



**Universidad Zaragoza**



Escuela Universitaria de  
Ingeniería  
Técnica Industrial  
**Universidad Zaragoza**



Departamento de  
Ingeniería Mecánica  
**Universidad Zaragoza**

# APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NO<sub>x</sub> EN MOTORES

## ANEXOS

AUTOR

*Jesús Eloy García Beatove*

DIRECTOR

*Francisco Moreno Gómez*

ESPECIALIDAD

*Mecánica*

CONVOCATORIA

*Junio 2012*

# Índice de contenido

EGR.....	3
Sustancias nocivas.....	3
Monóxido de carbono (CO).....	3
Hidrocarburos (HC).....	3
Óxidos de nitrógeno (NOx).....	3
Elementos principales.....	4
Enfriador.....	4
Válvula.....	4
Medidor.....	5
Difusor.....	6
Instalación (Montaje).....	6
Cálculo de densidad.....	7
Peso molecular.....	8
Densidad.....	10
Medida de error.....	12
Conclusiones.....	13
Caudales y Perdidas de presión.....	15
Columna de alcohol.....	18
Primer orificio (7mm).....	18
Segundo orificio (9mm).....	19
Tercer orificio (12mm).....	20
Cuarto orificio (15mm).....	21
Tablas y Gráficas.....	22
Formulario códigos programación.....	25
INYECCIÓN DE AGUA.....	32
Introducción.....	32
Historia.....	32
Inyección de agua.....	33
Ensayos anteriores.....	34
Elementos principales.....	35
Inyector.....	35
Bomba.....	41

Tipos de bombas.....	41
Estudio de bombas.....	44
Rotámetro.....	57

# EGR

## ***Sustancias nocivas***

### **Monóxido de carbono (CO)**

El monóxido de carbono (también denominado *anhídrido carbonoso*) es un gas inodoro, incoloro e insaboro. La combinación de carbono y oxígeno se genera debido a la combustión incompleta de sustancias carbonosas y es altamente tóxico. En cuanto se inhala y llega al sistema circulatorio, impide la unión de las moléculas de oxígeno a la hemoglobina de la sangre. A partir de una concentración de 1,28 % de monóxido de carbono en el aire se produce la muerte por asfixia en un intervalo de entre 1 y 2 minutos.

### **Hidrocarburos (HC)**

Los hidrocarburos son compuestos químicos que sólo contienen carbono (C) e hidrógeno (H). Se pueden encontrar en grandes cantidades en el petróleo, el gas natural y el carbón, en los que representan los auténticos "portadores de la energía". Algunos compuestos de hidrocarburos pueden producir cáncer.

Bajo la influencia de la luz solar, los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno reaccionan para producir ozono. En las capas inferiores de la atmósfera se trata de una sustancia peligrosa que irrita las mucosas y provoca dolor de cabeza y náuseas. El ozono está considerado desde 1995 sustancia cancerígena. Por otra parte, una concentración elevada de ozono en el aire puede producir daños considerables en la vegetación.

### **Óxidos de nitrógeno (NOx)**

Los óxidos de nitrógeno son óxidos gaseosos de nitrógeno (N). Se abrevian como NOx porque existen muchos compuestos posibles con diferente número de átomos: N<sub>2</sub>O, NO, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, etc.

Si se mezclan con agua (también en forma de niebla) dan lugar a ácidos, que irritan las mucosas y pueden producir daños en los pulmones. La única excepción es el óxido de dinitrógeno (N<sub>2</sub>O), también conocido como gas de la risa o gas hilarante, que es un gas de efecto invernadero que daña la capa de ozono en las capas más altas de la atmósfera

## Elementos principales

### Enfriador

Su función será enfriar el gas de escape a alta temperatura para garantizar la durabilidad de los componentes y hacer más sencilla su manipulación.

Se dispone de un enfriador aire-agua de EGR proporcionado por VALEO de tecnología IRENE 2 consistente en 24 tubos de 6 milímetros de diámetro y una longitud de 14 centímetros; de los cuales necesitaremos 10 tubos únicamente para que la velocidad del fluido sea la misma que los conductos y así obtener la mayor continuidad posible.

El enfriador necesita 2 KW de potencia y un caudal de agua de 1,4154 litros/min, contando con que el agua de refrigeración entre al enfriador a 20°C y salga a 40°C (temperatura final del gas).

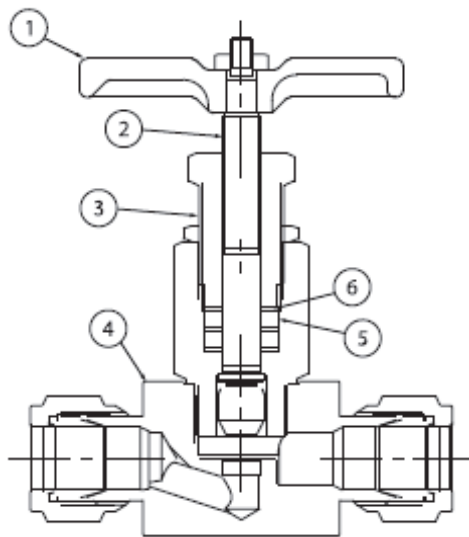
El enfriador supone un 4,61% de pérdida de presión del total de la instalación.

### Válvula

La válvula de regulación es el elemento más importante de la instalación ya que por medio de ella controlaremos el caudal que vuelve a ser introducido en la admisión y por lo tanto la que circula por la instalación.

La válvula es la 2219F8Y de la empresa Hoke, con un Cv de 1,2 de acero inoxidable y empaquetadura de Grafoil.

Soporta temperaturas de hasta 538°C.



#### ***Materiales utilizados\****

DESCRIPCIÓN	MATERIAL
1 Manija	Acero inoxidable 316
2 Conjunto del sello	Acero inoxidable 316
3 Tuerca del empaque	Acero inoxidable 316
4 Cuerpo	Acero inoxidable 316
5 Empaque	Grafoil®
6 Arandela del empaque	Acero inoxidable 316



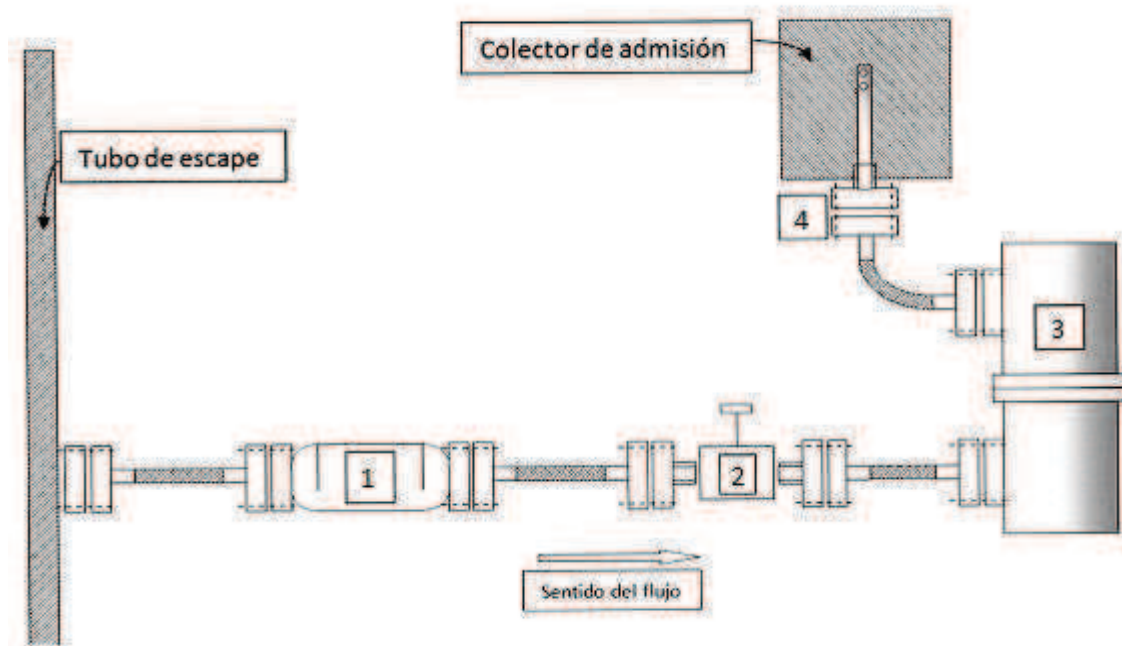
## Difusor

El difusor va instalado dentro del colector de admisión para garantizar que el gas quemado que entra otra vez a la admisión se reparta por igual entre los dos cilindros del motor.

Consiste en un tubo de cobre de 11 milímetros de diámetro interior, 13 milímetros de exterior y 14 centímetros de largo, el cual tiene unos orificios de unos 5 milímetros de diámetro en la superficie curva de uno de sus extremos con la base taponada. De esta forma queda un extremo del tubo abierto y otro cerrado.

La pérdida de carga máxima que produce es un 3,4% del total de diferencia de presión de la instalación.

## Instalación (Montaje)



1. Enfriador
2. Válvula EGR
3. Medidor
4. Difusor

## **Cálculo de densidad**

Lo primero de todo es asegurarnos de obtener una medida de densidad precisa ya que de este valor depende el calculo posterior de la perdida de presión para la utilización de las placas con los orificios calibrados según el caudal que estemos trasegando.

### **Datos iniciales**

Llamamos datos iniciales a los que no dependen de otras variables para ser calculados, pueden ser o bien datos que podemos controlar o modificar como los que definimos según las condiciones de ensayo, o bien datos que dependen de factores externos como pueden ser los obtenidos según las condiciones ambientales.

Condiciones de ensayo:

- La carga (%)
- El dosado relativo
- La velocidad (rpm)

Condiciones ambientales:

- Temperatura aire admisión (°C)
- Presión atmosférica (mbar)
- Humedad relativa (%)

### **Datos Obtenidos**

Una vez que tenemos los datos iniciales y ponemos el motor en marcha, obtenemos una serie de valores o datos que son obtenidos según el analizador de gases de escape, el cual nos muestra las cantidad de cada uno de los componentes que constituyen el gas. Estos datos vienen dados en partes por millón (ppm) ya que son cantidades muy pequeñas:

- CO (óxido de carbono)
- CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono)
- O<sub>2</sub> (oxígeno)
- HC (compuesto hidrocarburos)
- NO<sub>x</sub> (óxido de nitrógeno)

Todos estos valores entonces constituyen la concentración en base seca de los gases de escape, pero como existe un porcentaje de humedad (condiciones ambientales) tendremos que calcular, mediante una serie de factores de corrección, la composición en base húmeda de los gases de escape.



## Datos Calculados

Una vez obtenidas las concentraciones en base seca, aplicamos el correspondiente factor de corrección de seco a húmedo para el aire (Kf), para obtener la concentración en base húmeda de los gases de escape. Este factor depende de otras variables para su calculo que podemos ver más adelante en detalle en el apartado de formulación.

Este factor se aplica a las concentraciones de CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

En el caso del HC y los NO<sub>x</sub> este factor no se aplica ya que son obtenidas en base húmeda, antes del proceso de condensación del agua en el medidor, para obtener el CO, CO<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>.

Como se ha visto en la Introducción, el aire esta compuesto principalmente de Nitrogeno, en una cantidad del 70% del total de aire aproximadamente, y por lo tanto será una cantidad muy importante a tener en cuenta, sobre todo para el posterior calculo del peso molecular del aire de escape necesario para calcular a su vez la densidad.

La cantidad de Nitrogeno la calculamos restando al 100% de aire los tantos por ciento de cada uno de los componentes:

$$\%N = 100\% - (\%CO + \%CO_2 + \%O_2 + \%HC + \%NO_x + \%H_2O(\text{Humedad}))$$

Una vez obtenida la composición total en base húmeda del gas de escape de todos los componentes con sus respectivas concentraciones, vamos a calcular el peso molecular del gas.

## Peso molecular

El calculo del peso molecular lo hallaremos de dos formas distintas:

### 1. Peso molecular a partir de la composición (g/mol)

Para hallar el peso molecular total, usaremos las concentraciones en base húmeda anteriormente calculadas en tanto por ciento de cada uno de los componentes que irán multiplicadas por el peso molecular de cada uno de ellos, que sumadas nos darán el total.

$$Pm_{CO} = 12 + 16 = 28 \text{ g/mol}$$

$$Pm_{CO_2} = 12 + 16 \cdot 2 = 44 \text{ g/mol}$$

$$Pm_{O_2} = 16 \cdot 2 = 32 \text{ g/mol}$$

$$Pm_{HC} = 1 \cdot 4 + 12 = 16 \text{ g/mol (principalmente constituido por metano "CH}_4\text{" )}$$

$$Pm_{NO_x} = 14 + 16 = 30 \text{ g/mol}$$

$$Pm_{H_2O} = 1 \cdot 2 + 16 = 18 \text{ g/mol}$$

$$Pm_{N_2} = 14 \cdot 2 = 28 \text{ g/mol}$$

$$Pm \text{ total} = (28 \cdot \%CO + 44 \cdot \%CO_2 + 32 \cdot \%O_2 + 16 \cdot \%HC + 30 \cdot \%NO_x + 18 \cdot \%H_2O + 28 \cdot \%N_2) / 100$$

## 2. Peso molecular según norma (g/mol)

En este caso calcularemos el peso molecular según lo recogido en el *Reglamento no 49 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Disposiciones uniformes relativas a las medidas que deben adoptarse contra las emisiones de gases y partículas contaminantes procedentes de motores de encendido por compresión destinados a la propulsión de vehículos, y las emisiones de gases contaminantes procedentes de motores de encendido por chispa alimentados con gas natural o gas licuado de petróleo destinados a la propulsión de vehículos*, en el cual hallamos directamente el valor del peso molecular de la siguiente forma:

La masa molar de las emisiones de escape  $M_{e,i}$  se derivará de una composición general del combustible  $CH_\alpha O_\varepsilon N_\delta S_\gamma$ , partiendo de la suposición de una combustión completa de la manera siguiente:

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}}}{\frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}} \times \frac{\frac{\alpha}{4} + \frac{\varepsilon}{2} + \frac{\delta}{2}}{12,011 + 1,00794 \times \alpha + 15,9994 \times \varepsilon + 14,0067 \times \delta + 32,065 \times \gamma} + \frac{\frac{H_2 \times 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{M_a}}{1 + H_2 \times 10^{-3}}} \quad (41)$$

donde:

$q_{maw,i}$  es el caudal másico instantáneo del aire de admisión en base húmeda, en kg/s

$q_{mf,i}$  es el caudal másico instantáneo del combustible, en kg/s

$H_a$  es la humedad del aire de admisión, en gramos de agua por kg de aire seco

$M_a$  es la masa molar del aire de admisión en condiciones secas = 28,965 g/mol

$\alpha$  Relación molar de hidrógeno (H/C)

$\gamma$  Relación molar de azufre (S/C)

$\delta$  Relación molar de nitrógeno (N/C)

$\varepsilon$  Relación molar de oxígeno (O/C)

En la que sólo tendremos en cuenta la relación molar de hidrógeno.

De forma que la fórmula final del peso molecular queda de esta manera:

$$M_{e,i} = \frac{1 + \frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}}}{\frac{q_{mf,i}}{q_{maw,i}} \times \frac{\frac{\alpha}{4}}{12,011 + 1,00794 \times \alpha} + \frac{\frac{H_2 \times 10^{-3}}{2 \times 1,00794 + 15,9994} + \frac{1}{M_a}}{1 + H_2 \times 10^{-3}}}$$

## Densidad

Por último queda calcular ya el dato que nos interesa conocer, la densidad.

La variable más importante a tener en cuenta es la temperatura a la que se encuentran los gases.

La densidad normal del aire a 25°C y 1 atmósfera de presión (estado ambiente) es de 1,18 kg/m<sup>3</sup>.

Así mismo el peso molecular en estado ambiente del aire es 28,9 g/mol.

Para el cálculo de la densidad también usaremos diferentes métodos, con la finalidad de comparar los resultados obtenidos entre sí.

Los dos primeros métodos están calculados a partir de los pesos moleculares calculados en el apartado anterior respectivamente, con la siguiente fórmula general de los gases para calcular la densidad a partir del peso molecular:

$$\rho = \frac{P \cdot P_m}{R \cdot T^a} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

donde: P = presión del gas (atm)

P<sub>m</sub> = peso molecular del gas (g/mol)

R = constante universal de los gases ideales 0,0821  $\frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}}$

T<sup>a</sup> = temperatura del gas (K)

En el tercer método usamos la fórmula que volvemos a extraer del *Reglamento no 49 de la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) — Disposiciones uniformes relativas a las medidas que deben adoptarse contra las emisiones de gases y partículas contaminantes procedentes de motores de encendido por compresión destinados a la propulsión de vehículos, y las emisiones de gases contaminantes procedentes de motores de encendido por chispa alimentados con gas natural o gas licuado de petróleo destinados a la propulsión de vehículos*, que nos da una fórmula con la que podemos calcular directamente la densidad sin necesidad del cálculo del peso molecular previamente.

Para todos los casos debemos coger por norma y con la finalidad de poder comparar los resultados entre sí de los tres métodos:

- Presión (P) = 1 atmósfera
- Temperatura (T<sup>a</sup>) = 0°C = 273K.

Así pues las tres densidades son:

### 1. Densidad a partir del peso molecular según la composición

$$\rho = \frac{1 \text{ atm} \cdot P_m}{0,0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{ K}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

donde:  $P_m$  = Peso molecular a partir de la composición (g/mol)

### 2. Densidad a partir del peso molecular calculado con norma

$$\rho = \frac{1 \text{ atm} \cdot P_m}{0,0821 \frac{\text{atm} \cdot \text{l}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \cdot 273 \text{ K}} \quad (\text{kg/m}^3)$$

donde:  $P_m$  = Peso molecular según norma (g/mol)

### 3. Densidad según norma

La densidad del gas de escape  $\rho_e$  se derivará de la manera siguiente:

$$\rho_{e,i} = \frac{1000 + H_a + 1000 \times (q_{mf,i} / q_{mad,i})}{773,4 + 1,2434 \times H_a + k_{fw} \times 1000 \times (q_{mf,i} / q_{mad,i})} \quad (42)$$

donde:

$q_{mad,i}$  es el caudal másico instantáneo del aire de admisión en base seca, en kg/s

$q_{mf,i}$  es el caudal másico instantáneo del combustible, en kg/s

$H_a$  es la humedad del aire de admisión, en gramos de agua por kg de aire seco

$k_{fw}$  es el factor específico del combustible del gas de escape en condiciones húmedas (ecuación 16) del punto 8.1.1

Al aplicar la corrección base seca/base húmeda según la norma, en el que despreciamos el contenido en azufre del combustible, el factor  $k_{fw}$  se queda como:

$$k_f = 0,055584 \times w_{ALL} - 0,0001083 \times w_{BET}$$

$w_{ALL}$

Contenido de hidrógeno del combustible, en % de la masa

$w_{BET}$

Contenido de carbono del combustible, en % de la masa

## Medida de error

Para comparar los resultados obtenidos en el cálculo de las diferentes densidades, en el cual nos interesa saber en que porcentaje de error nos estamos moviendo al calcularlas, tendremos que comparar los tres valores que hemos hallado de la densidad.

Como la medida de error es un calculo que se hace entre dos valores, cogeremos la mayor y la menor densidad calculadas entre las tres para comparalas y que nos salga el caso más desfavorable.

Esto debe hacerse para todos y cada uno de los puntos que tenemos recogidos del experimento con el motor, y para cada uno de los combustibles utilizados.

Para el cálculo vamos a utilizar diferentes sistemas de medida de error para tener un margen de seguridad y poder elegir la peor de las situaciones en la que obtendremos el tanto por ciento de error más elevado.

Las diferentes formas de hallar este error como hemos dicho entre dos valores suponiendo que D1 (dato uno) es el valor más alto y D2 (dato dos) es el valor mas pequeño serán:

$$1. \quad \frac{D2 - D1}{D1}$$

$$2. \quad \frac{\frac{|D2 - D1|}{D2 + D1}}{2}$$

$$3. \quad \frac{D1 - D2}{D2}$$

A continuación podemos ver los tres valores de error máximos que obtenemos para cada uno de los combustibles:

• Gasolina	1,93%	1,95%	1,97%
• CH <sub>4</sub> (87° inyección)	1,05%	1,04%	1,04%
• CH <sub>4</sub> (-15° inyección)	1,07%	1,06%	1,06%
• 90CH <sub>4</sub> 10H <sub>2</sub>	1,21%	1,20%	1,19%
• 70CH <sub>4</sub> 30H <sub>2</sub>	0,85%	0,84%	0,84%
• 50CH <sub>4</sub> 50H <sub>2</sub>	0,98%	0,97%	0,97%

Como podemos observar no se llega a alcanzar ni el 2% de error en el caso mas desfavorable por lo que podemos afirmar que el calculo de la densidad es correcto de cualquiera de las tres formas utilizadas de una forma precisa.

## Conclusiones

Una vez que tenemos asegurado el cálculo correcto y preciso de la densidad de los gases de escape, y con la finalidad de simplificar y facilitar el cálculo posterior de diferentes variables, vamos a comparar esta densidad calculada con el valor de la densidad del aire como gas ideal que podemos encontrar en tablas o programas termodinámicos como el Termograf.

Primero fijamos las condiciones ambientales que afectan directamente como son la presión y la temperatura. En este caso vamos a imponer unas condiciones semejantes a la realidad, en las que el gas se encuentra aproximadamente a una presión de 1 atmósfera y 20°C de temperatura.

Calculamos la densidad según estas condiciones con uno de nuestros métodos, de nuevo con el propósito de obtener el mayor error utilizaremos el primer método (densidad a partir del peso molecular según la composición) para el caso de la gasolina, y el segundo método (densidad a partir del peso molecular calculado con norma) para el resto de combustibles; ya que de esta manera obtendremos siempre la situación mas desfavorable y el tanto por ciento de error mas elevado para cada caso dependiendo el combustible que estemos usando.

Después consultamos las tablas o utilizamos el Termograf donde recogemos directamente el valor de la densidad.

Para comparar los resultados utilizamos de nuevo los tres métodos de medida de tanto por ciento de error que hemos utilizado anteriormente con las densidades, entre el valor calculado y el valor obtenido en tablas.

La densidad del aire como gas ideal a 20°C y 1atm de presión, que siempre será la misma, es 1,20409 kg/m<sup>3</sup>.

Los tantos por cien de error en el caso mas desfavorable para cada combustible sera:

• Gasolina	1,30%	1,31%	1,32%
• CH <sub>4</sub> (87° inyección)	4,81%	4,93%	5,05%
• CH <sub>4</sub> (-15° inyección)	4,67%	4,78%	4,90%
• 90CH <sub>4</sub> 10H <sub>2</sub>	5,32%	5,47%	5,62%
• 70CH <sub>4</sub> 30H <sub>2</sub>	6,01%	6,20%	6,40%
• 50CH <sub>4</sub> 50H <sub>2</sub>	7,53%	7,82%	8,14%

Como podemos ver en el caso de estar usando gasolina a parte de cualquiera de las tres densidades que calculamos podemos usar directamente el valor de la densidad que obtenemos en tablas de aire como gas ideal; pero en el caso de otros combustibles el error empieza a ser considerable por lo que únicamente debemos utilizar cualquiera de los tres métodos utilizados anteriormente para el calculo de la densidad si queremos saber el valor de esta.



## Caudales y Perdidas de presión

Como ya hemos comentado en la descripción del medidor en el apartado de elementos principales de la instalación, se utiliza un caudalímetro con elementos de presión diferencial.

Los diferentes orificios calibrados como hemos visto son de 7, 9, 12 y 15 mm de diámetro en sus respectivas placas cada uno.

Según esta normativa el ratio de caudal que puede trasegar cada orificio sera 3:1 pudiendo llegar a la proporción 5:1 que indica la referencia 13 de la bibliografía.

Las fórmulas correspondientes para el calculo de caudales y perdidas de presión podemos encontrarlas también en la normativa correspondiente, la British Standard 1042 del año 1964.

Así pues, la perdida de presión debida al orificio calibrado que se mide por medio del sensor de presión diferencial colocado en ambos lados del orificio, puede calcularse según la fórmula:

$$H = \frac{8}{\rho} \cdot \left( \frac{Q_m}{C \cdot E \cdot \epsilon \cdot \pi \cdot d^2} \right)^2$$

donde:

H: diferencia de presión en Pascales

$\rho$ : densidad del fluido en kg/m<sup>3</sup>

Q<sub>m</sub>: caudal másico en kg/s

C: coeficiente de descarga

E: factor de aproximación de velocidad

$\epsilon$ : factor de expansibilidad

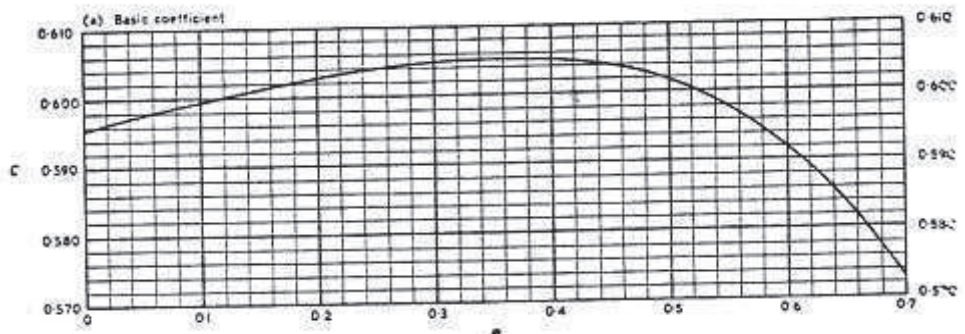
d: diámetro del orificio en metros

Los valores de C, E y  $\epsilon$  se toman según la normativa (referencia 14) de la siguiente forma:

- C: coeficiente de descarga.

Según la clausula 56e de la sección 7 de la norma, el valor de coeficiente básico **C es 0,596**

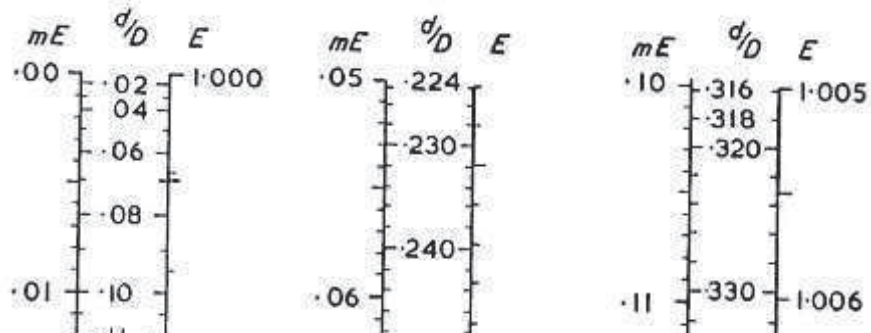
para m=0 (Siendo  $m = \frac{a}{A} = \frac{d^2}{D^2}$  como se considera descarga en espacio infinito D =  $\infty$  y por lo tanto m=0)





- E: factor de aproximación de velocidad

Según la tabla del anexo J de la norma, para  $m=0$  el valor de  $E=1,0$



- $\epsilon$ : factor de expansibilidad.

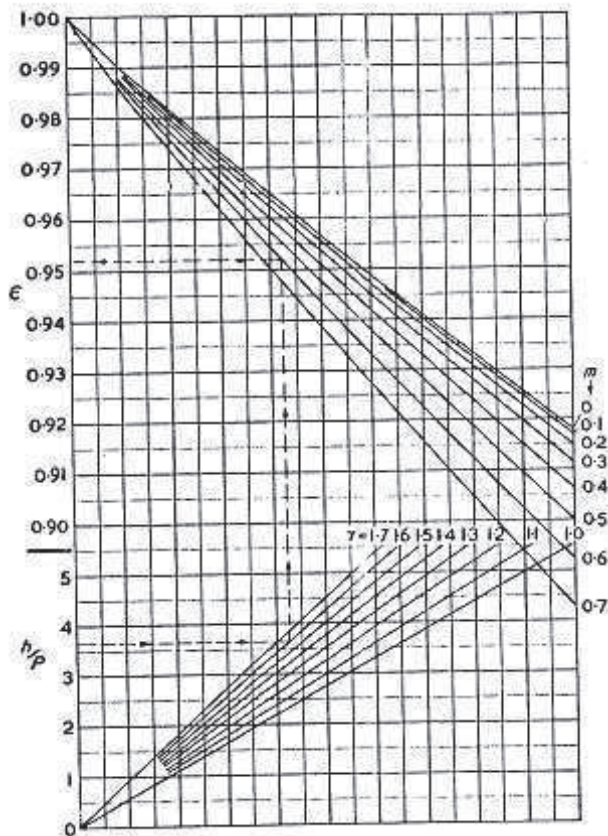
Según la tabla de la sección 7 de la norma depende de:

- la diferencia de presión al paso del orificio en mm H<sub>2</sub>O (2000Pa = 200mm H<sub>2</sub>O)
- la presión absoluta en lbf/ft<sup>2</sup> (1,2 bar = 2456,14 lbf/ft<sup>2</sup>)

$$\frac{h}{P} = \frac{200 \text{ mm H}_2\text{O}}{2456,14 \text{ lbf/ft}^2} = 0,08$$

Para cualquier valor de  $\gamma$  según la tabla A3.1

Entonces  $\epsilon = 0,995 \approx 1,0$



Por lo tanto, teniendo en cuenta el valor de estos 3 factores constantes según la norma:

$$H = \frac{8}{\rho} \cdot \left( \frac{Qm}{0,596 \cdot \pi \cdot d^2} \right)^2$$

Esta fórmula la utilizaremos a continuación para calcular la pérdida de presión que obtenemos en los orificios, al trasegar los caudales mínimos y máximos de cada uno de ellos.

Lo primero que hacemos es imponer un rango de temperaturas que podríamos llegar a tener en nuestro caudalímetro, siendo este rango de 20 a 80°C, que tenemos en cuenta ya que la densidad del gas de escape varía considerablemente según la temperatura y por lo tanto nuestra fórmula.

Los límites inferior y superior de la pérdida de carga dependerán de la relación de caudal que puede medir cada diámetro de orificio (que esta limitado a un ratio de 5:1 siendo lo recomendable 3:1) y del medidor que se utilice. Será necesario llegar a un compromiso con estos dos factores.

En función del primero, la pérdida de presión que se produce con este diámetro es:

$$H_1 = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0003}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,007^2} \right)^2 = 71,038 \text{ Pa} = 7,25 \text{ mm.c.a.}$$

Un diámetro de 7 mm con un caudal de 0,0003 kg/s produce una pérdida de carga de 71,038 Pascales, o lo que es lo mismo 7,25 mm.c.alcohol (milímetros de columna de alcohol).

Según la British Standard en la que se basan los cálculos, lo recomendable es un ratio de 3:1 en el caudal, pero según la referencia 13 se puede llegar como máximo a 5:1 que será un máximo de 0,0015 kg/s (a estos límites se les denominará x3 para proporción 3:1 y x5 para proporción 5:1).

$$H_{x5} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0015}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,007^2} \right)^2 = 1775,943 \text{ Pa} = 181,15 \text{ mm.c.a.}$$

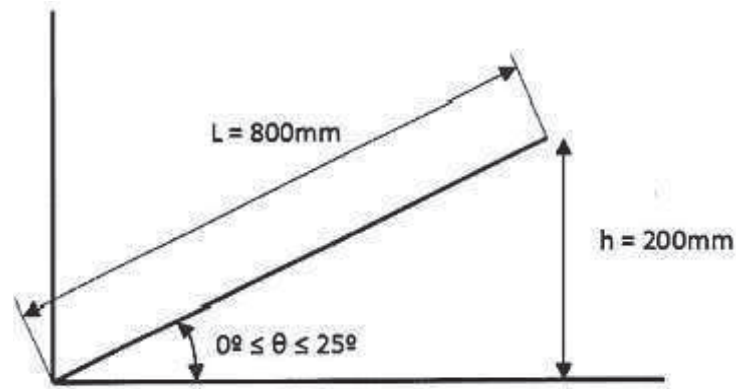
Fijaremos por lo tanto el límite superior en 200 mm de columna de alcohol o lo que es lo mismo 1960,78 Pa. Se debe contrastar si el medidor es capaz de alcanzar ambos extremos.

## Columna de alcohol

La columna de alcohol tiene una longitud máxima de 800mm para asegurar una correcta medida, y tiene una inclinación variable de 0 a 25° respecto a la horizontal según la precisión necesaria.

$$\sin\theta = \frac{h}{L} = \frac{200}{800} = 0,25$$

$$\theta = 14,47^\circ \approx 15^\circ$$



## Primer orificio (7mm)

Como hemos visto ya anteriormente, este orificio es el menor de todos y tiene 7mm de diámetro como el caudal mínimo es de 0,0003 kg/s, la pérdida de carga es:

$$H_1 = 71,038 \text{ Pa}$$

El límite superior recomendable de medida para este orificio será una relación de 3:1 respecto al límite inferior, es decir 0,0009 kg/s.

$$H_{x3} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0009}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,007^2} \right)^2 = 639,340 \text{ Pa}$$

El límite superior para el ratio 5:1 (0,0015 kg/s) ya lo teníamos calculado:

$$H_{x5} = 1775,943 \text{ Pa}$$

## Segundo orificio (9mm)

Para determinar el caudal inicial del siguiente diámetro debemos tener en cuenta que debe solaparse con el límite superior del primero para asegurar una continuidad en la medida. Por lo tanto se calcula la media entre los límites inferior y superior (x3) del orificio anterior, y tenemos un caudal mínimo de 0,0006 kg/s.

Los límites superiores serán:

$$x3 = 0,0018 \text{ kg/s}$$

$$x5 = 0,0030 \text{ kg/s}$$

Las pérdidas de carga:

$$H_1 = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0006}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,009^2} \right)^2 = 103,985 \text{ Pa}$$

$$H_{x3} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0018}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,009^2} \right)^2 = 935,866 \text{ Pa}$$

$$H_{x5} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0030}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,009^2} \right)^2 = 2599,628 \text{ Pa}$$

Como podemos ver esta medida ( $H_{x5}$ ) sobrepasa los 200 mm.c.a. (1960,78 Pa) que hemos fijado como máximo en nuestro medidor, por lo tanto tendremos que calcular cual será el caudal máximo que podemos trasegar en función de la máxima pérdida de carga que podemos medir.

Despejamos  $Q_m$  de la fórmula principal manteniendo las mismas unidades:

$$Q = 0,596 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot \frac{\sqrt{H \cdot \rho}}{8}$$

Para 1960,78 Pa podemos trasegar:

$$Q = 0,596 \cdot \pi \cdot 9^2 \cdot \frac{\sqrt{1960,78 \cdot 1,20409}}{8} = 0,002605 \text{ kg/s}$$

Aproximando el caudal a unos 0,0026 kg/s, tenemos una diferencia de presión máxima final de:

$$H_{x5} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0026}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,009^2} \right)^2 = 1952,610 \text{ Pa}$$

### Tercer orificio (12mm)

Para volver a asegurar la continuidad en la medida, y se solape con el segundo orificio, elegimos un caudal mínimo que esta entre el caudal mínimo y el máximo (x3) del segundo orificio, pero no la media en este caso, sino un caudal algo mas pequeño, ya que a medida que se aumenta el diámetro se pierde resolución y se debe compensar disminuyendo el diámetro en la medida de lo posible. El caudal mínimo que se establece es 0,0009 kg/s.

Los límites superiores serán:

$$x3 = 0,0027 \text{ kg/s}$$

$$x5 = 0,0045 \text{ kg/s}$$

Las pérdidas de carga:

$$H_1 = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0009}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,012^2} \right)^2 = 74,028 \text{ Pa}$$

$$H_{x3} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0027}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,012^2} \right)^2 = 666,256 \text{ Pa}$$

$$H_{x5} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0045}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,012^2} \right)^2 = 1933,880 \text{ Pa}$$

## Cuarto orificio (15mm)

En este caso y con la finalidad de seguir manteniendo la continuidad en las medidas, se escoge un caudal mínimo de 0,0015 kg/s.

Los límites superiores:

$$x3 = 0,0045 \text{ kg/s}$$

$$x5 = 0,0075 \text{ kg/s}$$

Las pérdida de carga:

$$H_1 = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0015}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,015^2} \right)^2 = 84,228 \text{ Pa}$$

$$H_{x3} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0045}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,015^2} \right)^2 = 758,052 \text{ Pa}$$

$$H_{x5} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0075}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,015^2} \right)^2 = 2105,699 \text{ Pa}$$

Como podemos observar volvemos a exceder los 1960,78 Pa por lo que tenemos que disminuir el caudal máximo x5.

$$Q = 0,596 \cdot \pi \cdot 15^2 \cdot \frac{\sqrt{1960,78 \cdot 1,20409}}{8} = 0,007237 \text{ kg/s}$$

Aproximamos a un  $Q = 0,0072 \text{ kg/s}$

y obtenemos una perdida de presión máxima final de:

$$H_{x5} = \frac{8}{1,20409} \cdot \left( \frac{0,0072}{0,596 \cdot \pi \cdot 0,015^2} \right)^2 = 1940,612 \text{ Pa}$$

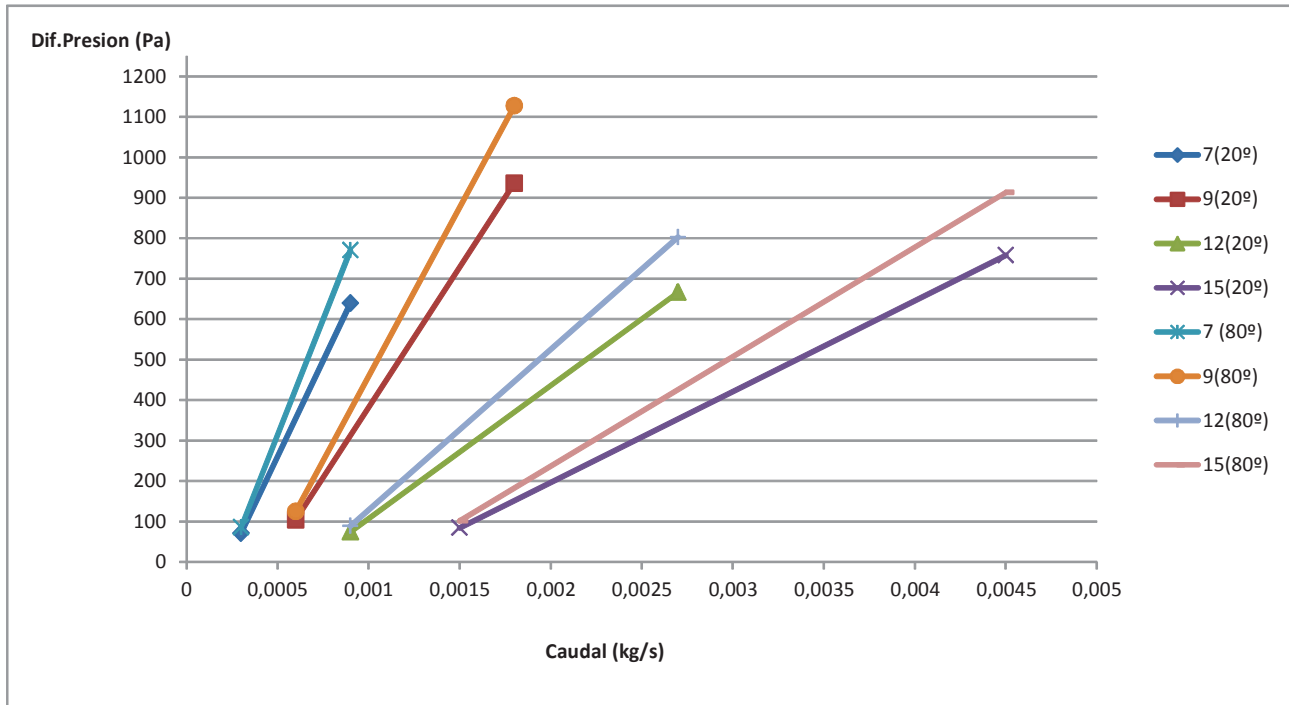
## Tablas y Gráficas

Una vez tenemos los límites inferiores y superiores de caudal, con sus respectivas pérdidas de carga, repetimos todo el proceso para el caso de aire como gas ideal a 80°C.

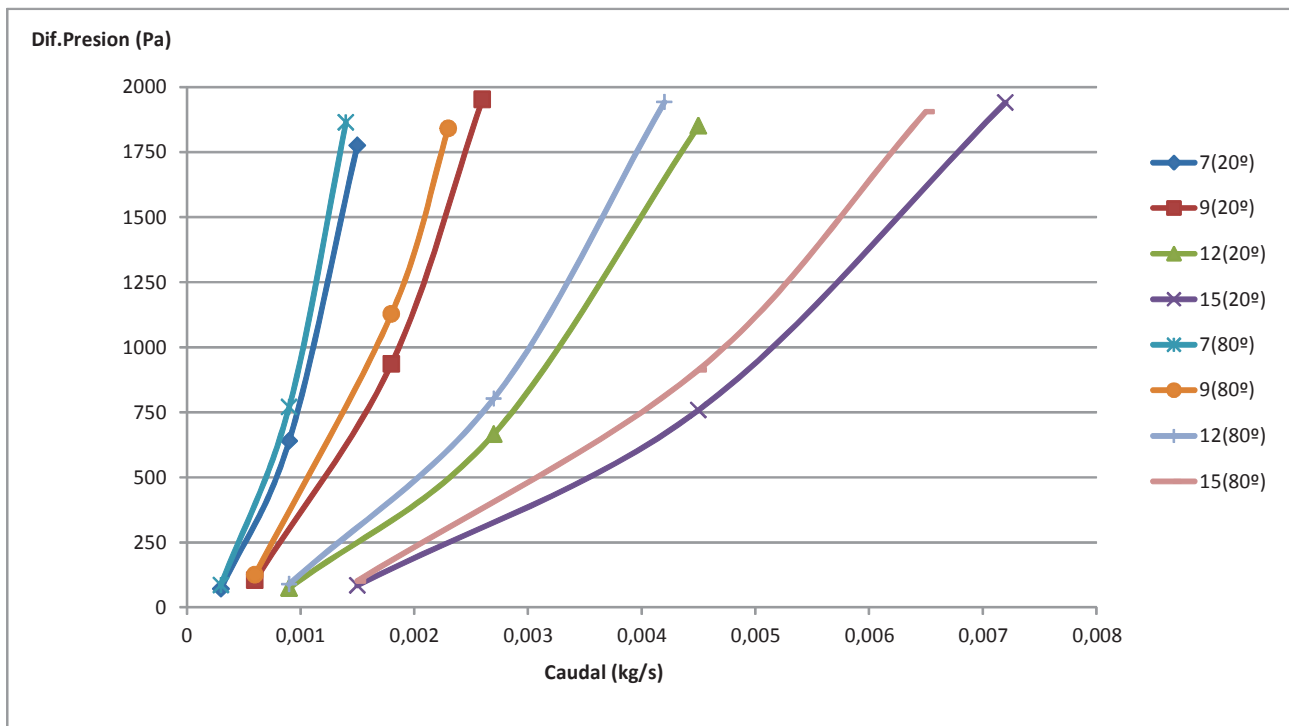
AIRE A 20°C			
Diametro 1	7 milímetros		
Caudal	0,0003	0,0009	0,0015
Dif.Presión	71,038	639,340	1775,943
Diametro 2	9 milímetros		
Caudal	0,0006	0,0018	0,0026
Dif.Presión	103,985	935,866	1952,610
Diametro 3	12 milímetros		
Caudal	0,0009	0,0027	0,0045
Dif.Presión	74,028	666,256	1850,712
Diametro 4	15 milímetros		
Caudal	0,0015	0,0045	0,0072
Dif.Presión	84,228	758,052	1940,612
AIRE A 80°C			
Diametro 1	7 milímetros		
Caudal	0,0003	0,0009	0,0014
Dif.Presión	85,578	770,200	1863,693
Diametro 2	9 milímetros		
Caudal	0,0006	0,0018	0,0023
Dif.Presión	125,269	1127,420	1840,756
Diametro 3	12 milímetros		
Caudal	0,0009	0,0027	0,0042
Dif.Presión	89,181	802,626	1942,156
Diametro 4	15 milímetros		
Caudal	0,0015	0,0045	0,0065
Dif.Presión	101,468	913,210	1905,339

A partir de estas tablas, dibujamos unas gráficas donde podemos ver las bandas de seguridad de trabajo para cada orificio, en cuanto a los caudales máximos que pueden trasegar y la pérdida de presión que va a causar cualquier caudal dentro de los rangos admisibles.

La primera gráfica muestra sólo desde los caudales mínimos a los caudales máximos (ratio 3:1) para cada orificio en unidades de Pa y kg/s.



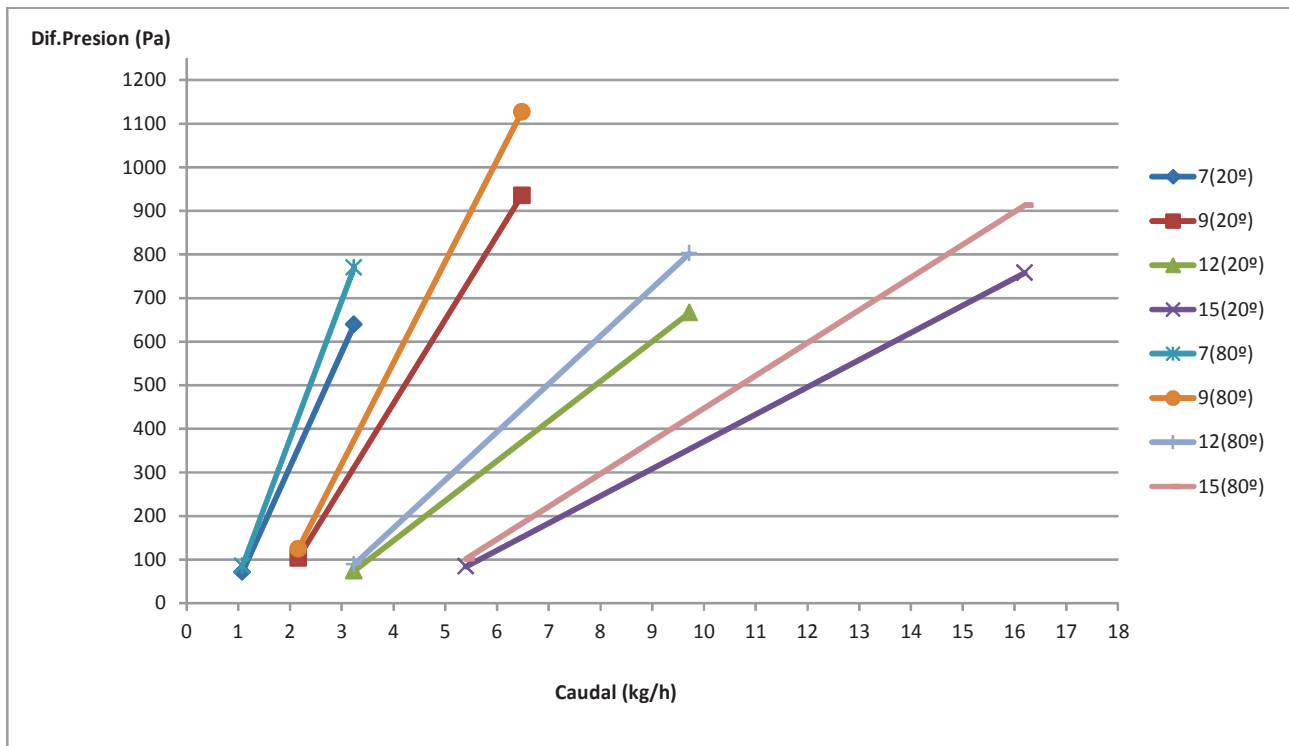
La segunda incluye hasta los caudales máximos (ratio 5:1) en unidades de Pa y kg/s.



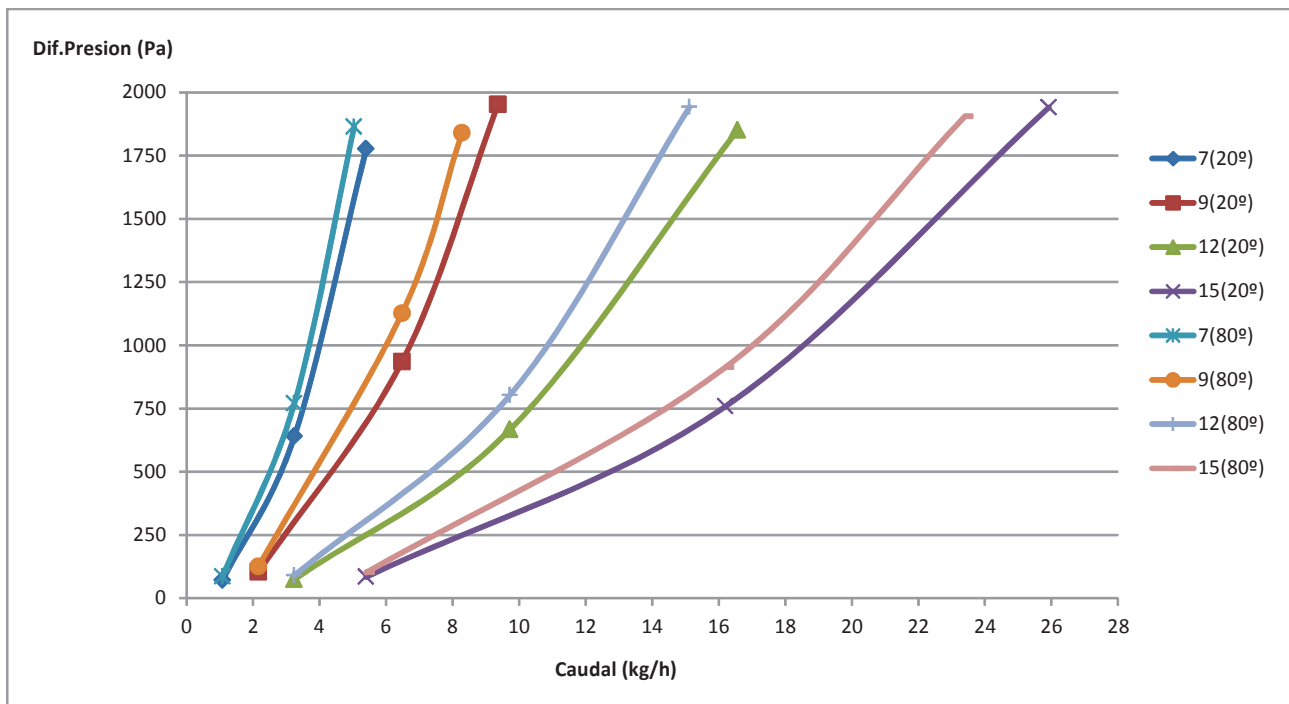


Por otra parte se incluyen las mismas gráficas anteriormetne mostradas manteniendo la unidad de presión en Pascales pero con unidades de caudal en kg/h, para facilitar el trabajo si estamos utilizando estas unidades.

Ratio 3:1



Ratio 5:1



## Formulario códigos programación

A) Átomos de Carbono	$n_C$
B) Átomos de Hidrogeno	$n_H$
C) Fracción másica Carbono (%)	$\theta_C$
D) Fracción másica Hidrogeno (%)	$\theta_H$
E) Peso Molecular (gr/mol)	$Pm$
F) Moles de Oxígeno para combustion estequiométrica	$n_{O.esteq}$
G) Aire estequiométrico.	$a_{esteq}$
Diámetro orificio (m)	$d$
1. Carga (Nm)	$carga$
2. Régimen (rmp)	$n$
3. Dosado relativo	$d_{rel}$
4. Concentración base seca (ppm)	
a) CO	$[CO]_{bs}$
b) CO2	$[CO_2]_{bs}$
c) O2	$[O_2]_{bs}$
d) HC	$[HC]_{bs}$
e) NOx	$[NOx]_{bs}$
5. Humedad relativa (%)	$Hum_{rel}$

6. Tª aire admisión (°C)  $T_{adm}^a$

7. Presión atmosférica admisión (mbar)  $P_{atm}$

8. Caudal de combustible (kg/h)  $Q_{comb}$

9. Presión EGR

a)  $\Delta P$  Caudalímetro (Pa)  $\Delta P$

b) Presión gas (atm)  $P_{EGR}$

10. Temperaturas gases (°C)

a) Escape  $T_{esc}^a$

b) EGR  $T_{EGR}^a$

11. Pres. saturación del aire (mbar)

$$P_{sat.aire} = 193145600 \cdot 10^{\left(\frac{-1779,75}{(237,3 + T_{adm}^a)}\right)}$$

12. Presión de vapor del aire de admisión (mbar)

$$P_{vap.adm} = \frac{P_{sat.aire} \cdot Hum_{rel}}{100}$$

13. Presión atmosférica del aire seco (mbar)

$$P_{atm} - P_{vap.adm}$$

14. Humedad absoluta del aire de admisión (g agua/kg aire seco)

$$Hum_{rel} = \frac{6,22 \cdot Hum_{rel} \cdot \left( \frac{P_{vap.adm}}{10} \right)}{\left( \frac{P_{atm}}{10} - \frac{P_{vap.adm}}{10} \right) \cdot Hum_{rel} \cdot 0,01}$$

15. Caudal de aire húmedo (kg/h)

$$Q_{aire.hum} = \frac{a_{esteg} \cdot Q_{comb}}{d_{rel}}$$

16. Caudal de aire seco (kg/h)

$$Q_{aire.seco} = Q_{aire.hum} - \left( \frac{Q_{aire.hum} \cdot Hum_{adm}}{1000} \right)$$

17. Caudal de gases de escape húmedo (kg/h)

$$Q_{esc.hum} = Q_{comb} + Q_{aire.hum}$$

18. Factor específico del combustible del gas de escape en condiciones húmedas.

$$k_f = 0,055584 \cdot \theta_H - 0,0001083 \cdot \theta_C$$

19. Factor de corrección de seco a húmedo para el aire de admisión.

$$k_{wr} = \left( 1 - \frac{(1,2442 \cdot Hum_{adm} + 111,19 \cdot \theta_H \cdot \left( \frac{Q_{comb}}{Q_{aire.seco}} \right))}{(773,4 + 1,2442 \cdot Hum_{adm} + \left( \frac{Q_{comb}}{Q_{aire.seco}} \right) \cdot k_f \cdot 1000)} \right) \cdot 1,008$$

20. Concentración base húmeda (%)

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad [CO]_{bh} &= \frac{[CO]_{bs} \cdot k_{wr}}{10000} \\ \text{b)} \quad [CO_2]_{bh} &= \frac{[CO_2]_{bs} \cdot k_{wr}}{10000} \\ \text{c)} \quad [O_2]_{bh} &= \frac{[O_2]_{bs} \cdot k_{wr}}{10000} \\ \text{d)} \quad [HC]_{bh} &= \frac{[HC]_{bs}}{10000} \\ \text{e)} \quad [NOx]_{bh} &= \frac{[NOx]_{bs}}{10000} \end{aligned}$$

21. Humedad (%)

$$H_{esc} = (1 - k_{wr}) \cdot 100$$

22. Concentración base húmeda N2 (%)

$$[N_2]_{bh} = 100 - ([CO]_{bh} + [CO_2]_{bh} + [O_2]_{bh} + [HC]_{bh} + [NOx]_{bh} + H_{esc})$$

23. Peso molecular composición (g/mol)

$$Pm_{comp} = \frac{[CO]_{bh} \cdot 28 + [CO_2]_{bh} \cdot 44 + [O_2]_{bh} \cdot 32 + [HC]_{bh} \cdot 16 + [NOx]_{bh} \cdot 30 + H_{esc} \cdot 18 + [N_2]_{bh} \cdot 28}{100}$$

24. Densidad composición (kg/m3)

$$\rho_{comp} = \frac{Pm_{comp} \cdot P_{EGR}}{0,082 \cdot (273 + T_{EGR}^a)}$$

25. Peso molecular Norma (g/mol)

$$Pm_{norma} = \frac{1 + \frac{Q_{comb}}{Q_{aire.hum}}}{\frac{\theta_H}{\theta_C} \cdot \frac{Q_{comb}}{Q_{aire.hum}} \cdot \frac{1}{4} + \frac{Hum_{adm} \cdot 0,001}{1 + Hum_{adm} \cdot 0,001} + \frac{1}{28,9}}$$

26. Densidad Norma (kg/m3)

$$\rho_{norma} = \frac{Pm_{norma} \cdot P_{EGR}}{0,082 \cdot (273 + T_{EGR}^a)}$$

27. Densidad Aire Gas Ideal (Tablas)

$$\rho_{ideal} = \text{Densidad tablas (gas ideal) con } P_{EGR} \text{ y } T_{EGR}^a$$

28. Caudal EGR (composición) (kg/h)

$$Q_{EGR_{comp}} = 0.596 \cdot 3.1416 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta P \cdot \rho_{comp}}{8}\right)} \cdot 3600$$

29. Caudal EGR (norma) (kg/h)

$$Q_{EGR_{norma}} = 0.596 \cdot 3.1416 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta P \cdot \rho_{norma}}{8}\right)} \cdot 3600$$

30. Caudal EGR (ideal) (kg/h)

$$Q_{EGR_{ideal}} = 0.596 \cdot 3.1416 \cdot d^2 \cdot \sqrt{\left(\frac{\Delta P \cdot \rho_{ideal}}{8}\right)} \cdot 3600$$

### 31. EGR (composición) (%)

$$EGR_{comp} = \frac{Q_{EGR_{comp}}}{Q_{aire.hum} \cdot Q_{EGR_{comp}}} \cdot 100$$

### 32. EGR (norma) (%)

$$EGR_{norma} = \frac{Q_{EGR_{norma}}}{Q_{aire.hum} \cdot Q_{EGR_{norma}}} \cdot 100$$

### 33. EGR (ideal) (%)

$$EGR_{ideal} = \frac{Q_{EGR_{ideal}}}{Q_{aire.hum} \cdot Q_{EGR_{ideal}}} \cdot 100$$





# INYECCIÓN DE AGUA

## *Introducción*

## **Historia**

La inyección de agua fue evaluada científicamente en 1930's por H. Ricardo, quienes demostró que básicamente se puede duplicar la potencia de un motor ICE usando agua/metanol.

El primer uso generalizado fue durante la Segunda Guerra Mundial en los aviones supercargados y turboalimentados. En 1942, la Luftwaffe alemana aumentó la potencia de los aviones de combate Focke-Wulf 190D-9 de 1,776HP a 2,240HP con la inyección de 50/50% de agua/metanol. Los aliados pronto los siguieron acondicionando con inyección de agua/metanol, el Mustang P51 y otras aeronaves de alto rendimiento.

Después de la guerra, la industria de aviones de turbo hélice utiliza inyección de agua/metanol y lo llamó el "sistema de reserva de potencia automática (APR)" para enfriamiento del motor o a gran altitud.

Volvió a resurgir en los años 60, cuando GM utiliza el sistema en el OEM Corvair turbo.

También fue utilizado de manera efectiva en la Fórmula 1 antes de ser suspendido por estar considerado como una adición excesiva de potencia.

En los últimos años, la inyección de metanol y agua se ha convertido cada vez más popular y reconocida como una herramienta invaluable para ambos, gasolina y diésel, ya sea inducción forzada (turbo) así como aplicaciones de aspiración natural.

## Inyección de agua

En la mecánica clásica de combustión es la mezcla de aire y combustible la que permite el movimiento de los pistones dentro del cilindro, lo que a su vez se traslada finalmente a un movimiento rotatorio gracias a la acción del cigüeñal. La precisa combinación de aire y el carburante es una de las bases principales para conseguir un consumo minimizado a un mismo nivel de rendimiento. En esta parte se puede jugar además añadiendo otro tipo de compuestos a la mezcla.

El funcionamiento de la inyección de agua, exactamente se basa en la **inyección de dosis mínimas de agua destilada justo antes del momento de la explosión**. Con el calor de la explosión, que habitualmente se pierde, se disocia cada molécula de agua obteniendo oxígeno y hidrógeno. A su vez estas dos moléculas “vitales” forman parte de la nueva reacción de combustión acelerándola y mejorando su eficiencia. El agua se inyecta en minúsculas gotas y pasa varios filtros para que sea lo más pura posible.

Este sistema hidroinyector ha sido probado con motores gasolina, diésel, biodiésel, GNC (gas natural comprimido) y GPL (gas de petróleo licuado) con mejoras diferentes.

Las ventajas que muestra este sistema van más allá del simple **ahorro en combustible** pues **aumenta la potencia**, se libera **menos contaminantes** ( $\text{CO}_2$  y óxidos de nitrógeno) y se elimina parcialmente el repiqueteo clásico de los pistones (perfectamente audible en los motores diésel).

Según sus creadores **la potencia final puede incrementarse hasta un 10 % y su disminución de consumo alcanzar entre el 10 y el 25 %** según el tipo de vehículo (gasolina, diésel, gas, etc).

Gracias a la hidroinyección los motores tienen mayor disponibilidad de arranque, más rendimiento, más suavidad de marcha y mejor desplazamiento. Además este sistema elimina la polución propia de la combustión. Reduce la emisión de gases contaminantes un 70% en motores diesel, un 85 a 90% en motores de gasolina a carburador y un 30% en motores a inyección.

El desgaste del motor es también un factor que disminuye por lo que el ciclo de vida de los bloques hidroinyectados es mayor. Se alarga la vida útil del motor entre un 70% y un 100% más por la eliminación de residuos carbonosos que producen la explosión. Al desaparecer el carbón, la contaminación del aceite y de los filtros es mínima.

Al inyectar el agua a los cilindros aleja la detonación, suaviza las máximas presiones, reduce la temperatura de las bujías, válvulas y gases de escape, no dañando la lubricación de los cilindros.

Tanto la desaparición del constante ataque a los metales, como la desaparición de la costra (que acumula humedad) originada por los residuos carbonosos de la combustión, también aumentan la vida útil de los caños de escape y silenciadores.

## **Ensayos anteriores**

Esto es un breve resumen de lo que encontramos en cuanto a caudales en las diferentes experimentaciones con inyección de agua que se han encontrado en las diferentes referencias:

En el estudio que se realiza en la referencia 1, para un motor diésel se estudia tanto la inyección de agua como emulsión con el combustible como la inyección directa de ésta en la cámara de combustión. Para ambos casos se usa un ratio de masa de 0,4:1 (Agua-Diésel).

En el caso práctico de la referencia 2, el autor condensa el gas de escape para obtener agua y la recircula. Esta vez el ratio de masa agua/combustible es desde 2,9 a 3,7.

Para un ensayo con hidrógeno, referencia 3, se inyecta un caudal de agua de 0,45kg/h siendo el ratio de peso 0,731. El mismo autor hace referencia a otros experimentos donde se utiliza un ratio de masa de 4:1 agua/combustible.

Por otro lado, en la referencia 4, tenemos un estudio en un motor grande, donde se inyecta agua con alcohol, y se estudia los efectos que esta inyección causa en el desgaste de los cilindros y el ahorro de combustible que produce. Comparan los resultados utilizando ratios de agua-combustible de 0,0'2 y 0'4.

En la referencia 5, se centran en el efecto reductor de emisiones de NOx si alimentamos a un motor con una emulsión de dos líquidos inmiscibles como son el diésel y el agua. Aquí hablan de utilizar 45% de agua en volumen en comparación con el combustible diésel, ratios volumétricos diésel:agua de 1:1 hasta 9:1; aunque ellos llegan a experimentar con valores hasta del 80%.

Para la experimentación de los gases de escape, que se realiza en la referencia 6, el máximo ratio de masa agua/combustible va desde 2,3 a 4,0; siendo el ratio de masa entre agua y aire de entrada desde 0,10 a 0,15.

En el último caso, referencia 7, se estudia el ahorro de combustible, siendo este gasolina en motores de avión de gran potencia, y se utilizan ratios entre agua-combustible de 0,55.

## **Elementos principales**

### **Inyector**

**TeeJet** (delegada de la multinacional Spraying System Co.)

Esta empresa se enfoca únicamente en tecnología de aplicación, con una experiencia más que suficiente en sistemas de pulverización, fertilización y siembra. Eso significa que esta totalmente enfocada al mundo agrícola y no al campo industrial donde podríamos catalogar nuestro proyecto. En su catálogo podemos encontrar infinidad de boquillas diferentes ya sea en tamaños, colores, caudales, tipos de aspersión (chorro plano, doble chorro, diferentes ángulos, cono hueco, cono lleno, etc) y diferentes aplicaciones como herbicidas, fungicidas, insecticidas y fertilizantes.

Pero como hemos comentado anteriormente están muy enfocados en el mundo agrícola y las prestaciones no son las adecuadas para nuestra instalación.

### **Lechler**

En el caso de Lechler, una empresa dedicada en exclusiva a la fabricación de diferentes sistemas de aspersión y pulverización, pudimos encontrar en el catálogo antiguo directamente boquillas que cumplían en principio los requisitos que teníamos. Al ver que había inyectores válidos, actualizamos el catálogo descargándolo desde su página oficial [www.lechler.com](http://www.lechler.com)

Esta empresa mostraba los diferentes campos a los que se dedica como son la agricultura, la industria metalúrgica, tecnologías del medio ambiente, y la industria genérica donde nos encontramos nosotros. Además, muestra diferentes aplicaciones de sus inyectores dentro del mundo automovilístico.

Una vez con los catálogos, que se dividen dependiendo de los diferentes sistemas de pulverización, podemos encontrar las siguientes boquillas:

- Para aire
- Para sistemas neumáticos (aire+agua)
- Abanico plano
- Cono lleno
- Cono hueco
- Flujo sólido
- Limpieza de tanques

Se miran y estudian todos los tipos y se sacan conclusiones de cada uno:

### Aire

Las de aire directamente las descartamos porque queremos inyectar agua.

### Neumáticas

Las que incluyen un sistema de inyección neumático también ya que no disponemos de dicha instalación.

### Chorro Plano

Las de abanico plano tienen como mínimo nuestro máximo caudal de agua que queremos inyectar, por lo que si queremos inyectar una cantidad mas pequeña ya no nos valen. Además las presiones son muy bajas y la calidad de pulverización regular, además de que no expande el agua de forma homogénea al ser una banda plana.

### Cono lleno

Las de cono lleno no valen pues no tenemos ninguna boquilla que inyecte los caudales que a nosotros nos interesa, los cuales son bastante pequeños.

### Flujo sólido

Las de flujo sólido no serán válidas ya que no se inyecta el agua pulverizada sino que sale mas bien en forma completamente líquida.

### Limpieza de tanques

Las boquillas para limpieza de tanques son boquillas que también inyectan agua en forma líquida con multitud de orificios para abarcar el mayor ángulo posible y poder cubrir grandes superficies.

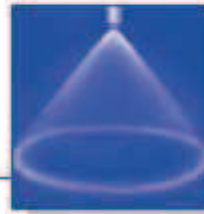
### Cono hueco

En los de cono hueco encontramos un modelo válido dentro de los rangos de caudales y el cual examinamos a continuación:

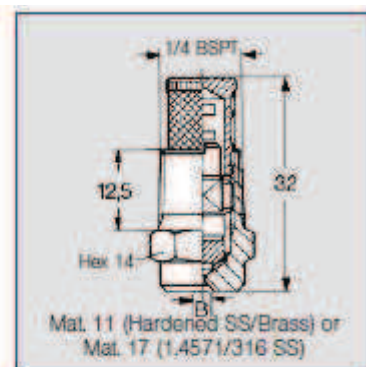
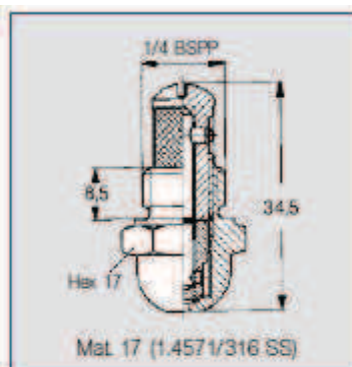



## Axial-flow hollow cone nozzles

### Series 212



**Aplicaciones:** Desinfección, humidificación del aire, humidificación del producto, rociado de aceite, enfriamiento y limpieza de aire y gas, supresión de polvo, filtro de pulverización, evitar el sobrecalentamiento, etc.



Spray angle	Ordering no.					B Ø [mm]	E Ø [mm]	V̇ [l/min]						Spray diameter D at p = 7 bar  H = 100 mm	
	Type	Mat. no.		Code				p [bar]							
		11 1.4104/Brass	17 1.4571/316 SS					2,0	3,0	5,0	7,0	10,0	20,0		
60°	212. 004	-	•	AC	-	0,10	0,10	-	-	0,013	0,015	0,018	0,025	80	
	212. 014	-	•	AC	-	0,15	0,15	-	-	0,019	0,023	0,027	0,039	80	
	212. 054	-	•	AC	-	0,20	0,15	-	-	0,027	0,033	0,039	0,057	80	
80°	212. 085	•	-	-	CC	0,25	0,25	-	-	0,040	0,047	0,057	0,080	140	
	212. 125	•*	•**	AC	CC	0,35	0,25	-	0,048	0,062	0,073	0,088	0,124	140	
	212. 145	•	-	-	CC	0,40	0,30	-	0,063	0,082	0,097	0,116	0,164	140	
	212. 165	•	-	-	CC	0,45	0,30	-	0,080	0,103	0,122	0,146	0,206	140	
	212. 185	•	-	-	CC	0,50	0,35	-	0,101	0,130	0,154	0,184	0,260	140	
	212. 205	•	-	-	CC	0,60	0,30	0,107	0,131	0,168	0,199	0,238	0,336	140	
	212. 245	•	-	-	CC	0,70	0,45	0,166	0,202	0,261	0,310	0,370	0,522	140	
	212. 285	•	•	AC	CC	0,90	0,60	0,262	0,320	0,390	0,460	0,550	0,770	140	

B = bore diameter - E = narrowest free cross section  
 \* Only available with code CC  
 \*\* Only available with code AC

**The integrated strainer avoids clogging of the nozzle and increases its service life.**

Materials			
Material no.	Nozzle	Strainer holder	Strainer
11	1.404 (hardened SS)	Brass	Monel
17	1.4571/316 SS	1.4571/316 SS	1.4571/316 SS

Como podemos observar existen varios modelos que pueden trasegar los rangos de caudales que hemos impuesto al principio.

Al contactar con el comercial tanto por e-mail como por teléfono, este nos indicó que contra más presión inyectáramos en cualquiera de las boquillas, mejor sería la calidad de la pulverización, entendiendo esta como una mejor dispersión con partículas más finas de agua, sin provocar goteo.

Además también nos indicó que los modelos de cono hueco son los que mejor pulverizaban de todos los modelos, puesto que eran los que más presión demandaban.

Aunque el modelo 212.085 vemos que trasiega el 0,04 l/min, nos pasa como en el caso de las boquillas de chorro plano, si queremos inyectar caudales más pequeños el inyector ya no valdría y se crearían problemas.

Por lo tanto vamos a centrarnos en los 3 primeros modelos con un ángulo de spray de 60°.

Como vemos el modelo 212.004 no llega a alcanzar nuestro máximo, el segundo 212.014 lo alcanza pero sólo si suministramos el agua a una presión de 20bar que es un valor muy elevado; y en el caso del modelo 212.054 logramos alcanzar ese caudal pero sin embargo los caudales mínimos no podrían ser inyectados porque siempre estaríamos inyectando agua demás.

Por lo tanto, sabiendo que la pulverización es mejor cuanto mayor presión tengamos y que al principio de la experimentación con la inyección de agua no se alcanzarían los caudales máximos, sino que se trabajaría con caudales mas bien pequeños se decide en el departamento comprar los tres modelos de boquillas:

- 212.004
- 212.014
- 212.054

Donde el primer modelo servirá para iniciar el experimento con la inyección de agua, el segundo servirá para aumentar el caudal una vez hecho alguna prueba y vendrá perfecto para cuando necesitemos trabajar con caudales medios, y el tercero podrá servir para cuando el motor vaya a tope y necesitemos los caudales más grandes.

En cuanto a la factura, después de haber demandado una oferta anteriormente para conocer los precios aproximados de las boquillas, en las que se incluía la boquilla de 80° y alguna de chorro plano, se demandó la factura con la selección final de las 3 boquillas de cono hueco.

Tanto la oferta solicitada como la factura final van incluidas a continuación.





Lechler, S.A.  
Avda. Pirineos, 7- Oficina B 7  
Edificio Inbisa I  
28700 San Sebastián de los Reyes  
Madrid / España  
Tel.: 91 658 63 46  
Fax: 91 658 63 47  
e-mail: [info@lechler.es](mailto:info@lechler.es)  
[www.lechler.com](http://www.lechler.com)

# OFERTA

Empresa: UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA

At.: Jesús García

Dpto./Cargo:

Tel.: 976 761 000

Fax:

Su Ref.:

Oferta Ref.: IS.12114.2E

Nº de Cliente:

Fecha: 15/03/2012

Responsable: Pedro Martín

Nº Pág.: 1

Estimados señores,

De acuerdo con su solicitud y basado en nuestras condiciones generales de venta, nos complace cotizar como sigue

Pos.	Descripción	Cantidad	Precio/Ud.	Plazo
1	Tobera Lechler ref. 212.004.17.AC	1 – 4	116,92	1-2 semanas
2	Tobera Lechler ref. 212.014.17.AC	1 – 4	116,92	1-2 semanas
3	Tobera Lechler ref. 212.054.17.AC	1 – 4	116,92	1-2 semanas
4	Tobera Lechler ref. 212.085.11.CC	1 – 4	48,22	1-2 semanas
5	Tobera Lechler ref. 652.165.16.00	2	21,57	Inmediato
6	Tobera Lechler ref. 652.145.16.00	2	21,57	Inmediato
7	Tuerca Lechler ref. 065.200.16.00	2	10,81	Inmediato

Los precios son unitarios y netos para las cantidades indicadas. A estos precios se les aplicará el IVA en vigor. Plazos sujetos a venta intermedia. Los precios y plazos indicados no incluyen certificados, pruebas o cualquier documentación o requerimiento no indicado expresamente en esta oferta.

Validez de la oferta: 2 meses.

Forma de envío: su agencia (portes debidos) o nuestra agencia (portes pagados y cargados en factura, 18€)

Condiciones de pago: Transferencia anticipada por primera operación.

Quedamos a su disposición para cualquier consulta o ampliación y aprovechamos la ocasión para saludarles cordialmente.







Lechler, S.A.  
CIF:A82439084  
Avda. Pirineos, 7- Oficina B 7  
Edificio Inbisa I  
28700 San Sebastián de los Reyes  
Madrid / España  
Tel.: 91 658 63 46  
Fax: 91 658 63 47  
e-mail: [info@lechler.es](mailto:info@lechler.es)  
[www.lechler.com](http://www.lechler.com)

Pedido Núm. : E-Mail Jesus García  
Fecha Factura: 27/04/2012  
Número de Factura:12-35

**FRANCISCO MORENO GOMEZ**  
**PTO. INGENIERIA MECANICA.**  
**UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**  
**C/MARIA DE LUNA S/N /ED. BETANCOURT)**  
**50018 ZARAGOZA**  
**CIF:Q5018001G**

## FACTURA PRO FORMA

Pos.	Descripción	Cantidad	Precio ud.	Total (€)
1	Boquilla Lechler ref. 212.004.17.AC	1	116,92	116,92
2	Boquilla Lechler ref. 212.014.17.AC	1	116,92	116,92
3	Boquilla Lechler ref. 212.054.17.AC	1	116,92	116,92

Suma total	Portes	Base Imponible	IVA		TOTAL (€)
			%	Importe	
350,76.-	18,00.-	368,76.-	18	66,38.-	435,14-

Portes: Nuestra agencia 18€ pagados y cargados en factura.  
Forma de pago: Transferencia anticipada.  
Nº cuenta: La Caixa. Avda. Castilla la Mancha 21.  
28700 San Sebastián de los Reyes. Madrid. España.  
Nº de cuenta: 2100 3772 77 2200013485.

# Bomba

## ***Tipos de bombas***

A continuación mostramos una breve descripción de diferentes tipos de bomba:

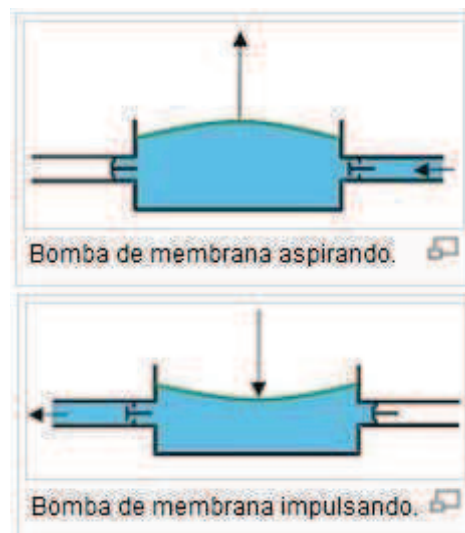
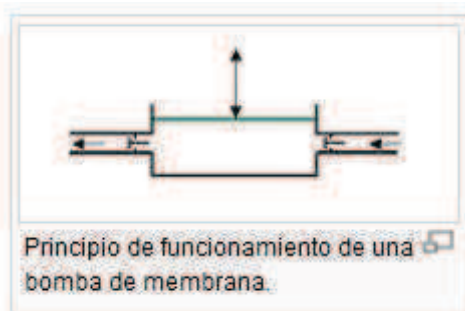
### Membrana

La bomba de membrana o bomba de diafragma es un tipo de bomba de desplazamiento positivo, generalmente alternativo, en la que el aumento de presión se realiza por el empuje de unas paredes elásticas —membranas o diafragmas— que varían el volumen de la cámara, aumentándolo y disminuyéndolo alternativamente. Unas válvulas de retención, normalmente de bolas de elastómero, controlan que el movimiento del fluido se realice de la zona de menor presión a la de mayor presión.

La acción de estas bombas puede ser:

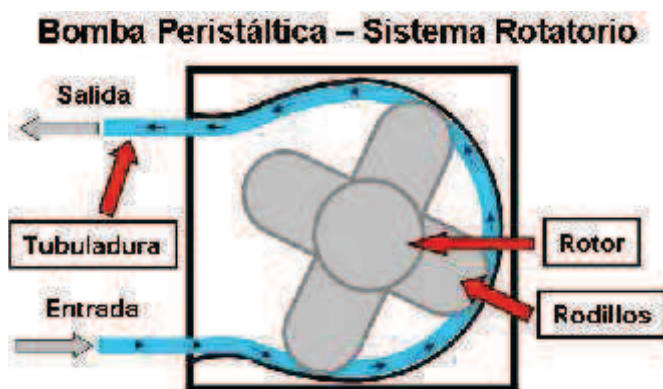
- Eléctrica, mediante un motor eléctrico, en cuyo caso se dice que es una electrobomba. Sin embargo, hay otras electrobombas que no son bombas de membrana.
- Neumática, mediante aire comprimido, en cuyo caso se dice que es una bomba neumática. La mayoría de las bombas neumáticas son bombas de membrana.

Existen bombas neumáticas y eléctricas de doble diafragma, las cuales funcionan bajo el mismo principio que las anteriores, pero tienen dos cámaras con un diafragma cada una, de forma que cuando una membrana disminuye el volumen de su cámara respectiva, la otra membrana aumenta el volumen de la otra cámara y viceversa.



## Peristáltica

Una bomba peristáltica es un tipo de bomba hidráulica de desplazamiento positivo usada para bombear una variedad de fluidos. El fluido es contenido dentro de un tubo flexible empotrado dentro de una cubierta circular de la bomba (aunque se han hecho bombas peristálticas lineales). Un rotor con un número de 'rodillos', 'zapatas' o 'limpiadores' unidos a la circunferencia externa comprimen el tubo flexible. Mientras que el rotor da vuelta, la parte del tubo bajo compresión se cierra (o se ocluye) forzando, de esta manera, el fluido a ser bombeado para moverse a través del tubo. Adicionalmente, mientras el tubo se vuelve a abrir a su estado natural después del paso de la leva ('restitución'), el flujo del fluido es inducido a la bomba. Este proceso es llamado peristalsis y es usado en muchos sistemas biológicos como el aparato digestivo.

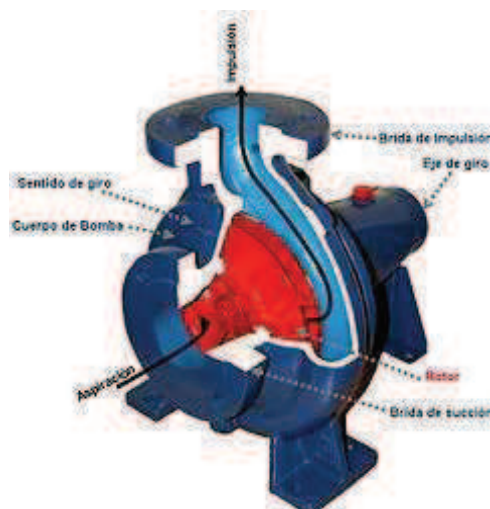


## Centrífugas

Una bomba centrífuga es un tipo de bomba hidráulica que transforma la energía mecánica de un impulsor rotatorio llamado rodete en energía cinética y potencial requeridas. El fluido entra por el centro del rodete, que dispone de unos álabes para conducir el fluido, y por efecto de la fuerza centrífuga es impulsado hacia el exterior, donde es recogido por la carcasa o cuerpo de la bomba, que por el contorno su forma lo conduce hacia las tubuladoras de salida o hacia el siguiente rodete (siguiente etapa).

Constituyen no menos del 80% de la producción mundial de bombas, porque es la más adecuada para mover más cantidad de líquido que la bomba de desplazamiento positivo.

No hay válvulas en las bombas de tipo centrífugo; el flujo es uniforme y libre de impulsos de baja frecuencia.



## Dosificadora

Son un tipo de bombas especiales que sirve generalmente para la correcta dosificación de una sustancia química a una corriente de agua, algún depósito de agua, u otro sistema donde se requiera que la concentración de una sustancia química (cloro, polímeros, metabisulfito de sodio, etc.) se mantenga constante.

La exactitud de la dosificación depende mucho de la marca y del modelo de la bomba que se utiliza. Existen en el mercado dos tipos de bombas dosificadoras: **las manuales**, en donde la persona que opera el equipo tiene que calcular en base a datos la dosificación correspondiente y ajustar las perillas del equipo hasta dar con la dosificación correcta, cosa que produce varios errores. El otro tipo de bomba dosificadora son **las digitales**, aquí igualmente se tiene que hacer los cálculos de dosificación necesaria, pero ya no es necesario estar ajustando la bomba, ya que basta con presionar unos botones para calibrar la dosificación correcta de la bomba, siendo esta más exacta.



## Engranajes

Este tipo de bomba produce caudal al transportar el fluido entre los dientes de dos engranajes acoplados. Uno de ellos es accionado por el eje de la bomba (motriz), y este hace girar al otro (libre).

La bomba de engranajes funciona por el principio de desplazamiento; un piñón es impulsado y hace girar al otro en sentido contrario. En la bomba, la cámara de admisión, por la separación de los dientes, en la relación se liberan los huecos de dientes.

Esta depresión provoca la aspiración del líquido desde el depósito.

Los dientes llenados transportan el líquido a lo largo de la pared de la carcasa hacia la cámara de impulsión.

En la cámara los piñones que engranan transportan el líquido fuera de los dientes e impiden el retorno del líquido.

Por lo tanto el líquido de la cámara tiene que salir hacia el receptor, el volumen del líquido suministrado por revolución se designa como volumen suministrado ( $\text{cm}^3/\text{rev}$ ).



## Estudio de bombas

### AEM

En el caso de la bomba, antes de empezar a investigar y buscar tipos, funciones, características y diferencias entre cada una de ellas, se procede a buscar información de un kit de inyección de agua con el cual cuenta el laboratorio.

Es un kit distribuido por la marca AEM Electronics, en el cual podemos encontrar:

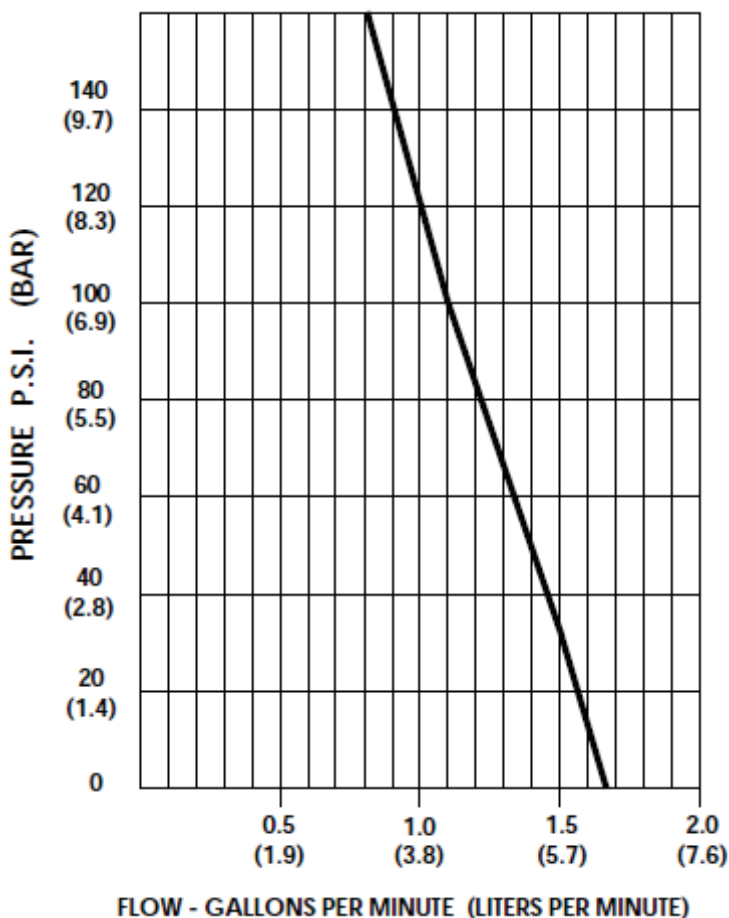
- Bomba eléctrica
- Inyectores metálicos
- Tubos de entrada y salida de la bomba
- Depósito

Lo primero que hacemos es buscar la información técnica de la bomba ya que no se cuenta con ella. La bomba esta fabricada por la empresa SHURflo, model: 8030-947-209, y encontramos sus características en la página web [www.pumpagents.com](http://www.pumpagents.com) donde descargamos el pdf de la bomba model: 8030-813-239 con las mismas características que la nuestra ya que es imposible encontrar la de nuestro modelo concretamente.

Como podemos observar en la curva característica que se observa a la derecha, esta bomba trabaja en un rango de 10 a 150 psi, que equivalen 10 bar de presión máxima. A esta presión la bomba trasiega un caudal de 3,1 l/min.

El caudal que esta bomba trasiega a 10bar es 77,5 veces mayor al caudal máximo que hemos considerado que inyectaríamos en nuestra instalación, que son 2,4 l/h.

Por lo tanto esta bomba no es adecuada para nuestra instalación.





## Axflow

Tras exponerles nuestra necesidad y el tipo de aplicación, el contacto vía e-mail nos recomienda las bombas dosificadoras, con las cuales podremos trasegar nuestros caudales a la presión que necesitamos. Además estas bombas pueden regular el caudal, mediante micrómetro incorporado, por lo que puedes ajustar el caudal sin necesidad de retorno.

Nos comenta además que como es una bomba pulsatoria, y nosotros necesitamos hacer que el caudal sea constante, igual necesitábamos instalar un pequeño antipulsaciones en la descarga de la bomba.

Al final nos recomienda las bombas DS15 y PS10 para nuestra aplicación.



max. flow rate* (l/h)							
Type	stroke frequency 1/min				max. pressure	connections	motor power kW
	50	72	100	144	bar		230/400 V
DS 15	5	7,5	10	15	20	G 3/8"	0,18
DS 50	17,5	25	35	50	10	G 3/8"	0,18
DS 200	70	100	140	200	10	G 1/2"	0,55
DS 500	175	250	350	500	6	G 1"	0,75

\*Values at 100% volumetric efficiency

max. flow rate* (l/h)							
Type	stroke frequency 1/min				max. pressure*	Connections	Material in contact with metered liquid
	50	72	100	144	bar		
PS 3	0,16	0,23	0,32	0,46	80	G 1/4 female	1.4571
PS 5	0,40	0,57	0,80	1,15	80	G 1/4 female	1.4571
PS 8	1,05	1,51	2,10	3,00	80	G 1/4 female	1.4571
PS 10	3,20	4,80	6,40	9,60	80	G 3/8 female	1.4571/1.4581
PS 16	8,60	12,30	17,20	24,70	80	G 3/8 female	1.4571/1.4581
PS 25	21,00	30,20	42,00	60,50	32	G 3/8 female	1.4571/1.4581

En el caso de la DS15 aunque la presión sea válida, el valor mínimo del caudal es el doble del que necesitamos. En el caso de los modelos PS nos pasa lo contrario, los caudales en principio son válidos pero la presión es extremadamente elevada.

No es válida ninguna de ellas, además nos da un presupuesto de 1.230€ para cada bomba, y 345€ por el amortiguador inox U001.

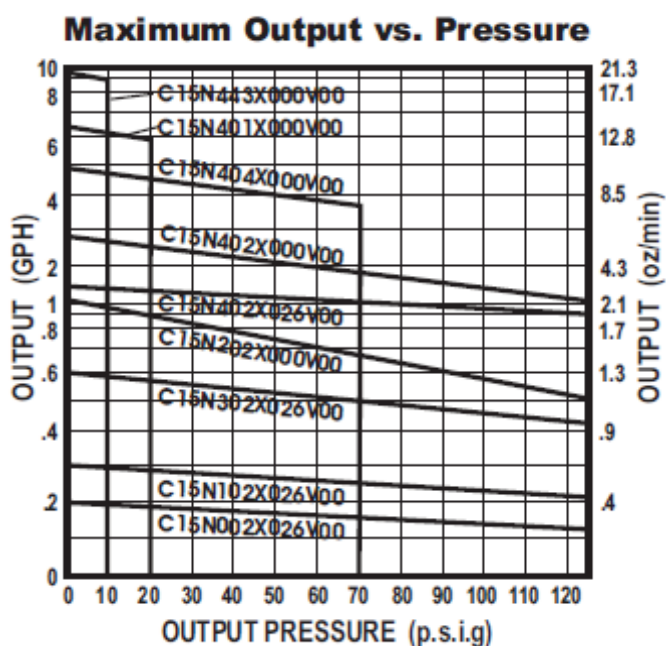
## Blue-White

Empresa dedicada a la fabricación de sistemas para manejo, control y medida de fluidos y gases; en la cual podemos encontrar bombas, rotámetros, accesorios como inyectores, etc.

En cuanto a las bombas estas son las únicas dos que parecían cumplir las exigencias:

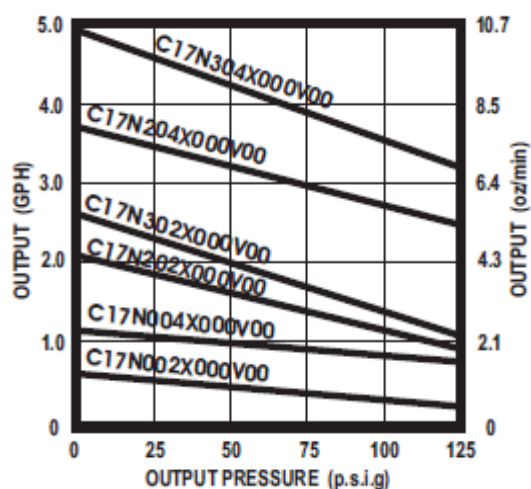
Bombas dosificadoras de membrana.

C-1500N



En la cual tenemos que buscar la línea de trabajo mas adecuada, en este caso sería la C15N402X026V00 ya que las demás no nos llegarían a trasegar nuestro máximo a una presión suficiente. El inconveniente es que entonces nos trasiega demasiado caudal cuando estamos con la presión máxima de la que no podemos bajar.

C-1700N



En este caso vemos algo parecido al anterior, ya que cuando estamos inyectando con la máxima presión estamos trasegando nuestro caudal máximo, por lo tanto cuando se reduzca la velocidad de pulsaciones para tener un caudal menor, perderemos el caudal continuo.

## Verdeflex

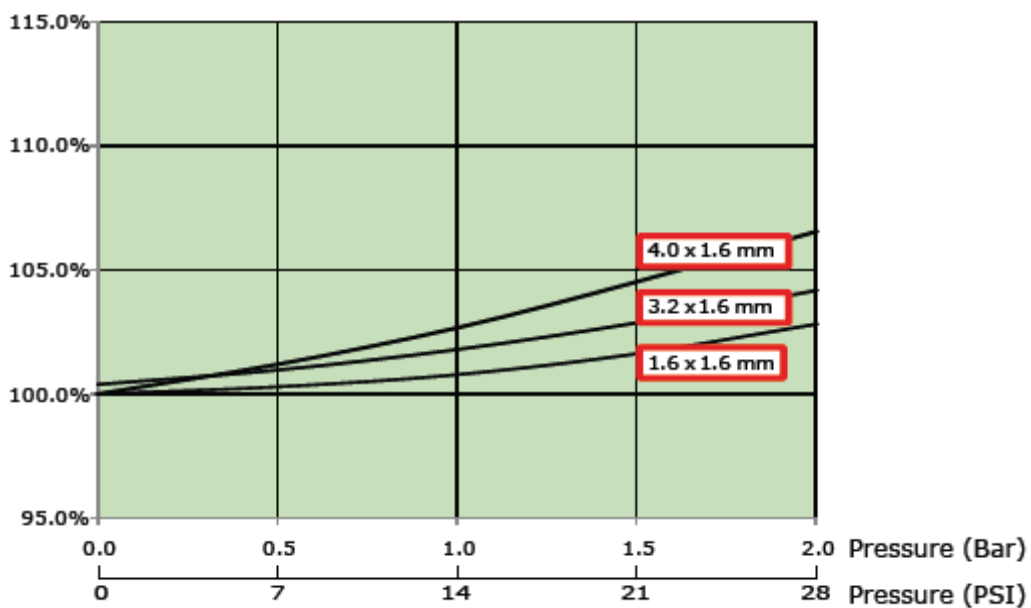
Una de las marcas más comercializadas con bastantes distribuidores, sobre todo si hablamos de bombas peristálticas.

Como se comenta en la Memoria en general las bombas peristálticas trasiegan caudales muy pequeños, que son válidos en nuestra aplicación; pero el gran problema viene cuando miramos las presiones a las que trabajan este tipo de bombas, que por sus características resultan también ser muy bajas. Por lo tanto el siguiente puede valer como ejemplo general para todas las bombas peristálticas que hemos encontrado en el mercado.

Serie M045



### Discharge





## CRAMIX S.A.

Es una compañía especializada en la distribución e instalación de equipos industriales, destinados a multitud de sectores. Al ser distribuidor de numerosas compañías sobre todo internacionales, la oferta es variada con muchos tipos de bombas con diferentes características y aplicaciones.

Dentro de toda la variedad de bombas, tres son las que parecen ser las más válidas para nuestra aplicación y por lo tanto pedimos información vía e-mail de estas tres marcas y modelos:

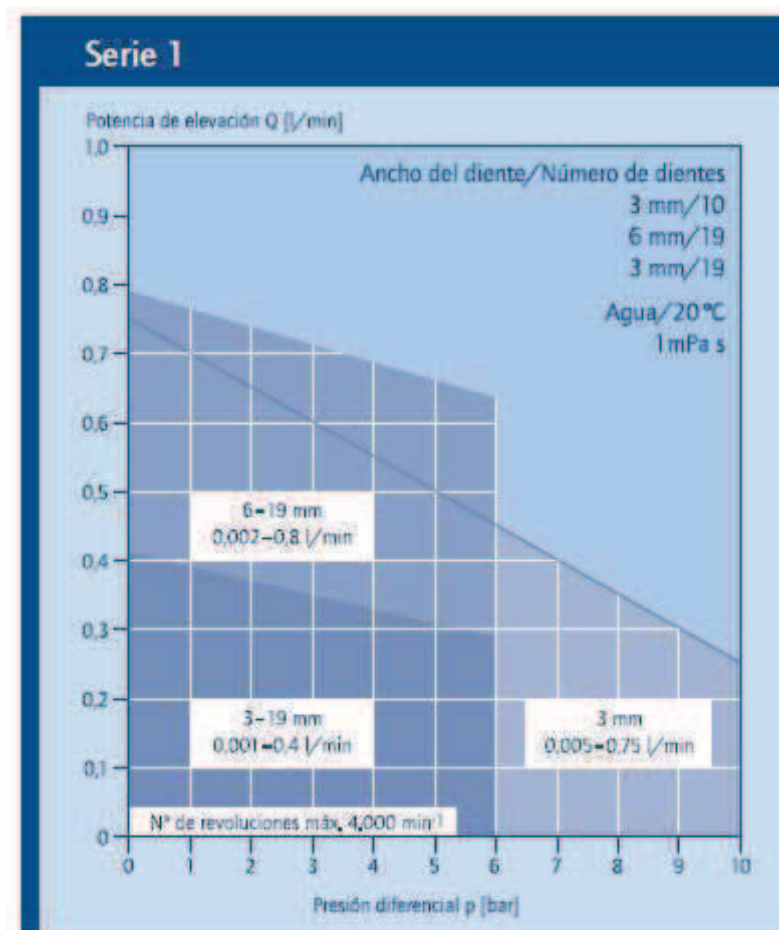
### Gather Industrie

Esta fue la marca que nos aconsejó el comercial.

Bombas dosificadora y de proceso

Serie 1 – 3mm/10

Como podemos observar la bomba alcanza el mínimo de 0,005 l/min y un máximo de 0,75 l/min siendo este muy superior a nuestro caudal máximo. A pleno funcionamiento la bomba a 10bar nos da un caudal de 0,25l/min pero como sabemos, nosotros al principio usaríamos como un tercio de ese caudal, por lo que sobraría demasiada agua. Al ser una bomba de engranajes no tiene que emitir pulsaciones, por lo que reduciendo las rpm del motor, supuestamente podríamos regular y llegar a conseguir el caudal de agua que queríamos, pero teniendo en cuenta que si baja un poco la presión la calidad de la dosificación se pierde y que la bomba tendría que trabajar siempre a bajas revoluciones hace que esta no sea la mejor opción.



## Pompe Cucchi

En este caso, como sabemos que Cramix es distribuidor oficial de varias compañías, nos metemos en las páginas web originales con el fin de encontrar directamente una bomba adecuada para poder pedirle información directamente sobre un modelo determinado.

Encontramos una bomba que parece que tiene buenas características:

Bomba dosificadora de diafragma

Serie CMP1 – 3 l/h

Ø pistone	colpi/min	portata massima raggiungibile	pressione massima raggiungibile	
			materiale metallico	materiale plastico
mm		l/h	bar	bar
8	58	1.5	20 <sup>^</sup> (10)	10 (10)
8	116	3.0	20 <sup>^</sup> (10)	10 (10)
12	58	4.5	20 <sup>^</sup> (10)	10 (10)
12	116	9.0	20 <sup>^</sup> (10)	10 (10)
18	58	11	20 <sup>^</sup> (10)	10 (10)
18	116	22	20 <sup>^</sup> (10)	10 (10)
25	58	21	20 (10)	10 (10)
25	116	42	20 (10)	10 (10)
30	58	30	14 (10)	10 (10)
30	116	60	14 (10)	10 (10)
40	58	54	8 (8)	8 (8)
40	116	108	8 (8)	8 (8)

^: valori superiori sono ottenibili con esecuzioni non di serie

(): tra parentesi vengono riportati i valori di pressione delle pompe di serie

En principio las características parecen ser válidas pero si nos damos cuenta en el factor de golpes por minuto es bastante bajo y además aun tendremos que disminuirlo un poco mas para conseguir caudales más pequeños. Queda descartada por lo tanto, además que el mismo comercial nos dice que no hay posibilidad, por lo que habría que dirigirse a la compañía directamente o encontrar otro distribuidor.

## Etatron

Una de las empresas que abastece a Cramix y que se dedica a la fabricación de equipos de dosificación y control , capaz de satisfacer multitud de necesidades dentro del Sector del Agua (ETAP, EDAR, Piscinas, Legionella, Industria,...); todo ello con una muy buena relación Calidad/Precio.

En principio nos ponemos en contacto con Cramix, después de haber descargado el catálogo de bombas dosificadoras electromagnéticas que ofrece la empresa, en las que se presenta un modelo de bomba de Etatron que explicamos a continuación.

## BOMBAS DOSIFICADORAS SERIE DLX-MA/AD Y DLXB-MA/AD

La principal diferencia entre el modelo DLX y DLXB es que la primera es para instalación en pared y la segunda para mesa.

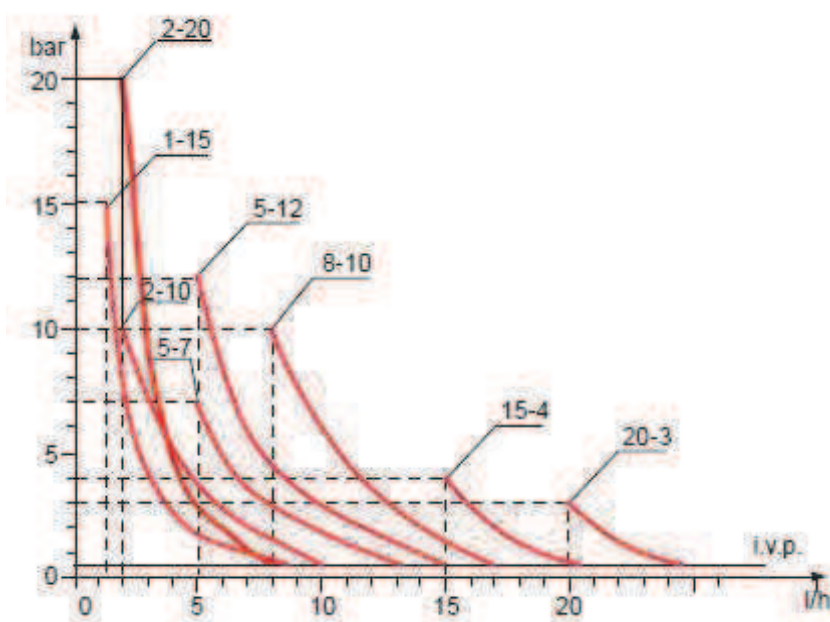
Otra característica diferente es que solamente la segunda contiene un regulador mecánico de la embolada.



A continuación vamos a ver las curvas con sus respectivas tablas de características de trabajo de cada tipo de bomba que presenta este modelo.

**DLX-MA/AD • DLXB-MA/AD**

Tipo Type	Caudal Máx. Max flow l/h	Presión máx. Max press bar	Máx imp./min. Max imp./min.	Dosis de imp. Output per stroke ml	Cámara Stroke mm	Altura de aspiración Suction height m	Aliment. Eléctrica Estándar Standard power supply Volts - Hz	Potencia abs. Power cons. Watts	Corriente abs. Current cons. Ampere	Peso Neto Net weight kg
1-15	1	15	120	0.14	0.80	2.0	230 V 50-60 Hz	37	0.16	2.3
2-10	2	10	120	0.28	0.80	2.0	230 V 50-60 Hz	37	0.16	2.3
5-7	5	7	120	0.69	1.00	2.0	230 V 50-60 Hz	37	0.16	2.3
5-12	5	12	120	0.69	1.00	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9
8-10	8	10	120	1.11	1.40	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9
15-4	15	4	120	2.08	2.20	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9
20-3	20	3	120	2.60	2.20	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9
2-20	2	20	120	0.28	1.00	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9



Lo primero y más importante que tenemos que mirar es la relación presión-caudal.

Nosotros necesitamos alcanzar hasta los 2,5 l/h pero nunca bajando de unos 10bar de presión.

Ahora bien, sabemos que sobre todo al principio al trabajar con caudales mucho mas pequeños que este máximo, la bomba tiene que ser capaz de suministrar estos caudales y a ser posible con la mayor presión.

En principio y mirando las gráficas, la única válida parece ser la Tipo 2-20, ya que por ejemplo la 1-15 se quedaría corta en cuanto a presión cuando tuviéramos que trabajar con nuestro máximo caudal; y los demás tipos no valen porque trabajan con presiones pequeñas y caudales grandes.

Por lo tanto la 2-20 nos ofrece 20bar de presión trasegando 2 l/h, llegando a trasegar hasta 3l/h cuando este trabajando a 10bar.

El único problema lo encontramos cuando nos fijamos en el siguiente factor, los impulsos máximos por minuto. Para todos los tipos son 120 impulsos por minuto por lo que esta inyectando 2 impulsos por cada segundo. Si necesitamos bajar esa cantidad de impulsos mediante el potenciómetro manual para conseguir los caudales más pequeños al principio, los pulsos empezarán a ser notables y con ello perderemos el flujo continuo.

Otro factor que hace que nos echemos para atrás, es que mirando todos los componentes de la instalación, nos damos cuenta que los rotámetros que queremos utilizar no pueden soportar una presión maxima de trabajo de 20bar. Entonces la única solución sería mirar otro tipo de rotámetros que pudiesen trabajar hasta 20bar y que siguiesen midiendo el rango de caudales que necesitamos.

Por lo tanto, por estos dos factores, impulsos por minuto al reducir caudal y incompatibilidad con otro componente, descartamos la opción del modelo DLX (B) MA/AD.

Como esta a sido la bomba que mejores prestaciones nos a presentado en cuanto a las características de la bomba que nosotros queremos conseguir, intentamos encontrar algo parecido y para ello nos vamos a la pagina web del fabricante [www.etatron.es](http://www.etatron.es) en la cual tras una exhaustiva búsqueda y después de descargaros todos los modelos de bomba, estudiando todas sus características, llegamos a encontrar un modelo de bomba, DLX (B) MA/M, que cuenta con un sistema especial llamado HRS (High Rating System) que esta explicado a continuación junto con las principales características de la bomba.

Además, los precios que nos ofrece la empresa fabricante son bastante más económicos que los que nos ofrecia Cramix como intermediario.



Polígono Ugaldeguren, 1 - Parcela P-4-III  
 Tel.: 94-454 42 12 / Fax. 94-454 43 47  
 48.160 DERIO (VIZCAYA)  
[comercial@cramix.com](mailto:comercial@cramix.com)  
[www.cramix.com](http://www.cramix.com)

**Para: UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

**Att. SR. JESUS GARCIA**

**OFERTA Nº.: 30.298/12**

**FECHA: 23/04/12**

<b>ASUNTO:</b>	<b>PRESUPUESTO DE BOMBAS DOSIFICADORAS</b>
----------------	--

Estimado Jesús :

Como continuación a tu petición de presupuesto. en relación al asunto de referencia, adjunto nos es grato remitirte presupuesto para :

**1 – Bomba dosificadora manual ETATRON electromagnéticas ref. DLX-MA/AD para colocar en pared**

- Caudal regulable manualmente de 0 a 2 l/h
- Contrapresión máxima: 20 bar
- Caja en Polipropileno (PP) IP 65 de 190x120x150 mm
- Membrana de Teflón (PTFE)
- Alimentación: 230 Vca  $\pm 10\%$
- Consumo: 12 W.
- CABEZAL EN POLIPROPILENO

**Precio ; 397 € /Unidad**

**1 – Amortiguador antipulsaciones con cuerpo en Acero Inoxidable, y membrana en NBR , con 0,10 litros de capacidad**

**Precio ; 454 € /Unidad**

**CONDICIONES DE VENTA**

- PLAZO ENTREGA: +- 5 Semanas
- PORTES: Debidos
- IVA: 18% no incluido
- PEDIDO MINIMO: 50€
- Validez de la oferta: Dos meses
- GARANTIA DE 6 MESES CONTRA TODO DEFECTO DE FABRICACION

En la confianza de que nuestra oferta merezca tu aprobación aprovechamos la ocasión para saludarte

Muy Atentamente

Unai Amarika Santos  
**CRAMIX, S.A.**



## BOMBAS DOSIFICADORAS SERIE DLX(B) – MA/M Y DLX(B) - MA/MB

En este caso la diferencia principal, aparte de las comentadas anteriormente entre modelos DLX y DLXB, la encontramos entre los modelos M y MB, ya que el primero cuentan con la tecnología HRS y el segundo no.

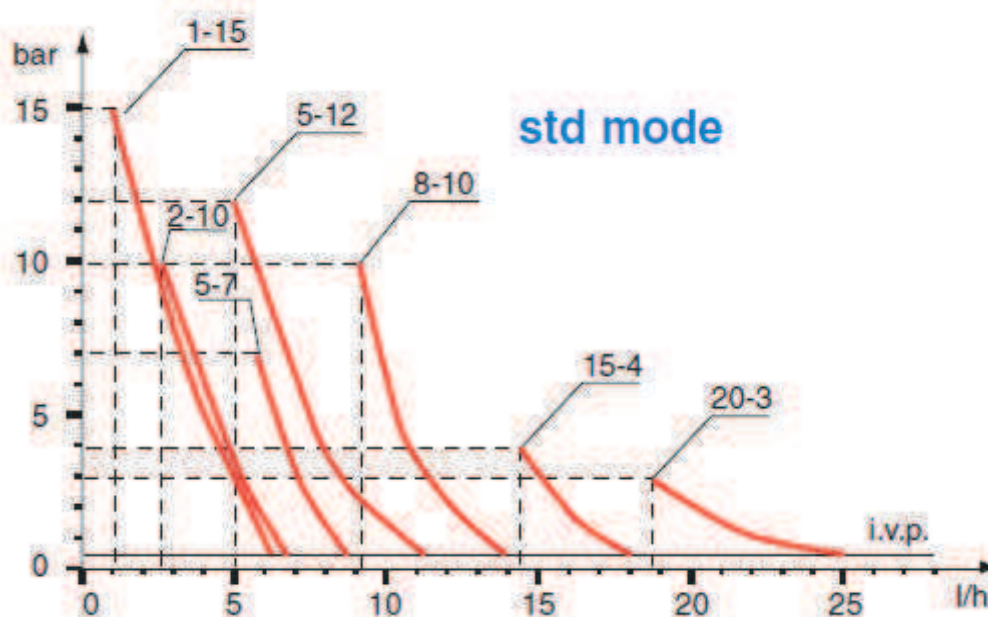
Puede verse en las figuras de la derecha, donde la primera cuenta con HRS (M) y la segunda no (MB).



Para este modelo de bombas tenemos el siguiente esquema y curvas de trabajo en modo normal sin HRS:

### CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

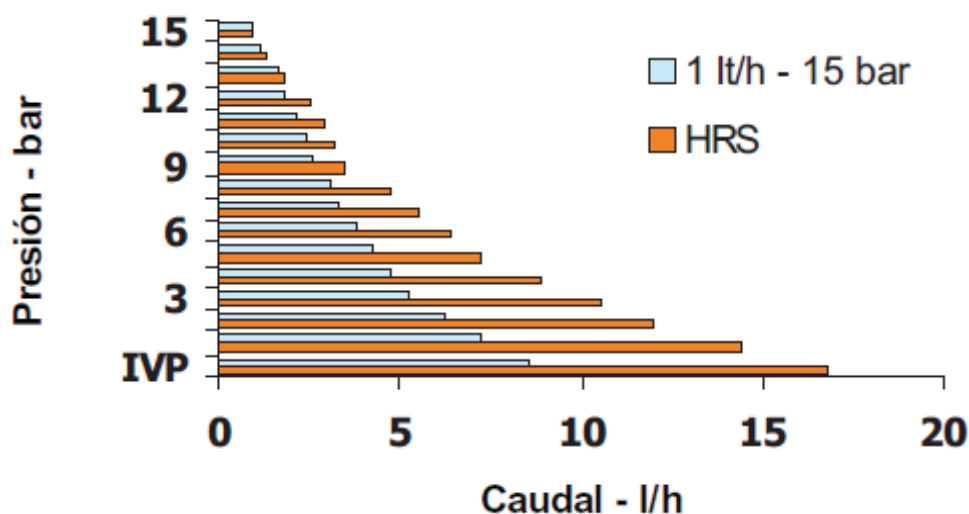
Tipo Type	Portata max Max flow	Pressione max Max press	Max imp./min. Max imp./min.	Dosaggio per imp. Output per stroke	Corsa Stroke	Altezz. aspiraz. Suction height	Aliment. elettr. standard Standard power supply	Potenza ass. Power comp.	Corrente ass. Current comp.	Peso netto Net weight
	l/h	bar		ml	mm	m	Volts - Hz	Watts	Ampere	kg
01-15	01	15	120	0.14	0.80	2.0	230 V 50-60 Hz	37	0.16	2.3
02-10	02	10	100	0.33	0.80	2.0	230 V 50-60 Hz	37	0.16	2.3
05-07	05	07	100	0.83	1.00	2.0	230 V 50-60 Hz	37	0.16	2.3
05-12	05	12	100	0.83	1.00	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9
08-10	08	10	120	1.11	1.40	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9
15-04	15	04	120	2.08	2.20	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9
20-03	20	03	120	2.60	2.20	2.0	230 V 50-60 Hz	58	0.25	2.9



La bomba puede obrar, además de el modo estándar, también en modalidad HRS. La nueva tecnología (High Rating System) patentada de ETATRON D.S., permite ampliar el campo de funcionamiento de la bomba. **Con la impostación de la presión de trabajo dentro de parámetros preestablecidos, la bomba regula la erogación de la potencia optimizando el valor del caudal. Valor éste que es visualizado sobre la pantalla** y que puede ser regulada con un intervalo de 0,1 l/h. La diferencia con las bombas tradicionales está en un incremento de las prestaciones de la bomba, en función de la presión y una ampliación del rango de funcionamiento, también en presencia de fluidos con valores de viscosidad y densidades mayores de 1g/cm<sup>3</sup>. En los gráficos están representados los valores de caudal en función de la presión en la modalidad de funcionamiento estándar y en modo HRS.

En principio a nosotros sólo nos interesaría la serie 1-15 de este modelo de bomba ya que las demás no dan las características que nosotros necesitamos, siendo las presiones muy bajas y los caudales muy grandes.

La gráfica que mostramos a continuación muestra más a fondo un gráfico en forma de barras, no solo de como trabaja la serie 1-15 en cuanto a presiones y caudales, sino también de como funciona y que prestaciones tiene la bomba cuando activamos la función HRS.



Los valores de caudal que se pueden conseguir con el HRS visibles en la gráfica y que vienen expresos en litros/horas en la tabla sobre el panel de la bomba, han sido conseguidos usando agua a temperatura 25°C por valores de presiones que varían a intervalos de 1 bar.

Para tener una dosificación precisa con líquido de diferente viscosidad, densidad o valores de presión de instalación diferentes de aquéllos programados es posible efectuar la calibración de caudal (explicada en el manual de la bomba).

Aquí observamos pues el funcionamiento de la función del HRS, en comparación con los valores nominales de la bomba trabajando en un estado normal.

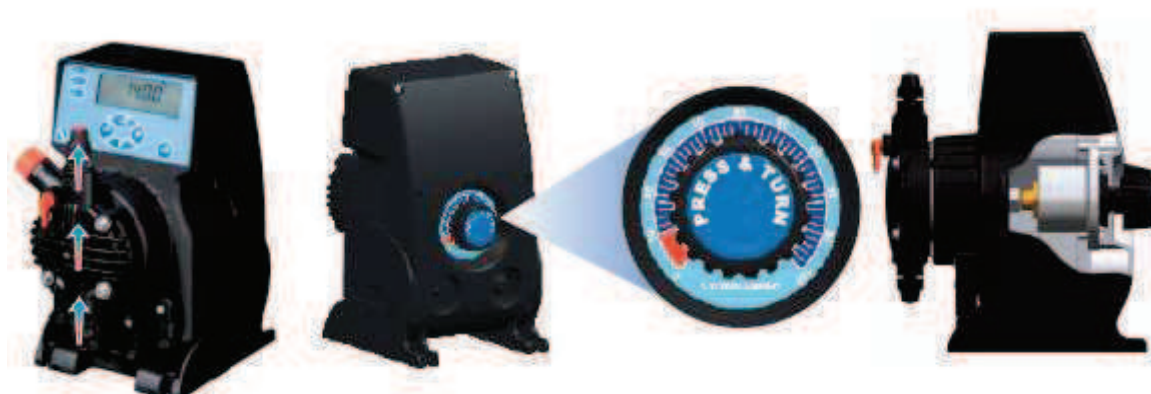
Como vemos el HRS permite a la bomba aumentar el caudal de trasiego hasta un valor máximo en un momento determinado, manteniendo la presión constante con la que estaba funcionando en modo normal.

Cuanto más bajas sean las presiones mayor variación de caudal existe entre modo normal y modo HRS.

En el caso de nuestra aplicación y nuestras necesidades, esta bomba nos ofrece una presión de 15bar trasegando un caudal de 1 l/h, que es la cantidad mínima que usaremos al comienzo de la inyección de agua. En el caso que necesitemos inyectar nuestro caudal máximo, unos 2,5 l/h, la bomba en estado normal ronda los 10 bar, pero activando la función HRS podemos trasegar ese máximo caudal con 12bar, que nos garantiza una presión mas que suficiente para una excelente pulverización.

En cuanto a las pulsaciones por minuto la serie 1-15 trabaja con 120 pulsaciones por minuto por lo que será suficiente para estar suministrando un caudal mas o menos continuo.

También, en la bomba se incluye un regulador mecánico de la embolada, el cual permite cerrar o abrir más la entrada a la bomba, y con esto regular el caudal que trasiega por cada pulso, dando mucho juego para poder experimentar con la bomba.



La bomba esta predispuesta tanto para el control del nivel como de alarma del flujo (excluida la sonda).

En conclusión, podemos decir que la serie 1-15 del modelo DLX(B) – MA/M es una bomba adecuada para nuestra aplicación de inyección de agua ya que cumple los 3 factores principales que debemos tener en cuenta en la selección de la bomba, caudales, presiones e impulsos por minutos.



**ETATRON DOSIFICACION Y MEDICION S.L.**

Avda. Letxumborro Nº 83 - Pab 6

20305 - IRUN (Gipuzkoa)

C.I.F. / N.I.F.: B75041988

Tfno.: 902.099.321 - Fax: 943.090.312

etatron@etatron.es

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA. Dpto. Ingeniería  
Mecánica  
Área de Máquinas y Motores Térmicos.  
C/María de Luna s/n (Ed. Betancourt)  
50018 - Zaragoza  
Zaragoza

C.I.F. / N.I.F.: Q5018001G N° Cliente: 9438

## PRESUPUESTO

**Nº Presupuesto**

2.478

**Fecha**

14/05/2012

**Contacto Cliente:**

Contacto: Jesús García Beatove

**Página:**

1 de 2



**CÓDIGO**

**CANTIDAD**

**PRECIO UNITARIO**

**IMPORTE**

ET-PLX2422201

1,00

219,39

219,39

BOMBA CONSTANTE DIGITAL 1 L/H - 15 BAR

Bomba Dosificadora Digital con Regulación del caudal del 0 al 100%, con doble escala y alimentación 220v.

Características:

- Protección IP65. Carcasa en plástico Reforzado con Fibra de Vidrio.
- Doble Escala de trabajo.
- Válvulas Standard Vitón. 5 AntiRetornos.
- Purga Manual. Accesorios para Montaje en Pared.
- Control de Nivel (opcional), ó Pie (opcional).

#Dentro de la gama anterior, podemos suministrar bombas con:

- Sonda de Nivel para Bomba (ET-2139002).
- Pie de bomba para Ensamblado (ET-DCE0006401).
- Juntas en EPDM.
- Tensiones de trabajo: 12/24v.



**CÓDIGO**

**CANTIDAD**

**PRECIO UNITARIO**

**IMPORTE**

CE0006401+DTP00C

1,00

26,33

26,33

PIE PARA BOMBAS + TAPON PARA PIE BOMBAS (ET-DTP0005501)

**CÓDIGO**

**CANTIDAD**

**PRECIO UNITARIO**

**IMPORTE**

1,00

48,00

48,00

(800) Reg. Carrera

## Rotámetro

Como se comenta en la Memoria, hay tres factores principales a la hora de buscar y seleccionar un rotámetro, como son los rangos de caudales que pueden medir, la precisión en las medidas, y la máxima presión de trabajo que soportan.

La empresa con la que el departamento ya tenía contacto y había realizado pedidos anteriormente se llama **Krohne**.

El primer modelo que se estudió y que parecía sería el definitivo es el siguiente:

### DK800/R

Rotámetro de tubo de vidrio y cuerpo de acero inoxidable

Precisión:	2,5 %
Rango caudales:	0,25 – 2,5 l/h
Presión máxima:	10 bar
Tª máxima:	-5 – 100°C



Al principio cumplía con nuestras necesidades, buena precisión, rangos de caudal como de temperatura correctos, y podía soportar hasta 10 bar que era la presión mínima que necesitábamos si queríamos pulverizar bien.

Finalmente como la bomba que se escoge trabaja hasta los 15 bares es inviable esta opción y por lo tanto el comercial nos indica el siguiente tipo de rotámetros válidos para nuestras nuevas condiciones.

### DK32

Rotámetro de tipo armado

Precisión:	4 %
Rango caudales:	0,25 – 2,5 l/h
Presión máxima:	150 bar
Tª máxima:	-80 – 200°C



Este modelo, aunque menos preciso, cumple más que de sobra todos los límites tanto de caudal, presión y temperaturas.

I.I.KROHNE Iberia, Polígono Industrial Nilo - Calle Brasil nº5, 28806 Alcalá de Henares  
(Madrid) - España

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA  
C/ MARIA DE LUNA S/N  
(ED BETANCOURT)  
50018 ZARAGOZA  
Spain

Ventas Externas

Jorge Matellano

Tfn: 0034 91 8832152

Fax: 0034 91 8834854

Correo [j.matellano@krohne.com](mailto:j.matellano@krohne.com)

Contacto Jesús García  
Teléfono 976 761 000 Ext. 5082  
Correo [jesus.g20@hotmail.com](mailto:jesus.g20@hotmail.com)

Ventas Internas

Adrián Hernández

Tfn: 0034 91 8832152

Fax: 0034 91 8834854

Correo [a.hernandez@krohne.com](mailto:a.hernandez@krohne.com)

Código cliente: 001225410  
CIF del cliente: Q5018001G  
Nuestro CIF: B80611601

Alcalá de Henares, 06.03.12

OFERTA	:	410 – 006756 / OD-1.1-39495/A/M
su solicitud	:	
Su Ref.	:	

Estimado/a Sr./Sra.

Apreciamos su interés en nuestros productos. Ofertamos bajo nuestros términos generales y condiciones.

Un Saludo

I.I. KROHNE Iberia, S.L.u

Este documento fue generado automáticamente y es válido sin la firma.

OFERTA  
Oferta nº 410 - 006756

Página 2  
Fecha: 06.03.12

Posición	Artículo	Cantidad	QU	Precio	PU	Descuento	Importe
----------	----------	----------	----	--------	----	-----------	---------

10		1	ud	225,25 EUR	ud		225,25 EUR
----	--	---	----	------------	----	--	------------

medidor de área variable KROHNE  
 tipo DK800/R  
 bloque de conex.sup.e i acero inoxidable  
 conexión 1/4" NPT  
 parametRO PED PED/G1/3.3/SEP  
 Gas / líquido  
 presión máx. PS [bar] 10  
 temperatura máx del proceso sin opciones K.  
 TS [°C] 100  
 válvula de precisión 1.0 mm  
 cono de medida 9.970  
 longitud del vidrio 100 mm  
 juntas FPM/PTFE  
 flotador de bola ac.inox. 1.4401 (316)  
 4 mm  
 Manual de instrucciones Inglés  
 APPLICATION DATA  
 Producto Agua  
 Densidad 997.05 Kg/m3  
 Viscosidad 0.89 mPa s  
 Temperatura 20 °C  
 Presión 8 bar g  
 Rango de medida 0.25 ... 2.5 L/h  
 VG34041U010110000000003

Plazo de entrega Dias

Código de producto	90261081
País de Origen	Germany
Shipment Warehouse	Germany

Importe neto total 225,25 EUR

IVA (18%) 40,55 EUR

El valor total designado no contiene ningún artículo alternativo.

Envío y Pago:

Envío	CPT (Carriage paid to) including Packaging
Embalaje	Estándar incluido
Pago	30 días f.f.
Oferta válida hasta	03.06.2012
Plazo de entrega	4 – 6 semanas aprox.

Unidades de Cantidad (UC): pcs = piezas ro = bobina set = set km = kilómetro mm = milímetro Precio Unitario (PU): 2 = 10 4 = 1000  
 m = metro l = litro h = hora kg = kilogramo 3 = 100 5 = 10000

I.I. Krohne Iberia, S.L.U., Polígono Industrial Nilo, Calle Brasil nº 5, 28806 Alcalá de Henares, Madrid, España • Tel. +34 91 883 215 2, Fax: +34 91 883 485 4  
 www.krohne.com • Sociedad inscrita en el Registro Mercantil de Madrid, Tomo: 6368, Libro: 0, Folio: 141, Hoja: M-103.817, Inscripción 1ª  
 N.I.F. B80811601 – Sociedad Unipersonal

OFERTA  
Oferta nº 410 - 006756

Página 3  
Fecha: 06.03.12

Posición	Artículo	Cantidad	QU	Precio	PU	Descuento	Importe
----------	----------	----------	----	--------	----	-----------	---------

La garantía del equipo es aplicable durante 12 meses desde la puesta en marcha ó 18 meses desde el envío. Esto cubre bienes y el coste de horas de trabajo necesarias para reparar el instrumento defectuoso por nuestro taller. Las partes separadas y los bienes de consumo no son cubiertos por ninguna garantía. Cualquier elemento que no esté incluida en nuestra oferta no estará cubierta por la garantía.

La elección de los materiales con respeto a la resistencia del medio es responsabilidad del usuario.  
Las directrices de la UNIÓN EUROPEA existentes N°. 2580/2001 y EG N° 881/2002 (La regulación de Anti-terrorismo) han de ser consideradas.

Unidades de Cantidad (UC): pcs = piezas ro = bobina set = set km = kilómetro mm = milímetro Precio Unitario (PU): 2 = 10 4 = 1000  
m = metro l = litro h = hora kg = kilogramo 3 = 100 5 = 10000

I.I. Krohne Iberia, S.L., Polígono Industrial Nilo, Calle Brasil nº 5, 28806 Alcalá de Henares, Madrid, España • Tel. +34 91 883 215 2, Fax: +34 91 883 485 4  
www.krohne.com • Sociedad inscrita en el Registro Mercantil de Madrid, Tomo: 6368, Libro: 0, Folio: 141, Hoja: M-103.817, Inscripción 1ª  
N.I.F. B80811601 – Sociedad Unipersonal

I.I.KROHNE Iberia, Polígono Industrial Nilo - Calle Brasil nº5, 28806 Alcalá de Henares  
(Madrid) - España

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA  
C/ MARIA DE LUNA S/N  
(ED BETANCOURT)  
50018 ZARAGOZA  
Spain

Ventas Externas

Jorge Matellano

Tfn: 0034 91 8832152

Fax: 0034 91 8834854

Correo [j.matellano@krohne.com](mailto:j.matellano@krohne.com)

Contacto Jesús García  
Teléfono 976 761 000 Ext. 5082  
Correo [jesus.g20@hotmail.com](mailto:jesus.g20@hotmail.com)

Ventas Internas

Adrián Hernández

Tfn: 0034 91 8832152

Fax: 0034 91 8834854

Correo [a.hernandez@krohne.com](mailto:a.hernandez@krohne.com)

Código cliente: 001225410  
CIF del cliente: Q5018001G  
Nuestro CIF: B80611601

Alcalá de Henares, 14.05.12

OFERTA	:	410 – 006756 / OD-1.1-39495/A/M
su solicitud	:	
Su Ref.	:	

Estimado/a Sr./Sra.

Apreciamos su interés en nuestros productos. Ofertamos bajo nuestros términos generales y condiciones.

Un Saludo

I.I. KROHNE Iberia, S.L.u

Este documento fue generado automáticamente y es válido sin la firma.

OFERTA  
Oferta nº 410 - 006756

Página 2  
Fecha: 14.05.12

Posición	Artículo	Cantidad	QU	Precio	PU	Descuento	Importe
----------	----------	----------	----	--------	----	-----------	---------

10		1	ud	446,25 EUR	ud		446,25 EUR
----	--	---	----	------------	----	--	------------

medidor de área variable KROHNE  
 tipo DK32  
 material ac.inox. 1.4404 (316 L)  
 conexión 1/4" NPT  
 Conexión medida 90mm  
 cono de medida K 010  
 flotador ac.inox. 1.4571 (316 ti)  
 válvula de precisión 1.0mm  
 Juntas FPM/PTFE  
 parametro PED PED/G1/3.3/SEP  
 Gas / líquido  
 presión máx PS [bar] 130  
 temperatura máx.del proceso sin opciones K.  
 TS [°C] 150  
 max.Prueba de presión  
 PT max.[bar] 202  
 Manual de instrucciones Inglés  
 APPLICATION DATA  
 Producto Water  
 Densidad 997.05 Kg/m3  
 Viscosidad 0.89 mPa s  
 Temperatura 20 °C  
 Presión 8 bar g  
 Rango de medida 0.25 ... 2.5 L/h  
 VG46011021000000000000003

#### Plazo de entrega Dias

Código de producto	90261081
País de Origen	Germany
Shipment Warehouse	Germany

Importe neto total 446,25 EUR

IVA (18%) 80,33 EUR

El valor total designado no contiene ningún artículo alternativo.

#### Envío y Pago:

Envío	CPT (Carriage paid to) including Packaging
Embalaje	Estándar incluido
Pago	30 días f.f.
Oferta válida hasta	03.06.2012
Plazo de entrega	4 – 6 semanas aprox.

Unidades de Cantidad (UC): pcs = piezas ro = bobina set = set km = kilómetro mm = milímetro Precio Unitario (PU): 2 = 10 4 = 1000  
 m = metro l = litro h = hora kg = kilogramo 3 = 100 5 = 10000

I.I. Krohne Iberia, S.L.U., Polígono Industrial Nilo, Calle Brasil nº 5, 28806 Alcalá de Henares, Madrid, España • Tel. +34 91 883 215 2, Fax: +34 91 883 485 4  
 www.krohne.com • Sociedad inscrita en el Registro Mercantil de Madrid, Tomo: 6368, Libro: 0, Folio: 141, Hoja: M-103.817, Inscripción 1ª  
 N.I.F. B80811601 – Sociedad Unipersonal

OFERTA  
Oferta nº 410 - 006756

Página 3  
Fecha: 14.05.12

Posición	Artículo	Cantidad	QU	Precio	PU	Descuento	Importe
----------	----------	----------	----	--------	----	-----------	---------

La garantía del equipo es aplicable durante 12 meses desde la puesta en marcha ó 18 meses desde el envío. Esto cubre bienes y el coste de horas de trabajo necesarias para reparar el instrumento defectuoso por nuestro taller. Las partes separadas y los bienes de consumo no son cubiertos por ninguna garantía. Cualquier elemento que no esté incluida en nuestra oferta no estará cubierta por la garantía.

La selección de materiales asociados a la combinación de las propiedades del fluido de proceso, a la operación de proceso y al ambiente, es responsabilidad exclusiva del usuario.

Se deben tener en consideración las directrices actuales de la UE, nº 2580/2001 y EG nº 881/2002 (regulaciones contra el terrorismo).

Unidades de Cantidad (UC): pcs = piezas ro = bobina set = set km = kilómetro mm = milímetro Precio Unitario (PU): 2 = 10 4 = 1000  
m = metro l = litro h = hora kg = kilogramo 3 = 100 5 = 10000

I.I. Krohne Iberia, S.L., Polígono Industrial Nilo, Calle Brasil nº 5, 28806 Alcalá de Henares, Madrid, España • Tel. +34 91 883 215 2, Fax: +34 91 883 485 4  
www.krohne.com • Sociedad inscrita en el Registro Mercantil de Madrid, Tomo: 6368, Libro: 0, Folio: 141, Hoja: M-103.817, Inscripción 1ª  
N.I.F. B80611601 – Sociedad Unipersonal