

2.1 EL SISTEMA RENTADOR VENTURI (VENTURI '*SCRUBBER*')

2.1.1 PRINCIPIS D'OPERACIÓ I APLICACIONS

Els rentadors venturi són equips industrials, la finalitat dels quals és l'eliminació de petites partícules de corrents gasosos. Les primeres aplicacions reconegudes d'aquests dispositius daten de l'any 1947, on eren utilitzats en la neteja dels gasos provenint del procés Kraft en la fabricació del paper (Ekman i Johnstone, 1951). La seva posterior popularització fou deguda a la seva elevada eficiència així com la seva simplicitat.

L'esquema bàsic del rentador tipus venturi és mostrat en la figura 2.1.1. Consisteix bàsicament en un tub, de secció transversal circular o rectangular, que presenta tres trams diferenciats: una zona on el diàmetre disminueix progressivament (tram convergent), una zona de canonada recta (coll) i una zona on el diàmetre de la canonada augmenta progressivament (tram divergent o difusor).

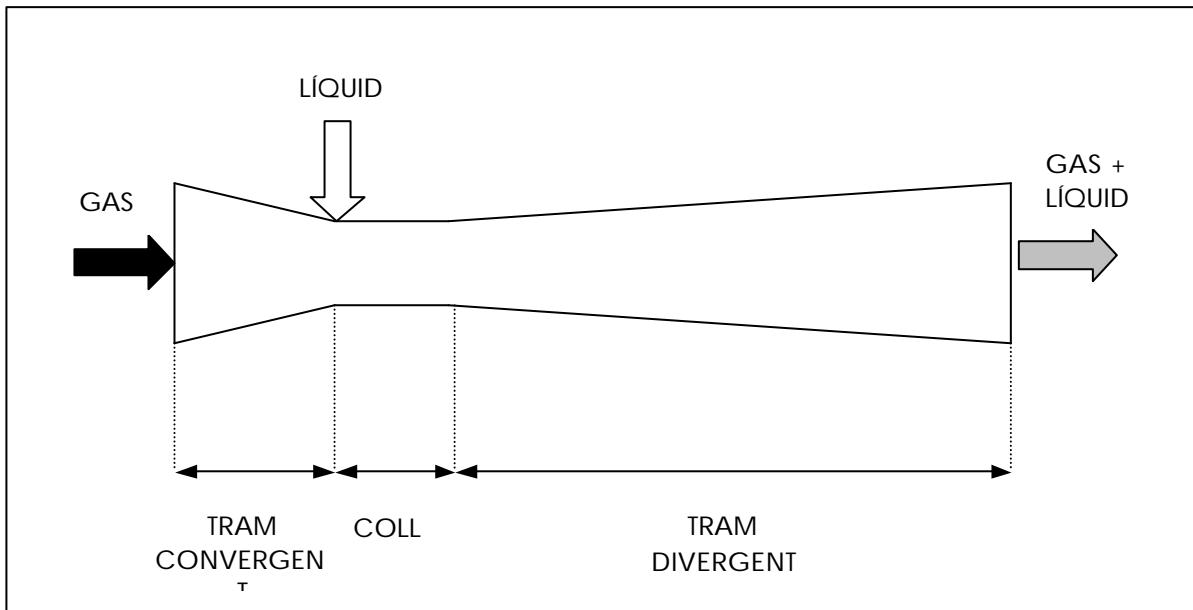


Figura 2.1.1: Esquema típic d'un rentador tipus venturi

El gas que conté l'agent contaminant és accelerat inicialment. A causa de l'estrenyiment de la zona convergent, assoleix la seva màxima velocitat en el coll, i és desaccelerat en la secció divergent. El líquid és introduït a l'equip, normalment a l'entrada del coll, en forma de jet. L'elevada energia del gas és responsable de la ràpida atomització del líquid, el qual és transformat en un esprai, amb gotes que presenten una distribució de grandària que pot oscil·lar entre 10 i més de 500 μ m. Aquesta depèn de les condicions operatives (cabals) i de les propietats del líquid injectat (Atkinson i Strauss, 1978). Les gotes són arrossegades pel gas des del seu origen, on la seva velocitat és pràcticament nul·la, fins a la sortida, on la velocitat del gas i de les gotes és gairebé la

mateixa. Posteriorment les gotes són separades del corrent gasós mitjançant un separador tipus cicló.

L'aspecte més negatiu que presenten aquests sistemes és l'elevada pèrdua de pressió que requereixen per tal d'obtenir eficàcies d'eliminació de contaminants acceptables (Cheremisinoff, 1993). Durant el pas del gas pel coll, es produeix un augment de l'energia cinètica, a costa d'una pèrdua de pressió. Teòricament aquesta hauria de ser recuperada en el difusor, però les pèrdues per fregament i d'altres tipus que s'explicaran més endavant, fan que no es recuperi tota la pressió perduda. Molts sistemes tipus venturi 'scrubber' permeten ajustar l'àrea del coll i per tant la pèrdua de pressió del sistema (Viswanathan, 1998b). Tot i aquest inconvenient, els rentadors basats en l'efecte venturi són dels més eficaços dins de la categoria de rentadors humits, excepte quan treballen a baixa pèrdua de pressió.

Els sistemes venturi 'scrubber' són classificats en tres categories depenent de la pèrdua de pressió permanent que experimenten (Azzopardi, 1992):

~~☞~~ Baixa energia: $\Delta P < 250$ mm de columna d'aigua (2,4 KPa)

~~☞~~ Mitjana energia: $250 < \Delta P < 500$ mm cda. (2,4-4.9 KPa)

~~☞~~ Alta energia: $\Delta P > 500$ mm cda. (4.9 KPa)

Els venturi 'scrubbers' d'alta energia poden assolir rendiments del 98 % per a partícules de 1 μ m de diàmetre (Oliveira i Coury, 1996). Les velocitats de pas del gas pel coll acostumen a ser d'entre 50 i 150 m/s, i els cabals de líquid injectat acostumen a oscil·lar entre 0.5 i 2 litres per cada 1000 m³ de gas.

L'eficàcia d'eliminació de partícules augmenta en incrementar-se el cabal de líquid i la velocitat del gas per a una determinada geometria i

càrrega de material particulat. Val a dir, però, que un augment de qualsevol dels corrents porta associat un augment de la pèrdua de pressió i, per tant, un major consum energètic.

Els venturi '*scrubbers*' utilitzats com a captadors de partícules són reemplaçables per altres dispositius industrials prou coneguts com els precipitadors electrostàtics i els filtres de roba. Cap d'aquests dispositius presenta millors característiques de funcionament que els altres per a totes les possible condicions de treball que es poden trobar a nivell industrial. La taula 2.1.1 mostra una comparativa entre els tres dispositius esmentats.

El sistema venturi 'scrubber' presenta una característica que el diferencia de la resta d'absorbidors humits, ja que permet l'eliminació simultània de partícules i de contaminants químics. Aquesta peculiaritat el fa especialment atractiu, ja que la combinació d'aquests dos tipus de contaminants atmosfèrics sovinteja en gran part d'instal·lacions susceptibles d'emetre algun tipus d'agent nociu a l'atmosfera. Mentre que l'aplicació del sistema rentador venturi en l'eliminació de pols i aerosols ha estat àmpliament estudiada (Ekman i Johnstone, 1951; Brink i Contant, 1958; Boll, 1973; Hesketh, 1974; Sparks *et al.*, 1981 i Allen, 1996 entre d'altres), l'eliminació de contaminants químics ha rebut molta menys atenció, destacant alguns treballs com els d'Uchida i Wen (1973), Ravindram i Pyla (1985), Cooney, 1987; Hills (1995) i Hills *et al.* (1996). L'obtenció d'eficàcies d'eliminació de partícules elevades, juntament amb la reducció de les emissions de contaminants químics en sistemes venturi 'scrubber' no serà un objectiu trivial. Mentre que per a l'eliminació de matèria particulada es requereixen elevades pèrdues de pressió i, per tant, elevades velocitats per al gas, en l'absorció de contaminants químics cal arribar a una velocitat òptima, que faciliti l'atomització del líquid, però que a la vegada asseguri un temps de residència adient per al correcte desenvolupament dels processos químics.

2.1.1 SISTEMES D'INJECCIÓ DEL LÍQUID

Existeixen quatre mecanismes bàsics d'injecció del líquid en un rentador venturi:

?? Injecció radial cap endins

?? Injecció radial cap enfora

?? Injecció de parets mullades o d'aproximació humida

?? Injecció axial

Aquests mecanismes són esquematitzats en la figura 2.1.1.

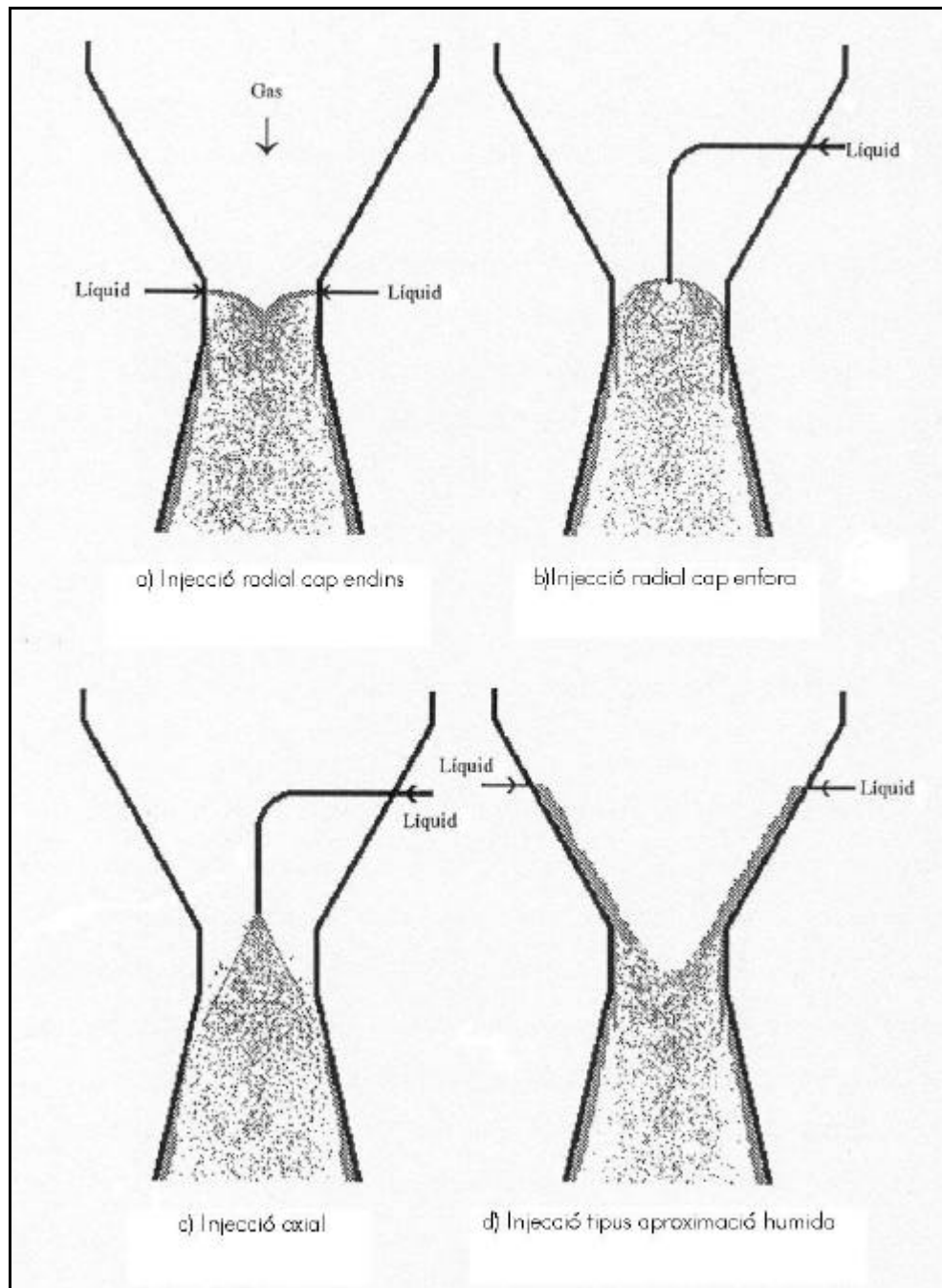


Figura 2.1.2: Sistemes d'injecció del líquid per al sistema venturi 'scrubber'

El més utilitzat és el d'injecció radial cap endins (Viswanathan *et al.*, 1983 i 1984; Haller *et al.*, 1989; Ananthanarayanan i Viswanathan, 1999). En ell el líquid és introduït mitjançant una sèrie d'orificis situats en les parets de la zona convergent (o a l'inici del coll) del tub venturi. El líquid forma un jet que inicialment es mou en direcció radial, cap al centre de la canonada. Mitjançant mecanismes que seran descrits posteriorment, el jet de líquid és atomitzat, transformant-se en un núvol de petites gotes. Una fracció d'aquestes gotes es diposita en les parets, formant una pel·lícula de líquid. Els rentadors venturi amb aquest tipus d'injecció de líquid són coneguts popularment com venturi 'scrubbers' tipus Pease-Anthony.

En el sistema d'injecció de parets mullades, utilitzat per Azzopardi i Govan (1984) i Azzopardi *et al.* (1989) entre d'altres, el líquid és introduït a l'entrada de la secció convergent del tub venturi, en un sobreexidor que vessa el líquid continuament. Aquest líquid simplement circula per les parets de la zona divergent en forma de pel·lícula. A diferència de la resta de sistemes d'injecció, no s'observa l'aparició del jet. En entrar a la zona del coll, una part del líquid no continua adherida a la paret a causa dels canvis bruscos de direcció, desprenent-se de les parets i essent ràpidament atomitzada. La fracció de líquid que no és atomitzada inicialment, continua circulant pel coll, on els elevats esforços de tall provocats per l'elevada velocitat en què circula el gas, produeixen una continua atomització d'aquesta fracció. Aquest tipus d'injecció és molt adequat per a la circulació de gasos amb elevats continguts de pols i materials enganxosos.

Els altres tipus de sistemes d'injecció han estat menys utilitzats. En ambdós casos, una única canonada insereix el líquid a l'interior del tub venturi, en un punt localitzat sobre l'eix central del sistema i proper a l'inici del coll. L'objectiu és aconseguir un cobriment total d'aquest per

part del líquid. En el tipus d'injecció radial cap enfora, el líquid surt per petits orificis situats en les parets laterals del tub, presentant una direcció inicial radial i un sentit des del centre cap a les parets del tub venturi. Per contra, en el tipus d'injecció axial, el líquid és injectat per la part inferior del tub, formant un únic jet amb una direcció inicial axial, i en el mateix sentit que el gas a rentar. Alguns treballs on s'ha emprat aquest darrer sistema corresponen a Leith *et al.* (1985b) i Muir i Kuye (1986).

La fracció de líquid atomitzada varia segons el sistema d'injecció, i per tant la distribució de diàmetres de gotes formades variarà d'un sistema a l'altre. Observant una secció transversal de l'equip en un punt proper al d'injecció de líquid, veurem un marcat perfil de concentració de gotes, variant des de regions d'alta densitat de gotes fins a regions que pràcticament no en contenen. Cada mètode d'injecció de líquid presenta un perfil de concentració de gotes característic. Després d'una curta distància a partir del punt d'injecció, el perfil de concentració de gotes esdevé pràcticament uniforme. Per contra, en la regió propera al punt d'injecció, el perfil és variable, ja que en aquesta regió les velocitats relatives entre les gotes i les partícules són les més grans. Així doncs, el mètode d'injecció que garanteixi una elevada concentració de gotes, uniformement distribuïdes en el tub venturi, serà el més adequat per al rentat del corrent gasós.