35,815	0,001	0,142	1,553	2,383	-3,047	5,609



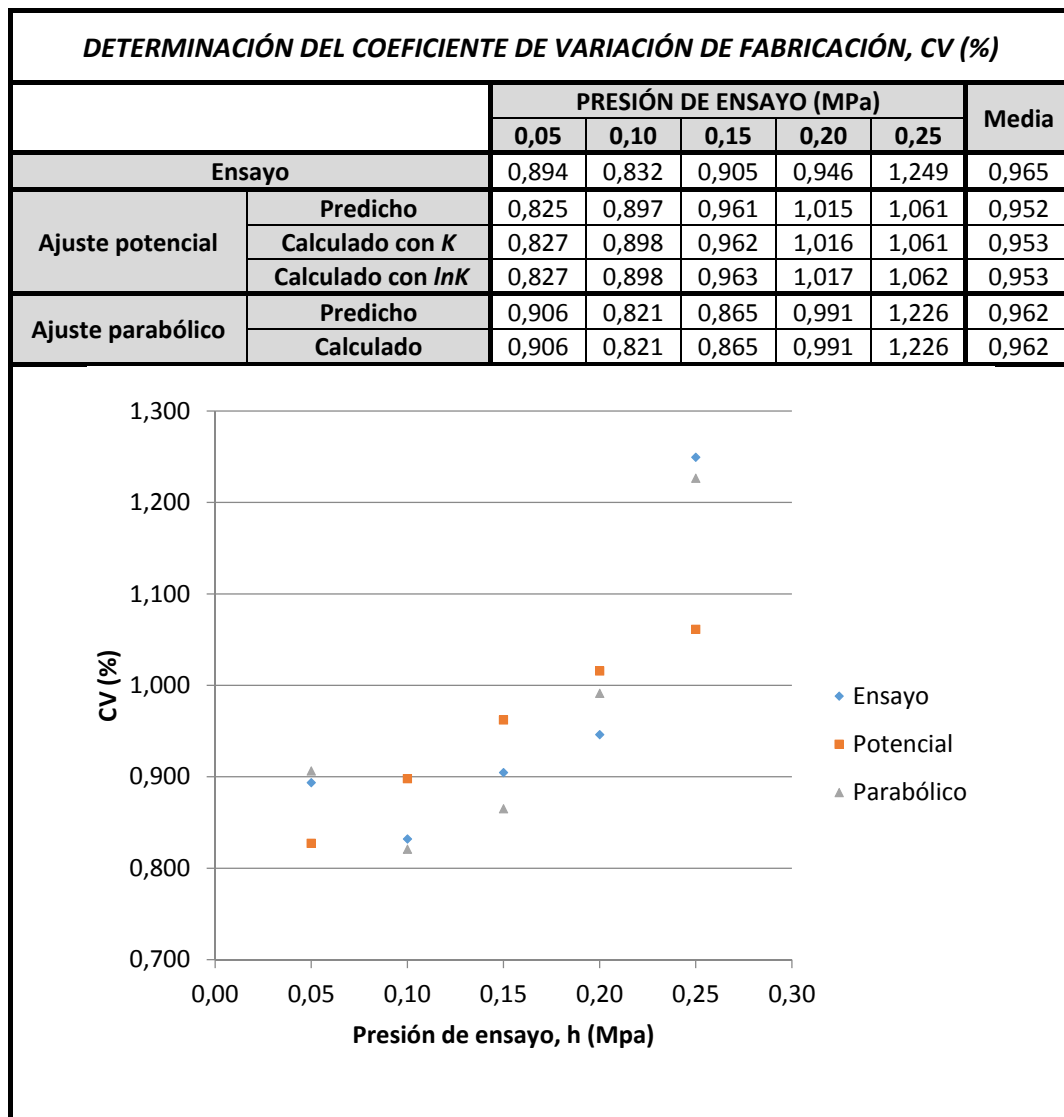
## II.2.5. Noauto-3a (Toroplastro 4; Sin datos anómalos)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	12,927	28,339	0,500	0,005	0,153	0,000	0,262		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,567	28,339	-35,818	0,001	0,153	1,693	2,268	-3,073	5,602



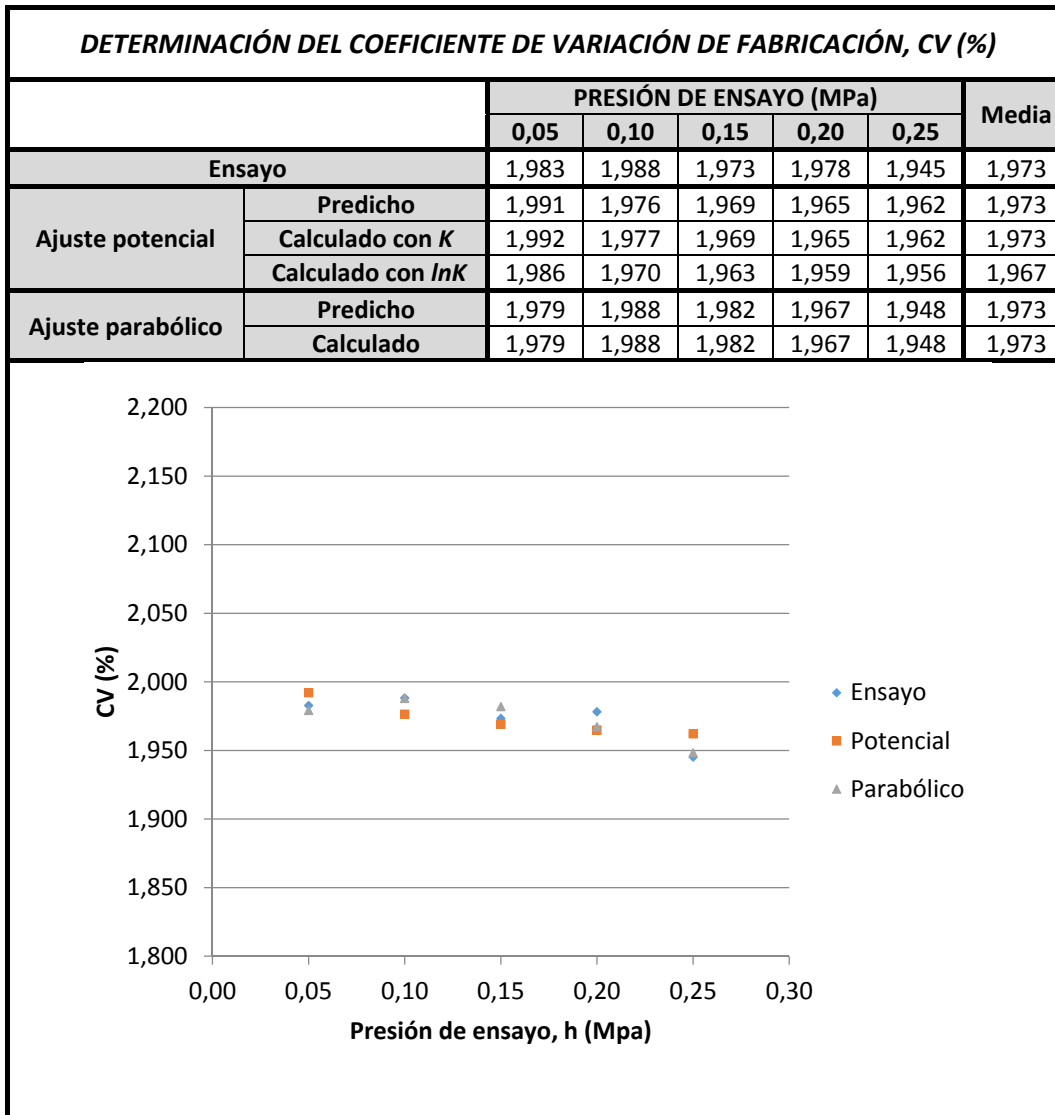
## II.2.6. Noauto-4 (Bricorriego 4)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	13,298	27,518	0,525	0,035	0,180	0,000	0,191		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,485	27,518	-31,249	0,001	0,180	3,651	-8,690	-3,966	54,659



## II.2.7. Noauto-5 (Azudrip compact 4)

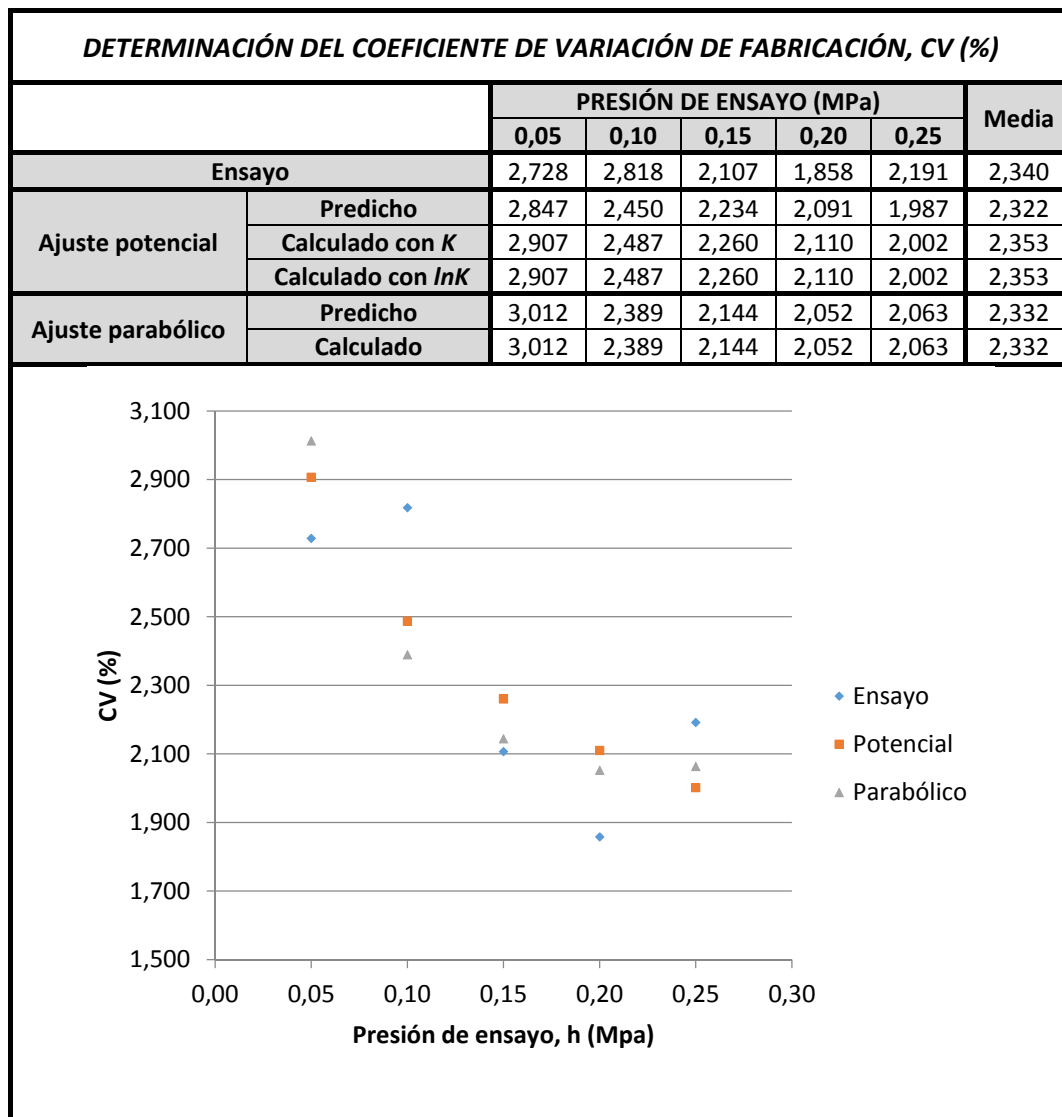
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	12,817	28,047	0,510	0,063	0,358	0,000	0,000		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,486	28,047	-	0,001	0,358	0,941	17,823	-	23,386





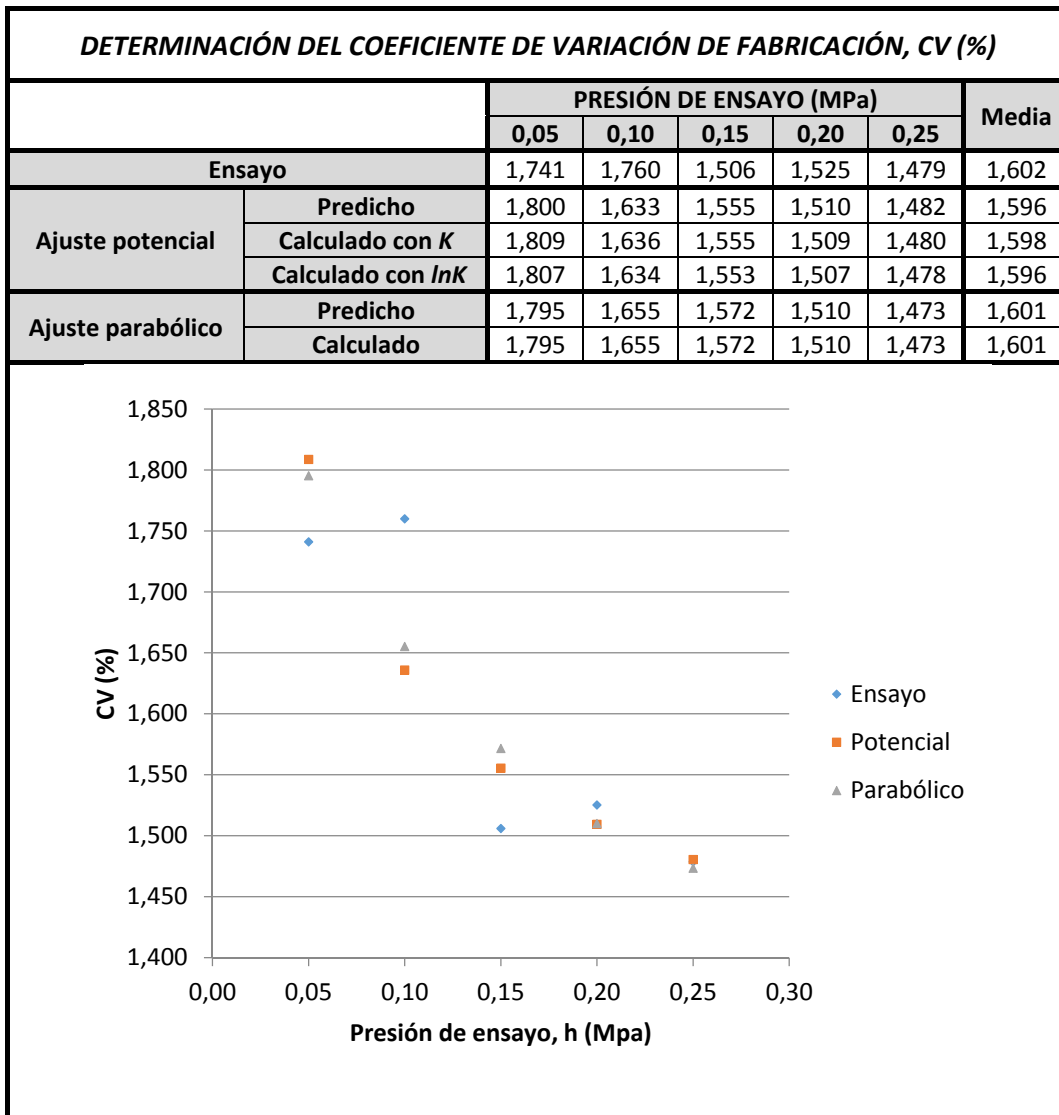
## II.2.8. Noauto-6 (Azudpro 4)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	12,322	27,504	0,497	0,037	0,225	0,000	-0,072		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,504	27,504	-35,897	0,006	0,225	2,070	0,297	-2,513	5,552



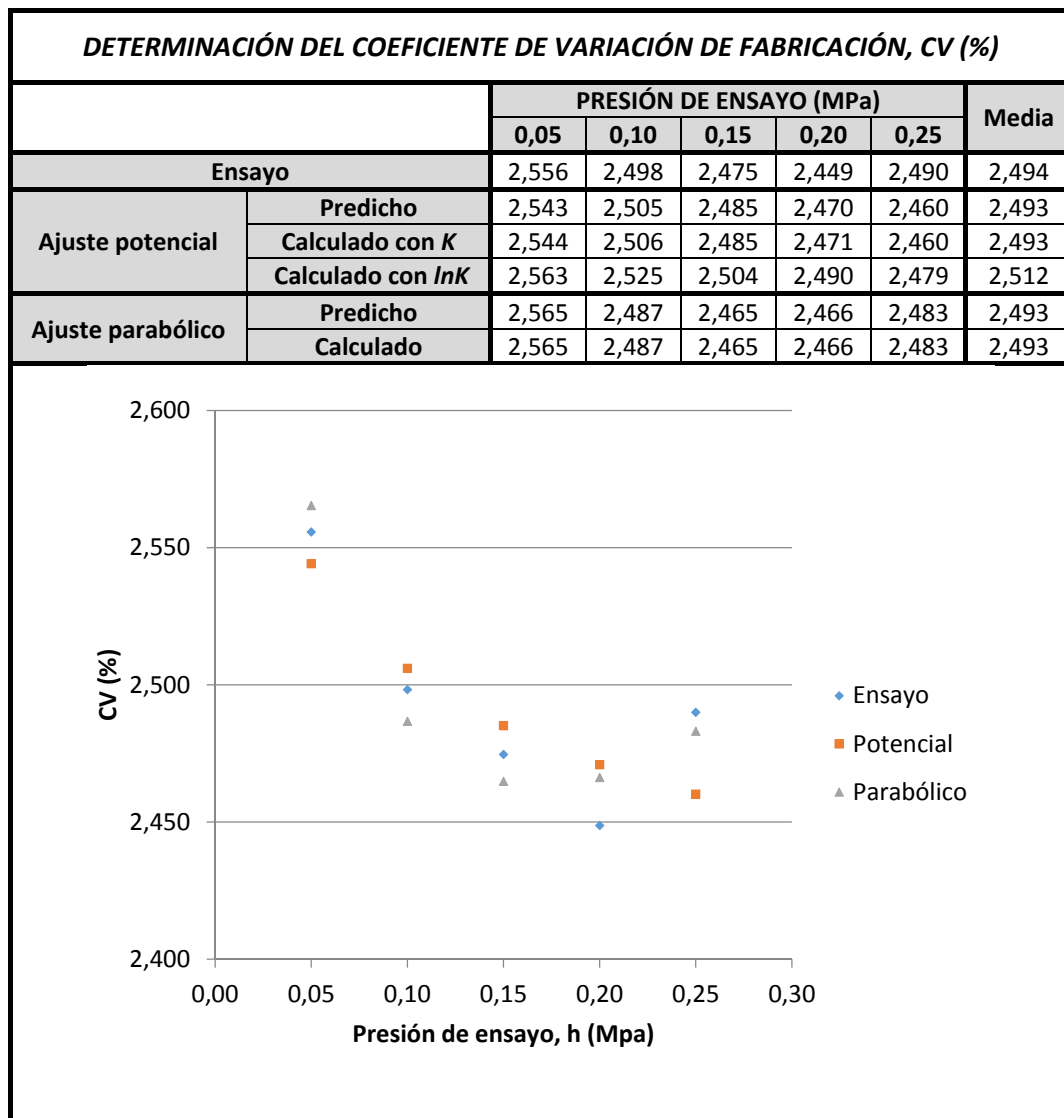
II.2.9. Noauto-6a (Azudpro 4; Sin datos anómalos)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	12,342	27,482	0,496	0,032	0,228	0,000	0,054		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,525	27,482	-35,721	0,001	0,228	1,499	7,504	-2,206	-13,141



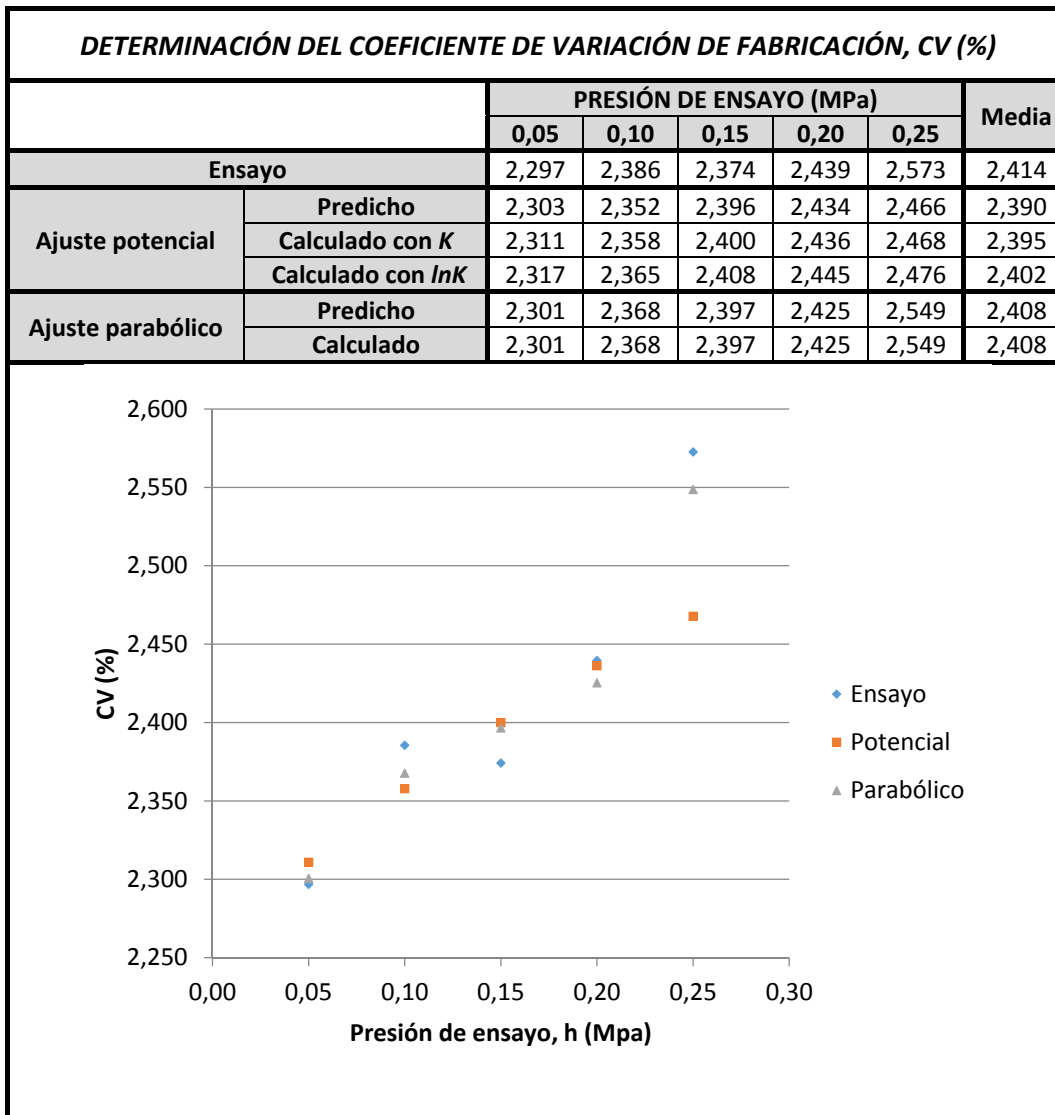
## II.2.10. Noauto-7 (Azudrip compact 2,2)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	7,195	16,033	0,510	0,030	0,136	0,000	-0,016		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	0,819	16,033	-	0,001	0,136	0,233	13,718	1,235	14,280



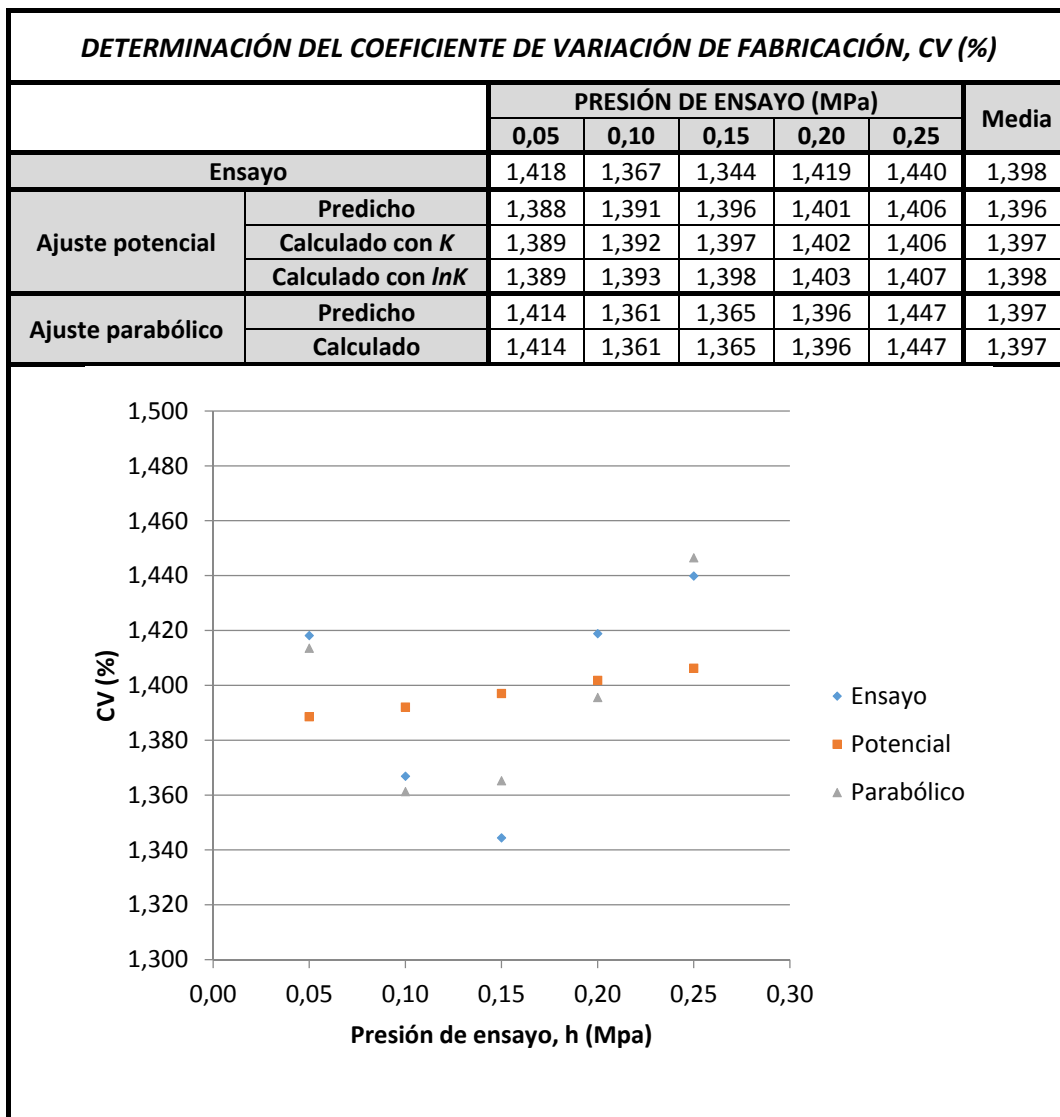
## II.2.11. Noauto-8 (Azudpro 2,2)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	6,987	15,697	0,508	0,036	0,342	0,000	0,080		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	0,796	15,697	-20,771	0,001	0,342	3,545	-3,174	-2,866	39,724



## II.2.12. Noauto-9 (Tuftiff 8)

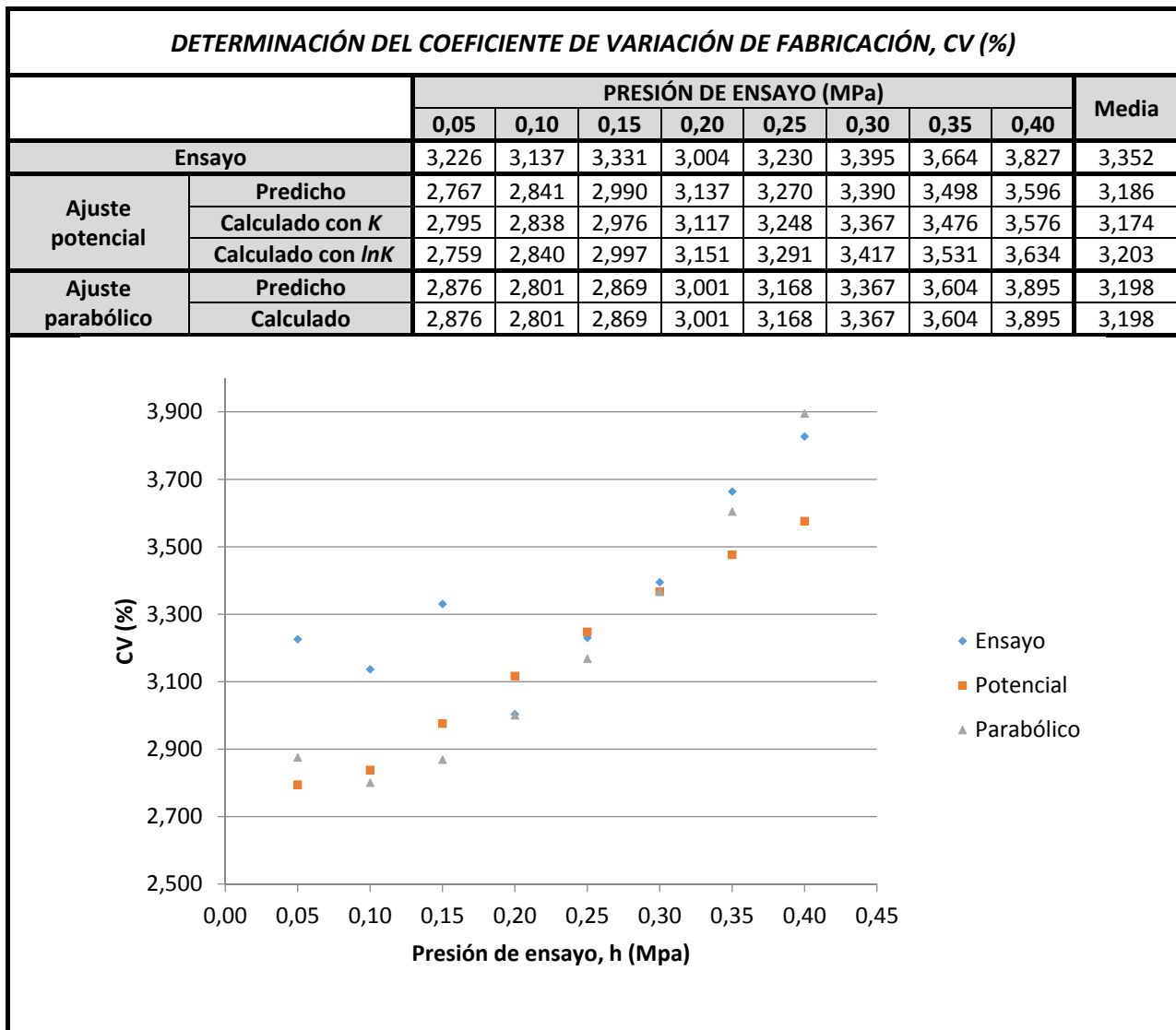
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	25,803	56,948	0,503	0,139	0,452	0,000	0,026		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,080	56,948	-72,862	0,003	0,452	0,788	9,977	-0,912	-3,332



### II.3. EMISORES AUTOCOMPENSANTES

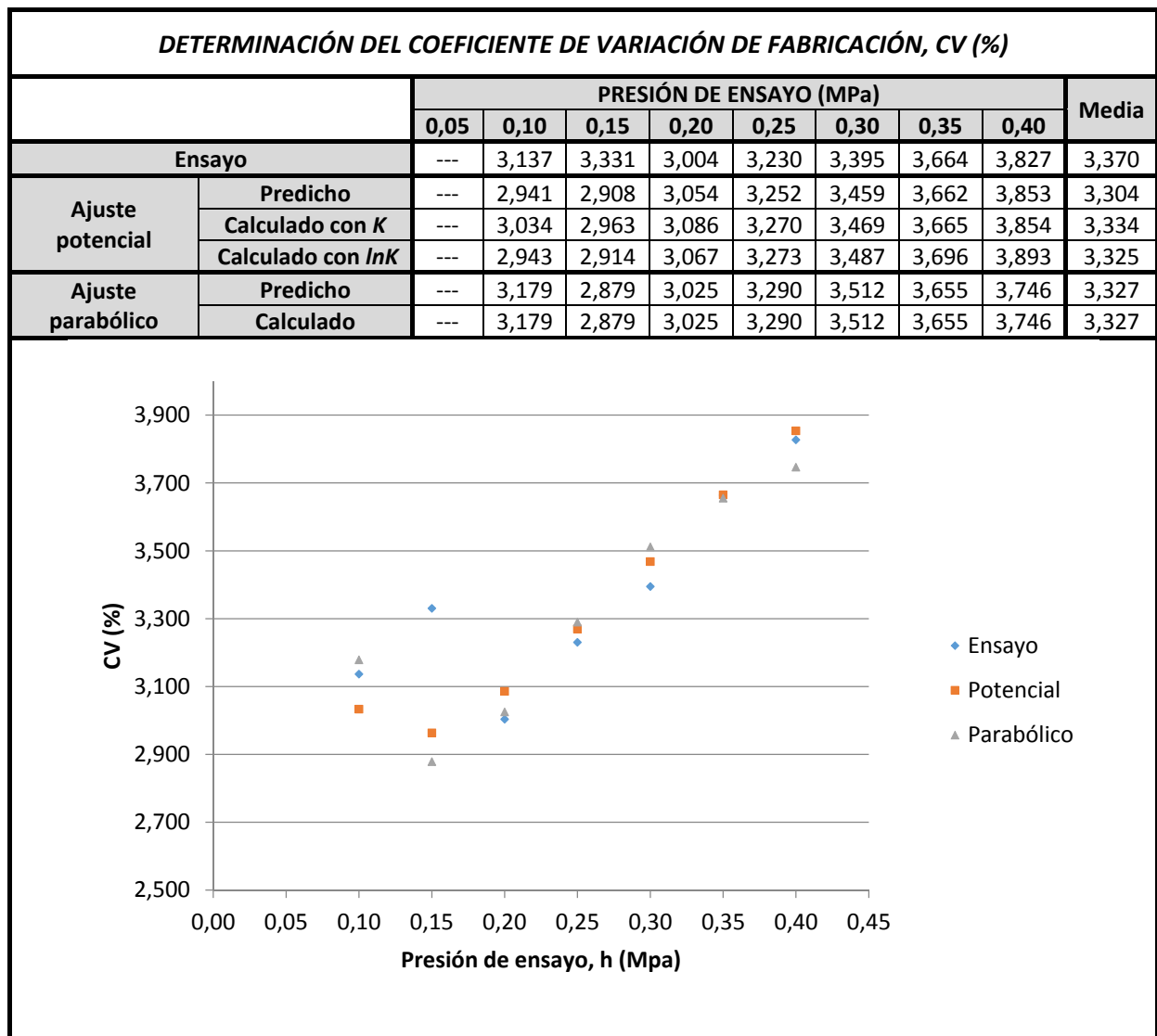
#### II.3.1. Auto-1 (Twin plus 1,8)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,683	4,847	0,213	0,014	0,066	0,000	0,214		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,210	4,847	-6,337	0,002	0,066	0,128	-0,209	-1,046	1,204



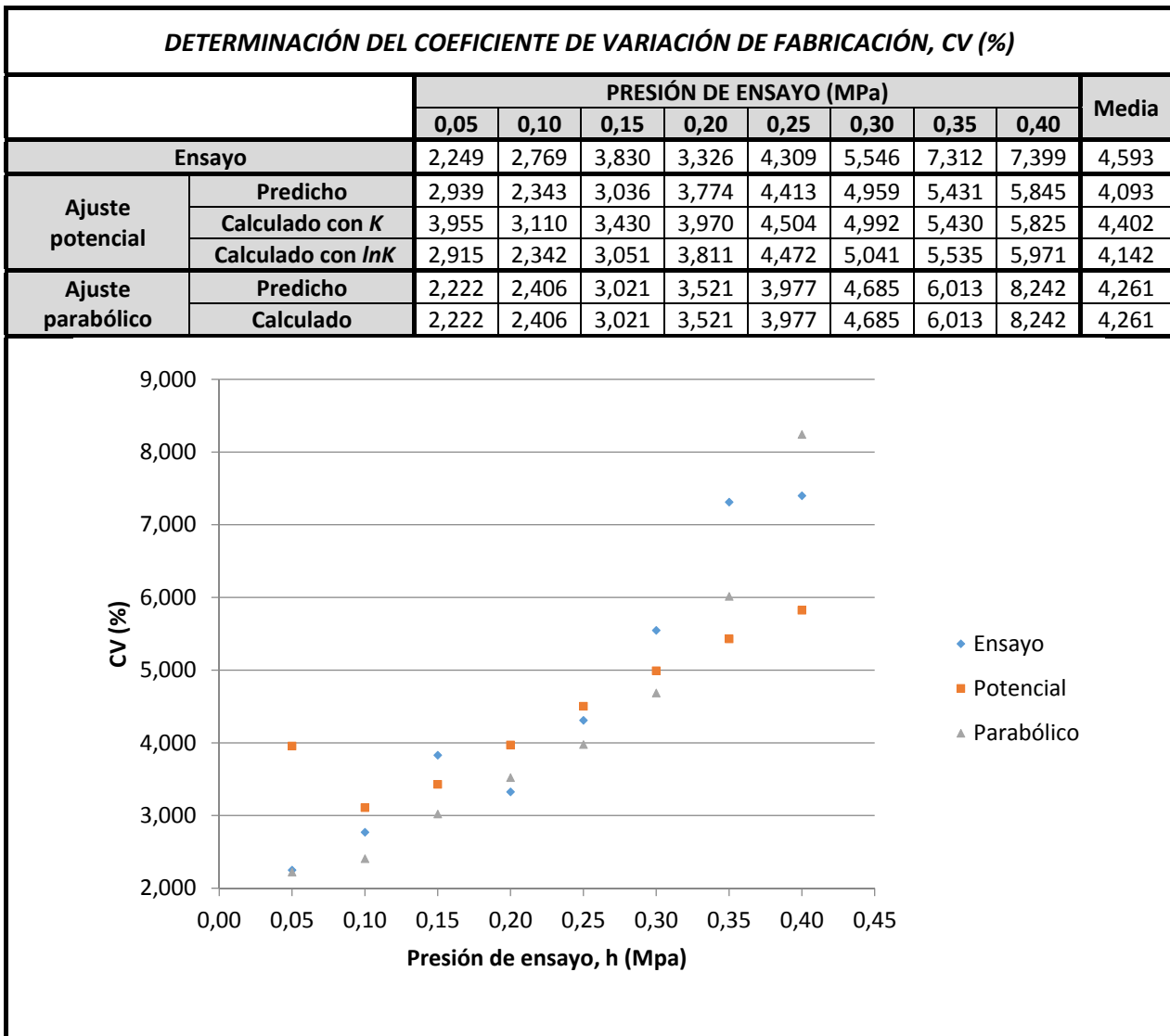
## II.3.2. Auto-1c (Twin plus 1,8; Intervalo de compensación)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,470	1,606	0,152	0,018	0,508	0,001	0,352		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,608	1,606	-0,445	0,009	0,508	1,200	-6,299	-1,507	10,199



II.3.3. Auto-2 (Hydro PC 2,2)

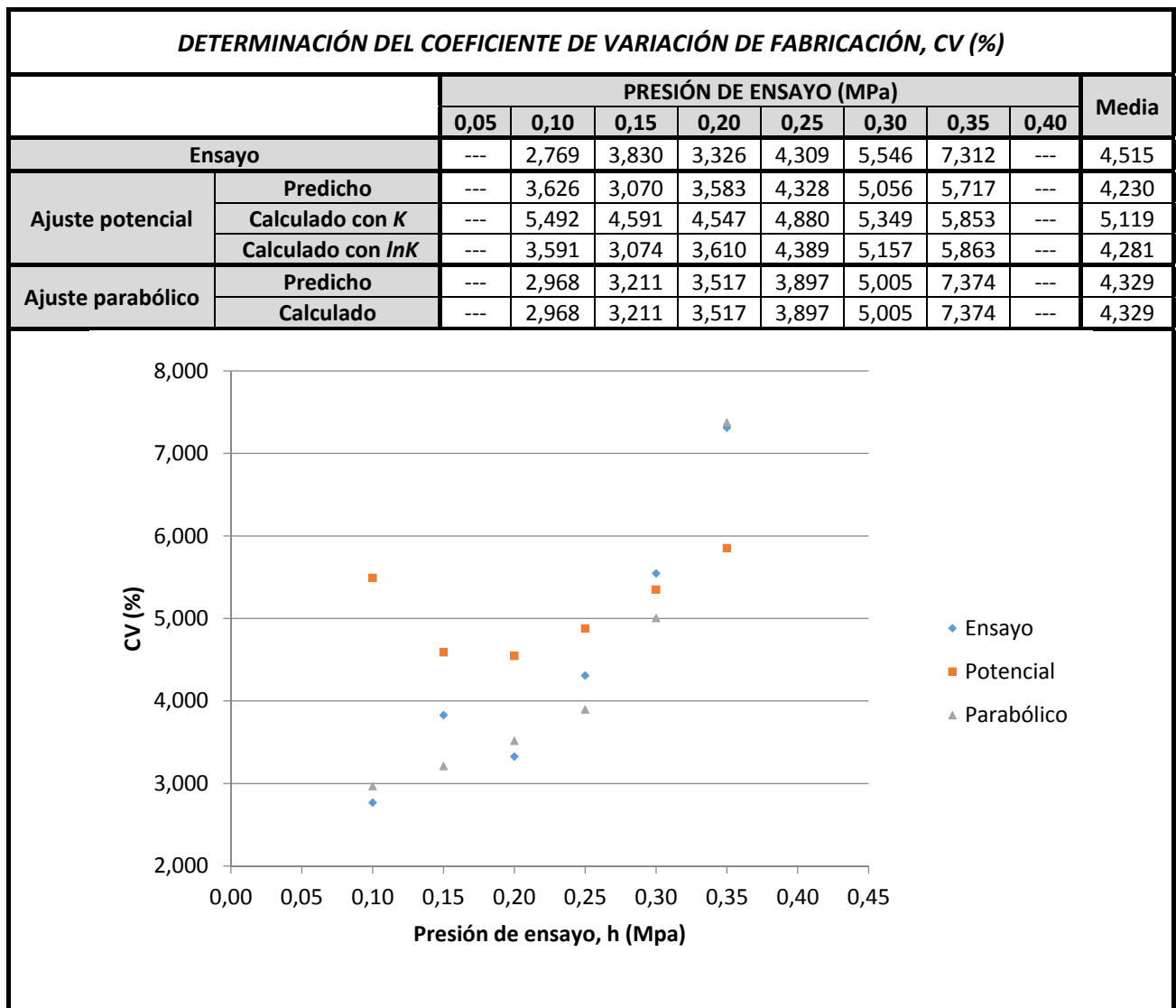
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,388	2,468	0,037	0,044	1,193	0,001	0,379		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,999	2,468	-4,927	0,005	1,193	8,304	-11,540	-2,439	26,778





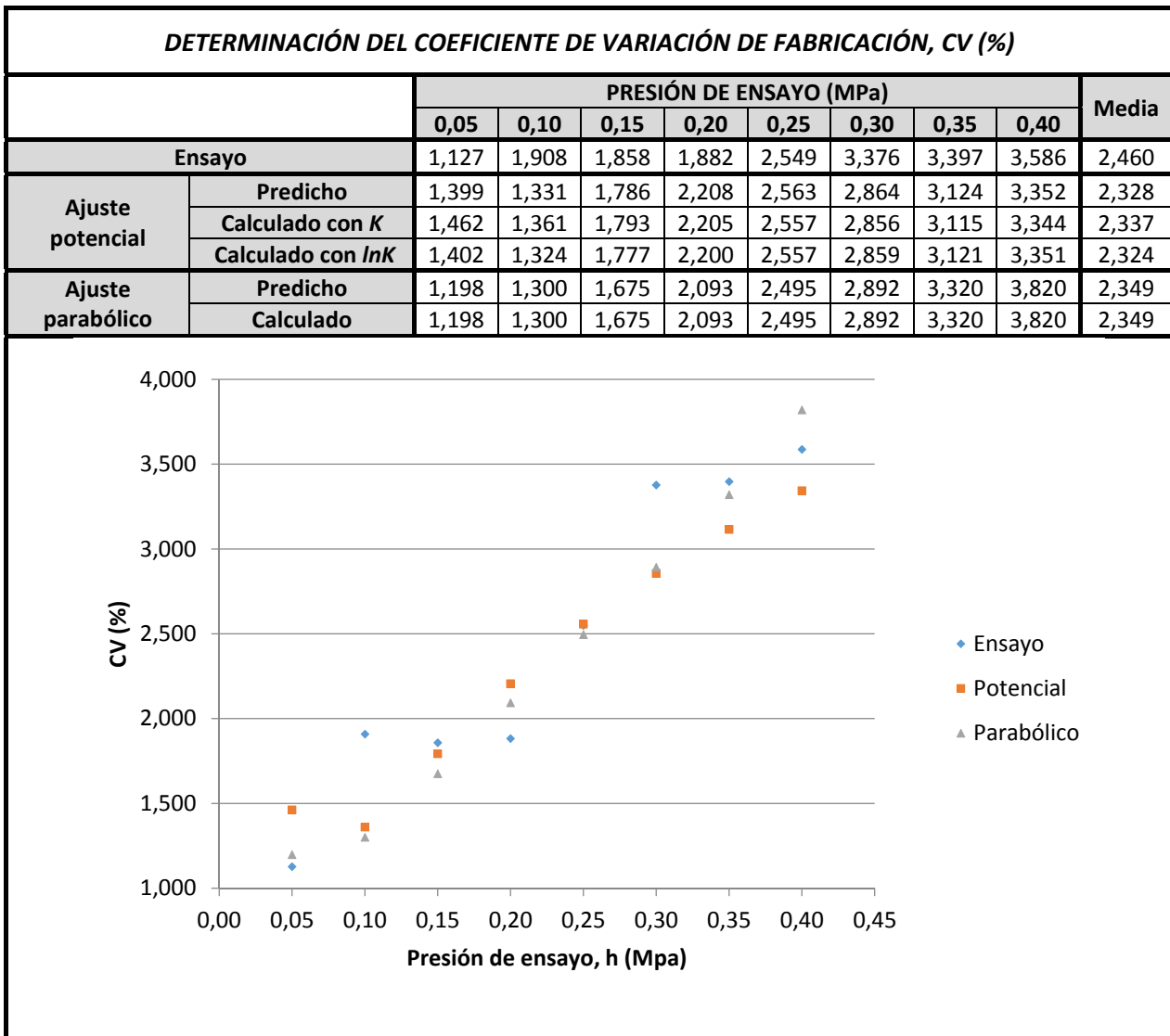
## II.3.4. Auto-2c (Hydro PC 2,2; Intervalo de compensación)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,102	-1,759	-0,055	0,049	2,632	0,003	0,472		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,527	-1,759	2,591	0,019	2,632	20,262	-9,861	-2,667	24,613



II.3.5. Auto-3 (Netafim botón 4)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	4,061	-1,416	0,015	0,041	0,611	0,000	0,362		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	4,015	-1,416	4,106	0,004	0,611	2,431	-8,312	-1,633	11,881



## II.3.6. Auto-3c (Netafim botón 4; Intervalo de compensación)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	4,041	-4,274	0,011	0,053	0,990	0,001	0,435		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	4,366	-4,274	9,303	0,020	0,990	2,854	-6,166	-1,473	9,090

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		---	1,908	1,858	1,882	2,549	3,376	3,397	3,586	2,651
Ajuste potencial	Predicho	---	1,923	1,882	2,188	2,554	2,905	3,227	3,519	2,600
	Calculado con $K$	---	1,983	1,915	2,201	2,558	2,904	3,224	3,514	2,614
	Calculado con $\ln K$	---	1,915	1,870	2,177	2,547	2,902	3,227	3,522	2,594
Ajuste parabólico	Predicho	---	1,964	1,844	2,057	2,437	2,871	3,322	3,795	2,613
	Calculado	---	1,964	1,844	2,057	2,437	2,871	3,322	3,795	2,613

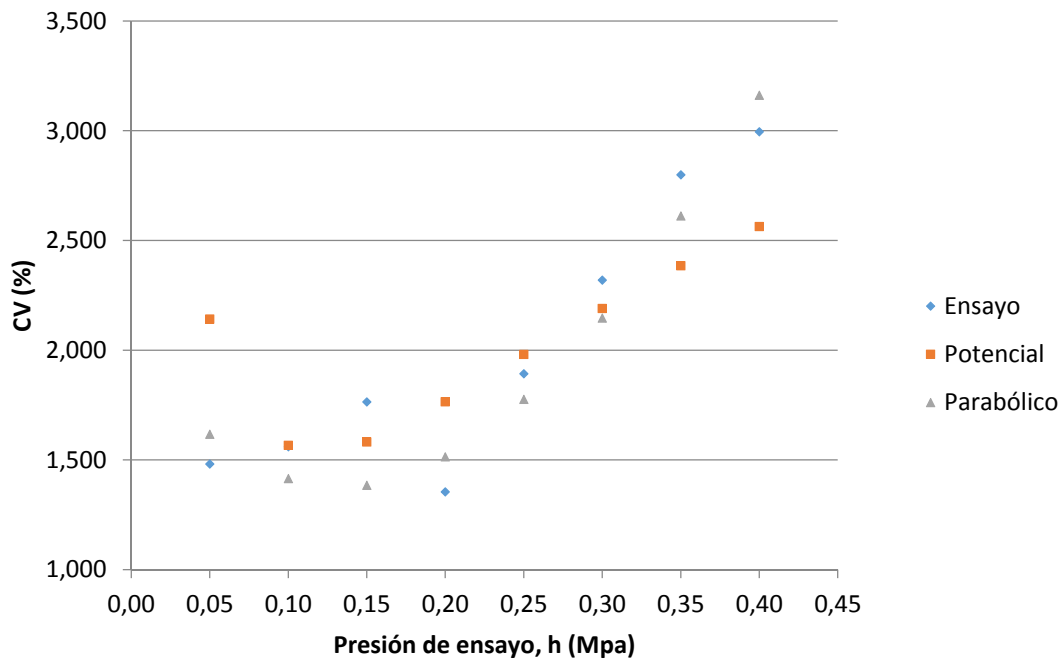
  

Presión de ensayo, h (Mpa)	Ensayo (CV %)	Potencial (CV %)	Parabólico (CV %)
0,10	1,908	1,923	1,915
0,15	1,858	1,983	1,870
0,20	1,882	1,915	1,844
0,25	2,549	2,201	2,057
0,30	3,376	2,558	2,437
0,35	3,397	2,904	2,871
0,40	3,586	3,224	3,322

## II.3.7. Auto-4 (Netafim PCJ 4)

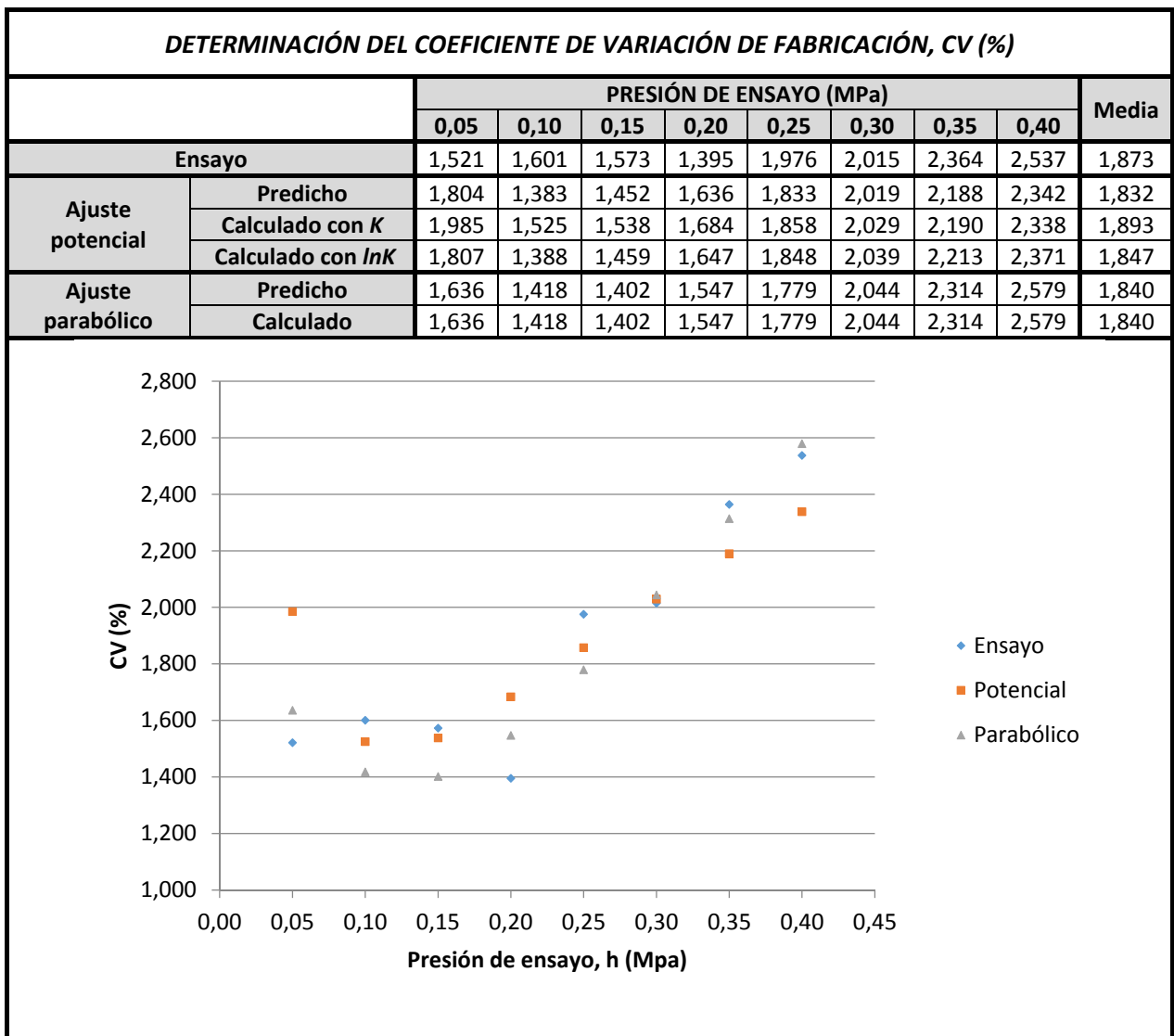
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	4,234	-0,893	0,036	0,028	0,271	0,000	0,400		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,918	-0,893	4,227	0,006	0,271	1,268	-4,614	-1,414	3,832

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		1,481	1,560	1,764	1,354	1,893	2,319	2,799	2,995	2,021
Ajuste potencial	Predicho	1,905	1,365	1,460	1,700	1,949	2,177	2,383	2,569	1,939
	Calculado con $K$	2,142	1,567	1,582	1,765	1,981	2,190	2,385	2,563	2,022
	Calculado con $\ln K$	1,904	1,369	1,465	1,708	1,962	2,196	2,408	2,599	1,951
Ajuste parabólico	Predicho	1,617	1,415	1,385	1,514	1,776	2,146	2,612	3,161	1,953
	Calculado	1,617	1,415	1,385	1,514	1,776	2,146	2,612	3,161	1,953



## II.3.8. Auto-4a (Netafim PCJ 4; Sin datos anómalos)

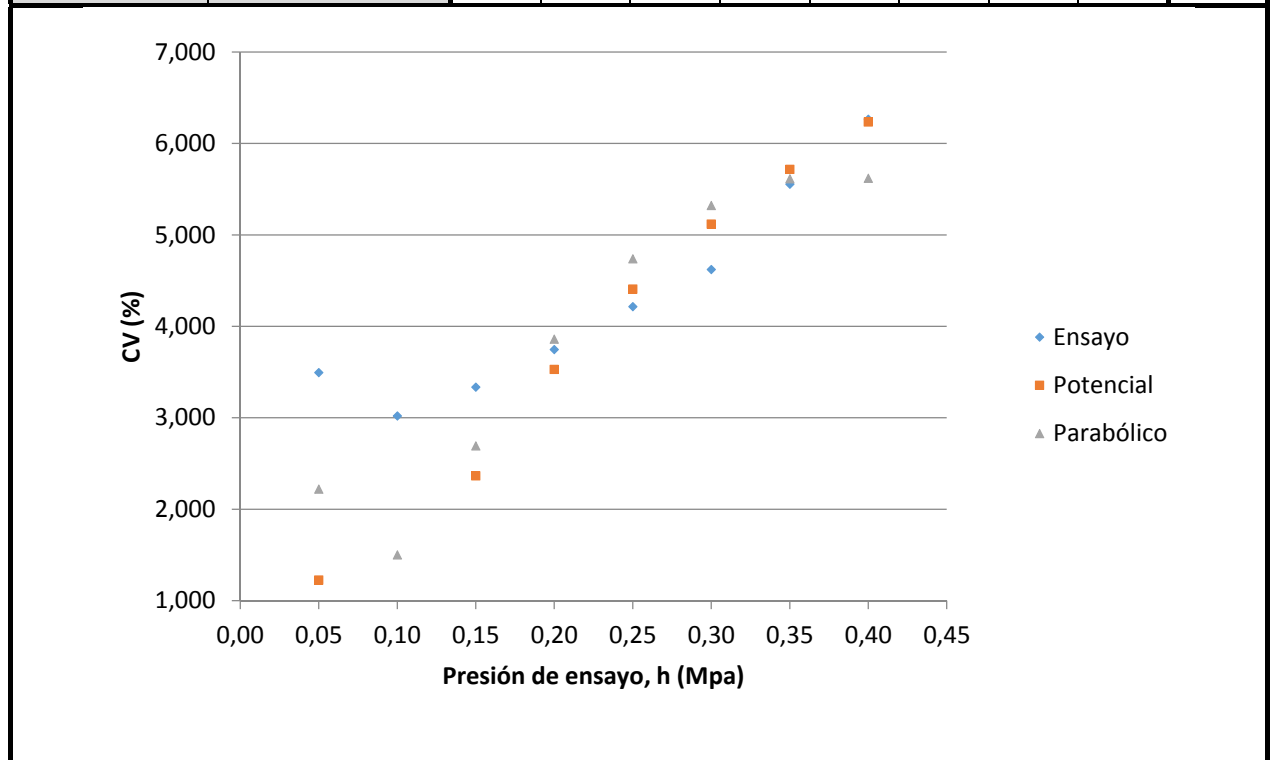
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	4,255	-0,936	0,038	0,022	0,264	0,000	0,384		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,921	-0,936	4,448	0,006	0,264	0,415	-4,744	-0,922	3,953



II.3.9. Auto-5 (Flapper 7)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	6,862	9,960	-0,052	0,449	21,087	0,001	0,393		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	7,090	9,960	-29,015	0,126	21,087	54,842	-12,312	-1,602	19,639

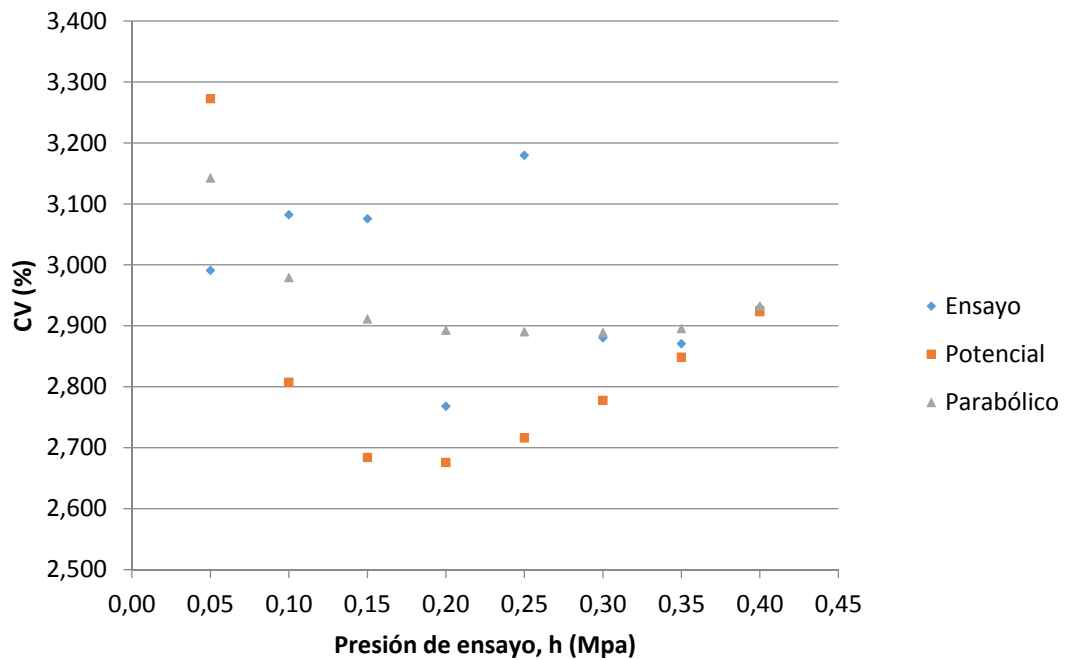
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		3,494	3,020	3,335	3,746	4,216	4,621	5,554	6,265	4,281
Ajuste potencial	Predicho	2,327	1,550	2,659	3,652	4,462	5,139	5,718	6,225	3,967
	Calculado con $K$	1,226	0,121	2,366	3,529	4,407	5,119	5,717	6,234	3,590
	Calculado con $\ln K$	2,347	1,551	2,655	3,638	4,437	5,103	5,671	6,167	3,946
Ajuste parabólico	Predicho	2,219	1,500	2,692	3,859	4,738	5,321	5,613	5,619	3,945
	Calculado	2,219	1,500	2,692	3,859	4,738	5,321	5,613	5,619	3,945



## II.3.10. Auto-6 (Netafim technet 2)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,193	-0,662	0,023	0,007	0,128	0,000	0,277		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,114	-0,662	2,288	0,005	0,128	0,353	-2,496	-1,425	1,951

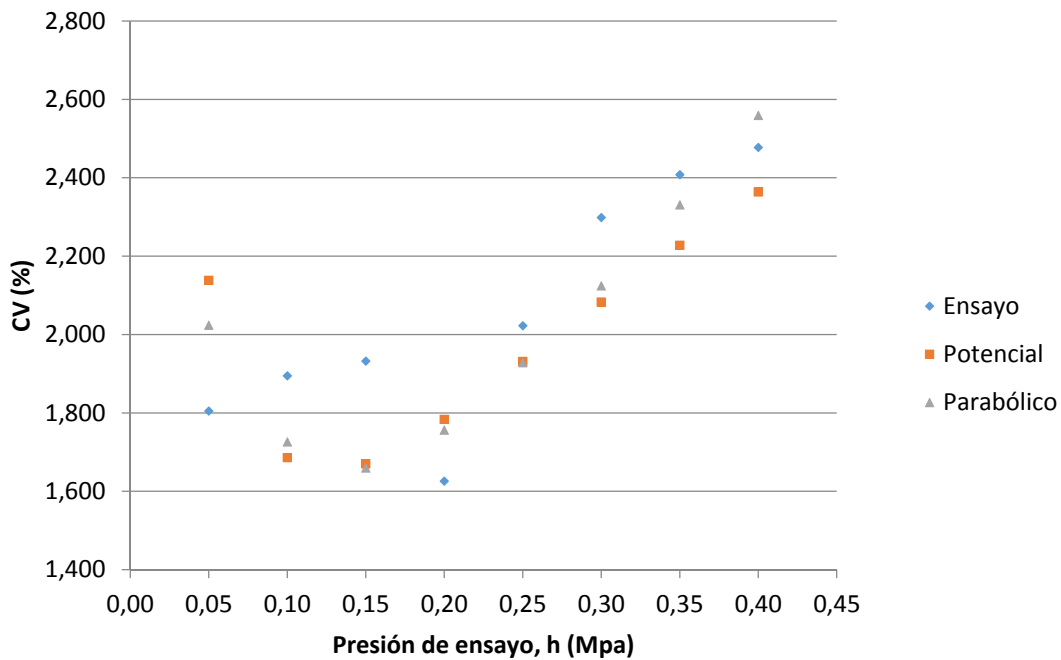
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		2,991	3,082	3,076	2,768	3,180	2,880	2,871	2,930	2,972
Ajuste potencial	Predicho	3,378	2,900	2,763	2,742	2,772	2,825	2,889	2,957	2,903
	Calculado con $K$	3,273	2,807	2,684	2,676	2,716	2,778	2,849	2,923	2,838
	Calculado con $\ln K$	3,271	2,807	2,684	2,676	2,717	2,779	2,850	2,925	2,839
Ajuste parabólico	Predicho	3,142	2,979	2,911	2,893	2,890	2,889	2,895	2,932	2,941
	Calculado	3,142	2,979	2,911	2,893	2,890	2,889	2,895	2,932	2,941



**II.3.11. Auto-6a (Netafim technet 2; Sin datos anómalos)**

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,187	-0,666	0,024	0,006	0,133	0,000	0,373		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,104	-0,666	2,318	0,003	0,133	0,344	-5,176	-1,405	6,561

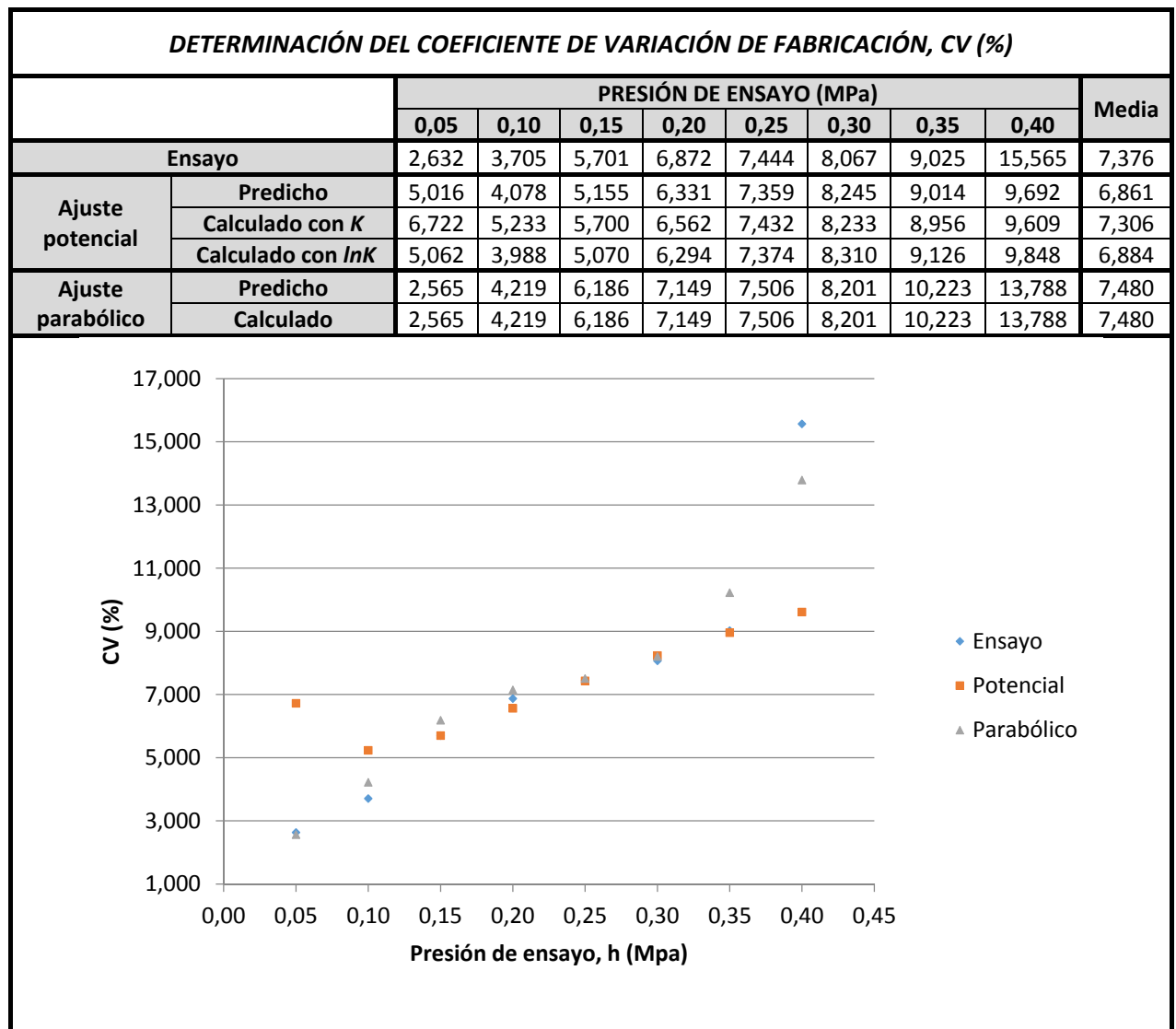
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		1,805	1,894	1,932	1,626	2,022	2,298	2,408	2,477	2,058
Ajuste potencial	Predicho	2,121	1,673	1,661	1,778	1,928	2,081	2,227	2,364	1,979
	Calculado con $K$	2,138	1,686	1,670	1,783	1,931	2,083	2,228	2,364	1,985
	Calculado con $\ln K$	2,121	1,673	1,663	1,780	1,931	2,084	2,231	2,368	1,981
Ajuste parabólico	Predicho	2,024	1,726	1,659	1,756	1,928	2,124	2,331	2,559	2,013
	Calculado	2,024	1,726	1,659	1,756	1,928	2,124	2,331	2,559	2,013





## II.3.12. Auto-7 (Netafim botón 2)

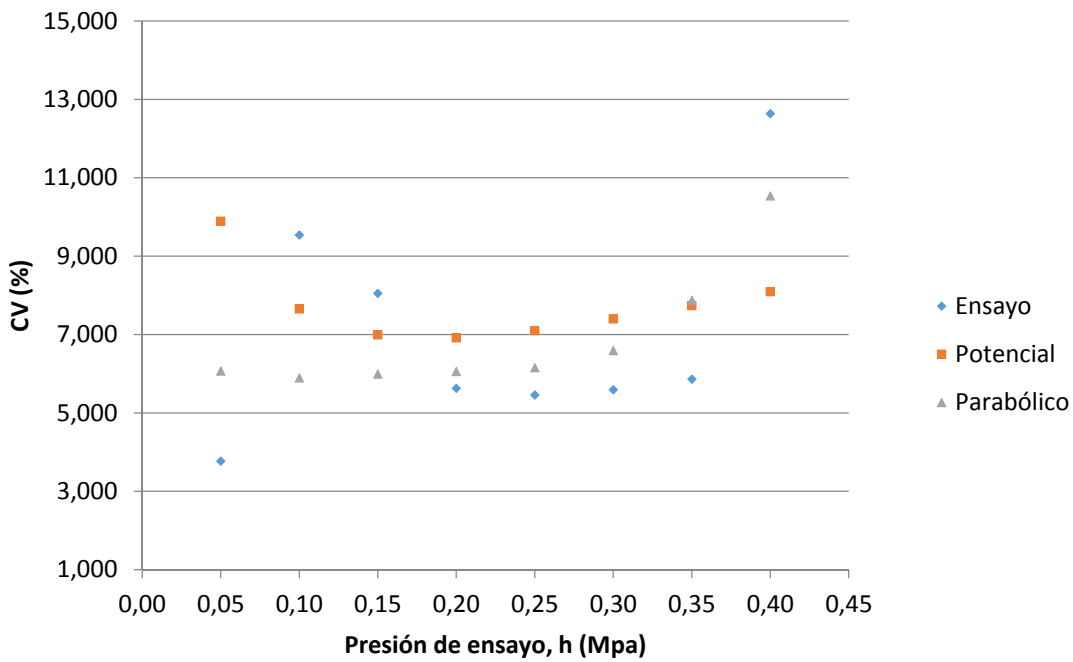
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,294	-0,232	0,097	0,111	4,577	0,003	0,381		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,781	-0,232	3,346	0,012	4,577	33,871	-17,810	-2,606	46,949



**II.3.13. Auto-8 (Turboplus 4)**

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE</b>									
<b>Ajuste potencial</b>	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	4,543	7,936	0,056	0,274	5,710	0,003	0,378		
<b>Ajuste parabólico</b>	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,364	7,936	-16,025	0,062	5,710	42,562	-3,841	-2,515	6,996

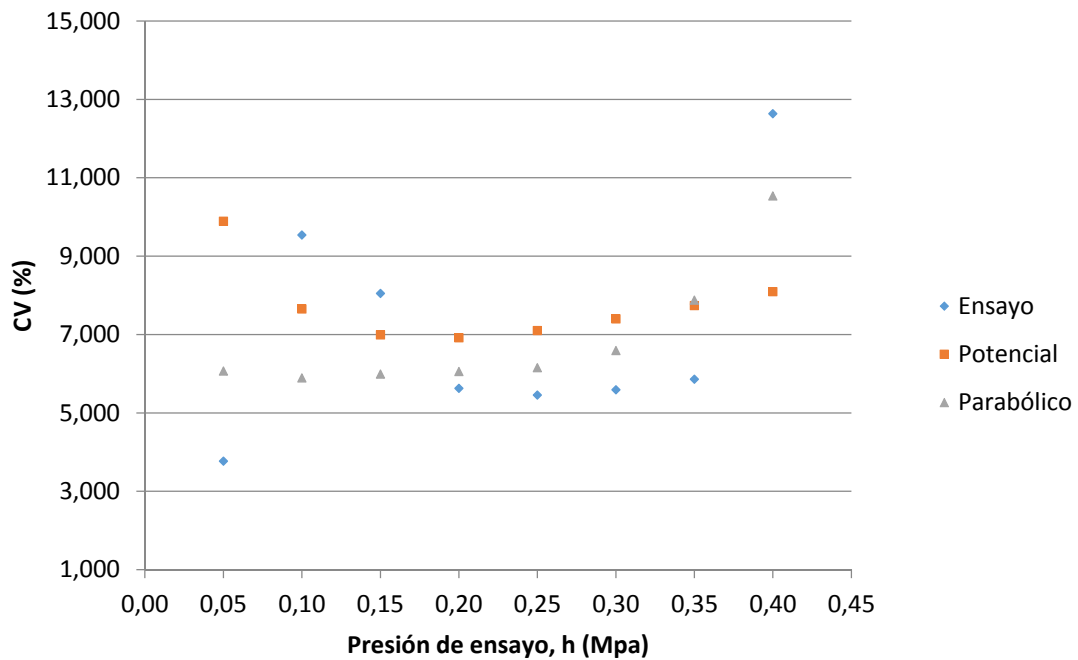
<b>DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)</b>										
		<b>PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)</b>								<b>Media</b>
		<b>0,05</b>	<b>0,10</b>	<b>0,15</b>	<b>0,20</b>	<b>0,25</b>	<b>0,30</b>	<b>0,35</b>	<b>0,40</b>	
<b>Ensayo</b>		3,768	9,539	8,050	5,629	5,457	5,592	5,860	12,637	7,067
<b>Ajuste potencial</b>	<b>Predicho</b>	6,719	5,333	5,610	6,195	6,793	7,344	7,840	8,286	6,765
	<b>Calculado con K</b>	9,892	7,654	6,989	6,916	7,101	7,398	7,740	8,095	7,723
	<b>Calculado con lnK</b>	6,896	5,405	5,625	6,266	6,967	7,637	8,254	8,819	6,984
<b>Ajuste parabólico</b>	<b>Predicho</b>	6,068	5,893	5,989	6,058	6,154	6,591	7,878	10,535	6,896
	<b>Calculado</b>	6,068	5,893	5,989	6,058	6,154	6,591	7,878	10,535	6,896



## II.3.14. Auto-8a (Turboplus 4; Sin datos anómalos)

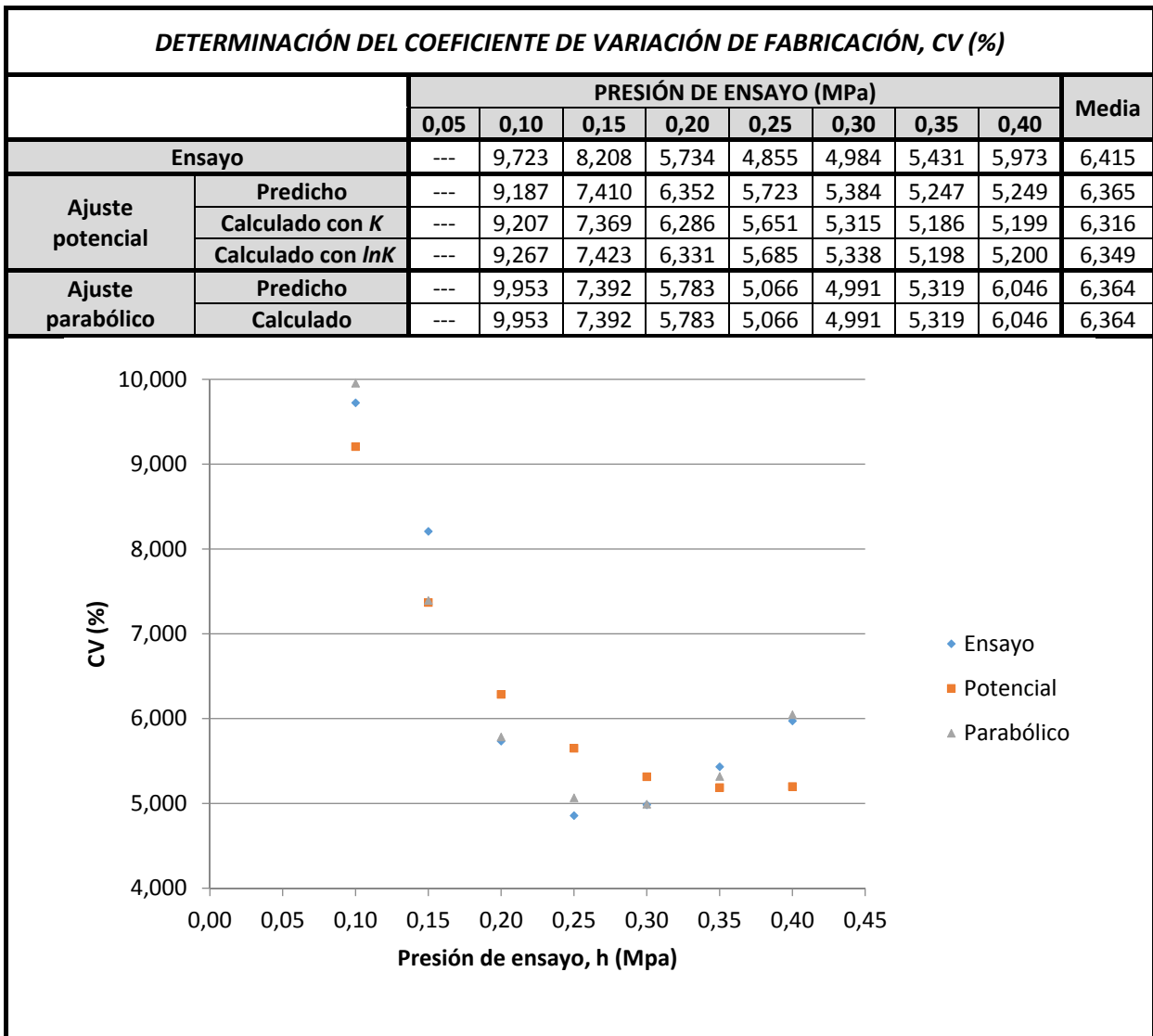
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	4,619	7,663	0,065	0,133	4,021	0,001	0,284		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,380	7,663	-14,993	0,058	4,021	16,616	-2,318	-1,902	0,362

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		3,835	9,723	8,208	5,734	4,855	4,984	5,431	5,973	6,093
Ajuste potencial	Predicho	6,120	5,440	5,346	5,434	5,590	5,771	5,959	6,146	5,726
	Calculado con $K$	6,288	5,479	5,347	5,424	5,578	5,762	5,952	6,142	5,747
	Calculado con $\ln K$	6,365	5,518	5,356	5,413	5,552	5,723	5,905	6,088	5,740
Ajuste parabólico	Predicho	6,155	6,020	6,117	6,176	6,101	5,881	5,575	5,384	5,926
	Calculado	6,155	6,020	6,117	6,176	6,101	5,881	5,575	5,384	5,926



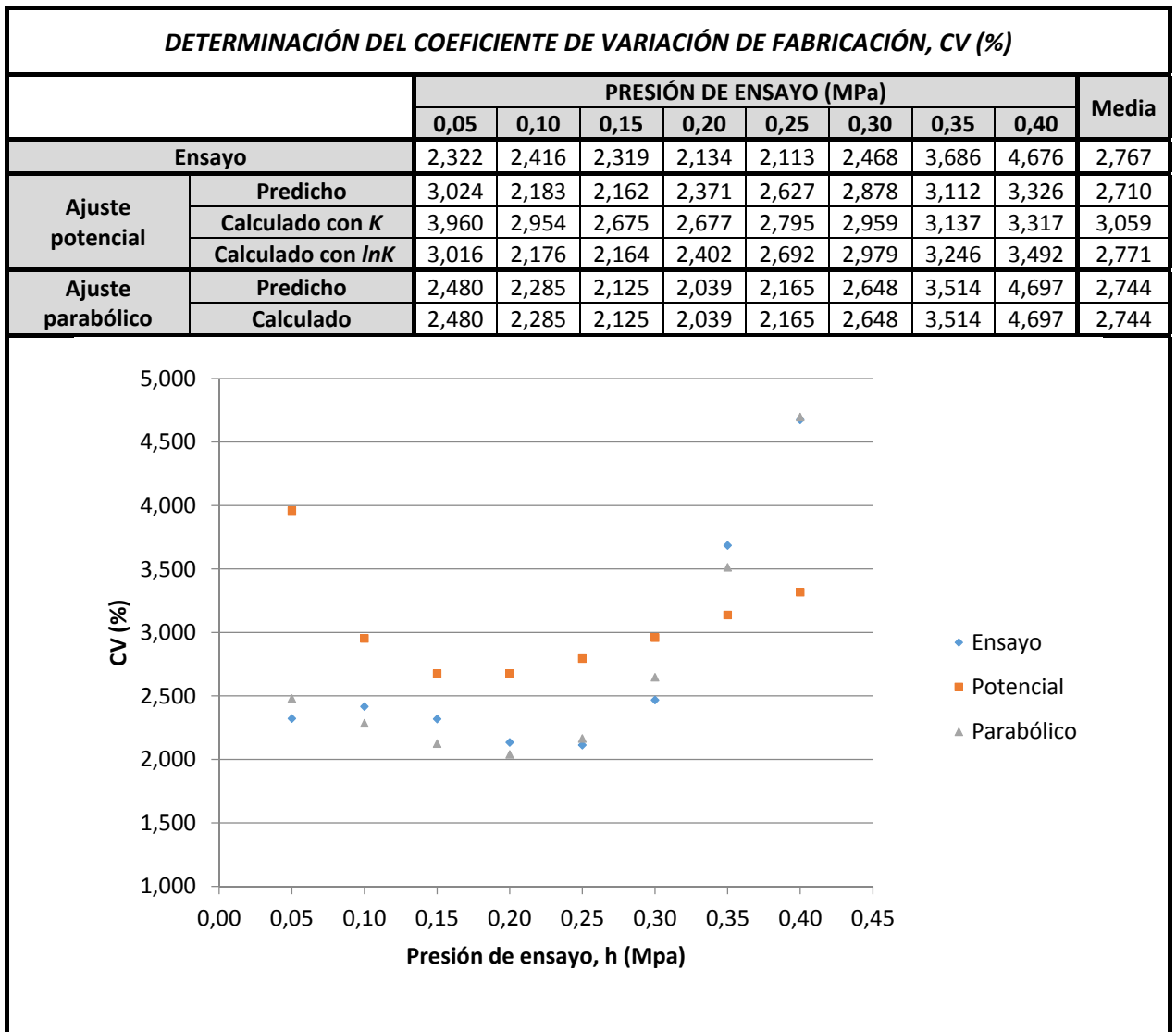
**II.3.15. Auto-8ac (Turboplus 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación)**

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE</b>									
<b>Ajuste potencial</b>	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	4,100	0,067	-0,024	0,102	17,793	0,003	0,559		
<b>Ajuste parabólico</b>	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	4,313	0,067	-1,181	0,586	17,793	43,162	-5,343	-1,544	8,243



## II.3.16. Auto-9 (Azud premier line 2,3)

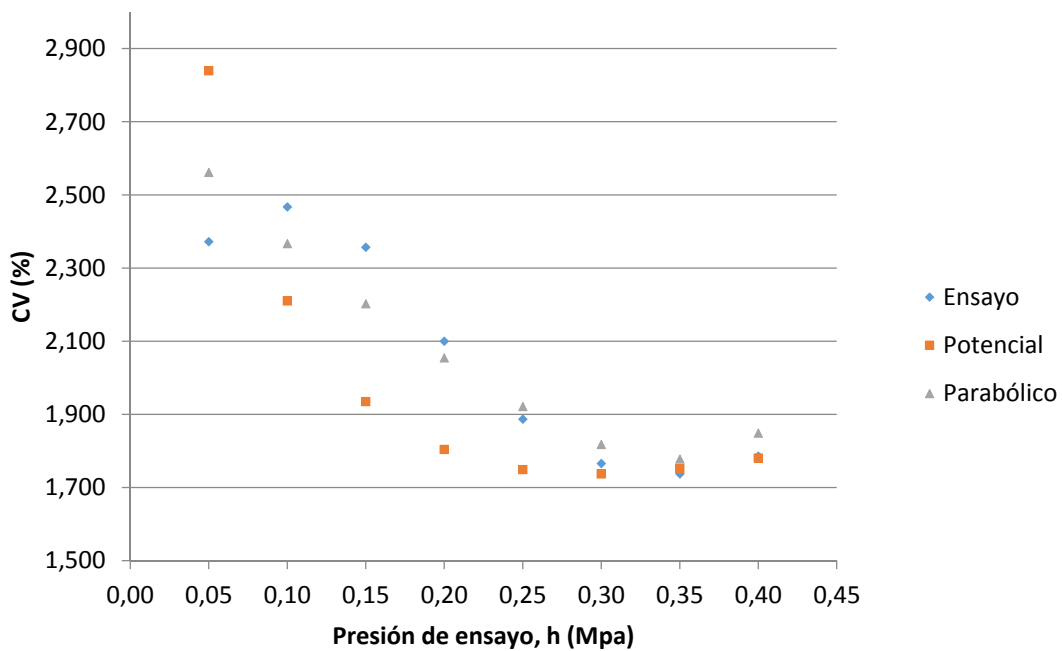
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,262	-1,152	-0,012	0,012	0,118	0,001	0,405		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,416	-1,152	2,340	0,004	0,118	1,444	-2,836	-2,808	2,904



II.3.17. Auto-9a (Azud premier line 2,3; Sin datos anómalos)

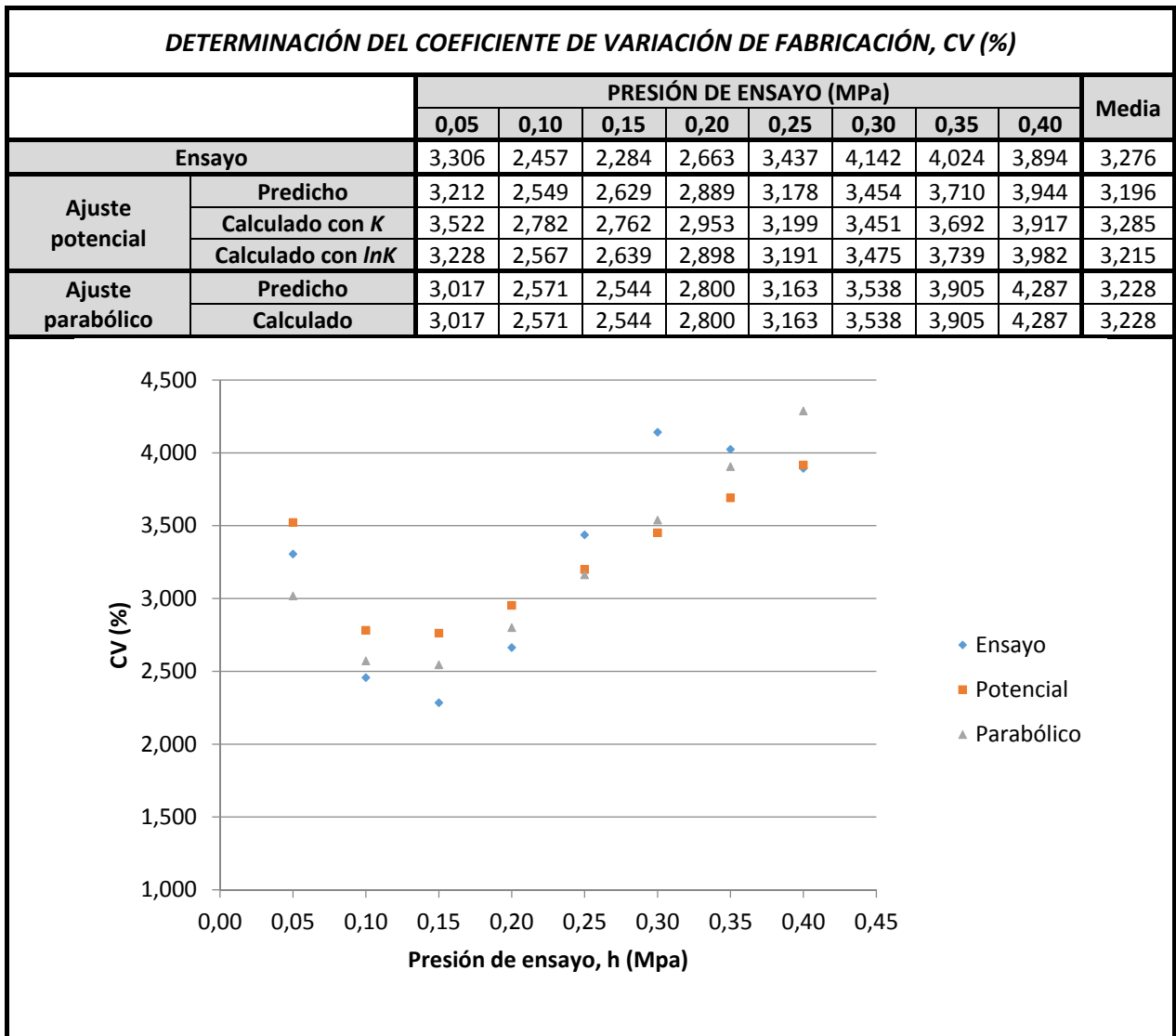
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,282	-1,201	-0,008	0,003	0,079	0,000	0,363		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,420	-1,201	2,565	0,005	0,079	0,262	-2,414	-1,381	0,539

DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		2,372	2,467	2,357	2,100	1,887	1,765	1,737	1,786	2,059
Ajuste potencial	Predicho	2,845	2,216	1,940	1,808	1,752	1,740	1,753	1,782	1,980
	Calculado con $K$	2,839	2,210	1,935	1,804	1,749	1,737	1,751	1,780	1,976
	Calculado con $\ln K$	2,839	2,210	1,935	1,804	1,749	1,737	1,751	1,780	1,976
Ajuste parabólico	Predicho	2,561	2,367	2,202	2,055	1,921	1,817	1,778	1,849	2,069
	Calculado	2,561	2,367	2,202	2,055	1,921	1,817	1,778	1,849	2,069



## II.3.18. Auto-10 (Azud premier line 1,5)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	1,452	-0,901	-0,009	0,007	0,188	0,001	0,372		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,549	-0,901	1,962	0,004	0,188	0,488	-5,700	-1,440	7,814



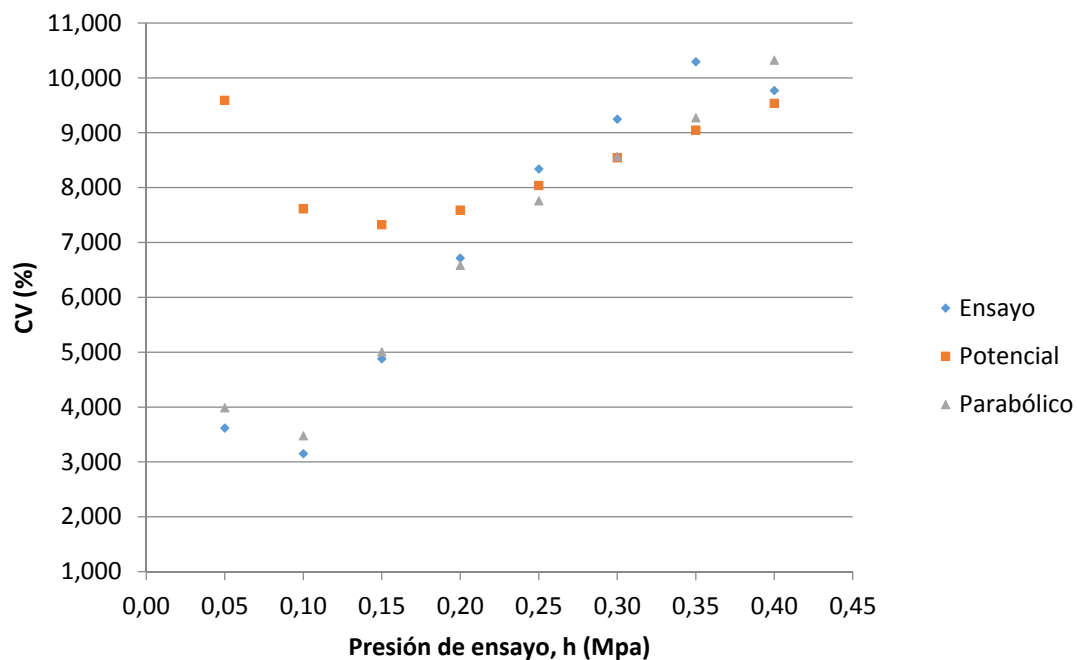
## II.3.19. Auto-11 (Azud premier line 1,1)

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE

Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
		1,028	-0,024	-0,032	0,020	1,050	0,003	0,365	
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,105	-0,024	-0,369	0,006	1,050	3,927	-11,397	-1,841	20,717

## DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)

		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		3,617	3,151	4,879	6,715	8,338	9,245	10,293	9,768	7,001
Ajuste potencial	Predicho	4,064	3,748	5,162	6,403	7,413	8,249	8,958	9,572	6,696
	Calculado con $K$	9,592	7,612	7,325	7,589	8,040	8,543	9,049	9,536	8,411
	Calculado con $\ln K$	4,019	3,804	5,388	6,807	7,986	8,981	9,837	10,587	7,176
Ajuste parabólico	Predicho	3,986	3,475	5,005	6,584	7,757	8,567	9,271	10,323	6,871
	Calculado	3,986	3,475	5,005	6,584	7,757	8,567	9,271	10,323	6,871

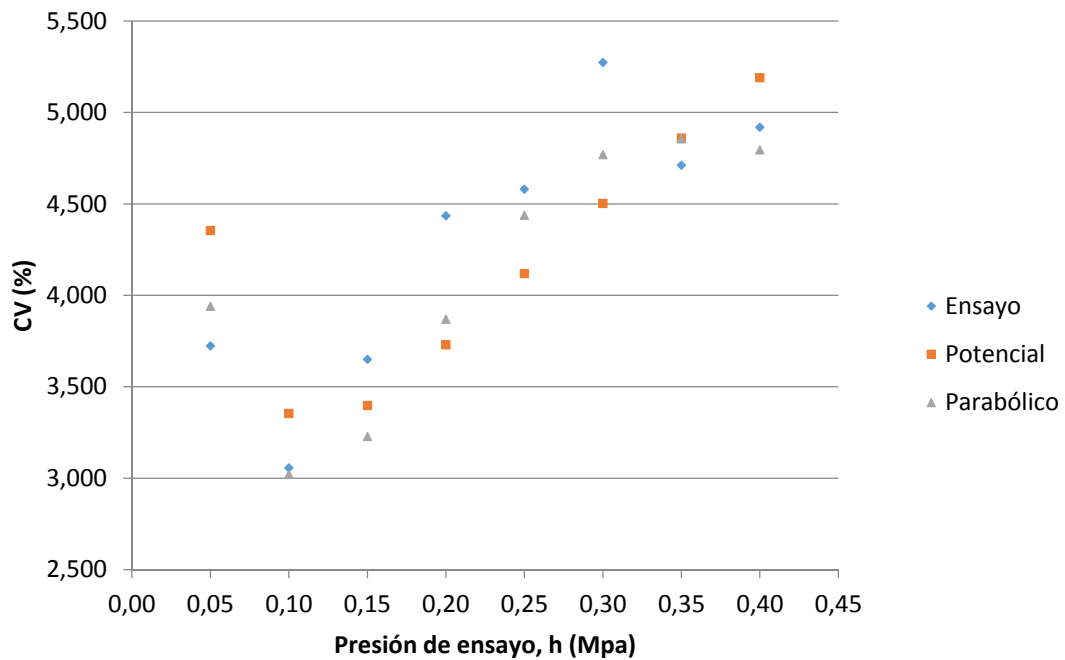




## II.3.20. Auto-11a (Azud premier line 1,1; Sin datos anómalos)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	1,069	-0,168	-0,015	0,007	0,857	0,001	0,383		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,102	0,073	-0,383	0,004	0,390	1,081	-8,158	-1,626	12,744

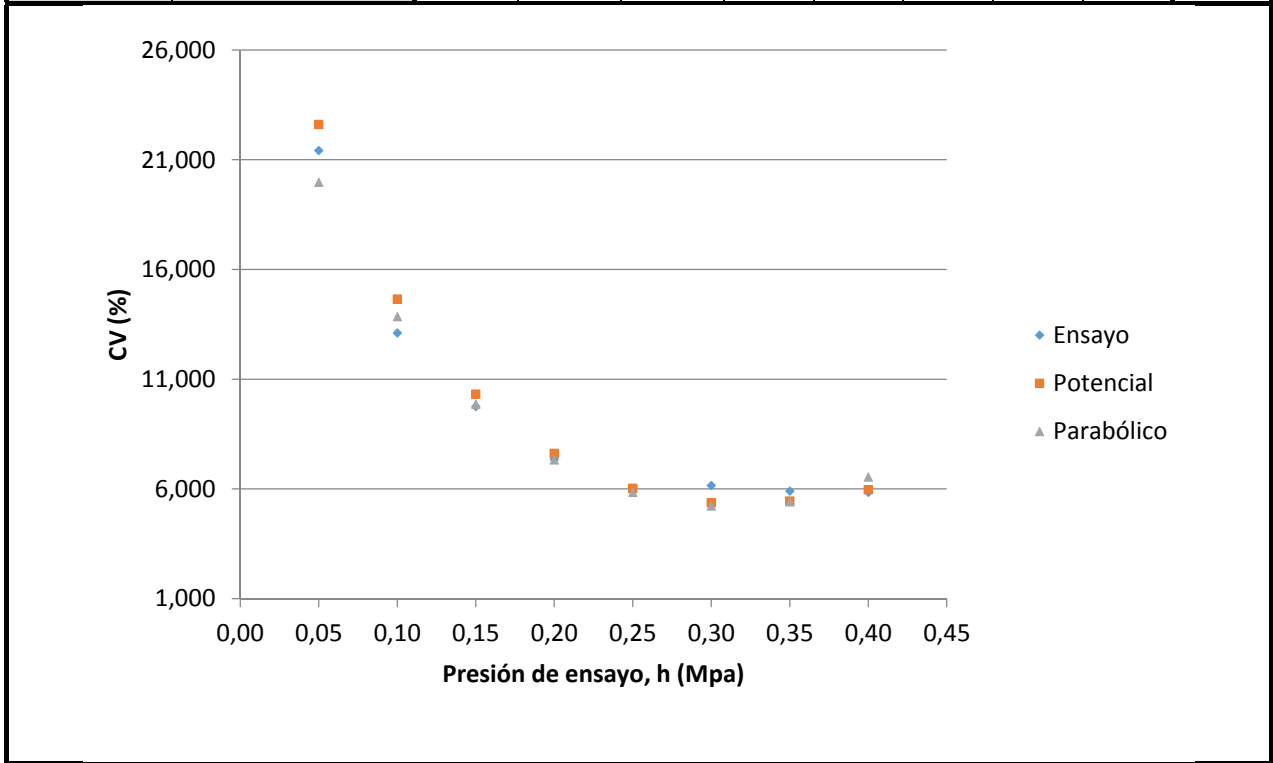
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		3,723	3,056	3,650	4,435	4,580	5,273	4,711	4,918	4,293
Ajuste potencial	Predicho	3,922	2,961	3,140	3,575	4,030	4,454	4,838	5,185	4,013
	Calculado con $K$	4,355	3,354	3,398	3,729	4,119	4,502	4,860	5,190	4,188
	Calculado con $\ln K$	3,865	2,979	3,184	3,631	4,096	4,529	4,922	5,279	4,061
Ajuste parabólico	Predicho	3,940	3,020	3,228	3,870	4,437	4,769	4,856	4,795	4,114
	Calculado	3,940	3,020	3,228	3,870	4,437	4,769	4,856	4,795	4,114



**II.3.21. Auto-12 (LBC 4)**

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE</b>									
<b>Ajuste potencial</b>	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	5,726	11,317	0,125	0,691	27,474	0,014	0,754		
<b>Ajuste parabólico</b>	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,352	11,317	-19,738	0,982	27,474	61,551	-4,811	-1,376	5,599

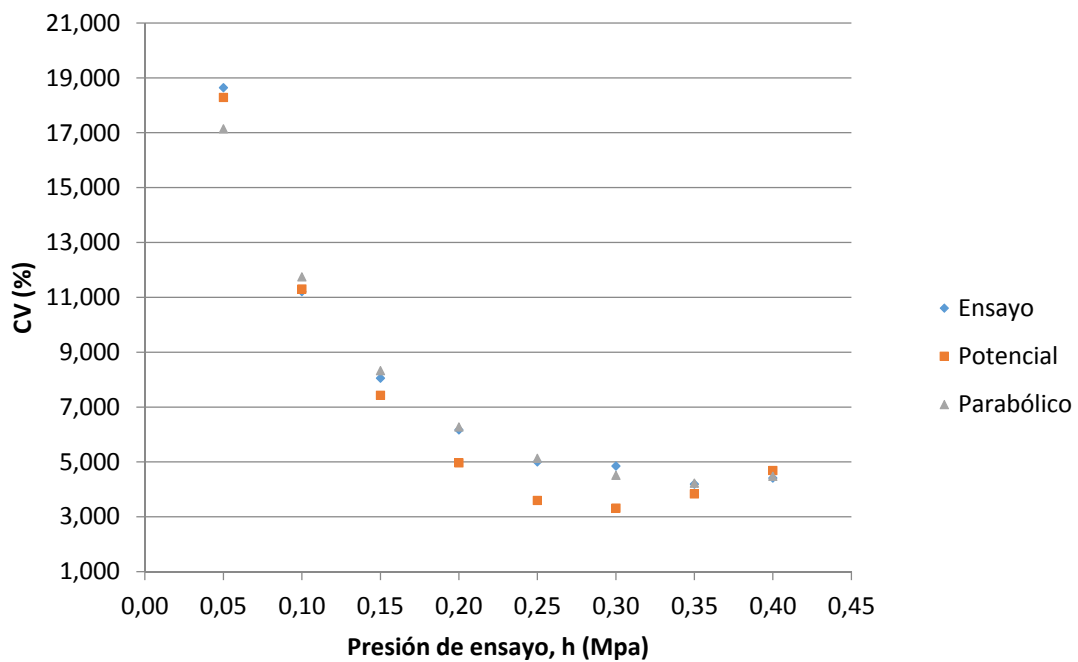
<b>DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)</b>										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
<b>Ensayo</b>		21,419	13,103	9,751	7,344	6,019	6,154	5,899	5,843	9,442
<b>Ajuste potencial</b>	<b>Predicho</b>	20,334	13,677	9,846	7,381	5,896	5,265	5,329	5,836	9,196
	<b>Calculado con K</b>	22,611	14,649	10,323	7,624	6,035	5,374	5,446	5,969	9,754
	<b>Calculado con lnK</b>	22,527	14,560	10,230	7,527	5,941	5,296	5,391	5,936	9,676
<b>Ajuste parabólico</b>	<b>Predicho</b>	19,966	13,849	9,864	7,323	5,844	5,221	5,412	6,545	9,253
	<b>Calculado</b>	19,966	13,849	9,864	7,323	5,844	5,221	5,412	6,545	9,253



## II.3.22. Auto-12a (LBC 4; Sin datos anómalos)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	5,689	10,637	0,111	0,559	27,193	0,010	0,753		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,525	10,637	-18,721	0,814	27,193	63,499	-5,241	-1,450	6,580

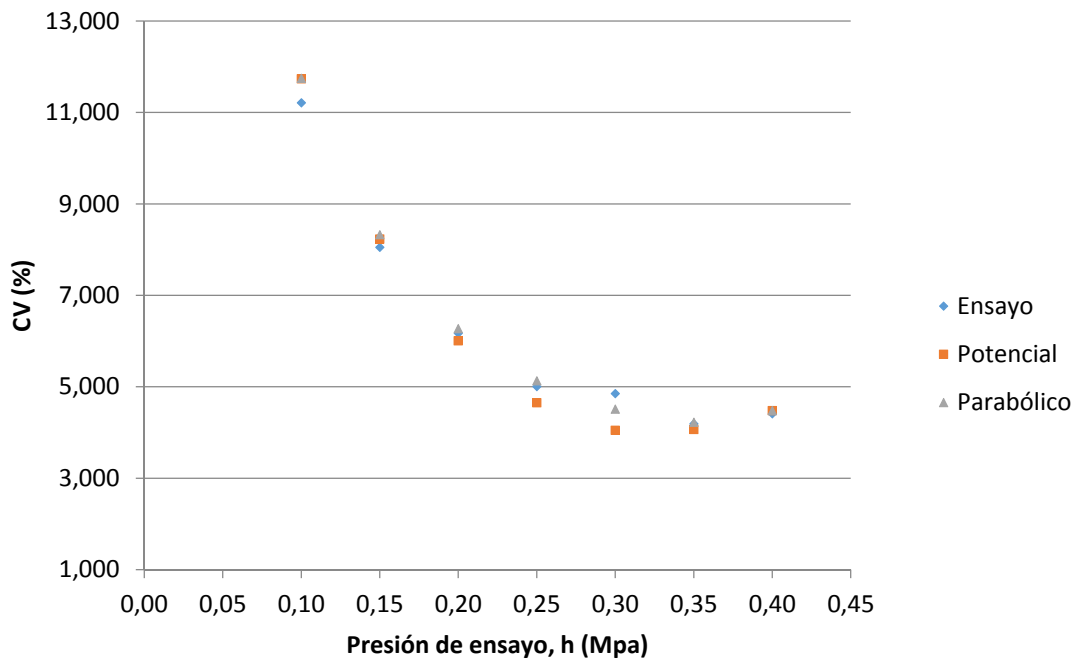
DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
Ensayo		18,642	11,212	8,051	6,171	5,005	4,852	4,190	4,411	7,817
Ajuste potencial	Predicho	17,406	11,602	8,234	6,064	4,787	4,318	4,497	5,060	7,746
	Calculado con $K$	18,286	11,305	7,429	4,969	3,595	3,314	3,837	4,686	7,178
	Calculado con $\ln K$	19,181	12,283	8,511	6,154	4,793	4,300	4,482	5,047	8,094
Ajuste parabólico	Predicho	17,143	11,746	8,325	6,273	5,131	4,511	4,225	4,479	7,729
	Calculado	17,143	11,746	8,325	6,273	5,131	4,511	4,225	4,479	7,729



**II.3.23. Auto-12ac (LBC 4; Sin datos anómalos; Intervalo de compensación)**

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE</b>									
<b>Ajuste potencial</b>	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	5,405	10,637	0,074	0,379	27,193	0,009	0,774		
<b>Ajuste parabólico</b>	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,525	10,637	-18,721	0,814	27,193	63,499	-5,241	-1,450	6,580

<b>DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)</b>										
		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)								Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	
<b>Ensayo</b>		---	11,212	8,051	6,171	5,005	4,852	4,190	4,411	6,270
<b>Ajuste potencial</b>	<b>Predicho</b>	---	11,202	8,086	6,058	4,801	4,214	4,190	4,543	6,156
	<b>Calculado con K</b>	---	11,734	8,232	6,007	4,653	4,049	4,067	4,478	6,174
	<b>Calculado con lnK</b>	---	11,878	8,386	6,168	4,811	4,186	4,166	4,539	6,305
<b>Ajuste parabólico</b>	<b>Predicho</b>	---	11,746	8,325	6,273	5,131	4,511	4,225	4,479	6,384
	<b>Calculado</b>	---	11,746	8,325	6,273	5,131	4,511	4,225	4,479	6,384

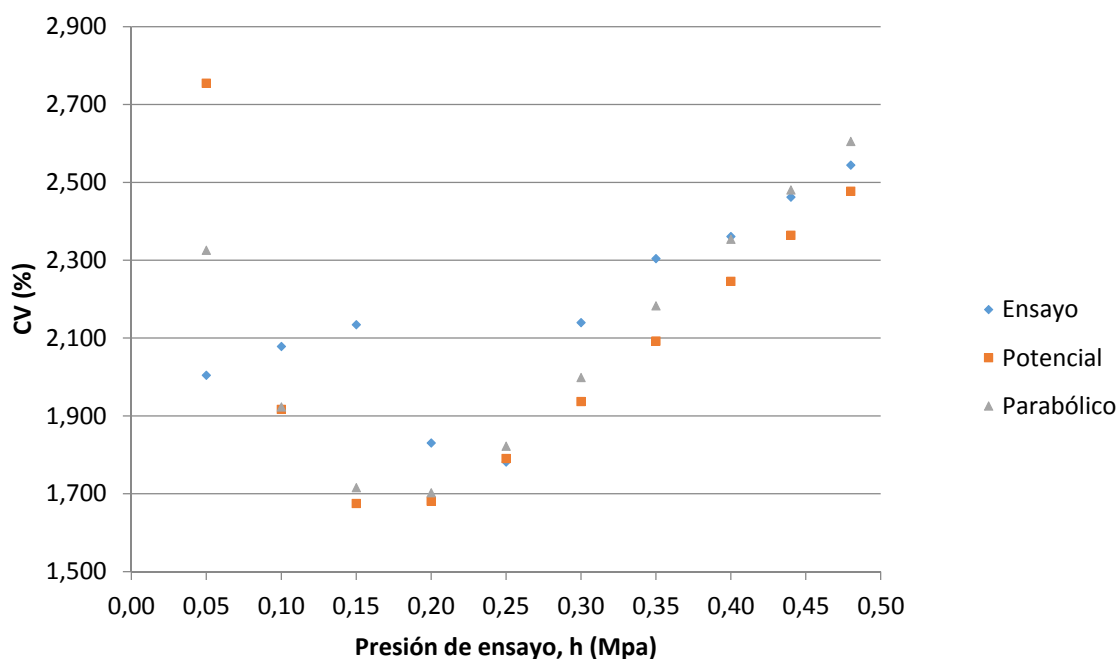


## II.3.24. Auto-13 (Azud premier line 2.3L 9261)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,213	-1,248	-0,011	0,006	0,164	0,000	0,444		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,378	-1,248	2,253	0,005	0,164	0,245	-4,788	-1,098	4,387

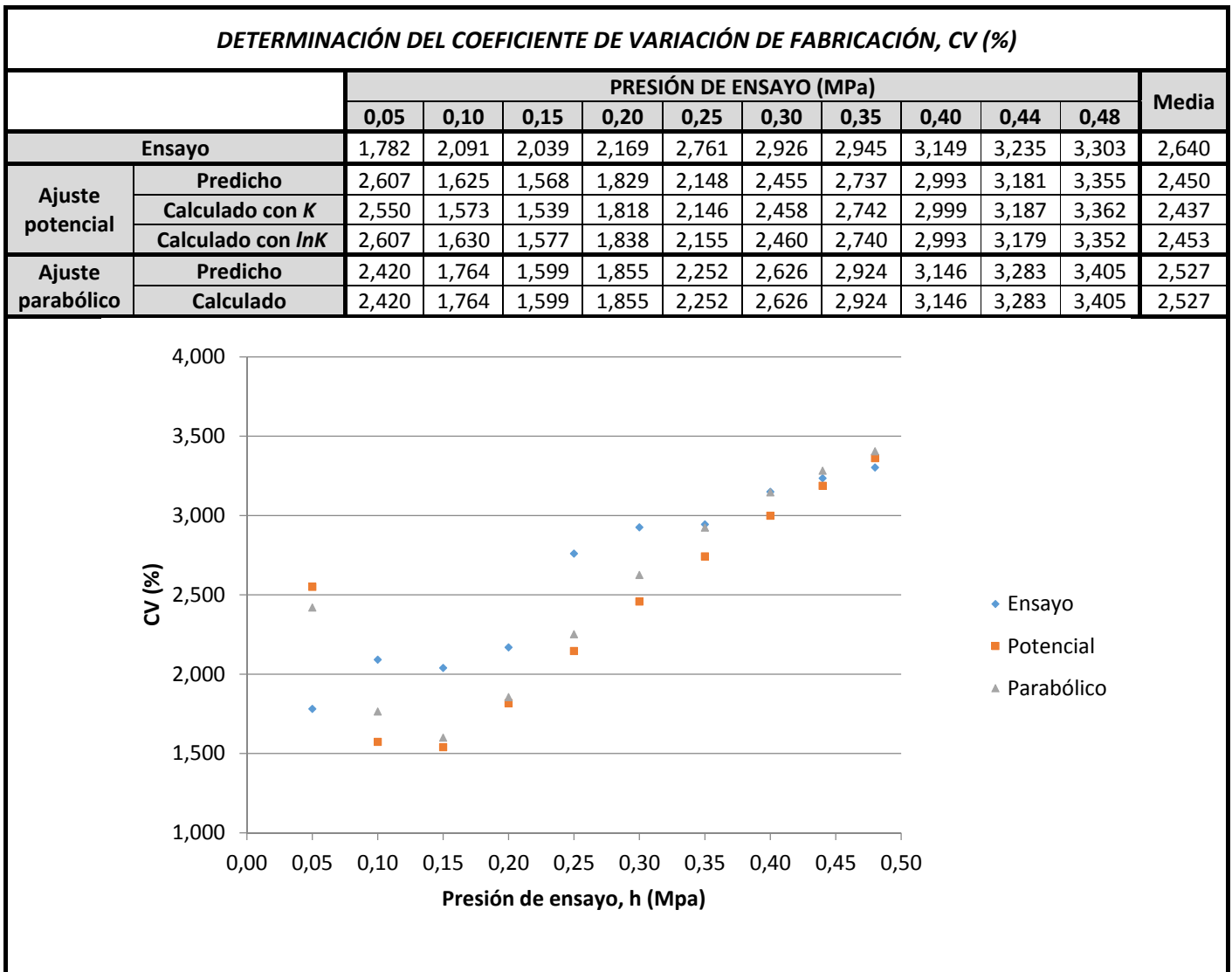
## DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)

		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	
Ensayo		2,004	2,079	2,134	1,830	1,781	2,140	2,304	2,361	2,004	2,079	2,072
Ajuste potencial	Predicho	2,640	1,812	1,601	1,638	1,769	1,929	2,094	2,252	2,640	1,812	2,019
	Calculado con $K$	2,755	1,917	1,675	1,681	1,790	1,937	2,092	2,246	2,755	1,917	2,077
	Calculado con $\ln K$	2,633	1,806	1,592	1,630	1,765	1,930	2,099	2,262	2,633	1,806	2,016
Ajuste parabólico	Predicho	2,325	1,923	1,716	1,703	1,822	1,999	2,183	2,354	2,325	1,923	2,027
	Calculado	2,325	1,923	1,716	1,703	1,822	1,999	2,183	2,354	2,325	1,923	2,027



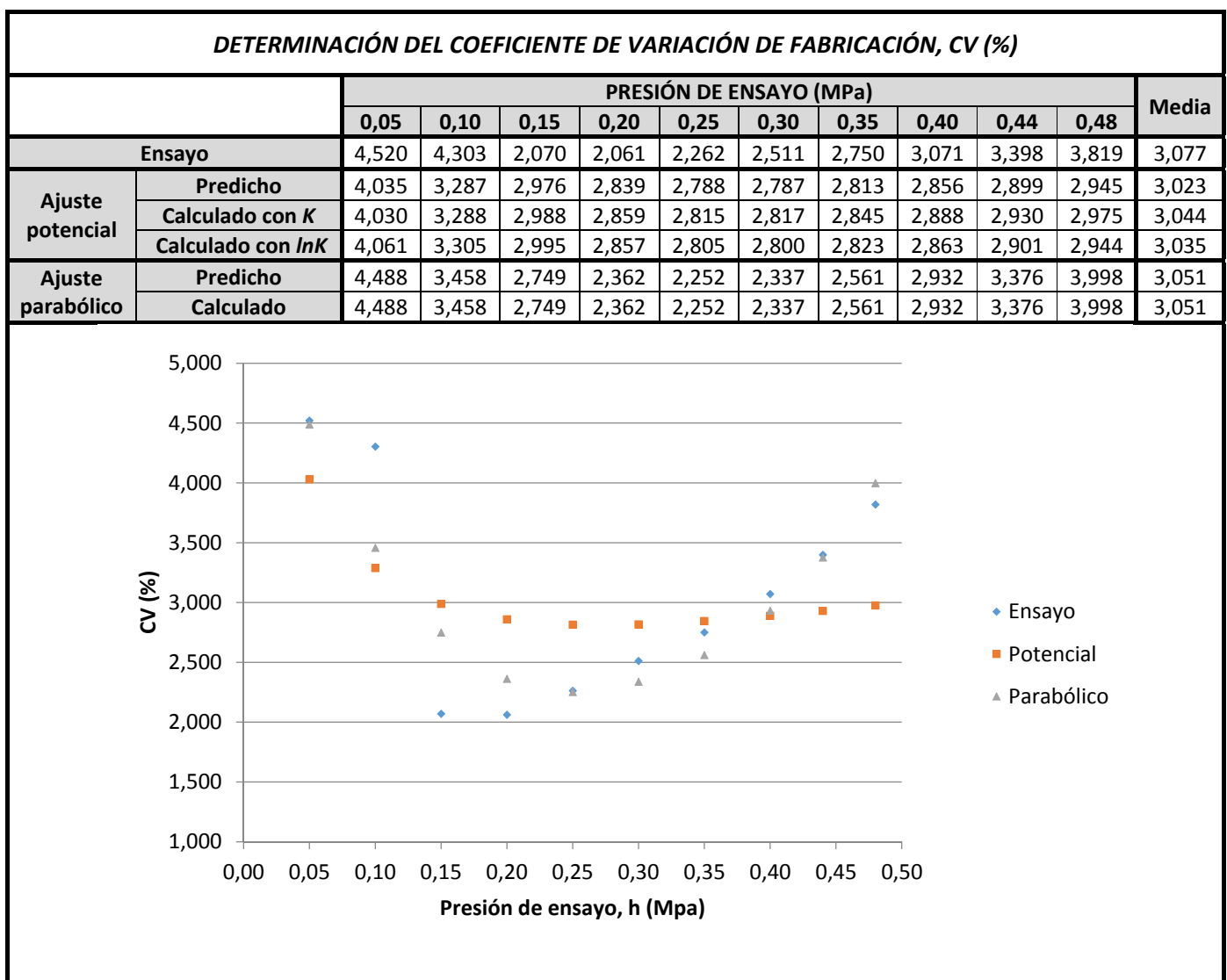
**II.3.25. Auto-14 (Azud premier line 1.6L 9261)**

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE</b>									
<b>Ajuste potencial</b>	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	1,587	-0,680	0,017	0,006	0,170	0,001	0,438		
<b>Ajuste parabólico</b>	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,578	-0,680	1,655	0,003	0,170	0,293	-6,794	-1,223	7,674



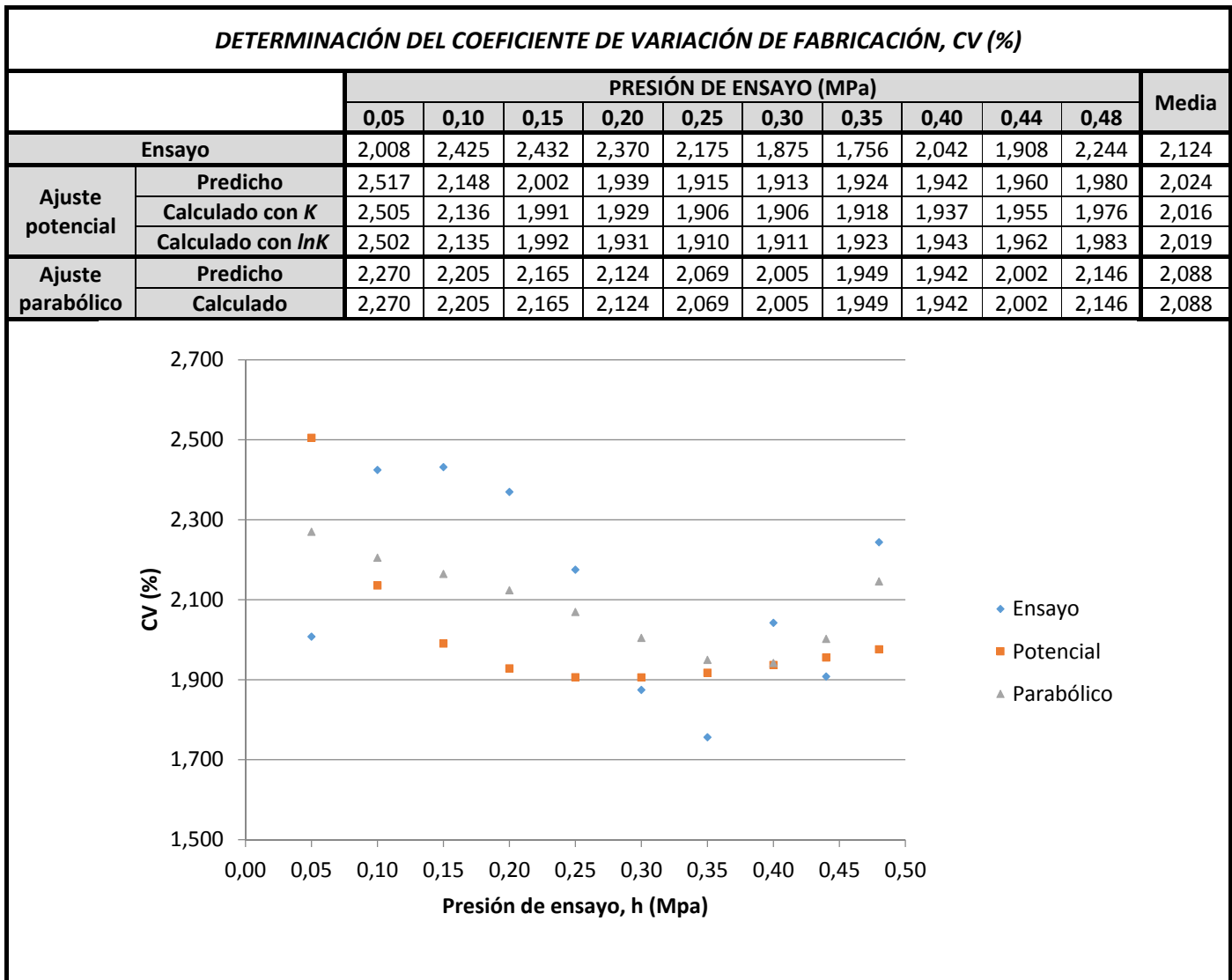
## II.3.26. Auto-15 (Azud premier line 1.0L 9261)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	0,957	0,105	-0,057	0,001	0,115	0,000	0,295		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,087	0,105	-0,789	0,004	0,115	0,285	-5,034	-1,543	7,809



**II.3.27. Auto-16 (Azud premier line 3.0L 9261)**

<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE</b>									
<b>Ajuste potencial</b>	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,946	-0,735	0,006	0,004	0,090	0,000	0,228		
<b>Ajuste parabólico</b>	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,969	-0,735	1,622	0,005	0,090	0,370	-1,609	-1,786	0,848



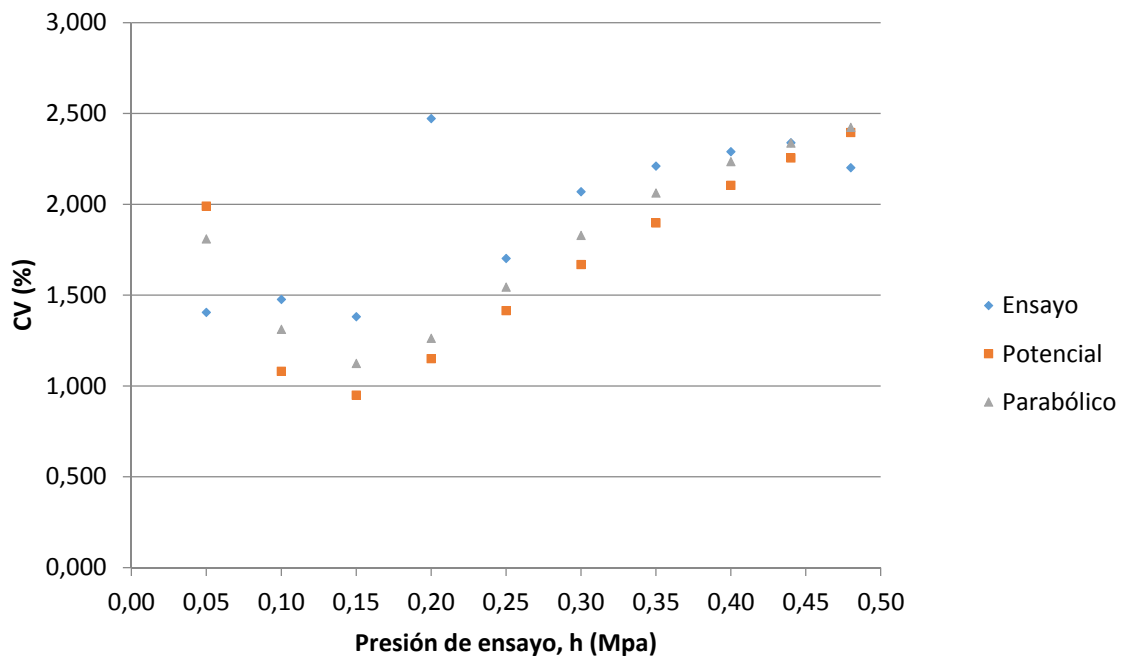


## II.3.28. Auto-17 (Azud premier line 3.5L 9261)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	3,268	-2,544	-0,022	0,014	0,456	0,000	0,468		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	3,661	-2,544	4,350	0,008	0,456	0,737	-6,594	-1,181	6,828

## DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)

		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)										Media
		0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,44	0,48	
Ensayo		1,405	1,477	1,381	2,472	1,702	2,069	2,210	2,289	2,339	2,202	1,955
Ajuste potencial	Predicho	2,070	1,188	1,033	1,197	1,438	1,678	1,901	2,103	2,252	2,390	1,725
	Calculado con $K$	1,990	1,080	0,949	1,151	1,415	1,668	1,898	2,105	2,256	2,395	1,691
	Calculado con $\ln K$	2,085	1,189	1,033	1,197	1,437	1,676	1,897	2,098	2,245	2,381	1,724
Ajuste parabólico	Predicho	1,809	1,312	1,124	1,263	1,544	1,829	2,062	2,235	2,337	2,423	1,794
	Calculado	1,809	1,312	1,124	1,263	1,544	1,829	2,062	2,235	2,337	2,423	1,794



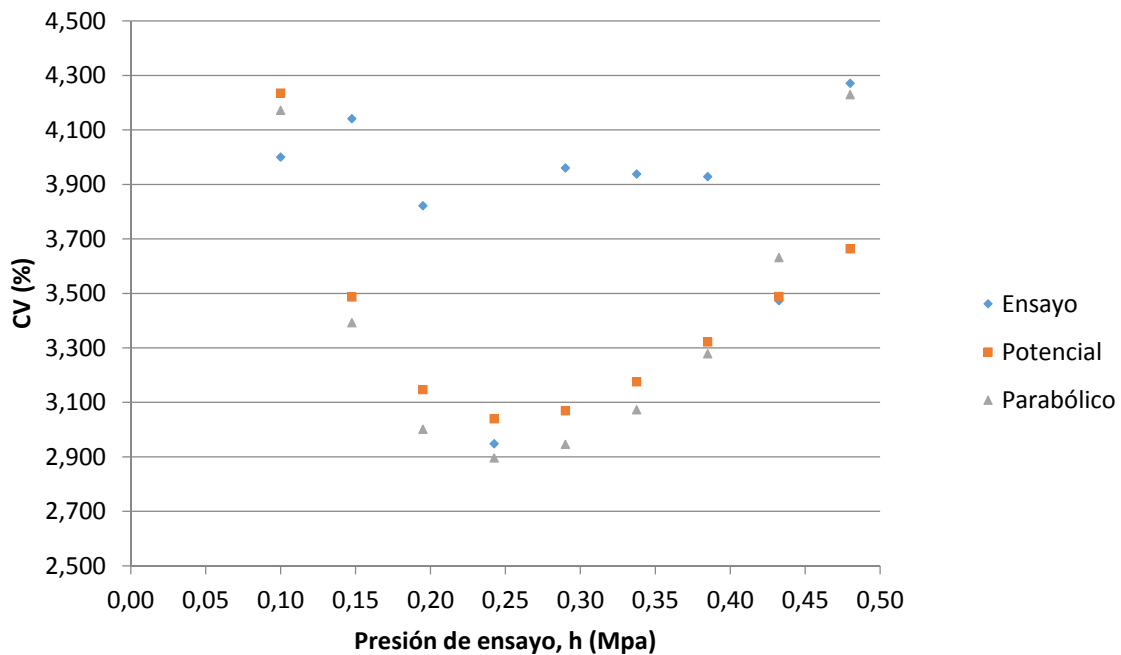
## II.3.29. Auto-18 (Ibán 1,6)

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE

Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	1,559	0,161	-0,001	0,007	0,424	0,001	0,491		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	1,543	0,161	-0,293	0,012	0,424	1,019	-5,257	-1,478	7,206

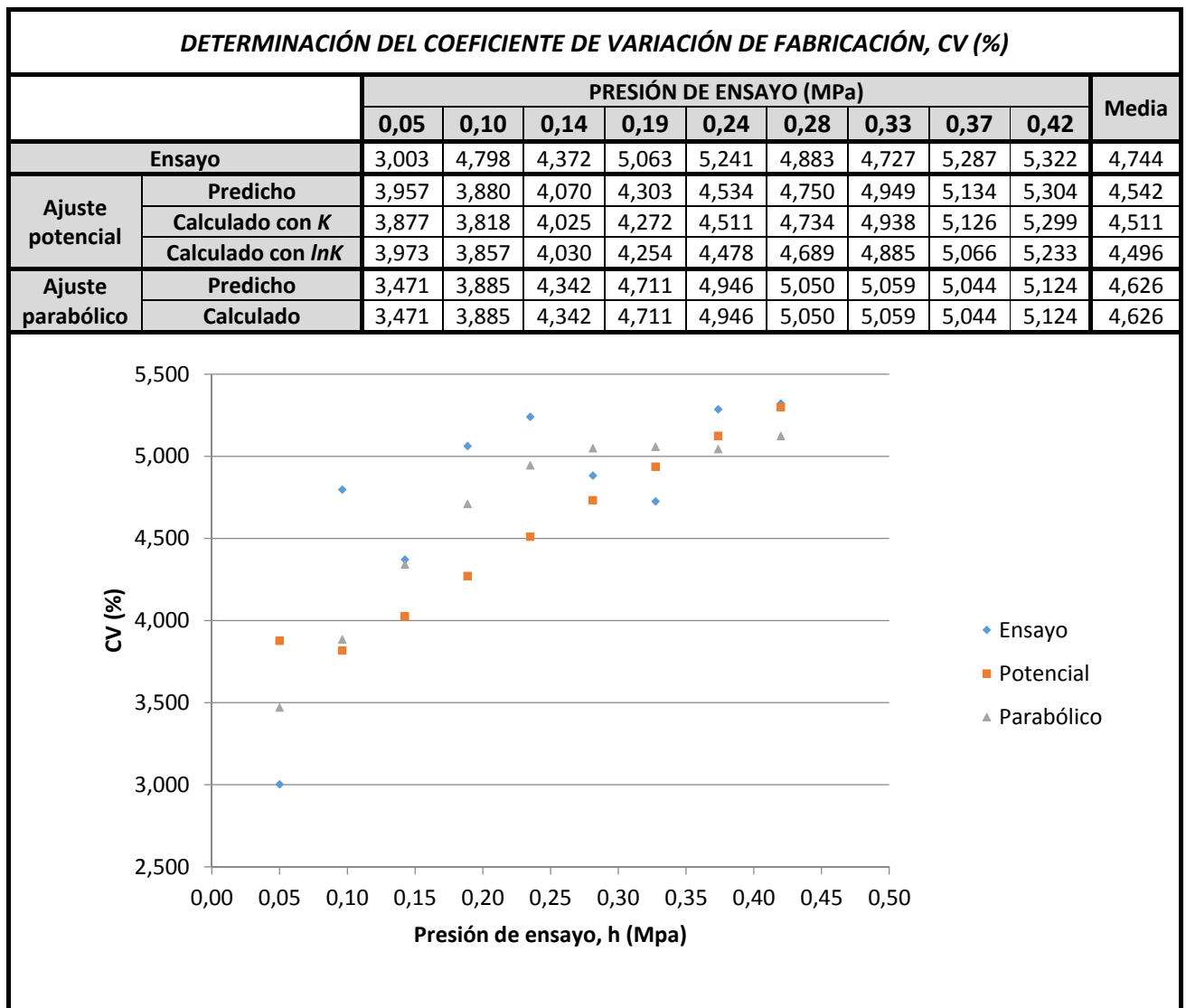
## DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE FABRICACIÓN, CV (%)

		PRESIÓN DE ENSAYO (MPa)									Media
		0,10	0,15	0,20	0,24	0,29	0,34	0,39	0,43	0,48	
Ensayo		4,001	4,142	3,822	2,948	3,961	3,938	3,929	3,474	4,272	3,832
Ajuste potencial	Predicho	4,017	3,314	3,012	2,937	2,991	3,116	3,277	3,455	3,637	3,306
	Calculado con $K$	4,236	3,487	3,147	3,040	3,070	3,176	3,323	3,489	3,664	3,404
	Calculado con $\ln K$	4,021	3,305	3,009	2,949	3,020	3,161	3,336	3,525	3,717	3,338
Ajuste parabólico	Predicho	4,172	3,393	3,002	2,896	2,946	3,073	3,279	3,632	4,230	3,403
	Calculado	4,172	3,393	3,002	2,896	2,946	3,073	3,279	3,632	4,230	3,403



## II.3.30. Auto-19 (Ibán 2,3)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS COEFICIENTES DE AJUSTE									
Ajuste potencial	$\bar{K}$	$\overline{\ln K}$	$\bar{x}$	$\sigma_K^2$	$\sigma_{\ln K}^2$	$\sigma_x^2$	$m_{\ln K, x}$		
	2,308	0,389	0,012	0,024	0,548	0,000	0,264		
Ajuste parabólico	$\bar{A}$	$\bar{B}$	$\bar{C}$	$\sigma_A^2$	$\sigma_B^2$	$\sigma_C^2$	$m_{A,B}$	$m_{B,C}$	$m_{A,C}$
	2,205	0,389	-0,530	0,006	0,548	2,174	-1,397	-1,843	-0,044





## ANEXO III: DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA INFORMÁTICO “ANASUB”

### III.1. INTRODUCCIÓN

La aplicación informática “ANÁLISIS DE SUBUNIDADES DE RIEGO LOCALIZADO” permite el análisis de subunidades de cualquier geometría, número de laterales y número de emisores por lateral.

Ha sido desarrollada mediante Microsoft Visual Basic 6.0®, que utiliza un lenguaje de programación dedicado a objetos y que genera programas compatibles con Microsoft Windows®.

Los módulos o bloques básicos de los que consta el programa son los siguientes:

- a) Gestión de subunidades: Introducción, grabación y recuperación de datos de subunidades.
- b) Gestión de emisores: Introducción, grabación y recuperación de datos de emisores.
- c) Generación de población y muestra: A partir de los datos del emisor y del tamaño de la subunidad, se genera una población ficticia de emisores y se extrae de ella una muestra representativa aleatoria que luego se “siembra” también aleatoriamente por la subunidad.
- d) Establecimiento de parámetros hidráulicos: Para definir las pérdidas de carga, tanto continuas (rozamiento) como localizadas (por inserción de emisores y laterales).
- e) Análisis de la subunidad: Tomando los datos de la subunidad, del emisor y teniendo en cuenta los parámetros hidráulicos, se analiza la subunidad calculando el caudal realmente arrojado por cada uno de los emisores que la componen.
- f) Obtención de resultados y gráficos: A partir de la subunidad analizada, se determinan diversos parámetros que caracterizan su funcionamiento. También se representan en forma gráfica las presiones y caudales máximos y mínimos y las líneas de energía.

La interrelación entre estos módulos puede verse en la figura de la página siguiente, donde se representa el esquema general de la aplicación informática.

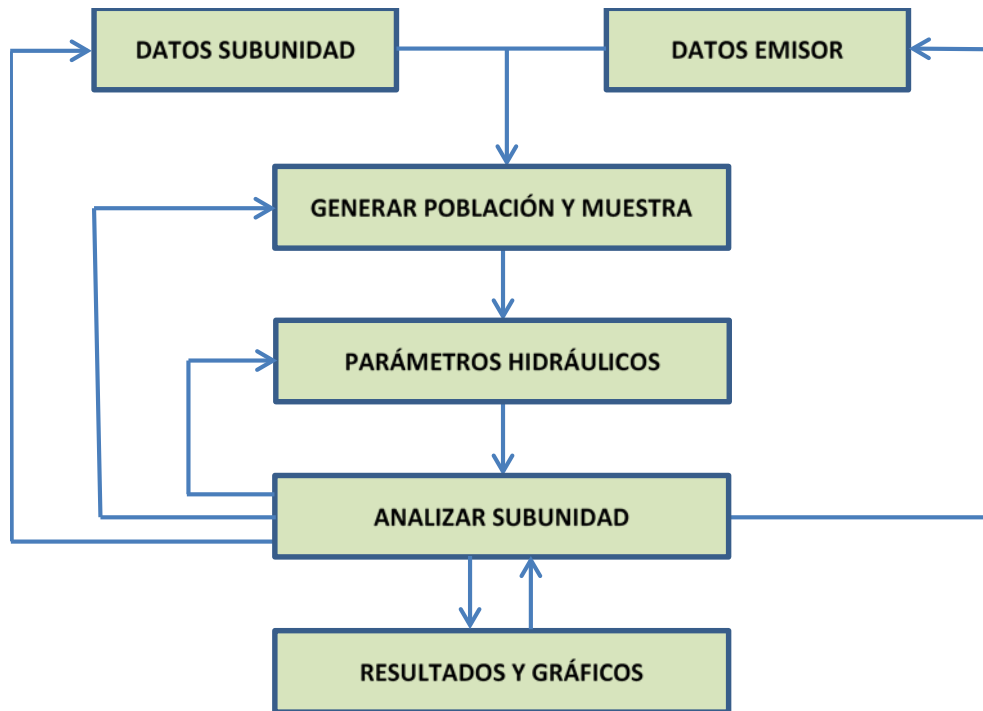


Figura 25: Esquema general de los módulos del programa informático

La aplicación informática funciona en entorno Windows®, por lo que se estructura en diferentes pantallas que a continuación se enumeran:

- Inicio
- Datos y geometría de la subunidad (introducción y recuperación de datos)
- Número de plantas y pendientes (introducción y grabación de datos)
- Datos de emisores (introducción, recuperación y grabación de datos)
- Comportamiento del emisor (introducción y modificación de datos)
- Generación de población y muestra (salida de resultados)
- Parámetros hidráulicos (introducción y modificación de datos y parámetros)
- Caudales y presiones (modificación de parámetros y salida de resultados)
- Caudales y presiones máximos y mínimos (salida gráfica)
- Líneas de energía (salida gráfica)
- Uniformidad de distribución (salida de resultados)

### III.2. INICIO

La pantalla de inicio contiene los siguientes botones para acceder a los diferentes módulos, pantallas o bloques de la aplicación.



Imagen 14: Pantalla de inicio de la aplicación informática

SUBUNIDAD	Accede al módulo de gestión de subunidades: Introducir, grabar o recuperar archivos de datos de subunidad.
EMISOR	Accede al módulo de gestión de emisores: Introducir, grabar o recuperar archivos de datos de emisor.
POBLACIÓN Y MUESTRA	Accede al módulo de generación de la población de emisores y la generación de la muestra aleatoria para "sembrar" en la subunidad.
CÁLCULOS	Accede al modo de cálculos hidráulicos, que analiza la subunidad y calcula sus parámetros de funcionamiento.
FIN DEL PROGRAMA	Finaliza y cierra el programa.

Cada uno de esos botones da acceso a las sucesivas pantallas del programa.

### III.3. GESTIÓN DE SUBUNIDADES

El módulo de gestión de subunidades tiene como objetivo definir la subunidad que se va a analizar con el programa. Los datos y características de la misma pueden introducirse manualmente o recuperarse de un archivo ya creado con anterioridad.

En cualquier caso, los datos pueden modificarse y guardarse de nuevo en un archivo.

#### III.3.1. Introducción de una nueva subunidad

Una subunidad viene definida por los siguientes aspectos:

- Nombre de la subunidad: Permite identificarla posteriormente y distinguirla de otras.
- Disposición de emisores en el lateral: Los emisores pueden ser:
  - Equidistantes: Todos los emisores del lateral están a la misma distancia entre sí.
  - Agrupados: Los emisores forman grupos que a su vez son equidistantes.
- Disposición de laterales en la terciaria: Dadas las filas de plantas que conforman la subunidad, se pueden dar los siguientes casos:
  - Lateral simple: Un solo lateral por fila de plantas, siendo estas equidistantes.
  - Lateral doble: Dos laterales por fila de plantas, siendo estas equidistantes.
  - Separación irregular: Cualquier otra disposición que implique separaciones diferentes entre laterales.
- Características hidráulicas: Se trata de un conjunto de datos y parámetros que permiten analizar la subunidad y condicionan su funcionamiento.
  - Filas a la izquierda de la toma: Este dato establece el punto de alimentación de la tubería terciaria. Para tuberías terciarias alimentadas por el punto extremo, habría que poner el número total de filas de plantas; para terciarias alimentadas por el punto medio, el dato a colocar sería la mitad de las filas de plantas.
  - Diámetro interior laterales: Diámetro interior en mm de las tuberías laterales o ramales portagotos.
  - Diámetro interior terciaria: Diámetro interior en mm de la tubería terciaria o ramal portilaterales.
  - Rugosidad material laterales: Rugosidad absoluta en mm del material que conforma las tuberías laterales.



- Rugosidad material terciaria: Rugosidad absoluta en mm del material que conforma la tubería terciaria.
- Temperatura del agua
- Presión de entrada a la subunidad: Es la presión prevista del agua, en m a la entrada a la subunidad.
- Obturaciones: Con este parámetro se define la proporción en % de emisores que se encuentran obturados total o parcialmente.
- Grado de obturación: Representa cuánto están obturados los emisores. Un 100% implicaría obturación total (emisor cerrado) y un 0% significa que no hay obturación.

Todos estos datos y características se pueden introducir al programa mediante la siguiente pantalla:

DATOS Y GEOMETRÍA DE LA SUBUNIDAD		
NOMBRE DE LA SUBUNIDAD <input type="text"/>		
<b>DISPOSICIÓN EMISORES</b>		
<input type="button" value="Emisores equidistantes"/> <input type="button" value="Emisores agrupados"/>		
<b>DISPOSICIÓN LATERALES</b>		
<input type="button" value="Lateral simple"/> <input type="button" value="Lateral doble"/> <input type="button" value="Separación irregular"/>		
<b>CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS</b>		
Filas a la izquierda de la toma	<input type="text"/>	
Diámetro interior laterales	<input type="text"/>	mm
Diámetro interior tubería terciaria	<input type="text"/>	mm
Rugosidad material laterales	<input type="text"/>	mm
Rugosidad material terciaria	<input type="text"/>	mm
Temperatura del agua	<input type="text"/>	°C
Presión de entrada a la subunidad	<input type="text"/>	m.c.a.
Obturaciones	<input type="text"/>	%
Grado de obturación	<input type="text"/>	%
		<input type="button" value="Recuperar"/>
		<input type="button" value="Cancelar"/>
		<input type="button" value="Continuar"/>

Imagen 15: Pantalla de introducción de datos y geometría de la subunidad

### III.3.1.1 DISPOSICIÓN DE EMISORES

Al pulsar el botón “Emisores equidistantes”, aparece la siguiente pantalla de introducción de datos:

The screenshot displays a software interface for configuring subunit data. The main window is titled "DATOS Y GEOMETRÍA DE LA SUBUNIDAD - SUBUNIDAD". It features a text input field for "NOMBRE DE LA SUBUNIDAD". Below this is the "DISPOSICIÓN EMISORES" section, which includes two buttons: "Emisores equidistantes" and "Emisores agrupados". A modal dialog box titled "EMISORES EQUIDISTANTES" is overlaid on the screen, containing three input fields: "Número de emisores por planta" (with a unit indicator), "Separación entre emisores" (with a unit indicator 'm'), and "Distancia al primer emisor del lateral" (with a unit indicator 'm'). Below the dialog, there are "Continuar" and "Cancelar" buttons. The main window also has a "CARACTERÍSTICAS HIDRAULICAS" section with several input fields and units: "Filas a la izquierda de la toma", "Diámetro interior laterales" (mm), "Diámetro interior tubería terciaria" (mm), "Rugosidad material laterales" (mm), "Rugosidad material terciaria" (mm), "Temperatura del agua" (°C), "Presión de entrada a la subunidad" (m.c.a.), "Obturaciones" (%), and "Grado de obturación" (%). On the right side of the main window, there are three buttons: "Recuperar", "Cancelar", and "Continuar".

Imagen 16: Pantalla de introducción de datos con emisores equidistantes

Los datos a introducir son:

- Número de emisores por planta: Ha de ser un número entero entre 1 y 5 emisores.
- Separación entre emisores: Distancia entre un emisor y el siguiente (m).
- Distancia al primer emisor del lateral: Es la longitud del tramo de tubería lateral desde su inserción hasta el primer emisor (m).

Si por el contrario, se pulsa el botón “Emisores agrupados”, los datos a introducir son:

- Número de emisores por planta: Ha de ser un número entero entre 1 y 5 emisores. Es el número de emisores por grupo.
- Separación entre plantas: Distancia entre una planta y la siguiente (m). Equivale a la distancia entre grupos de emisores.

- Separación entre emisores: Distancia entre un emisor y el siguiente dentro del mismo grupo (m).
- Distancia al primer emisor del lateral: Es la longitud del tramo de tubería lateral desde su inserción hasta el primer emisor (m).

Imagen 17: Pantalla de introducción de datos con emisores agrupados.

### III.3.1.2 DISPOSICIÓN DE LATERALES

En el caso de que en la subunidad sólo haya un lateral por fila de plantas, hay que pulsar el botón “Lateral simple” y aparecerá la pantalla de la página siguiente (Imagen 18).

Los datos a introducir son:

- Número de laterales: Es el número total de laterales de la subunidad. Al tratarse de lateral simple, equivale al número de filas de plantas.
- Separación entre laterales: Distancia entre un lateral y el siguiente (m). Equivale a la distancia entre filas de plantas.

- Distancia al 1º lateral izdo.: Distancia desde la entrada a la subunidad hasta el primer lateral situado a su izquierda (m).

Imagen 18: Pantalla de introducción de datos con un lateral por fila de plantas

Si la subunidad está configurada como de doble lateral habrá que pulsar el botón “Lateral doble” con lo que la pantalla será la que se incluye como Imagen 19.

Datos a introducir:

- Número de filas de plantas: Es el número total de filas de plantas de la subunidad. Al tratarse de lateral doble, habrá el doble de laterales.
- Separación entre filas: Distancia entre una fila de plantas y la siguiente (m).
- Separación entre laterales: Distancia entre los laterales que pertenecen a una misma fila de plantas (m).
- Distancia a la 1ª fila izda.: Distancia desde la entrada a la subunidad hasta la primera fila de plantas situada a su izquierda (m).

Imagen 19: Pantalla de introducción de datos con doble lateral por fila de plantas

Por último, en el supuesto de que la configuración de la subunidad no sea regular y no pueda modelizarse como lateral simple o lateral doble, habrá que pulsar el botón “Separación irregular”, siendo los datos a introducir los que figuran a continuación:

- Número de filas de plantas: Es el número total de filas de plantas de la subunidad.
- Número de laterales por fila: Número de laterales por cada fila de plantas.

### III.3.1.3 DATOS COMPLETADOS

Una vez se han introducido todos los datos, éstos se presentan en pantalla, quedando así:

**DATOS Y GEOMETRÍA DE LA SUBUNIDAD - SUBUNIDAD 10X10 ÁRBOLES DOBLE LATERAL ALIMENT. EX...**

NOMBRE DE LA SUBUNIDAD

**DISPOSICIÓN EMISORES**

*Emisores equidistantes*

Emisores agrupados

**Emisores equidistantes**

Número de emisores por planta

Separación entre emisores  m

Distancia al primer emisor del lateral  m

**DISPOSICIÓN LATERALES**

Lateral simple

**Lateral doble**

Separación irregular

**Lateral doble**

Número de filas de plantas

Separación entre filas de plantas  m

Separación entre laterales  m

Distancia de la toma a la 1ª fila izda.  m

**CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS**

Filas a la izquierda de la toma

Diámetro interior laterales  mm

Diámetro interior tubería terciaria  mm

Rugosidad material laterales  mm

Rugosidad material terciaria  mm

Temperatura del agua  °C

Presión de entrada a la subunidad  m.c.a.

Obturaciones  %

Grado de obturación  %

**Recuperar**

**Cancelar**

**Continuar**

Imagen 20: Pantalla de datos y geometría de la subunidad completada.

### III.3.2. Recuperar subunidad

En cualquier momento, es posible recuperar una subunidad previamente grabada en un archivo que contiene todos los datos que definen la subunidad y cuya extensión es “.sub”.

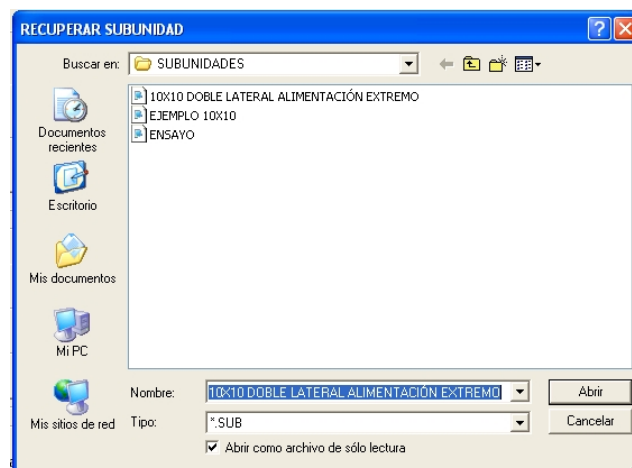


Imagen 21: Pantalla de recuperación de datos de subunidad a partir de un archivo

Al pulsar el botón “Recuperar” aparece una pantalla de gestión de archivos. Cuando se abra el archivo elegido, aparecerá una pantalla semejante a la incluida en la Imagen 20.

### III.3.3. Completar datos restantes

Al pulsar el botón “Continuar” de la pantalla principal de gestión de subunidades, aparece otra pantalla que permite completar o modificar los datos restantes necesarios para definir completamente la subunidad.

Si se está introduciendo una nueva subunidad, aparecerá en blanco, pero si se ha recuperado una subunidad previamente definida, estarán todas las casillas rellenas. En cualquier caso, es posible modificar completamente todos los datos.

NÚMERO DE PLANTAS Y PENDIENTES SUBUNIDAD EJEMPLO 10X10 ÁRBOLES

LATERALES			TERCIARIA		
	Nº plantas	Pendiente (%)		Pendiente (%)	Longitud (m)
Fila 1	10	0,00	Lat. 2 - Lat. 1	0,00	5,00
Fila 2	10	0,00	Lat. 3 - Lat. 2	0,00	5,00
Fila 3	10	0,00	Lat. 4 - Lat. 3	0,00	5,00
Fila 4	10	0,00	Lat. 5 - Lat. 4	0,00	5,00
Fila 5	10	0,00	Lat. 6 - Lat. 5	0,00	5,00
Fila 6	10	0,00	Lat. 7 - Lat. 6	0,00	5,00
Fila 7	10	0,00	Lat. 8 - Lat. 7	0,00	5,00
Fila 8	10	0,00	Lat. 9 - Lat. 8	0,00	5,00
Fila 9	10	0,00	Lat. 10 - Lat. 9	0,00	5,00
Fila 10	10	0,00	Origen - Lat. 10	0,00	5,00

Obturar    Cancelar    Guardar    Continuar

Imagen 22: Pantalla de introducción del resto de datos de una subunidad

Los datos que se gestionan en esta pantalla son los siguientes:

- Para los laterales:
  - Número de plantas por fila: Es el número total de plantas por cada una de las filas de plantas de la subunidad.
  - Pendiente (%): Es la pendiente geométrica de cada una de las filas de plantas de la subunidad. Será positiva si es ascendente y negativa si es descendente dado que se calcula a partir del desnivel entre los extremos aguas abajo y aguas arriba de los laterales.

- Para la terciaria:
  - Pendiente (%): Es la pendiente geométrica de cada uno de los tramos de la tubería terciaria, definidos estos como el tramo de tubería existente entre dos tomas de laterales consecutivas. Será positiva si es ascendente y negativa si es descendente ya que se calcula a partir del desnivel entre los extremos aguas abajo y aguas arriba de cada tramo.
  - Longitud (m): Longitud real de cada tramo de terciaria.

III.3.3.1 GUARDAR SUBUNIDAD

Una vez introducidos o revisados los datos anteriores, es posible guardar todos los datos de la subunidad en un fichero con extensión “.sub”. Para ello, se pulsa el botón “Guardar” y aparecerá un cuadro de diálogo parecido al incluido como Imagen 21.

III.3.3.2 OBTURAR Y CERRAR EMISORES

Es posible considerar una obturación de emisores aleatoria basada en los parámetros “obturaciones” y “grado de obturación”, definidos en la pantalla de introducción de datos de subunidad.

NÚMERO DE PLANTAS Y PENDIENTES - SUBUNIDAD 10X10 ÁRBOLES DOBLE LATERAL ALIMENT. EXTREMO.

LATERALES			TERCIARIA			EMISORES CERRADOS U OBTURADOS					
	Nº plantas	Pendiente (%)		Pendiente (%)	Longitud (m)	Emisor	Lateral 1	Lateral 2	Lateral 3	Lateral 4	Later
Fila 1	10	0,00	Lat. 2 - Lat. 1	0,00	2,00	Emisor 1					
Fila 2	10	0,00	Lat. 3 - Lat. 2	0,00	3,00	Emisor 2				Obturado	
Fila 3	10	0,00	Lat. 4 - Lat. 3	0,00	2,00	Emisor 3	Obturado			Obturado	
Fila 4	10	0,00	Lat. 5 - Lat. 4	0,00	3,00	Emisor 4					
Fila 5	10	0,00	Lat. 6 - Lat. 5	0,00	2,00	Emisor 5		Obturado			
Fila 6	10	0,00	Lat. 7 - Lat. 6	0,00	3,00	Emisor 6		Obturado			
Fila 7	10	0,00	Lat. 8 - Lat. 7	0,00	2,00	Emisor 7					
Fila 8	10	0,00	Lat. 9 - Lat. 8	0,00	3,00	Emisor 8					
Fila 9	10	0,00	Lat. 10 - Lat. 9	0,00	2,00	Emisor 9	Cerrado		Cerrado		
Fila 10	10	0,00	Lat. 11 - Lat.	0,00	3,00	Emisor 10					
			Lat. 12 - Lat.	0,00	2,00	Emisor 11					
			Lat. 13 - Lat.	0,00	3,00	Emisor 12		Obturado			
			Lat. 14 - Lat.	0,00	2,00	Emisor 13					
			Lat. 15 - Lat.	0,00	3,00	Emisor 14					
			Lat. 16 - Lat.	0,00	2,00	Emisor 15	Obturado				
			Lat. 17 - Lat.	0,00	3,00	Emisor 16					
			Lat. 18 - Lat.	0,00	2,00	Emisor 17					
			Lat. 19 - Lat.	0,00	3,00	Emisor 18		Cerrado			
			Lat. 20 - Lat.	0,00	2,00	Emisor 19			Obturado		
			Origen - Lat. 20	0,00	4,00	Emisor 20					
						Emisor 21			Obturado		
						Emisor 22	Cerrado				
						Emisor 23			Obturado		
						Emisor 24					
						Emisor 25		Cerrado			
						Emisor 26					
						Emisor 27					

Imagen 23: Pantalla de completar datos de subunidad con la matriz de los emisores obturados y cerrados.



Al pulsar el botón “Obturar”, aparece una matriz en la que figuran todos los emisores de la subunidad y si están obturados o no. También es posible manualmente cerrar cualquier emisor.

Esta simulación es importante a la hora de modelizar de la manera más realista posible el comportamiento de una subunidad.

### III.4. GESTIÓN DE EMISORES

El módulo de gestión de emisores tiene como objetivo definir el emisor que se va a utilizar en la subunidad analizada. Los datos y características del mismo pueden introducirse manualmente o recuperarse de un archivo ya creado con anterioridad.

En cualquier caso, todos los datos pueden modificarse y guardarse de nuevo en un archivo.

#### III.4.1. Introducción de un nuevo emisor

Al pulsar por primera vez el botón “EMISOR” de la pantalla de INICIO, aparecerá la siguiente pantalla, que sirve para la introducción de los datos de un nuevo emisor.

**DEFINICIÓN DEL EMISOR**

**NOMBRE DEL EMISOR**

**CARACTERÍSTICAS DEL EMISOR**

Tipo  No compensante  Compensante

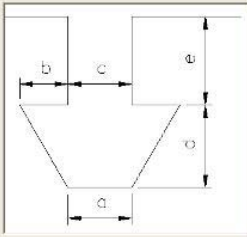
Intervalo compensación

Presión mínima  kPa

Presión máxima  kPa

Presión nominal  kPa

**GEOMETRÍA DE LA INSERCIÓN**



a  mm

b  mm

c  mm

d  mm

e  mm

Longitud equivalente del emisor  m

**ECUACIONES DE AJUSTE**

Ajuste potencial

	K	x
Emisor 1		
Emisor 2		
Emisor 3		
Emisor 4		
Emisor 5		
Emisor 6		
Emisor 7		
Emisor 8		
Emisor 9		
Emisor 10		
Emisor 11		
Emisor 12		
Emisor 13		
Emisor 14		
Emisor 15		
Emisor 16		
Emisor 17		
Emisor 18		
Emisor 19		
Emisor 20		
Emisor 21		
Emisor 22		
Emisor 23		
Emisor 24		
Emisor 25		

Ajuste parabólico

	A	B	C
Emisor 1			
Emisor 2			
Emisor 3			
Emisor 4			
Emisor 5			
Emisor 6			
Emisor 7			
Emisor 8			
Emisor 9			
Emisor 10			
Emisor 11			
Emisor 12			
Emisor 13			
Emisor 14			
Emisor 15			
Emisor 16			
Emisor 17			
Emisor 18			
Emisor 19			
Emisor 20			
Emisor 21			
Emisor 22			
Emisor 23			
Emisor 24			
Emisor 25			

Recuperar emisor    Guardar emisor    Cancelar    Continuar

Imagen 24: Introducción de datos de un nuevo emisor

Un emisor de riego localizado queda definido completamente con los siguientes datos:

- Nombre del emisor: Permite identificarlo posteriormente y distinguirlo de otros.
- Tipo de emisor, que puede ser:
  - No compensante: No lleva ningún sistema de regulación de presión, de manera que el caudal arrojado es variable con la presión de entrada.
  - Compensante: Tiene en su interior un sistema de regulación de presión, que hace que el caudal sea relativamente constante dentro de su rango de regulación.
- Intervalo de compensación/rango de trabajo: Es el rango de presiones de funcionamiento del emisor, generalmente recomendado por el fabricante.
  - Presión mínima (kPa): Es la mínima presión de funcionamiento del emisor, que para un emisor no compensante puede ser 0.
  - Presión máxima (kPa): Es la presión máxima de funcionamiento del emisor, que debe ser compatible con la presión de trabajo de la tubería en la que está colocado.
  - Presión nominal (kPa): Para el caso de los emisores compensantes, es la presión media del intervalo de compensación. Para los emisores no compensantes, suele ser 100 kPa (o la recomendada por el fabricante).
- Geometría de la inserción: Permite calcular las pérdidas de carga localizadas debidas a la inserción de los emisores en las tuberías laterales.
  - a, b, c, d y e (mm): Dimensiones del elemento de conexión del emisor, que permiten definir la intercepción de la sección útil de la tubería.
  - Longitud equivalente del emisor (m): Se añade una longitud ficticia al tramo de tubería en el que está colocado el emisor.
- Ecuaciones de ajuste: El comportamiento hidráulico de un emisor se caracteriza mediante ensayos de laboratorio realizados aplicando la norma ISO 9261:2004. Dichos ensayos emplean una muestra de 25 emisores que son sometidos a diferentes presiones dentro de su intervalo de regulación/rango de trabajo. Dado que se miden todos los caudales, es posible realizar un ajuste por mínimos cuadrados estableciendo dos tipo de ecuación de descarga, potencial (la que dice la norma) y parabólica (propuesta por el autor). En la tabla habrá que introducir los resultados de estos dos ajustes para cada emisor individual ensayado.

### III.4.2. Recuperar emisor

Al pulsar el botón “Recuperar” de la pantalla de gestión de emisores, aparece un cuadro de diálogo que permite cargar un archivo con los datos de un emisor previamente introducido. La extensión del archivo es “.emi”.

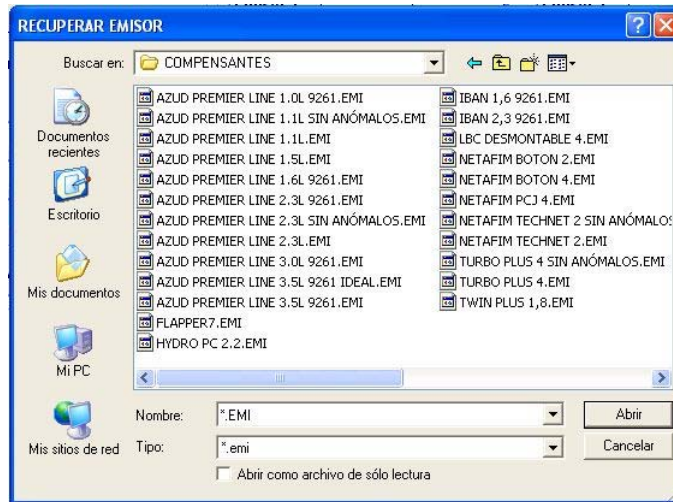


Imagen 25: Pantalla de recuperación de datos de emisor

Una vez recuperado, la pantalla mostrada en la Imagen 24, se rellena automáticamente, quedando de la siguiente forma:

Imagen 26: Pantalla de datos de emisor completamente rellena

### III.4.3. Guardar emisor

Es posible guardar los datos de un emisor en un archivo con extensión “.emi” pulsando el botón “Guardar emisor” en la pantalla de datos de emisor. Entonces aparecerá un cuadro de diálogo semejante al expuesto en la Imagen 25.

### III.5. GENERACIÓN DE LA POBLACIÓN Y LA MUESTRA DE EMISORES

El módulo dedicado a la generación de la población y la muestra de emisores tiene como objetivo establecer una población virtual de emisores de la que supuestamente se ha extraído la muestra de 25 emisores para ensayar en laboratorio. Además, de dicha población, también se van a extraer, de manera aleatoria, todos los emisores de la subunidad y que también constituyen una muestra.

#### III.5.1. Ecuaciones de descarga de los emisores. Relaciones entre coeficientes.

Al pulsar el botón “POBLACIÓN Y MUESTRA” de la pantalla de inicio, aparece la siguiente pantalla:

COMPORTAMIENTO DEL EMISOR: NETAFIN BOTON 4 VERDE

**TAMAÑO DE LA POBLACIÓN**

500   
 1.000   
 5.000   
 10.000   
 50.000   
 100.000   
 500.000   
 1.000.000

**AJUSTE POTENCIAL**

$$q = K \cdot h^x$$

$$X = m_{\ln K, x} \cdot \ln K + n_{\ln K, x}$$

K =     x =

CV<sub>K</sub> =  %    CV<sub>x</sub> =  %

m<sub>lnK,x</sub> =

n<sub>lnK,x</sub> =

**AJUSTE PARABÓLICO**

$$q = A + B \cdot h + C \cdot h^2$$

$$B = m_{A,B} \cdot A + n_{A,B}; \quad C = m_{B,C} \cdot B + n_{B,C}; \quad C = m_{A,C} \cdot A + n_{A,C}$$

A =     B =     C =

CV<sub>A</sub> =  %    CV<sub>B</sub> =  %    CV<sub>C</sub> =  %

m<sub>A,B</sub> =     m<sub>B,C</sub> =     m<sub>A,C</sub> =

n<sub>A,B</sub> =     n<sub>B,C</sub> =     n<sub>A,C</sub> =

Imagen 27: Pantalla de ecuaciones de ajuste de los emisores

Los datos mostrados son los resultados de los cálculos efectuados a partir de los coeficientes de ajuste de los 25 emisores ensayados según se aprecia en la Imagen 26.

Dichos datos son:

- Para ajuste potencial:
  - $K$  y  $x$ : Son los valores promedio de los coeficientes y los exponentes del ajuste potencial,  $K_i$  y  $x_i$ , respectivamente
  - $CV_K$  y  $CV_x$ : Son los coeficientes de variación asociados a los coeficientes y los exponentes del ajuste potencial  $K_i$  y  $x_i$ , respectivamente
  - $m_{\ln K, x}$  y  $n_{\ln K, x}$ : Son los coeficientes de la recta de ajuste entre  $\ln K$  y  $x$
- Para ajuste parabólico:
  - $A$ ,  $B$  y  $C$ : Son los valores promedio de los coeficientes del ajuste parabólico,  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$ , respectivamente.
  - $CV_A$ ,  $CV_B$  y  $CV_C$ : Son los coeficientes de variación asociados a los coeficientes del ajuste parabólico  $A_i$ ,  $B_i$  y  $C_i$ , respectivamente.
  - $m_{A,B}$ ,  $n_{A,B}$ ,  $m_{A,C}$ ,  $n_{A,C}$ ,  $m_{B,C}$  y  $n_{B,C}$ : Son los coeficientes de las rectas de ajuste entre  $A$  y  $B$ ,  $A$  y  $C$  y  $B$  y  $C$ , respectivamente.
- Tamaño de la población: Representa el número máximo de emisores generados,  $n$ . Este valor debe ser superior al número de emisores de la subunidad, dado que estos son una muestra extraída de dicha población generada.

### III.5.2. Datos de la población y la muestra generadas

Una vez elegido el tamaño de la población y verificados los datos mostrados en la pantalla de la **Imagen 27**, es posible generar la población virtual de emisores y extraer la muestra que constituye los emisores de la subunidad pulsando el botón "Datos poblacionales y muestrales". Entonces se presenta la pantalla mostrada en la Imagen 28.

Los datos que se muestran en la pantalla se organizan en función del tipo de ajuste considerado y para la población y la muestra. Así, en general son:

- Población: Representa el número  $n$  de emisores generados constitutivos de la población.
- Muestra: Es el número total de emisores de la subunidad, extraídos aleatoriamente de la población generada.
- Presión: Por defecto, se trata de la presión nominal del emisor, en kPa.
- Valores medios y varianza: Son los promedios y las varianzas, tanto para la población como para la muestra, de los coeficientes de la ecuación de descarga ( $K$ ,  $x$ ,  $A$ ,  $B$  y  $C$ ) y de los caudales calculados,  $q$ .

- $CV_{ensayo}$ :
  - Para los coeficientes de ajuste  $K, x, A, B$  y  $C$ : Son los valores de los coeficientes de variación obtenidos a partir de los datos del ensayo de los 25 emisores reales en laboratorio.
  - Para los caudales,  $q$ : Es el resultado de la aplicación de la expresión teórica deducida para el coeficiente de variación de los caudales a partir del resto de valores del ensayo.
- $CV_{generado}$ :
  - Para los coeficientes de ajuste  $K, x, A, B$  y  $C$ : Son los valores de los coeficientes de variación obtenidos a partir de los datos de la población generada o de la muestra extraída que conforma todos los emisores de la subunidad.
  - Para los caudales,  $q$ : Es el resultado de la aplicación de la expresión teórica deducida para el coeficiente de variación de los caudales a partir del resto de valores de la población generada o de la muestra extraída que conforma todos los emisores de la subunidad.
- $CV_{predicho}$ : Es el valor calculado directamente a partir de los caudales predichos para la población de emisores o la muestra de emisores que conforma la subunidad.

GENERACIÓN DE POBLACIÓN Y MUESTRA: 10X10 ÁRBOLES DOBLE LATERAL ALIMENT. EXTREMO. -NETAFIN BOTON 4 VERDE

Recalcular

Cerrar

POBLACIÓN 99958 Emisores

MUESTRA 800 Emisores

PRESIÓN 250,00 kPa

**CV predicho**

h (kPa)	100	150	200	250	300	350	400
Potencial	1,97	1,89	2,18	2,55	2,91	3,24	3,54
Parabólico	2,04	1,91	2,10	2,45	2,87	3,32	3,81

**AJUSTE POTENCIAL**  $q = K \cdot h^x$

	POBLACIÓN			MUESTRA		
	K	x	q	K	x	q
Valor medio	4,0407	0,0111	3,9740	4,0393	0,0106	3,9752
Varianza	0,0527	0,0007	0,0102	0,0538	0,0007	0,0103
CV ensayo (%)	5,69	237,51	2,55	5,69	237,51	2,55
CV generado (%)	5,68	235,81	2,54	5,74	252,88	2,55
CV predicho (%)			2,54			2,55

**AJUSTE PARABÓLICO**  $q = A + B \cdot h + C \cdot h^2$

	POBLACIÓN				MUESTRA			
	A	B	C	q	A	B	C	q
Valor medio	4,3659	-4,2742	9,3005	3,8786	4,3628	-4,2373	9,2360	3,8807
Varianza	0,0195	0,9854	2,8416	0,0089	0,0200	0,9627	2,9547	0,0090
CV ensayo (%)	3,20	-23,28	18,16	2,44	3,20	-23,28	18,16	2,44
CV generado (%)	3,20	-23,22	18,12	2,43	3,24	-23,16	18,61	2,45
CV predicho (%)				2,43				2,45

Imagen 28: Datos de la población y muestra generadas

También se muestra en la pantalla una tabla con los coeficientes de variación predichos  $CV_{predicho}$  de los emisores de la subunidad (muestra extraída de la población generada) para diferentes

presiones  $h$  y para ajuste potencial y parabólico. Estos valores se corresponden con los valores de  $CV_{generado}$ , conforme se ha explicado anteriormente.

Es posible “Recalcular” todos los valores anteriores, que son específicos para una presión dada, modificando dicha presión y pulsando el botón correspondiente.

### III.6. PARÁMETROS HIDRÁULICOS

Para poder analizar la subunidad es imprescindible calcular las pérdidas de carga continuas y localizadas en las conducciones.

Al pulsar el botón “CÁLCULOS” de la pantalla de Inicio, se muestra lo siguiente:

Imagen 29: Pantalla de parámetros hidráulicos

#### III.6.1. Pérdidas de carga continuas

Se puede elegir el tipo de cálculo que el programa va a utilizar para determinar las pérdidas de carga continuas o por rozamiento.

Pulsando el botón “Fórmula de Blasius (turbulento liso)”, se considera que en todos los tramos de las conducciones que configuran la subunidad, se da el flujo turbulento liso, que es lo mismo que decir que todas las conducciones son hidrodinámicamente lisas. Esto significa que el factor de fricción,  $f$  sólo depende del número de Reynolds.

Pulsando el botón “Fórmula según el tipo de régimen”, para cada tramo de conducción se emplea la fórmula apropiada al tipo de régimen que se da. Los regímenes contemplados son: laminar, crítico y turbulento (liso, de transición y rugoso)

La segunda opción es más adecuada, porque plantea un modelo más realista. De hecho, como demostraron Turégano et al.(2013), en una subunidad tipo, se puede dar cualquier tipo de régimen, desde el laminar hasta el turbulento intermedio.

### **III.6.2. Pérdidas de carga localizadas**

En el caso de las subunidades de riego localizado, se suelen producir por la interceptación del flujo del agua que provocan las inserciones de los emisores dentro de los laterales y de estos dentro de la terciaria.

La estimación de estas pérdidas se puede hacer:

- Con fórmulas empíricas que tienen en consideración la sección interceptada por la conexión
- Estableciendo la longitud equivalente de la conexión
- Fijando un coeficiente mayorante de pérdidas
- Definiendo el coeficiente de resistencia de la conexión

#### **III.6.2.1 FÓRMULAS EMPÍRICAS**

Para su aplicación, es necesario definir la geometría de la conexión, puesto que esta permite hallar la sección interceptada. Este método es adecuado para los emisores “pinchados” y las conexiones de los laterales en la terciaria.

En el caso de los emisores, la geometría de la conexión puede definirse tanto en el módulo de “gestión de emisores”, tal como se aprecia en la Imagen 24, como en el módulo de “parámetros hidráulicos”. Pero para el caso de los laterales, la geometría de la conexión sólo puede definirse en el módulo de “parámetros hidráulicos”.

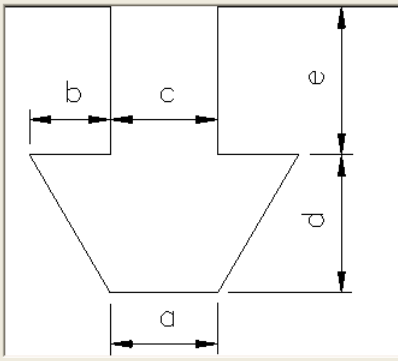
En los dos casos, al pulsar el botón “Fórmulas empíricas”, aparece un cuadro de diálogo en el cual se puede introducir o modificar la geometría de la inserción de los emisores o de los laterales.

Los datos a considerar son las dimensiones geométricas de la conexión y que vienen dadas por los parámetros  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  y  $e$ , todos ellos medidos en mm. Al pulsar el botón “Calcular” se obtiene el área de la superficie transversal de la conexión,  $S$ , en mm<sup>2</sup>.



PÉRDIDAS LOCALIZADAS EN EL LATERAL

INSERCIÓN DEL EMISOR EN EL LATERAL



a  mm

b  mm

c  mm

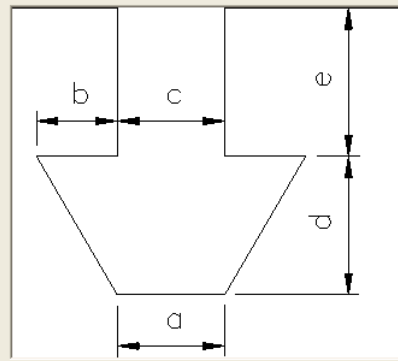
d  mm

e  mm

S  mm<sup>2</sup>

PÉRDIDAS LOCALIZADAS EN LA TERCIARIA

INSERCIÓN DEL LATERAL EN LA TERCIARIA



a  mm

b  mm

c  mm

d  mm

e  mm

S  mm<sup>2</sup>

Imagen 30: Definición de la geometría de la inserción de los emisores (izda.) y los laterales (dcha.)

### III.6.2.2 LONGITUD EQUIVALENTE DE LA CONEXIÓN

Esta forma de calcular las pérdidas de carga localizadas sólo se puede aplicar a las conexiones de los emisores en los laterales.

PARÁMETROS HIDRÁLICOS - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-1

**PÉRDIDAS DE CARGA CONTINUAS**

**PÉRDIDAS DE CARGA LOCALIZADAS**

**Inserción de emisores en el lateral**

Longitud equivalente del emisor, Le  m

**Inserción de laterales en la terciaria**

Sección interceptada por inserción, S  mm<sup>2</sup>

Imagen 31: Pérdidas localizadas de los emisores por el método de la longitud equivalente

Para ello hay que definir el valor de la longitud equivalente en m, lo cual se puede hacer tanto en la pantalla de “Datos del emisor” (ver Imagen 26) como en la pantalla de “Parámetros hidráulicos”, pulsando en el botón “Longitud equivalente”.

### III.6.2.3 COEFICIENTE MAYORANTE DE PÉRDIDAS

Este método aproximado para calcular las pérdidas de carga localizadas como una fracción adicional de las continuas se puede aplicar tanto a las conexiones de los emisores en los laterales como a las conexiones de los laterales en la tubería terciaria.

El coeficiente mayorante,  $k_m$  sólo puede definirse en la pantalla de “Parámetros hidráulicos” pulsando los botones de “Coeficiente mayorante” tanto para los emisores como para los laterales.

Imagen 32: Coeficiente mayorante de pérdidas localizadas

### III.6.2.4 COEFICIENTE DE RESISTENCIA

Se trata de un método que consiste en considerar las pérdidas de carga localizadas en función de la altura cinética del agua correspondiente a la ecuación de Bernouilli inmediatamente aguas arriba de la conexión. Sólo se aplica a la inserción de los emisores en el lateral.

Este coeficiente puede establecerse en la pantalla de “Parámetros hidráulicos” o en la pantalla de “Datos de emisor” mostrada en la Imagen 26.

### III.7. ANÁLISIS DE LA SUBUNIDAD

El objetivo de este módulo es analizar el funcionamiento hidráulico de la subunidad, determinando, básicamente, los valores de la presión y del caudal en todos los emisores que la componen. A partir de dichos valores pueden calcularse otros parámetros que definen su funcionamiento y su viabilidad técnica.

El procedimiento de análisis de la subunidad se puede ver en el siguiente diagrama de flujo:

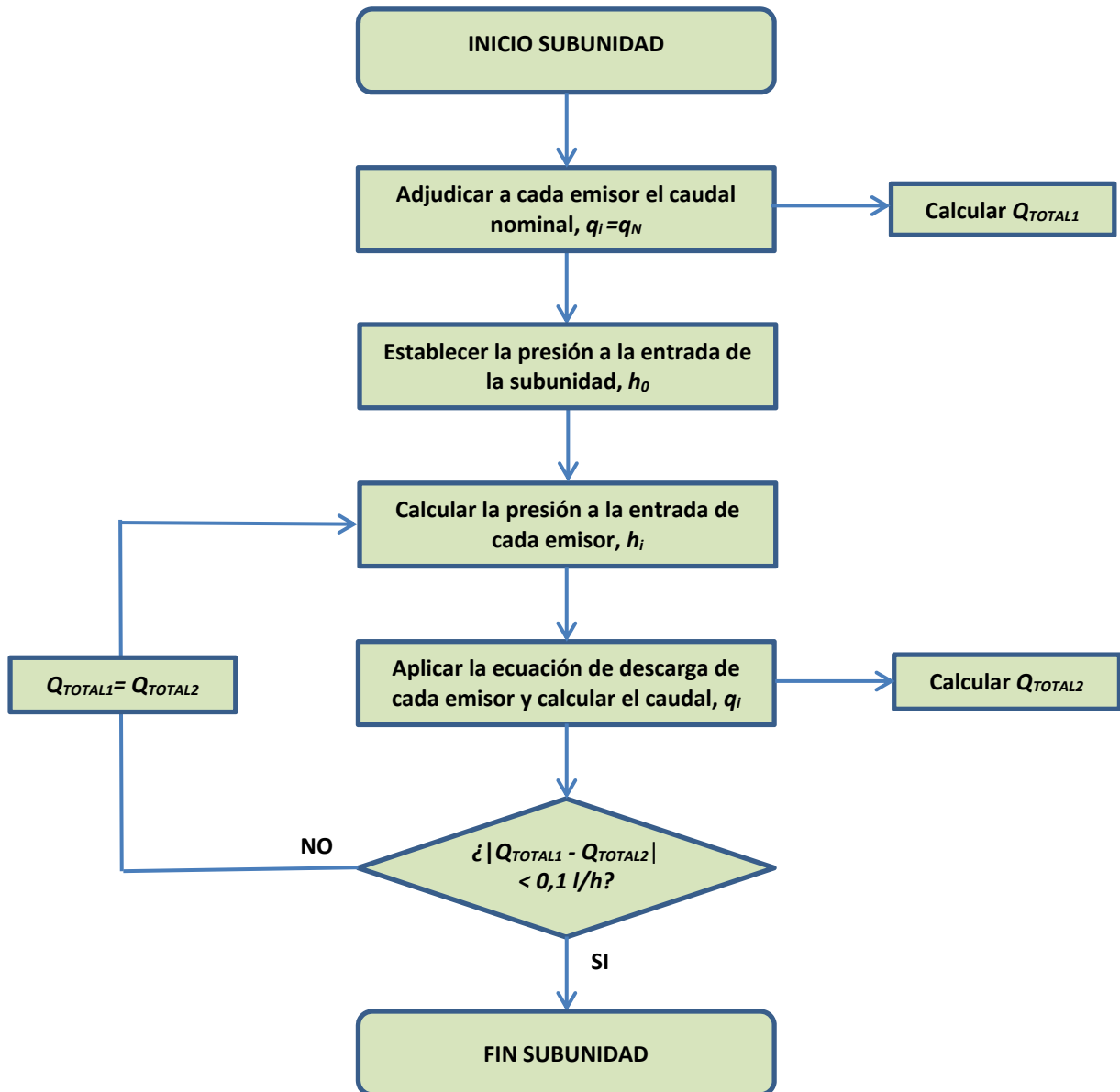


Figura 26: Diagrama de flujo del módulo de análisis de la subunidad

Para acceder a la pantalla de análisis, primero hay que pasar por la de “Parámetros hidráulicos” anteriormente descrita (Ver Imagen 29, Imagen 30, Imagen 31 e Imagen 32). Al pulsar el botón “Continuar”, se efectúa el cálculo y se muestra la pantalla de la Imagen 33.

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD 10X10 ÁRBOLES DOBLE LATERAL ALIMENT. EXTREMO. - NETAFIN BOTON 4 VERDE

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,6 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR Presión origen

Presión origen: 15,00 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 3759,56 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=4,0416 \cdot h^{0,0109}$   $q_n$ : 3,98 l/h

Parabólico  $q=4,3632 \cdot 4,2381 \cdot h + 9,2798 \cdot h^2$   $q_n$ : 3,88 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**EMISORES Y PLANTAS**

	EMISORES			PLANTAS		
	Presiones	Caudales		Presiones	Caudales	
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	14,41	14,41	14,42			
Emisor 1	14,40	14,40	14,40	Planta 1	14,37	14,38
Emisor 2	14,38	14,38	14,38	Planta 2	14,31	14,32
Emisor 3	14,36	14,36	14,37	Planta 3	14,27	14,27
Emisor 4	14,35	14,35	14,35	Planta 4	14,24	14,24
Emisor 5	14,33	14,33	14,34	Planta 5	14,22	14,22
Emisor 6	14,32	14,32	14,32	Planta 6	14,20	14,21
Emisor 7	14,31	14,31	14,31	Planta 7	14,19	14,20
Emisor 8	14,30	14,29	14,30	Planta 8	14,18	14,19
Emisor 9	14,28	14,28	14,29	Planta 9	14,18	14,18
Emisor 10	14,27	14,27	14,28	Planta 10	14,17	14,17
Emisor 11	14,27	14,26	14,27			
Emisor 12	14,26	14,26	14,26			

**RESUMEN DE RESULTADOS**

POR EMISOR		POR PLANTA	
Emisor	Lateral	Emisor	Lateral
h mínima	40	2	14,17 m.c.a.
h máxima	1	20	14,87 m.c.a.
q mínimo	8	14	3,74 l/h
q máximo	34	16	4,17 l/h
Diferencia presión	0,70 m.c.a.	4,88 %	
Diferencia caudal	0,43 l/h	10,92 %	
Presión media	14,37 m.c.a.		
Caudal medio	3,95 l/h		
Caudal a presión media	3,96 l/h		
CV	1,83 %		

CU GRÁFICOS POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 33: Pantalla de análisis de la subunidad

Como se puede apreciar, la pantalla se subdivide en una serie de paneles o secciones cuyo contenido se describe a continuación:

- **Modificar diámetros:** Permite modificar los diámetros tanto de los laterales como de la terciaria. Así mismo, también permite hacer los cálculos hidráulicos desestimando las pérdidas de carga, lo que en la práctica equivale a establecer diámetros muy grandes (del orden de m).
- **Modificar presiones:** Sirve para calcular los caudales de los emisores para una presión de entrada a la subunidad dada o bien para ajustar la presión de entrada para cumplir con los criterios de caudal fijados.
  - Calcular presión origen: Se determina la presión a la entrada de la subunidad y se analiza la subunidad para que:
    - El caudal medio obtenido coincida con el caudal nominal del emisor
    - El caudal del emisor de menor caudal (caudal mínimo por emisor) no sea menor a un valor preestablecido.
    - El caudal de la planta de menor caudal (caudal mínimo por planta) no sea menor a un valor preestablecido.
  - Calcular caudales: A partir del valor de la presión en el origen que figura en la casilla correspondiente, se analiza la subunidad.

- **Ajuste curva característica emisor:** Permite elegir entre el ajuste potencial y el ajuste parabólico de la ecuación de descarga de los emisores. También ofrece el caudal nominal del emisor como el caudal emitido por el emisor con los coeficientes de la ecuación medios para la presión nominal del emisor.
- **Comportamiento emisor:** Se puede optar por lo siguiente:
  - Emisor real aleatorio: La muestra de emisores extraída desde la población creada se siembra aleatoriamente en la subunidad, por lo que cada emisor tendrá una ecuación característica distinta, y por tanto, diferente comportamiento hidráulico.
  - Emisor teórico: Todos los emisores de la subunidad tienen la misma ecuación característica, que se corresponde con los valores medios de los coeficientes que la componen.
- **Presiones y caudales:** Se muestran los siguientes datos:
  - Emisores y plantas
    - Para los *emisores*: Presión al inicio de cada lateral, presión de entrada a cada emisor, caudal total por lateral y caudal emitido por cada emisor.
    - Para las *plantas*: Presión media para cada planta (se calcula como el promedio de las presiones de los emisores de la misma planta) y caudal para cada planta (suma de los caudales de los emisores de la misma planta).
  - Laterales y terciaria: Para cada tramo de lateral entre emisores y para cada tramo de terciaria entre laterales, se da el caudal circulante.
- **Resultados:** La información que se ofrece es la siguiente:
  - Caudal total: Es el caudal total de la subunidad
  - Por emisor:
    - Presión máxima y posición (lateral y emisor)
    - Presión mínima y posición (lateral y emisor)
    - Caudal máximo y posición (lateral y emisor)
    - Caudal mínimo y posición (lateral y emisor)
    - Diferencia de presión absoluta y relativa
    - Diferencia de caudal absoluto y relativo
    - Presión media (promedio de las presiones)
    - Caudal medio (promedio de los caudales)
    - Caudal a presión media (aplicando la ecuación característica media)
    - Coeficiente de variación por emisor, *CV*

- Por planta:
  - Presión máxima y posición (fila y planta)
  - Presión mínima y posición (fila y planta)
  - Caudal máximo y posición (fila y planta)
  - Caudal mínimo y posición (fila y planta)
  - Diferencia de presión absoluta y relativa
  - Diferencia de caudal absoluto y relativo
  - Presión media (promedio de las presiones)
  - Caudal medio (promedio de los caudales)
  - Caudal a presión media (aplicando la ecuación característica media)
  - Coeficiente de variación por planta, *CV*

Al modificar cualquier parámetro (diámetros, presiones, tipo de ajuste o comportamiento del emisor), se vuelve a analizar la subunidad, obteniéndose nuevos resultados que se muestran inmediatamente en el panel correspondiente.

En la pantalla también hay una serie de botones cuya función es la siguiente:

- Botón “CU”: Da paso a la pantalla que muestra para la subunidad analizada, los coeficientes de uniformidad de distribución.
- Botón “GRÁFICOS”: Accede a las pantallas gráficas que se describirán posteriormente.
- Botón “POBLACIÓN”: Permite visualizar los datos que definen la población de emisores generada y la muestra extraída de la misma, volviendo a la pantalla que se muestra en la **Imagen 28**.
- Botón “Cambiar datos de entrada”: Vuelve a la pantalla de Inicio del programa para poder modificar cualquier dato.
- Botón “Generar nueva muestra”: Manteniendo la población generada, el programa extrae una nueva muestra aleatoria de emisores y los siembra también aleatoriamente en la subunidad. Para ello, vuelve a las pantallas de “Ecuaciones de ajuste de los emisores” (**Imagen 27**) y “Datos de la población y muestra generadas” (**Imagen 28**).
- Botón “Guardar datos”: Crea un archivo con los resultados del análisis de la subunidad.

### III.8. OBTENCIÓN DE RESULTADOS Y GRÁFICOS

Una vez la subunidad ha sido analizada, es posible establecer otros parámetros que definen su funcionamiento, especialmente los que tienen relación con la uniformidad de distribución del agua, referida a emisor y a planta.

También es posible representar gráficamente diferentes aspectos de la subunidad, lo que permite comprender mejor su funcionamiento hidráulico.

#### III.8.1. Uniformidad de distribución

Al pulsar el botón “CU” de la pantalla de “Análisis de la subunidad” (Ver Imagen 33), aparece la siguiente pantalla informativa.

**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN- EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA**

DISEÑO

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

	Emisor	Planta
CU 25	0,995	0,998

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,982	0,982
CU 50	0,983	0,983
CU 25	0,980	0,980
CU Keller	0,961	0,962
CU min/med	0,978	0,978
CU min/max	0,923	0,926
q var (%)	7,71	7,41

**Combinación de causas, CU**

	Emisor		Planta	
	CU1	CU2	CU1	CU2
CU Christiansen	0,977	0,982	0,980	0,982
CU 50	0,978	0,982	0,982	0,983
CU 25	0,975	0,979	0,979	0,980
CU Keller	0,956	0,960	0,961	0,962
CU min/med	0,973	0,977	0,976	0,978
CU min/max	0,918	0,923	0,924	0,926

$$CU_f = CU_f \cdot CU_h$$

$$CU_2 = 1 - \sqrt{(1 - CU_f^2) + (1 - CU_h^2)}$$

ANÁLISIS

**Coefficiente de uniformidad, CU**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,982	0,982
CU 50	0,983	0,983
CU 25	0,979	0,980
CU Keller	0,969	0,969
CU min/med	0,969	0,978
CU min/max	0,912	0,925
q var (%)	8,75	7,54

**Coefficiente de Variación, CV**

	Emisor	Planta
CV subunidad	2,18 %	2,15 %
CU estadístico	97,82 %	97,85 %

$$CV = \frac{\sigma_q}{q}$$

$$CU_{est} = 100 - CV$$

Cerrar

Imagen 34: Coeficientes de uniformidad de distribución

### III.8.2. Gráficos

Pulsando el botón “GRÁFICOS” de la pantalla de “Análisis de la subunidad” (Imagen 33), se presenta el cuadro de diálogo siguiente:

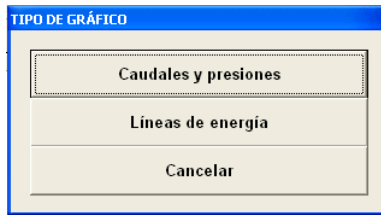


Imagen 35: Cuadro de diálogo para la elección del tipo de gráfico

#### III.8.2.1 CAUDALES Y PRESIONES

Eligiendo el tipo de gráfico “Caudales y presiones” aparece una pantalla gráfica como la incluida a continuación:

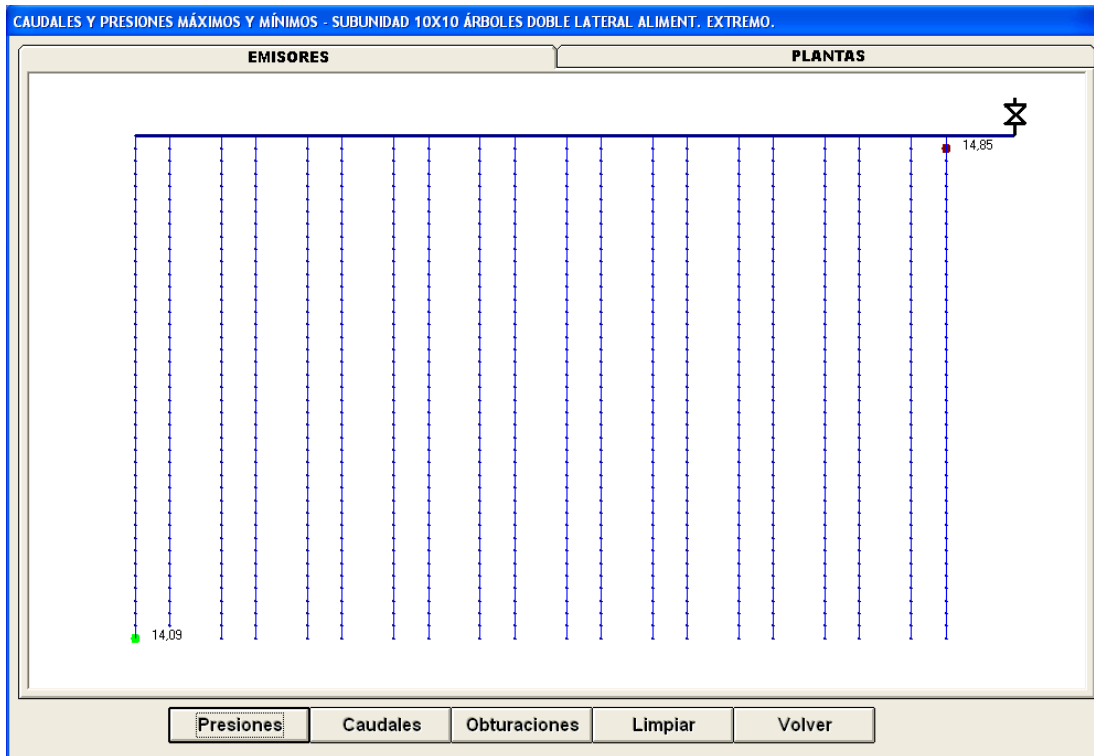


Imagen 36: Representación de los emisores de la subunidad con indicación de las presiones máxima y mínima

Como se puede apreciar, se pueden representar o bien los emisores o bien las plantas y se puede indicar las presiones máximas y mínimas o los caudales máximos y mínimos. Así mismo, también es posible representar los emisores obturados si ha lugar.



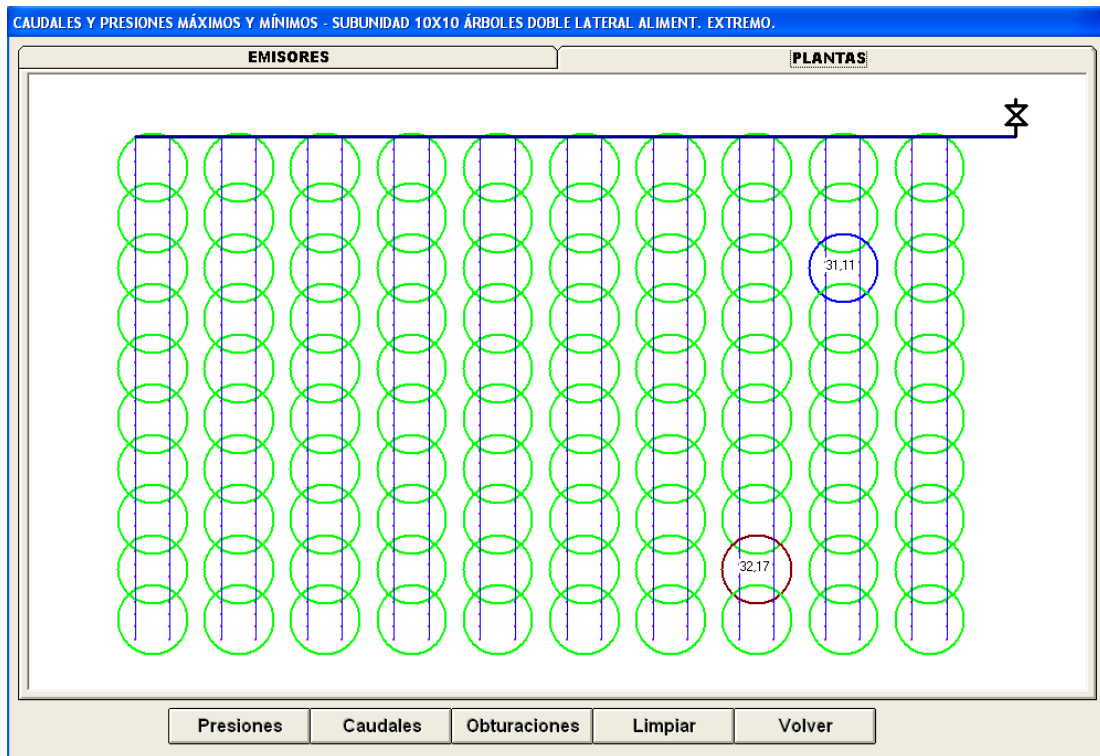


Imagen 37: Representación de las plantas de la subunidad con indicación de los caudales máximo y mínimo

### III.8.2.2 LÍNEAS DE ENERGÍA

El tipo de gráfico “Líneas de energía” representa el perfil altimétrico y piezométrico de la tubería terciaria y todos los laterales.

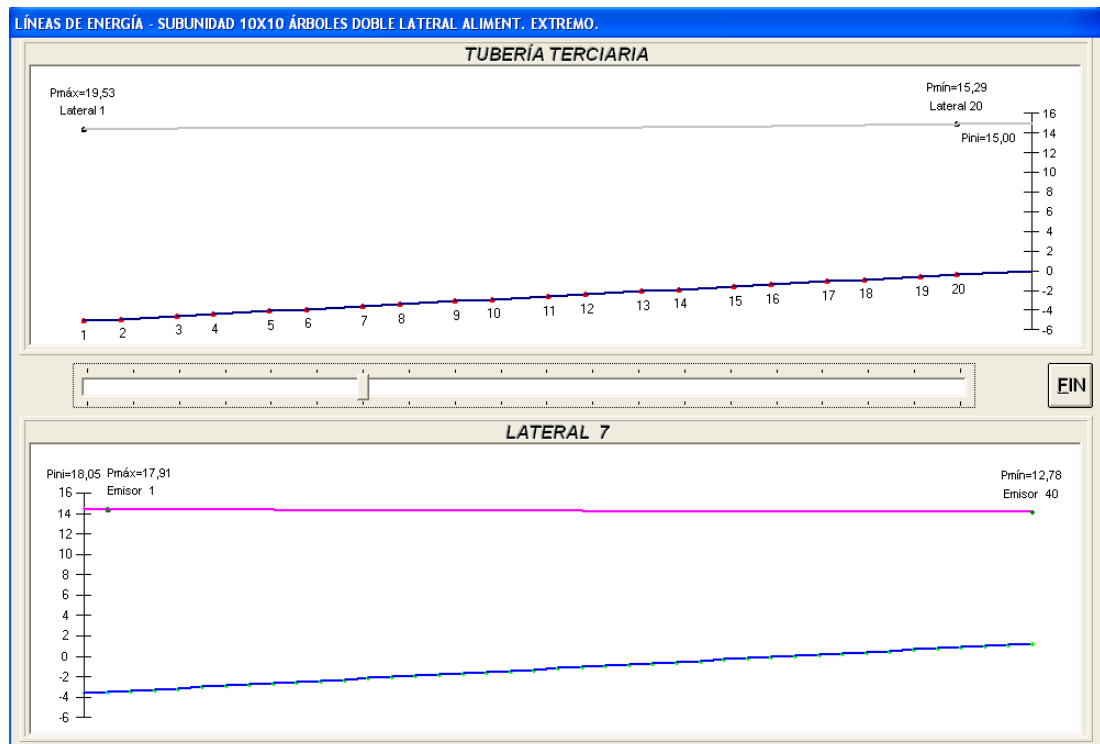


Imagen 38: Pantalla de representación de las líneas de energía (líneas de cotas piezométricas)

Para ello, toma como origen de cotas el punto de entrada a la subunidad y dibuja la línea de cotas piezométricas de la tubería terciaria indicando:

- Presión al inicio de la terciaria ( $P_{ini}$ ): Es la presión al origen de la subunidad, en m
- Presión máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ): Presión al inicio del lateral con más presión a la entrada, en m y ubicación del mismo.
- Presión mínima ( $P_{m\acute{i}n}$ ): Presión al inicio del lateral con menos presión a la entrada, en m y ubicación del mismo.
- Presión final ( $P_{fin}$ ): Presión al final de la tubería terciaria (si no coincide con el lateral de presión mínima o máxima), en m

Además, mediante una barra deslizante cuyas divisiones coinciden con los laterales de la subunidad, se puede elegir el lateral que aparecerá representado y del cual se dibujará su correspondiente línea de cotas piezométricas, indicando también:

- Presión al inicio del lateral ( $P_{ini}$ ): Es la presión al origen del lateral, en m
- Presión máxima ( $P_{m\acute{a}x}$ ): Presión y ubicación del emisor con más presión, en m
- Presión mínima ( $P_{m\acute{i}n}$ ): Presión y ubicación del emisor con menos presión, en m
- Presión final ( $P_{fin}$ ): Presión al final del lateral (si no coincide con el emisor de presión mínima o máxima), en m

## ANEXO IV: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE LAS SUBUNIDADES TIPO

### IV.1. INTRODUCCIÓN

En el presente anejo se incluyen imágenes de las pantallas generadas por el programa informático “ANASUB” a partir del análisis de 8 subunidades tipo definidas.

Para cada una de ellas se puede consultar:

- Configuración geométrica de la subunidad
- Resultados de los análisis referidos a emisor
- Resultados de los análisis referidos a planta
- Uniformidad de distribución

### IV.2. SUBUNIDADES ANALIZADAS

Las subunidades tipo definidas han sido las siguientes:

Subunidad	Emisor autocomp.	Emisor	CV (%)	Punto de alimentación terciaria
Subnocomp-1	NO	Noauto-3a	0,431	Extremo
Subnocomp-2	NO	Noauto-5	1,973	Extremo
Subnocomp-3	NO	Noauto-3a	0,431	Medio
Subnocomp-4	NO	Noauto-5	1,973	Medio
Subcomp-1	SI	Auto-4a	1,873	Extremo
Subcomp-2	SI	Auto-8ac	6,415	Extremo
Subcomp-3	SI	Auto-4a	1,873	Medio
Subcomp-4	SI	Auto-8ac	6,415	Medio

Y sus dimensiones definitivas quedan así:

Subunidad	Filas de plantas Terciaria		Plantas por fila Laterales		Número total de plantas	Número total de emisores	Caudal nominal total (l/h)	Superficie total		
	nº	L (m)	nº	L (m)				m <sup>2</sup>	ha	hg
Subnocomp-1	16	78,25	10	50	160	1280	5120	4000	0,40	4,81
Subnocomp-2	16	78,25	9	45	144	1152	4608	3600	0,36	4,33
Subnocomp-3	16	76,50	18	90	288	2304	9216	7200	0,72	8,66
Subnocomp-4	16	76,50	18	90	288	2304	9216	7200	0,72	8,66
Subcomp-1	16	78,25	36	180	576	4608	18432	14400	1,44	17,33
Subcomp-2	16	78,25	33	170	528	4224	16896	13200	1,32	15,88
Subcomp-3	32	156,5	36	180	1152	9216	36864	28800	2,88	34,66
Subcomp-4	32	156,5	33	170	1056	8448	33792	26400	2,64	31,77

### IV.2.1. Con emisores no autocompensantes

#### IV.2.1.1 SUBNOCOMP-1

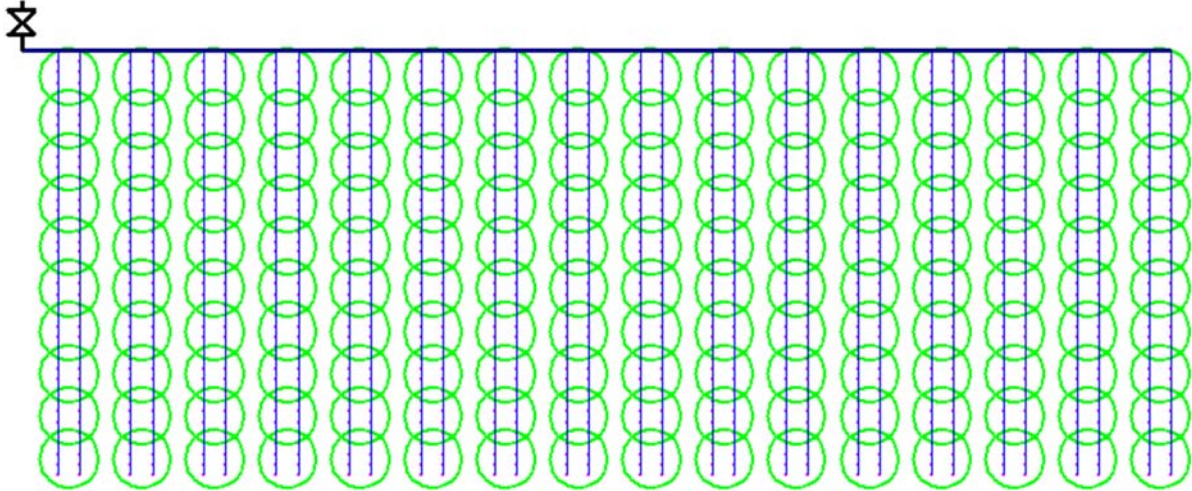


Imagen 39: Configuración geométrica de la subunidad *Subnocomp-1*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-1 - TORO PLASTRO 4 SIN ANÓMALOS

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral:  mm Recalcular

Terciaria:  mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR:  l/h

Presión origen:  m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL:  l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=12,9286 \cdot h^{0,4996}$   $q_n$   l/h

Parabólico  $q=1,5733 \cdot 28,4144 \cdot h - 35,9327 \cdot h^2$   $q_n$   l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**EMISORES**

	Presiones			Caudales		
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3			
Inicio	11,84	11,74	11,52			
Emisor 1	11,67	11,57	11,36			
Emisor 2	11,65	11,55	11,34			
Emisor 3	11,63	11,53	11,32			
Emisor 4	11,61	11,52	11,30			
Emisor 5	11,60	11,50	11,28			
Emisor 6	11,58	11,48	11,27			
Emisor 7	11,57	11,47	11,25			
Emisor 8	11,55	11,45	11,24			
Emisor 9	11,54	11,44	11,23			
Emisor 10	11,53	11,43	11,22			
Emisor 11	11,52	11,42	11,21			
Emisor 12	11,51	11,41	11,20			

**PLANTAS**

	Presiones			Caudales		
	Fila 1	Fila 2	Fila 3			
Planta 1	11,59	11,29	11,01			
Planta 2	11,52	11,22	10,95			
Planta 3	11,47	11,17	10,90			
Planta 4	11,44	11,14	10,87			
Planta 5	11,41	11,11	10,85			
Planta 6	11,40	11,10	10,83			
Planta 7	11,39	11,09	10,82			
Planta 8	11,38	11,08	10,81			
Planta 9	11,37	11,07	10,80			
Planta 10	11,37	11,07	10,80			

**RESUMEN DE RESULTADOS:**

POR EMISOR / POR PLANTA

	Emisor	Lateral	
h mínima	<input type="text" value="40"/>	<input type="text" value="27"/>	<input type="text" value="9,69"/> m.c.a.
h máxima	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="11,67"/> m.c.a.
q mínimo	<input type="text" value="37"/>	<input type="text" value="20"/>	<input type="text" value="3,96"/> l/h
q máximo	<input type="text" value="9"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="4,39"/> l/h
Diferencia presión	<input type="text" value="1,98"/> m.c.a.	<input type="text" value="19,38"/> %	
Diferencia caudal	<input type="text" value="0,43"/> l/h	<input type="text" value="10,46"/> %	
Presión media	<input type="text" value="10,21"/> m.c.a.		
Caudal medio	<input type="text" value="4,09"/> l/h		
Caudal a presión media	<input type="text" value="4,09"/> l/h		
CV	<input type="text" value="2,60"/> %		

CU
GRÁFICOS
POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 40: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-1* referidos a emisor

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-1 - TORO PLASTRO 4 SIN ANÓMALOS

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral  mm

Terciaria  mm

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR

Presión origen  m.c.a.

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL  l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=12,9286 h^{0,4996}$   $q_n$   l/h

Parabólico  $q=1,5733+28,4144 h-35,9327 h^2$   $q_n$   l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones		Caudales		Presiones		Caudales
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	11,84	11,74	11,52	Planta 1	11,59	11,29	11,01
Emisor 1	11,67	11,57	11,36	Planta 2	11,52	11,22	10,95
Emisor 2	11,65	11,55	11,34	Planta 3	11,47	11,17	10,90
Emisor 3	11,63	11,53	11,32	Planta 4	11,44	11,14	10,87
Emisor 4	11,61	11,52	11,30	Planta 5	11,41	11,11	10,85
Emisor 5	11,60	11,50	11,28	Planta 6	11,40	11,10	10,83
Emisor 6	11,58	11,48	11,27	Planta 7	11,39	11,09	10,82
Emisor 7	11,57	11,47	11,25	Planta 8	11,38	11,08	10,81
Emisor 8	11,55	11,45	11,24	Planta 9	11,37	11,07	10,80
Emisor 9	11,54	11,44	11,23	Planta 10	11,37	11,07	10,80
Emisor 10	11,53	11,43	11,22				
Emisor 11	11,52	11,42	11,21				
Emisor 12	11,51	11,41	11,20				

**RESUMEN DE RESULTADOS**

POR EMISOR / POR PLANTA

	Planta	Fila	Valor	Unidad
h mínima	10	14	9,69	m.c.a.
h máxima	1	1	11,59	m.c.a.
Q mínimo	6	13	31,89	l/h
Q máximo	1	1	34,85	l/h
Diferencia presión	1,90		18,60	% m.c.a.
Diferencia caudal	2,97		9,06	% l/h
Presión media	10,21			m.c.a.
Caudal medio	32,74			l/h
Caudal a presión media	32,75			l/h
CV	2,57			%

Imagen 41: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-1* referidos a planta

UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN - EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

	Emisor	Planta
CU 25	0,995	0,998

**Combinación de causas, CU**

	Emisor		Planta	
	CU1	CU2	CU1	CU2
CU Christiansen	0,974	0,978	0,977	0,979
CU 50	0,975	0,979	0,978	0,980
CU 25	0,972	0,976	0,975	0,977
CU Keller	0,950	0,955	0,955	0,956
CU min/med	0,970	0,974	0,973	0,975
CU min/max	0,907	0,911	0,913	0,915

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,979	0,979
CU 50	0,980	0,980
CU 25	0,977	0,977
CU Keller	0,955	0,956
CU min/med	0,974	0,975
CU min/max	0,911	0,915
q var (%)	8,86	8,55

**ANÁLISIS**

**Coefficiente de uniformidad, CU**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,978	0,979
CU 50	0,980	0,980
CU 25	0,976	0,977
CU Keller	0,963	0,964
CU min/med	0,967	0,974
CU min/max	0,902	0,915
q var (%)	9,76	8,51

**Coefficiente de Variación, CV**

	Emisor	Planta
CV subunidad	2,60%	2,57%
CV estadístico	97,40%	97,43%

$CU_f = CU_f \cdot CU_h$

$CU_2 = 1 - \sqrt{(1 - CU_f^2) + (1 - CU_h^2)}$

$CV = \frac{\sigma_q}{q}$

$CU_{est} = 100 - CV$

Imagen 42: Uniformidad de distribución para la subunidad *Subnocomp-1*

IV.2.1.2 SUBNOCOMP-2

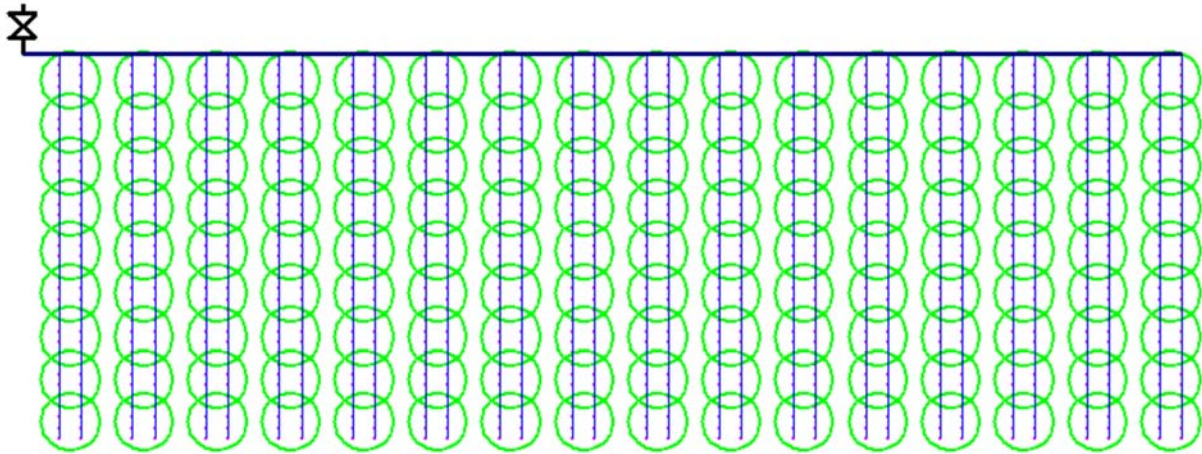


Imagen 43: Configuración geométrica de la subunidad *Subnocomp-2*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-2 - AZUD DRIP COMPACT 4L

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,6 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [ ] Presión origen

Presión origen: 11,59 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 4568,88 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=12,8133h^{0,5094}$   $q_n$  3,96 l/h

Parabólico  $q=1,4856+28,0439h-35,4189h^2$   $q_n$  3,94 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**RESULTADOS POR EMISOR Y PLANTA**

	Emisor		Lateral	
h mínima	36	28	9,80	m.c.a.
h máxima	1	1	11,34	m.c.a.
q mínimo	18	22	3,62	l/h
q máximo	4	2	4,39	l/h
Diferencia presión	1,53	m.c.a.	15,01	%
Diferencia caudal	0,77	l/h	19,34	%
Presión media			10,21	m.c.a.
Caudal medio			3,97	l/h
Caudal a presión media			3,97	l/h
CV			2,91	%

**PRESIONES Y CAUDALES**

	EMISORES			PLANTAS		
	Presiones	Caudales		Presiones	Caudales	
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	11,46	11,38	11,20			
Emisor 1	11,34	11,26	11,09	Planta 1	11,28	11,03
Emisor 2	11,32	11,24	11,07	Planta 2	11,23	10,99
Emisor 3	11,31	11,23	11,06	Planta 3	11,20	10,96
Emisor 4	11,29	11,22	11,05	Planta 4	11,18	10,94
Emisor 5	11,28	11,20	11,03	Planta 5	11,16	10,92
Emisor 6	11,27	11,19	11,02	Planta 6	11,15	10,91
Emisor 7	11,26	11,18	11,01	Planta 7	11,14	10,90
Emisor 8	11,25	11,18	11,01	Planta 8	11,14	10,90
Emisor 9	11,25	11,17	11,00	Planta 9	11,13	10,89
Emisor 10	11,24	11,16	10,99			
Emisor 11	11,23	11,15	10,99			
Emisor 12	11,23	11,15	10,98			

EMISORES Y PLANTAS      LATERALES Y TERCIARIA

CU    GRÁFICOS    POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 44: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-2* referidos a emisor

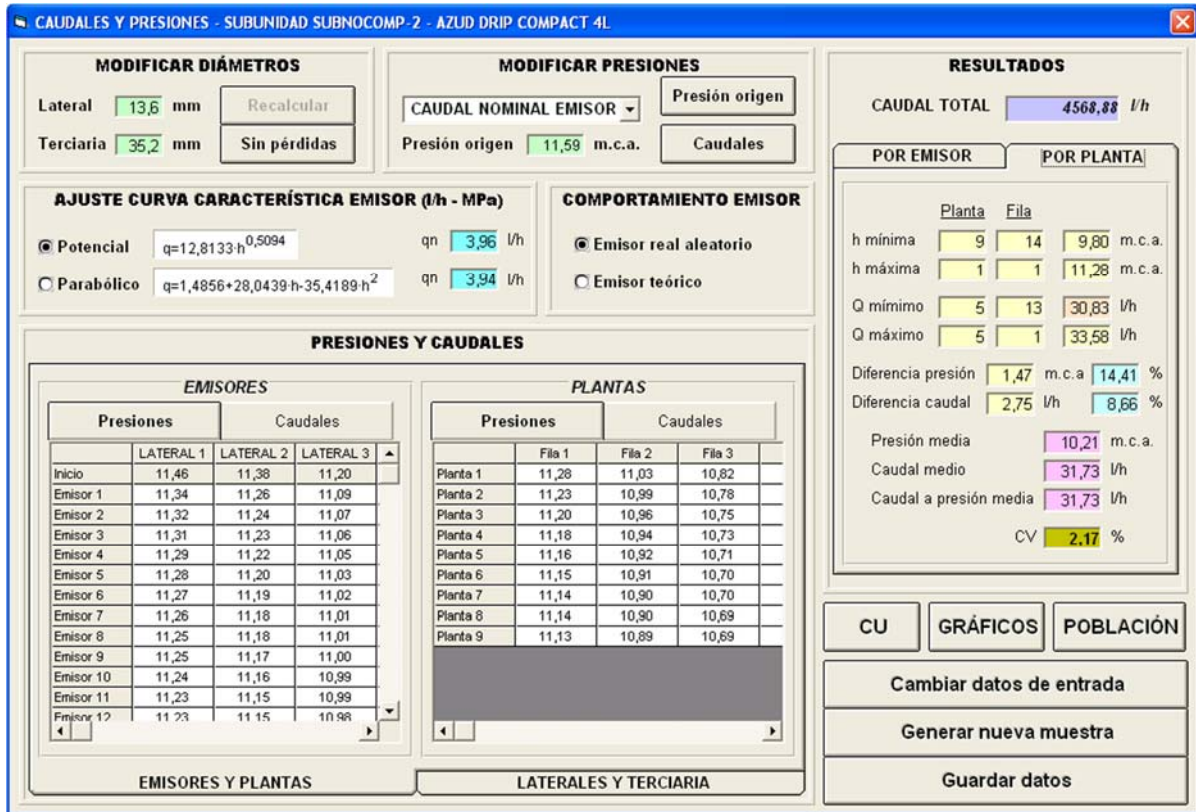


Imagen 45: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-2* referidos a planta

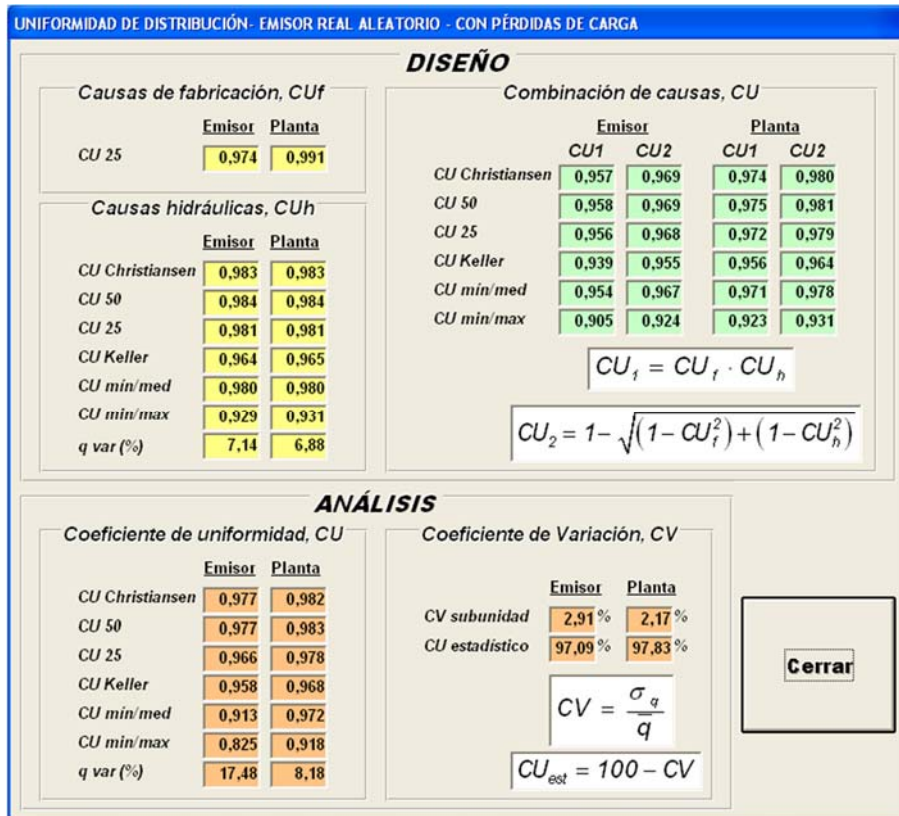


Imagen 46: Uniformidad de distribución para la subunidad *Subnocomp-2*

IV.2.1.3 SUBNOCOMP-3

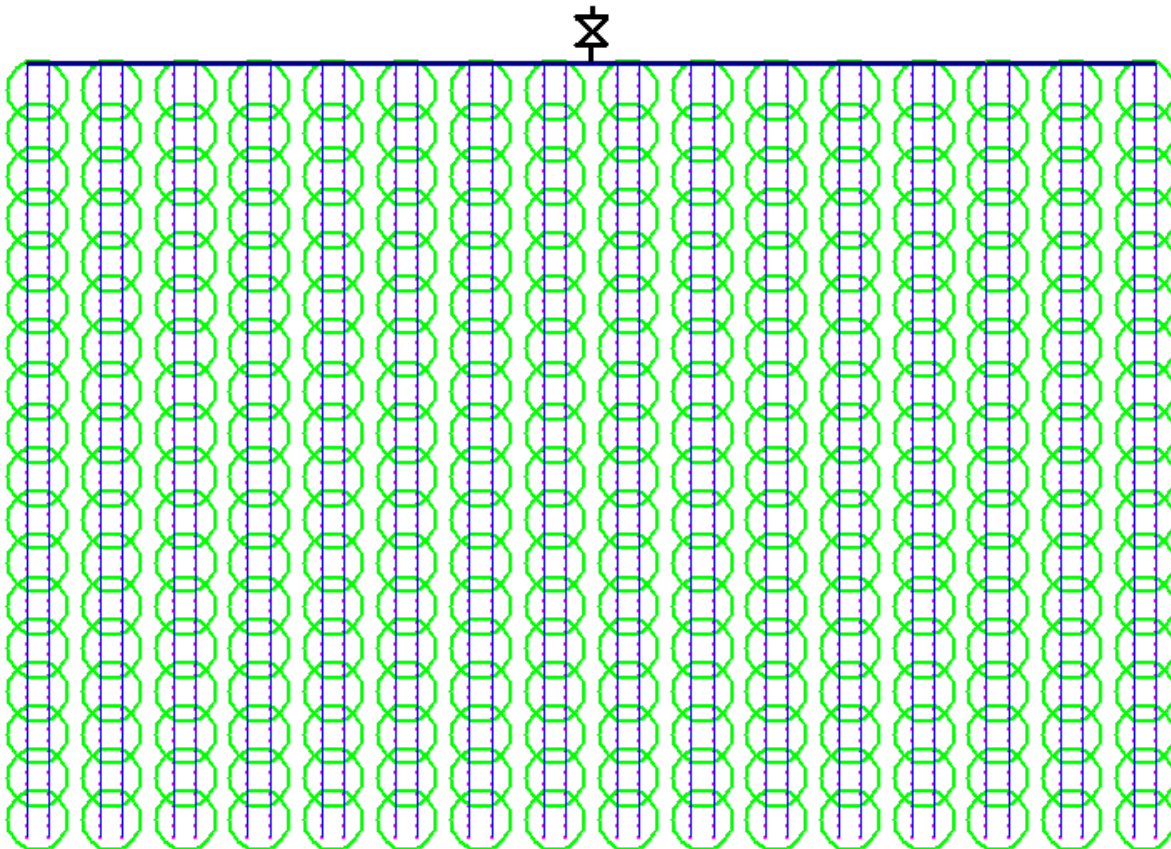


Imagen 47: Configuración geométrica de la subunidad *Subnocomp-3*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-3 - TORO PLASTRO 4 SIN ANÓMALOS

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral:  mm

Terciaria:  mm

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR:  l/h

Presión origen:  m.c.a.

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL:  l/h

POR EMISOR | POR PLANTA

	Emisor	Lateral	
h mínima	72	6	9,73 m.c.a.
h máxima	1	17	11,58 m.c.a.
q mínimo	66	5	3,96 l/h
q máximo	1	18	4,37 l/h

Diferencia presión:  m.c.a.  %

Diferencia caudal:  l/h  %

Presión media:  m.c.a.

Caudal medio:  l/h

Caudal a presión media:  l/h

CV:  %

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=12,9285 \cdot h^{0,4997}$   $q_n$   l/h

Parabólico:  $q=1,5754 \cdot 28,4668 \cdot h - 36,2610 \cdot h^2$   $q_n$   l/h

**COMPORTEAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones			Caudales			
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Planta 1	Planta 2	Planta 3	
Inicio	11,08	11,08	11,09	10,98	10,92	10,91	
Emisor 1	11,08	11,03	11,00	10,80	10,74	10,73	
Emisor 2	11,03	10,98	10,95	10,63	10,58	10,56	
Emisor 3	10,98	10,93	10,91	10,49	10,43	10,42	
Emisor 4	10,93	10,88	10,86	10,36	10,30	10,29	
Emisor 5	10,89	10,84	10,81	10,24	10,19	10,18	
Emisor 6	10,84	10,79	10,77	10,14	10,09	10,08	
Emisor 7	10,80	10,75	10,73	10,06	10,00	9,99	
Emisor 8	10,76	10,71	10,68	9,99	9,93	9,92	
Emisor 9	10,72	10,67	10,64	9,93	9,87	9,87	
Emisor 10	10,68	10,63	10,60	9,89	9,83	9,82	
Emisor 11	10,64	10,59	10,56	9,86	9,80	9,80	
Finjor 12	10,60	10,55	10,53	9,84	9,79	9,78	

EMISORES Y PLANTAS

LATERALES Y TERCIARIA

Imagen 48: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-3* referidos a emisor



**CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-3 - TORO PLASTRO 4 SIN ANÓMALOS**

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,6 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [dropdown]

Presión origen: 11,93 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 9429,76 l/h

**POR EMISOR** | **POR PLANTA**

Planta	Fila	h mínima	h máxima	Q mínimo	Q máximo
18	3	9,74	11,46	31,93	34,71
1	9				
18	15				
1	8				

Diferencia presión: 1,73 m.c.a. (16,93 %)

Diferencia caudal: 2,78 l/h (8,48 %)

Presión media: 10,21 m.c.a.

Caudal medio: 32,74 l/h

Caudal a presión media: 32,75 l/h

CV: 1,97 %

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=12,9285 \cdot h^{0,4997}$  qn: 4,09 l/h

Parabólico:  $q=1,5754+28,4668 \cdot h-36,2610 \cdot h^2$  qn: 4,06 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

	EMISORES			PLANTAS		
	Presiones	Caudales		Presiones	Caudales	
Inicio	11,08	11,08	11,09			
Emisor 1	11,08	11,03	11,00	Planta 1	10,98	10,92
Emisor 2	11,03	10,98	10,95	Planta 2	10,80	10,74
Emisor 3	10,98	10,93	10,91	Planta 3	10,63	10,58
Emisor 4	10,93	10,88	10,86	Planta 4	10,49	10,43
Emisor 5	10,89	10,84	10,81	Planta 5	10,36	10,30
Emisor 6	10,84	10,79	10,77	Planta 6	10,24	10,19
Emisor 7	10,80	10,75	10,73	Planta 7	10,14	10,09
Emisor 8	10,76	10,71	10,68	Planta 8	10,06	10,00
Emisor 9	10,72	10,67	10,64	Planta 9	9,99	9,93
Emisor 10	10,68	10,63	10,60	Planta 10	9,93	9,87
Emisor 11	10,64	10,59	10,56	Planta 11	9,89	9,83
Emisor 12	10,60	10,55	10,53	Planta 12	9,86	9,80
				Planta 13	9,84	9,78

CU | GRÁFICOS | POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 49: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-3* referidos a planta

**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN - EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA**

**DISEÑO**

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

	Emisor	Planta
CU 25	0,995	0,998

**Combinación de causas, CU**

	Emisor	Planta
	CU1	CU2
CU Christiansen	0,979	0,983
CU 50	0,979	0,983
CU 25	0,975	0,979
CU Keller	0,953	0,958
CU min/med	0,972	0,976
CU min/max	0,913	0,917

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,984	0,984
CU 50	0,984	0,984
CU 25	0,979	0,980
CU Keller	0,958	0,960
CU min/med	0,977	0,977
CU min/max	0,917	0,922
q var (%)	8,30	7,84

$CU_1 = CU_f \cdot CU_h$

$CU_2 = 1 - \sqrt{(1 - CU_f^2) + (1 - CU_h^2)}$

**ANÁLISIS**

**Coefficiente de uniformidad, CU**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,984	0,984
CU 50	0,984	0,984
CU 25	0,979	0,980
CU Keller	0,971	0,971
CU min/med	0,967	0,975
CU min/max	0,906	0,920
q var (%)	9,39	8,00

**Coefficiente de Variación, CV**

	Emisor	Planta
CV subunidad	2,01 %	1,97 %
CV estadístico	97,99 %	98,03 %

$CV = \frac{\sigma_q}{q}$

$CU_{est} = 100 - CV$

Cerrar

Imagen 50: Uniformidad de distribución para la subunidad *Subnocomp-3*

IV.2.1.4 SUBNOCOMP-4

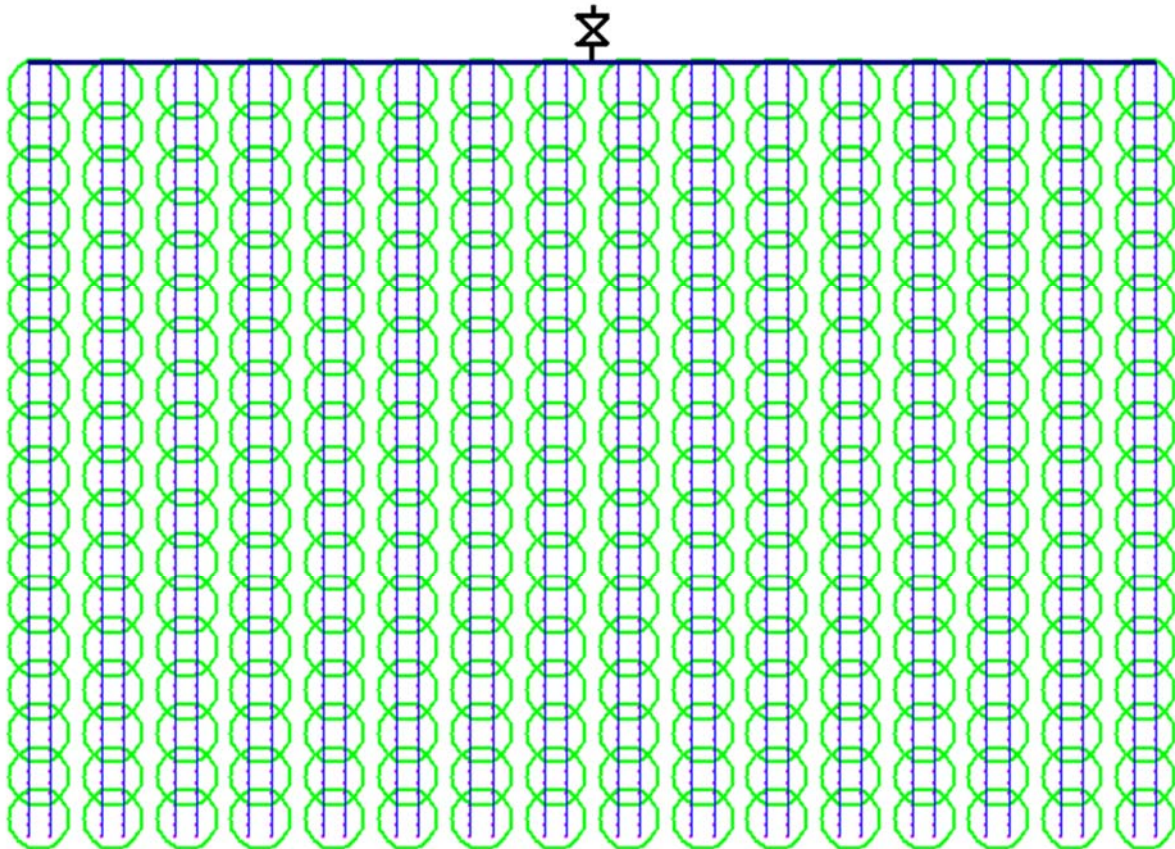


Imagen 51: Configuración geométrica de la subunidad *Subnocomp-4*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-4 - AZUD DRIP COMPACT 4L

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,6 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [dropdown]

Presión origen: 11,81 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 9139,49 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=12,8172 \cdot h^{0,5094}$   $q_n$ : 3,97 l/h

Parabólico:  $q=1,4853+28,0434 \cdot h-35,4179 \cdot h^2$   $q_n$ : 3,94 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones			Caudales			
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3	
Inicio	11,01	11,01	11,02	10,92	10,87	10,87	
Emisor 1	11,01	10,97	10,95	10,75	10,70	10,70	
Emisor 2	10,96	10,92	10,90	10,59	10,55	10,54	
Emisor 3	10,92	10,87	10,86	10,45	10,41	10,40	
Emisor 4	10,87	10,83	10,81	10,33	10,29	10,28	
Emisor 5	10,83	10,79	10,77	10,22	10,18	10,17	
Emisor 6	10,79	10,75	10,73	10,13	10,09	10,08	
Emisor 7	10,75	10,70	10,69	10,05	10,01	10,00	
Emisor 8	10,71	10,66	10,65	9,96	9,94	9,93	
Emisor 9	10,67	10,63	10,61	9,93	9,89	9,88	
Emisor 10	10,63	10,59	10,57	9,89	9,85	9,84	
Emisor 11	10,59	10,55	10,53	9,86	9,83	9,82	
Finisny 12	10,56	10,52	10,50	9,84	9,81	9,80	

**RESUMEN RESULTADOS**

h mínima: 72 lateral 29, 9,75 m.c.a.

h máxima: 1 lateral 17, 11,51 m.c.a.

q mínimo: 60 lateral 10, 3,66 l/h

q máximo: 1 lateral 16, 4,34 l/h

Diferencia presión: 1,76 m.c.a. 17,23 %

Diferencia caudal: 0,67 l/h 17,00 %

Presión media: 10,20 m.c.a.

Caudal medio: 3,97 l/h

Caudal a presión media: 3,97 l/h

CV: 2,79 %

CU

GRÁFICOS

POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 52: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-4* referidos a emisor

**CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBNOCOMP-4 - AZUD DRIP COMPACT 4L**

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,6 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [ ]

Presión origen: 11,81 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 9139,49 l/h

**POR EMISOR** | **POR PLANTA**

Planta	Fila	h mínima	h máxima	Q mínimo	Q máximo
18	14	9,76 m.c.a.	11,40 m.c.a.	30,51 l/h	33,57 l/h

Diferencia presión: 1,64 m.c.a. 16,10 %

Diferencia caudal: 3,06 l/h 9,65 %

Presión media: 10,20 m.c.a.

Caudal medio: 31,73 l/h

Caudal a presión media: 31,74 l/h

CV: 2,06 %

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=12,8172 \cdot h^{0,5094}$  qn: 3,97 l/h

Parabólico:  $q=1,4853+28,0434 \cdot h-35,4179 \cdot h^2$  qn: 3,94 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones		Caudales		Presiones		Caudales
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	11,01	11,01	11,02	Planta 1	10,92	10,87	10,87
Emisor 1	11,01	10,97	10,95	Planta 2	10,75	10,70	10,70
Emisor 2	10,96	10,92	10,90	Planta 3	10,59	10,55	10,54
Emisor 3	10,92	10,87	10,86	Planta 4	10,45	10,41	10,40
Emisor 4	10,87	10,83	10,81	Planta 5	10,33	10,29	10,28
Emisor 5	10,83	10,79	10,77	Planta 6	10,22	10,18	10,17
Emisor 6	10,79	10,75	10,73	Planta 7	10,13	10,09	10,08
Emisor 7	10,75	10,70	10,69	Planta 8	10,05	10,01	10,00
Emisor 8	10,71	10,66	10,65	Planta 9	9,98	9,94	9,93
Emisor 9	10,67	10,63	10,61	Planta 10	9,93	9,89	9,88
Emisor 10	10,63	10,59	10,57	Planta 11	9,89	9,85	9,84
Emisor 11	10,59	10,55	10,53	Planta 12	9,86	9,83	9,82
Emisor 12	10,56	10,52	10,50	Planta 13	9,84	9,81	9,80

**CU** | **GRÁFICOS** | **POBLACIÓN**

**Cambiar datos de entrada**

**Generar nueva muestra**

**Guardar datos**

Imagen 53: Resultados del análisis de la subunidad *Subnocomp-4* referidos a planta

**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN - EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA**

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

	Emisor	Planta
CU 25	0,975	0,991

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,984	0,984
CU 50	0,984	0,985
CU 25	0,980	0,980
CU Keller	0,959	0,961
CU min/med	0,977	0,977
CU min/max	0,919	0,924
q var (%)	8,07	7,63

**DISEÑO**

Combinación de causas, CU

	Emisor		Planta	
	CU1	CU2	CU1	CU2
CU Christiansen	0,959	0,970	0,975	0,982
CU 50	0,959	0,970	0,976	0,982
CU 25	0,955	0,968	0,971	0,978
CU Keller	0,935	0,952	0,953	0,960
CU min/med	0,953	0,966	0,969	0,976
CU min/max	0,896	0,915	0,915	0,923

$CU_1 = CU_f \cdot CU_h$

$CU_2 = 1 - \sqrt{(1 - CU_f^2) + (1 - CU_h^2)}$

**ANÁLISIS**

**Coefficiente de uniformidad, CU**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,978	0,983
CU 50	0,978	0,983
CU 25	0,966	0,978
CU Keller	0,960	0,970
CU min/med	0,923	0,961
CU min/max	0,845	0,909
q var (%)	15,55	9,12

**Coefficiente de Variación, CV**

	Emisor	Planta
CV subunidad	2,79 %	2,06 %
CV estadístico	97,21 %	97,94 %

$CV = \frac{\sigma_q}{q}$

$CU_{est} = 100 - CV$

**Cerrar**

Imagen 54: Uniformidad de distribución para la subunidad *Subnocomp-4*

### IV.2.2. Con emisores autocompensantes

#### IV.2.2.1 SUBCOMP-1

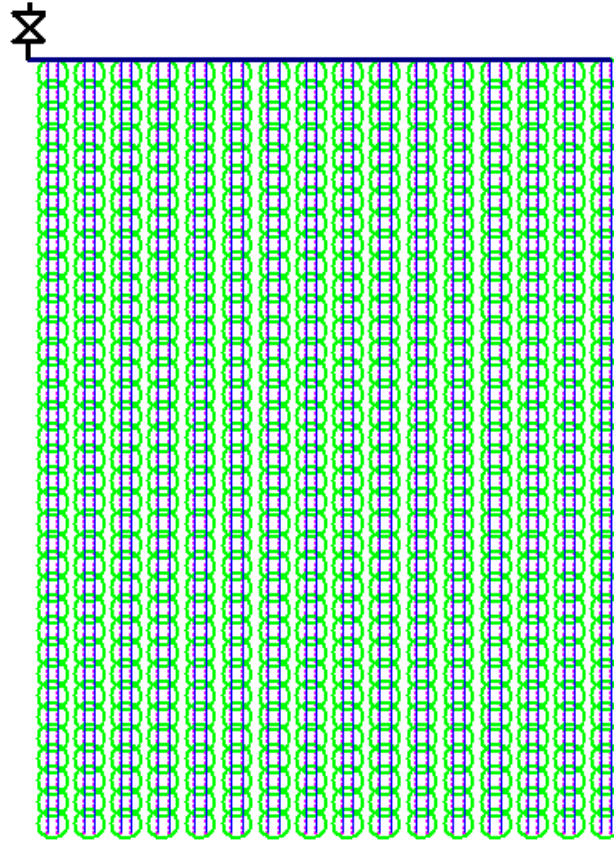


Imagen 55: Configuración geométrica de la subunidad Subcomp-1

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-1 - NETAFIN PCJ 4 SIN ANÓMALOS

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral:  mm

Terciaria:  mm

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR:  l/h

Presión origen:  m.c.a.

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL:  l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=4,2533 \cdot h^{0,0379}$   $q_n$   l/h

Parabólico  $q=3,9252 \cdot 0,9356 \cdot h + 4,4313 \cdot h^2$   $q_n$   l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS											
	Presiones			Caudales				Presiones			Caudales				
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	38,56	37,54	35,34		Planta 1	36,78	33,66	30,96							
Emisor 1	37,57	36,56	34,38		Planta 2	36,03	32,92	30,22							
Emisor 2	37,38	36,37	34,19		Planta 3	35,33	32,22	29,52							
Emisor 3	37,18	36,18	34,00		Planta 4	34,65	31,55	28,85							
Emisor 4	37,00	35,99	33,82		Planta 5	34,01	30,91	28,22							
Emisor 5	36,81	35,80	33,63		Planta 6	33,41	30,31	27,62							
Emisor 6	36,63	35,62	33,45		Planta 7	32,85	29,76	27,07							
Emisor 7	36,45	35,44	33,27		Planta 8	32,31	29,22	26,53							
Emisor 8	36,27	35,26	33,10		Planta 9	31,80	28,72	26,04							
Emisor 9	36,10	35,08	32,92		Planta 10	31,33	28,26	25,57							
Emisor 10	35,92	34,91	32,75		Planta 11	30,90	27,82	25,14							
Emisor 11	35,75	34,74	32,57		Planta 12	30,48	27,41	24,73							
Emisor 12	35,58	34,56	32,40		Planta 13	30,10	27,03	24,35							

**RESUMEN DE RESULTADOS**

POR EMISOR / POR PLANTA

	Emisor	Lateral	
h mínima	144	28	10,20 m.c.a.
h máxima	1	1	37,57 m.c.a.
q mínimo	95	26	3,72 l/h
q máximo	7	2	4,33 l/h
Diferencia presión	27,37	m.c.a.	157,60 %
Diferencia caudal	0,61	l/h	15,41 %
Presión media	17,37	m.c.a.	
Caudal medio	3,97	l/h	
Caudal a presión media	3,98	l/h	
CV	2,03	%	

EMISORES Y PLANTAS

LATERALES Y TERCIARIA

CU

GRÁFICOS

POBLACIÓN

Imagen 56: Resultados del análisis de la subunidad Subcomp-1 referidos a emisor

**CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-1 - NETAFIN PCJ 4 SIN ANÓMALOS**

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,2 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [ ] Presión origen: [ ]

Presión origen: 40,34 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 18283,06 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=4,2533h^{0,0379}$   $q_n$ : 4,02 l/h

Parabólico:  $q=3,9252-0,9356h+4,4313h^2$   $q_n$ : 3,94 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones		Caudales		Presiones		Caudales
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	38,56	37,54	35,34	Planta 1	36,78	33,66	30,96
Emisor 1	37,57	36,56	34,38	Planta 2	36,03	32,92	30,22
Emisor 2	37,38	36,37	34,19	Planta 3	35,33	32,22	29,52
Emisor 3	37,18	36,18	34,00	Planta 4	34,65	31,55	28,85
Emisor 4	37,00	35,99	33,82	Planta 5	34,01	30,91	28,22
Emisor 5	36,81	35,80	33,63	Planta 6	33,41	30,31	27,62
Emisor 6	36,63	35,62	33,45	Planta 7	32,85	29,76	27,07
Emisor 7	36,45	35,44	33,27	Planta 8	32,31	29,22	26,53
Emisor 8	36,27	35,26	33,10	Planta 9	31,80	28,72	26,04
Emisor 9	36,10	35,08	32,92	Planta 10	31,33	28,26	25,57
Emisor 10	35,92	34,91	32,75	Planta 11	30,90	27,82	25,14
Emisor 11	35,75	34,74	32,57	Planta 12	30,48	27,41	24,73
Emisor 12	35,58	34,56	32,40	Planta 13	30,10	27,03	24,35

**RESUMEN DE RESULTADOS**

Diferencia presión: 26,55 m.c.a. (52,88 %)

Diferencia caudal: 2,36 l/h (7,43 %)

Presión media: 17,37 m.c.a.

Caudal medio: 31,74 l/h

Caudal a presión media: 31,82 l/h

CV: 1,36 %

CU GRÁFICOS POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 57: Resultados del análisis de la subunidad Subcomp-1 referidos a planta

**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN - EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA**

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

CU 25	Emisor	Planta
	0,980	0,993

**Combinación de causas, CU**

	Emisor		Planta	
	CU1	CU2	CU1	CU2
CU Christiansen	0,970	0,978	0,982	0,987
CU 50	0,968	0,977	0,981	0,986
CU 25	0,964	0,974	0,976	0,982
CU Keller	0,956	0,969	0,969	0,975
CU min/med	0,961	0,972	0,973	0,979
CU min/max	0,933	0,948	0,946	0,952

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,989	0,989
CU 50	0,987	0,988
CU 25	0,983	0,983
CU Keller	0,976	0,976
CU min/med	0,980	0,980
CU min/max	0,952	0,953
q var (%)	4,82	4,75

**ANÁLISIS**

**Coefficiente de uniformidad, CU**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,984	0,989
CU 50	0,984	0,989
CU 25	0,975	0,984
CU Keller	0,970	0,980
CU min/med	0,937	0,966
CU min/max	0,859	0,929
q var (%)	14,13	7,14

**Coefficiente de Variación, CV**

	Emisor	Planta
CV subunidad	2,03 %	1,36 %
CV estadístico	97,97 %	98,64 %

$CU_f = CU_f \cdot CU_h$

$CU_2 = 1 - \sqrt{(1 - CU_f^2) + (1 - CU_h^2)}$

$CV = \frac{\sigma_q}{q}$

$CU_{est} = 100 - CV$

Cerrar

Imagen 58: Uniformidad de distribución para la subunidad Subcomp-1

IV.2.2.2 SUBCOMP-2

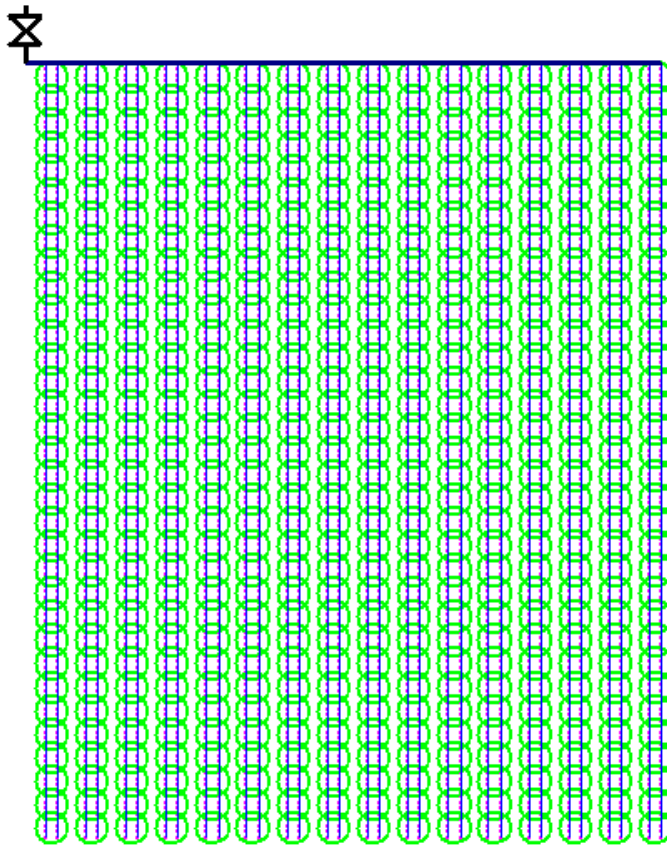


Imagen 59: Configuración geométrica de la subunidad *Subcomp-2*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-2 - TURBO PLUS 4 SIN ANÓMALOS INTERVALO COMPENSACIÓN

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,2 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [dropdown]

Presión origen: 39,61 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 18046,68 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=4,1019h^{-0,0228}$   $q_n$  4,23 l/h

Parabólico  $q=4,3156+0,0568h-1,1777h^2$   $q_n$  4,26 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

	EMISORES			PLANTAS		
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	37,88	36,88	34,73			
Emisor 1	37,02	36,04	33,90	36,27	33,20	30,53
Emisor 2	36,84	35,86	33,72	34,92	31,86	29,18
Emisor 3	36,66	35,69	33,55	34,31	31,25	28,56
Emisor 4	36,49	35,52	33,37	33,74	30,67	27,98
Emisor 5	36,32	35,34	33,20	33,20	30,13	27,43
Emisor 6	36,14	35,17	33,03	32,69	29,62	26,92
Emisor 7	35,97	35,01	32,86	32,21	29,14	26,43
Emisor 8	35,81	34,84	32,70	31,77	28,70	25,99
Emisor 9	35,64	34,68	32,53	31,36	28,28	25,57
Emisor 10	35,48	34,52	32,37	30,98	27,90	25,18
Emisor 11	35,32	34,36	32,22	30,62	27,54	24,82
Emisor 12	35,17	34,21	32,06	30,30	27,21	24,48

**POR EMISOR / POR PLANTA**

	Emisor	Lateral	
h mínima	132	27	10,20 m.c.a.
h máxima	1	1	37,02 m.c.a.
q mínimo	39	30	3,32 l/h
q máximo	115	30	5,69 l/h
Diferencia presión	26,81 m.c.a.		52,31 %
Diferencia caudal	2,38 l/h		55,62 %
Presión media			17,61 m.c.a.
Caudal medio			4,27 l/h
Caudal a presión media			4,27 l/h
CV			7,00 %

CU

**GRÁFICOS**

POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 60: Resultados del análisis de la subunidad *Subcomp-2* referidos a emisor

**CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-2 - TURBO PLUS 4 SIN ANÓMALOS INTERVALO COMPENSACIÓN**

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,2 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [dropdown]

Presión origen: 39,61 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 18046,68 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=4,1019 \cdot h^{-0,0228}$  qn: 4,23 l/h

Parabólico:  $q=4,3156+0,0568 \cdot h-1,1777 \cdot h^2$  qn: 4,26 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

	EMISORES			PLANTAS		
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	37,88	36,88	34,73			
Emisor 1	37,02	36,04	33,90	Planta 1	36,27	33,20
Emisor 2	36,84	35,86	33,72	Planta 2	35,58	32,51
Emisor 3	36,66	35,69	33,55	Planta 3	34,92	31,86
Emisor 4	36,49	35,52	33,37	Planta 4	34,31	31,25
Emisor 5	36,32	35,34	33,20	Planta 5	33,74	30,67
Emisor 6	36,14	35,17	33,03	Planta 6	33,20	30,13
Emisor 7	35,97	35,01	32,86	Planta 7	32,69	29,62
Emisor 8	35,81	34,84	32,70	Planta 8	32,21	29,14
Emisor 9	35,64	34,68	32,53	Planta 9	31,77	28,70
Emisor 10	35,48	34,52	32,37	Planta 10	31,36	28,28
Emisor 11	35,32	34,36	32,22	Planta 11	30,98	27,90
Emisor 12	35,17	34,21	32,06	Planta 12	30,62	27,54
				Planta 13	30,30	27,21

**RESUMEN RESULTADOS**

Diferencia presión: 25,95 m.c.a. 147,41 %

Diferencia caudal: 5,96 l/h 17,45 %

Presión media: 17,61 m.c.a.

Caudal medio: 34,18 l/h

Caudal a presión media: 34,15 l/h

CV: 2,54 %

Imagen 61: Resultados del análisis de la subunidad Subcomp-2 referidos a planta

**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN - EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA**

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

	Emisor	Planta
CU 25	0,918	0,971

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,994	0,994
CU 50	1,008	1,006
CU 25	1,010	1,009
CU Keller	1,015	1,014
CU min/med	1,012	1,012
CU min/max	1,029	1,029
q var (%)	-2,94	-2,88

**DISEÑO**

**Combinación de causas, CU**

	Emisor		Planta	
	CU1	CU2	CU1	CU2
CU Christiansen	0,912	0,918	0,965	0,970
CU 50	0,925	0,917	0,977	0,970
CU 25	0,927	0,917	0,980	0,970
CU Keller	0,931	0,917	0,985	0,968
CU min/med	0,929	0,917	0,983	0,969
CU min/max	0,945	0,913	0,999	0,959

$CU_t = CU_f \cdot CU_h$

$CU_2 = 1 - \sqrt{(1 - CU_1^2) + (1 - CU_h^2)}$

**ANÁLISIS**

**Coefficiente de uniformidad, CU**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,945	0,980
CU 50	0,945	0,980
CU 25	0,915	0,969
CU Keller	0,903	0,963
CU min/med	0,776	0,914
CU min/max	0,583	0,840
q var (%)	41,75	16,03

**Coefficiente de Variación, CV**

	Emisor	Planta
CV subunidad	7,00 %	2,54 %
CV estadístico	93,00 %	97,46 %

$CV = \frac{\sigma_q}{q}$

$CU_{est} = 100 - CV$

Imagen 62: Uniformidad de distribución para la subunidad Subcomp-2

IV.2.2.3 SUBCOMP-3

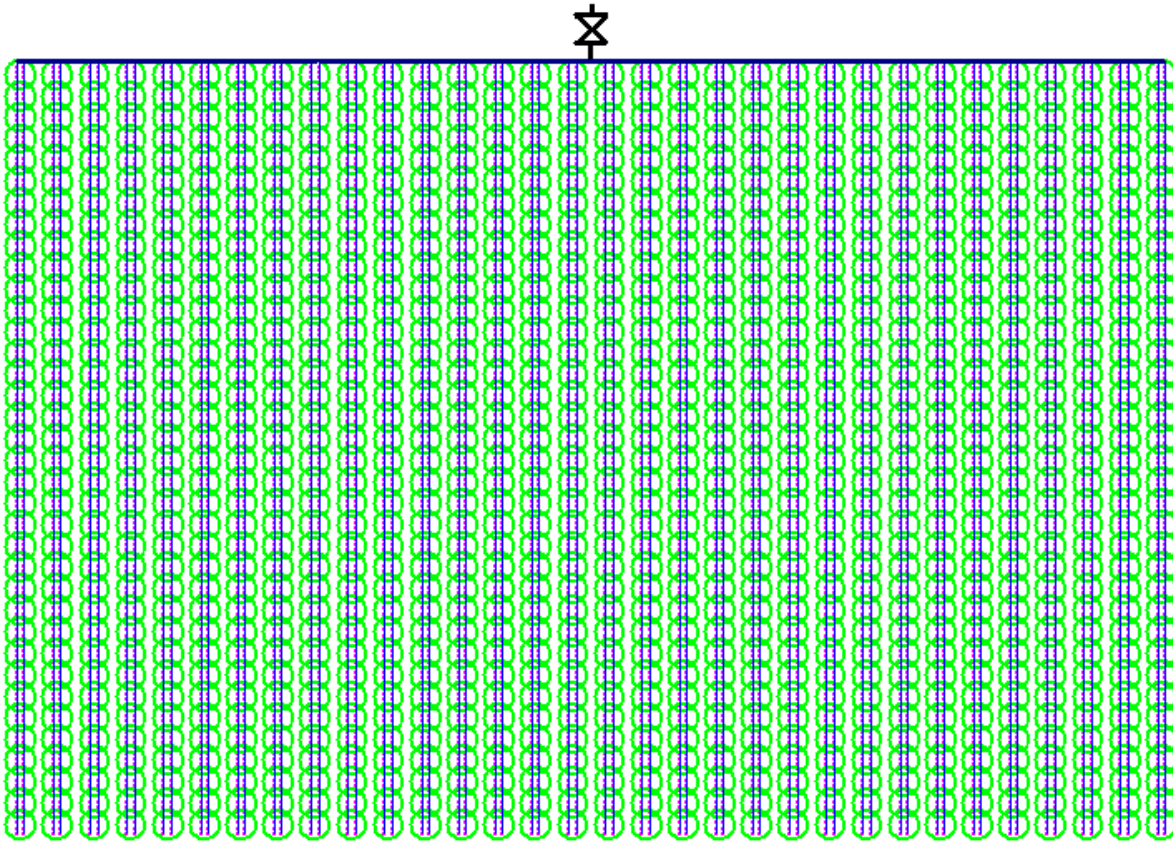


Imagen 63: Configuración geométrica de la subunidad *Subcomp-3*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-3 - NETAFIN PCJ 4 SIN ANÓMALOS

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,2 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [dropdown]

Presión origen: 39,83 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 36572,11 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=4,2570 \cdot h^{0,0382}$   $q_n$  4,02 l/h

Parabólico  $q=3,9297 \cdot 0,9511 \cdot h + 4,4896 \cdot h^2$   $q_n$  3,94 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones			Caudales			
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Planta 1	Planta 2	Planta 3	
Inicio	19,99	19,99	20,01	19,65	19,50	19,48	
Emisor 1	19,99	19,85	19,79	18,95	18,80	18,78	
Emisor 2	19,81	19,67	19,61	18,27	18,12	18,10	
Emisor 3	19,63	19,49	19,43	17,63	17,48	17,46	
Emisor 4	19,46	19,32	19,26	17,03	16,88	16,86	
Emisor 5	19,28	19,14	19,08	16,47	16,31	16,30	
Emisor 6	19,11	18,97	18,91	15,94	15,78	15,76	
Emisor 7	18,93	18,79	18,74	15,43	15,27	15,25	
Emisor 8	18,76	18,62	18,56	14,95	14,79	14,78	
Emisor 9	18,59	18,45	18,39	14,51	14,35	14,34	
Emisor 10	18,43	18,28	18,23	14,10	13,93	13,92	
Emisor 11	18,26	18,12	18,06	13,71	13,54	13,53	
Emisor 12	18,10	17,96	17,90	13,35	13,19	13,17	

**RESUMEN DE RESULTADOS**

Emisor Lateral

h mínima: 144 4 10,20 m.c.a.

h máxima: 1 32 37,41 m.c.a.

q mínimo: 143 63 3,73 l/h

q máximo: 17 33 4,30 l/h

Diferencia presión: 27,21 m.c.a. 156,63 %

Diferencia caudal: 0,56 l/h 14,23 %

Presión media: 17,37 m.c.a.

Caudal medio: 3,97 l/h

Caudal a presión media: 3,98 l/h

CV: 2,00 %

CU

GRÁFICOS

POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 64: Resultados del análisis de la subunidad *Subcomp-3* referidos a emisor



**CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-3 - NETAFIN PCJ 4 SIN ANÓMALOS**

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,2 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR: [ ] Presión origen: [ ]

Presión origen: 39,83 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 36572,11 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=4,2570 \cdot h^{0,0382}$  qn: 4,02 l/h

Parabólico:  $q=3,9297 \cdot 0,9511 \cdot h + 4,4896 \cdot h^2$  qn: 3,94 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**EMISORES**

	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3
Inicio	19,99	19,99	20,01
Emisor 1	19,99	19,85	19,79
Emisor 2	19,81	19,67	19,61
Emisor 3	19,63	19,49	19,43
Emisor 4	19,46	19,32	19,26
Emisor 5	19,28	19,14	19,08
Emisor 6	19,11	18,97	18,91
Emisor 7	18,93	18,79	18,74
Emisor 8	18,76	18,62	18,56
Emisor 9	18,59	18,45	18,39
Emisor 10	18,43	18,28	18,23
Emisor 11	18,26	18,12	18,06
Emisor 12	18,10	17,96	17,90

**PLANTAS**

	Fila 1	Fila 2	Fila 3
Planta 1	19,65	19,50	19,48
Planta 2	18,95	18,80	18,78
Planta 3	18,27	18,12	18,10
Planta 4	17,63	17,48	17,46
Planta 5	17,03	16,88	16,86
Planta 6	16,47	16,31	16,30
Planta 7	15,94	15,78	15,76
Planta 8	15,43	15,27	15,25
Planta 9	14,95	14,79	14,78
Planta 10	14,51	14,35	14,34
Planta 11	14,10	13,93	13,92
Planta 12	13,71	13,54	13,53
Planta 13	13,35	13,18	13,17

**RESUMEN DE RESULTADOS**

h mínima: 36 m.c.a. | h máxima: 1 m.c.a.

Q mínimo: 32 l/h | Q máximo: 11 l/h

Diferencia presión: 26,54 m.c.a. (52,80%)

Diferencia caudal: 2,23 l/h (7,03%)

Presión media: 17,37 m.c.a.

Caudal medio: 31,75 l/h

Caudal a presión media: 31,83 l/h

CV: 1,36%

CU | GRÁFICOS | POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 65: Resultados del análisis de la subunidad Subcomp-3 referidos a planta

**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN - EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA**

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

Emisor	Planta
CU 25	0,981   0,993

**Combinación de causas, CU**

	CU1	CU2	CU1	CU2
CU Christiansen	0,970	0,978	0,983	0,987
CU 50	0,968	0,977	0,980	0,985
CU 25	0,964	0,974	0,976	0,981
CU Keller	0,957	0,969	0,969	0,975
CU min/med	0,961	0,972	0,973	0,979
CU min/max	0,933	0,948	0,946	0,952

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

Emisor	Planta
CU Christiansen	0,989   0,989
CU 50	0,987   0,987
CU 25	0,983   0,983
CU Keller	0,975   0,976
CU min/med	0,980   0,980
CU min/max	0,952   0,952
q var (%)	4,84   4,78

**ANÁLISIS**

**Coefficiente de uniformidad, CU**

Emisor	Planta
CU Christiansen	0,984   0,989
CU 50	0,984   0,989
CU 25	0,976   0,983
CU Keller	0,971   0,980
CU min/med	0,940   0,969
CU min/max	0,869   0,932
q var (%)	13,15   6,76

**Coefficiente de Variación, CV**

Emisor	Planta
CV subunidad	2,00%   1,36%
CV estadístico	98,00%   98,64%

**Cerrar**

Imagen 66: Uniformidad de distribución para la subunidad Subcomp-3

IV.2.2.4 SUBCOMP-4

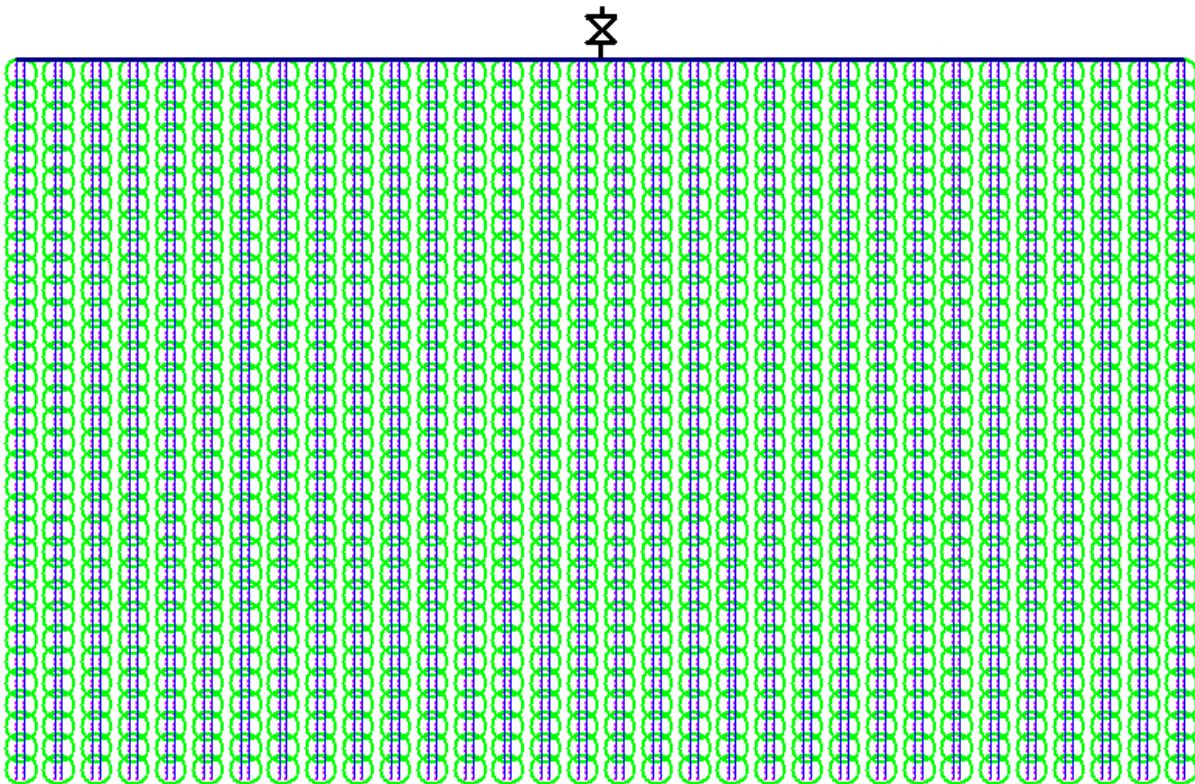


Imagen 67: Configuración geométrica de la subunidad *Subcomp-4*

CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-4 - TURBO PLUS 4 SIN ANÓMALOS INTERVALO COMPENSACIÓN

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral:  mm Recalcular

Terciaria:  mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR:  l/h

Presión origen:  m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL:  l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial  $q=4,1058 \cdot h^{-0,0235}$   $q_n$   l/h

Parabólico  $q=4,3154+0,0358 \cdot h-1,1212 \cdot h^2$   $q_n$   l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones			Caudales			
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3	Planta 1	Planta 2	Planta 3	
Inicio	19,57	19,57	19,59	19,23	19,08	19,07	
Emisor 1	19,57	19,43	19,38	18,52	18,37	18,37	
Emisor 2	19,38	19,25	19,19	17,84	17,69	17,69	
Emisor 3	19,20	19,07	19,01	17,21	17,05	17,06	
Emisor 4	19,02	18,89	18,83	16,61	16,46	16,47	
Emisor 5	18,85	18,72	18,65	16,05	15,90	15,91	
Emisor 6	18,67	18,54	18,47	15,53	15,37	15,38	
Emisor 7	18,50	18,37	18,30	15,03	14,87	14,89	
Emisor 8	18,32	18,20	18,13	14,58	14,41	14,43	
Emisor 9	18,15	18,03	17,95	14,15	13,98	14,00	
Emisor 10	17,99	17,86	17,78	13,75	13,58	13,60	
Emisor 11	17,82	17,70	17,62	13,39	13,22	13,24	
Emisor 12	17,66	17,54	17,45	13,05	12,88	12,90	

**RESUMEN DE RESULTADOS**

h mínima	<input type="text" value="132"/>	<input type="text" value="7"/>	<input type="text" value="10,20"/> m.c.a.
h máxima	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="33"/>	<input type="text" value="37,09"/> m.c.a.
q mínimo	<input type="text" value="93"/>	<input type="text" value="49"/>	<input type="text" value="3,25"/> l/h
q máximo	<input type="text" value="90"/>	<input type="text" value="12"/>	<input type="text" value="5,55"/> l/h
Diferencia presión	<input type="text" value="26,88"/> m.c.a.	<input type="text" value="151,55"/> %	
Diferencia caudal	<input type="text" value="2,30"/> l/h	<input type="text" value="53,71"/> %	
Presión media	<input type="text" value="17,74"/> m.c.a.		
Caudal medio	<input type="text" value="4,28"/> l/h		
Caudal a presión media	<input type="text" value="4,28"/> l/h		
CV	<input type="text" value="7,13"/> %		

CU
GRÁFICOS
POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 68: Resultados del análisis de la subunidad *Subcomp-4* referidos a emisor

**CAUDALES Y PRESIONES - SUBUNIDAD SUBCOMP-4 - TURBO PLUS 4 SIN ANÓMALOS INTERVALO COMPENSACIÓN**

**MODIFICAR DIÁMETROS**

Lateral: 13,2 mm Recalcular

Terciaria: 35,2 mm Sin pérdidas

**MODIFICAR PRESIONES**

CAUDAL NOMINAL EMISOR Presión origen

Presión origen: 39,38 m.c.a. Caudales

**RESULTADOS**

CAUDAL TOTAL: 36179,48 l/h

**AJUSTE CURVA CARACTERÍSTICA EMISOR (l/h - MPa)**

Potencial:  $q=4,1058 \cdot h^{-0,0235}$  qn: 4,24 l/h

Parabólico:  $q=4,3154+0,0358 \cdot h-1,1212 \cdot h^2$  qn: 4,25 l/h

**COMPORTAMIENTO EMISOR**

Emisor real aleatorio

Emisor teórico

**PRESIONES Y CAUDALES**

EMISORES				PLANTAS			
	Presiones		Caudales		Presiones		Caudales
	LATERAL 1	LATERAL 2	LATERAL 3		Fila 1	Fila 2	Fila 3
Inicio	19,57	19,57	19,59	Planta 1	19,23	19,08	19,07
Emisor 1	19,57	19,43	19,38	Planta 2	18,52	18,37	18,37
Emisor 2	19,38	19,25	19,19	Planta 3	17,84	17,69	17,69
Emisor 3	19,20	19,07	19,01	Planta 4	17,21	17,05	17,06
Emisor 4	19,02	18,89	18,83	Planta 5	16,61	16,46	16,47
Emisor 5	18,85	18,72	18,65	Planta 6	16,05	15,90	15,91
Emisor 6	18,67	18,54	18,47	Planta 7	15,53	15,37	15,38
Emisor 7	18,50	18,37	18,30	Planta 8	15,03	14,87	14,89
Emisor 8	18,32	18,20	18,13	Planta 9	14,58	14,41	14,43
Emisor 9	18,15	18,03	17,95	Planta 10	14,15	13,98	14,00
Emisor 10	17,99	17,86	17,78	Planta 11	13,75	13,58	13,60
Emisor 11	17,82	17,70	17,62	Planta 12	13,39	13,22	13,24
Emisor 12	17,66	17,54	17,45	Planta 13	13,05	12,88	12,90

**RESUMEN DE RESULTADOS**

h mínima: 33 m.c.a. (Fila 30) → 10,39 m.c.a.

h máxima: 1 m.c.a. (Fila 17) → 36,49 m.c.a.

Q mínimo: 11 l/h (Fila 31) → 31,51 l/h

Q máximo: 32 l/h (Fila 32) → 37,27 l/h

Diferencia presión: 26,10 m.c.a. → 47,14 %

Diferencia caudal: 5,76 l/h → 16,81 %

Presión media: 17,74 m.c.a.

Caudal medio: 34,26 l/h

Caudal a presión media: 34,23 l/h

CV: 2,66 %

CU   GRÁFICOS   POBLACIÓN

Cambiar datos de entrada

Generar nueva muestra

Guardar datos

Imagen 69: Resultados del análisis de la subunidad Subcomp-4 referidos a planta

**UNIFORMIDAD DE DISTRIBUCIÓN - EMISOR REAL ALEATORIO - CON PÉRDIDAS DE CARGA**

**DISEÑO**

**Causas de fabricación, CU<sub>f</sub>**

	Emisor	Planta
CU 25	0,916	0,970

**Combinación de causas, CU**

	Emisor		Planta	
	CU1	CU2	CU1	CU2
CU Christiansen	0,910	0,916	0,964	0,970
CU 50	0,923	0,916	0,978	0,969
CU 25	0,926	0,916	0,981	0,969
CU Keller	0,930	0,915	0,985	0,967
CU min/med	0,928	0,915	0,982	0,968
CU min/max	0,944	0,911	0,999	0,958

**Causas hidráulicas, CU<sub>h</sub>**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,993	0,993
CU 50	1,008	1,008
CU 25	1,011	1,011
CU Keller	1,015	1,015
CU min/med	1,012	1,012
CU min/max	1,030	1,030
q var (%)	-3,01	-2,97

$CU_i = CU_f \cdot CU_h$

$CU_2 = 1 - \sqrt{(1 - CU_i^2) + (1 - CU_h^2)}$

**ANÁLISIS**

**Coefficiente de uniformidad, CU**

	Emisor	Planta
CU Christiansen	0,944	0,979
CU 50	0,944	0,979
CU 25	0,914	0,968
CU Keller	0,901	0,961
CU min/med	0,759	0,920
CU min/max	0,586	0,845
q var (%)	41,45	15,45

**Coefficiente de Variación, CV**

	Emisor	Planta
CV subunidad	7,13 %	2,66 %
CV estadístico	92,87 %	97,34 %

$CV = \frac{\sigma_q}{q}$

$CU_{est} = 100 - CV$

**Cerrar**

Imagen 70: Uniformidad de distribución para la subunidad Subcomp-4