

6.3 RESULTATS I DISCUSSIÓ

6.3.1 ESTUDI ESTADÍSTIC DELS RESULTATS

Donada la gran quantitat d'informació experimental de què es disposa, resulta convenient plantejar la discussió dels resultats mitjançant tècniques estadístiques que permetin una visió objectiva dels fenòmens observats. Amb aquestes tècniques, hom pot preveure des d'un punt de vista fenomenològic els efectes qualitatius de les diferents configuracions geomètriques assajades, així com de les condicions operatives emprades, descrites en el capítol 6.2.

No es té constància de cap estudi d'absorció en '*scrubbers*' en general que utilitzin la tècnica de les superfícies de resposta per a la determinació de les condicions òptimes de disseny i d'operació, tot i que com es comentarà posteriorment, la informació que subministren és clara i concisa.

La informació obtinguda serà seccionada per tal d'estudiar la influència de tres característiques del sistema, en l'eficàcia d'eliminació de contaminants:

- /// Tipus de configuració emprada.
- /// Tipus de gas contaminant a absorbir.
- /// Característiques geomètriques de l'atomitzador i el coll del venturi.

6.3.1.1 INFLUÈNCIA DE LA CONFIGURACIÓ EN EL RENDIMENT D'ABSORCIÓ

Donat que els processos d'absorció portats a terme en els sistemes venturi '*scrubber*' són efectuats en temps de residència molt breus, va semblar convenient estudiar la influència d'utilitzar modificacions de la configuració bàsica (la 1 segons descrit en el capítol 4.2). En aquestes, la llargada del reactor venturi fou duplicada o escurçada, permetent també la injecció de líquid en dues posicions axials.

La influència de la configuració en el rendiment d'absorció fou assajada pel SO₂ i pel NH₃, amb la variació dels paràmetres operatius corresponent a la mostrada a les taules 6.2.1 i 6.2.2. Per al H₂S només s'experimentà amb les configuracions 1 i 4 i els seus resultats seran comentats posteriorment.

Partint del fet que el model estadístic emprat és el de superfícies de resposta quadràtica, a la taula 6.3.1 es mostren els coeficients dels models per a cada gas i configuració. Cal recordar que aquests models presenten la forma:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^K \beta_i X_i + \sum_{i=1}^K \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{K-1} \sum_{j=i+1}^K \beta_{ij} X_i X_j \quad (6.3.1)$$

on:

- y : Variable resposta ? Rendiment d'Absorció
- X_1 : Factor 1 ? Concentració inicial del gas a absorbir
- X_2 : Factor 2 ? Cabal de gas portador
- X_3 : Factor 3 ? Cabal de líquid absorbent
- K : Nombre de factors

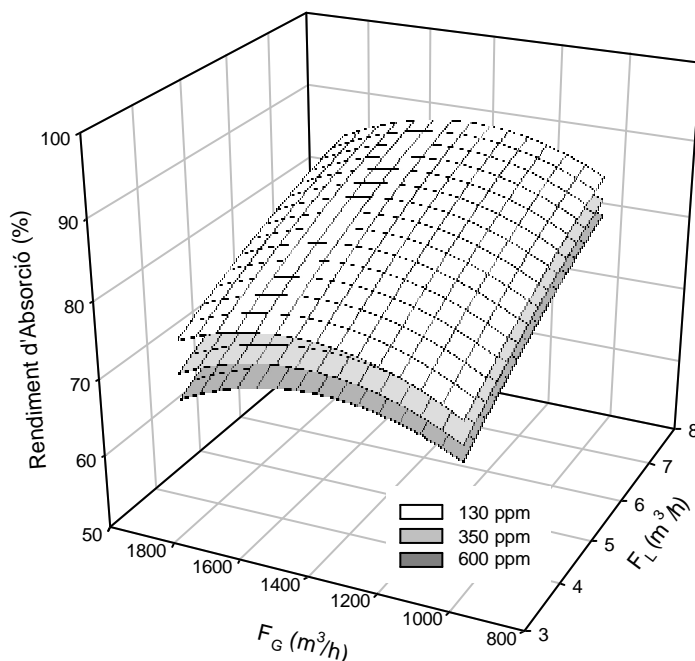
És fàcil adonar-se que en cap dels models avaluats apareix el terme independent β_0 . Això es deu al fet que durant el càlcul de les regressions multivariables efectuades s'observà una millora molt important en el coeficient de regressió quan l'esmentat terme no és inclòs. Aquest fet és desitjable des del moment que indica una variabilitat en la resposta íntegrament determinada pels factors estudiats.

Destaquen en gran mesura els excel·lents coeficients de regressió determinats, essent com a mínim (el seu quadrat) de 0.9997. A la vegada, les desviacions estàndard de les estimacions fetes pel model no superen en cap cas el 2%, essent aquesta precisió la mateixa en totes les direccions del disseny experimental plantejat (recordar que el disseny d'experiments emprat porta associada la característica de la rotabilitat).

Probablement no té molt sentit comparar els coeficients obtinguts per a una mateixa configuració i per als dos gasos, ja que els rangs de concentració emprats són molt diferents. Tot i això, hi ha certes similituds quant a l'aparició de determinats termes com a no significatius gairebé en tots els casos. Aquest és el cas dels coeficients corresponents a les interaccions entre dos factors (β_{12} , β_{13} i β_{23}) els quals gairebé mai són significatius estadísticament. Pel cas de la interacció entre la concentració inicial de gas i el cabal de líquid (β_{13}), només és significatiu en una ocasió en tots els models avaluats. També pot resultar sorprenent el fet que, per l'amoniac i la configuració 3, la concentració inicial del gas no té cap efecte en el rendiment d'absorció per al rang estudiat, tal i com mostren els termes β_1 i β_{11} . Aquest fet serà raonat posteriorment, però cal recordar que les concentracions d'amoniac emprades foren inferiors a les utilitzades en els assaigs realitzats amb diòxid de sofre, i en un rang molt estret.

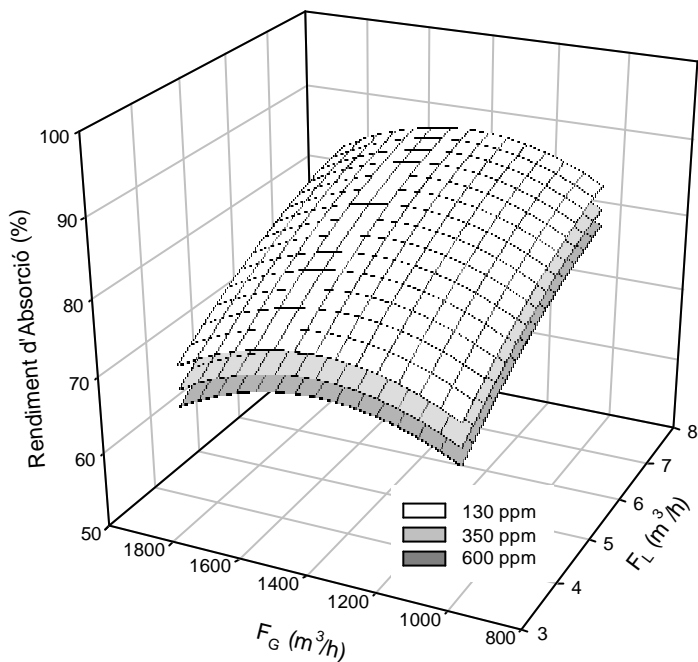
Una altra coincidència a destacar és el fet que per a la configuració 2, cap dels dos gasos estudiats presenta termes significatius en les interaccions, és a dir, els termes lineals i quadràtics dels factors individuals expliquen perfectament la variació de la resposta. Possiblement això sigui una simple coincidència, ja que la majoria dels models només presenten un únic coeficient per a les interaccions, no havent-hi a priori cap fenomen que afavoreixi l'aparició d'interaccions entre variables. En cap cas s'ha determinat algun coeficient corresponent a les interaccions que tingui un grau de significació major que el dels factors individuals que el componen.

Més enllà d'estudiar la informació que subministren els coeficients del model en si, resulta més interessant representar de forma gràfica l'ajust de la resposta per discutir l'efecte dels factors en les diferents configuracions. Així, els gràfics 6.3.1 al 6.3.8 mostren els rendiments d'absorció per a tres concentracions inicials de gas contaminant diferents (incloent-hi els valors màxims i mínims estudiats en cada cas). Els valors de F_L representats estan compresos entre 2.5 i 7.3 m^3/h . Malgrat que per a la configuració 3 s'estudiaren valors superiors, aquests foren els valors màxims i mínims que permeté la instal·lació per a la resta de configuracions. Pel que fa a F_G , els valors representats estan compresos

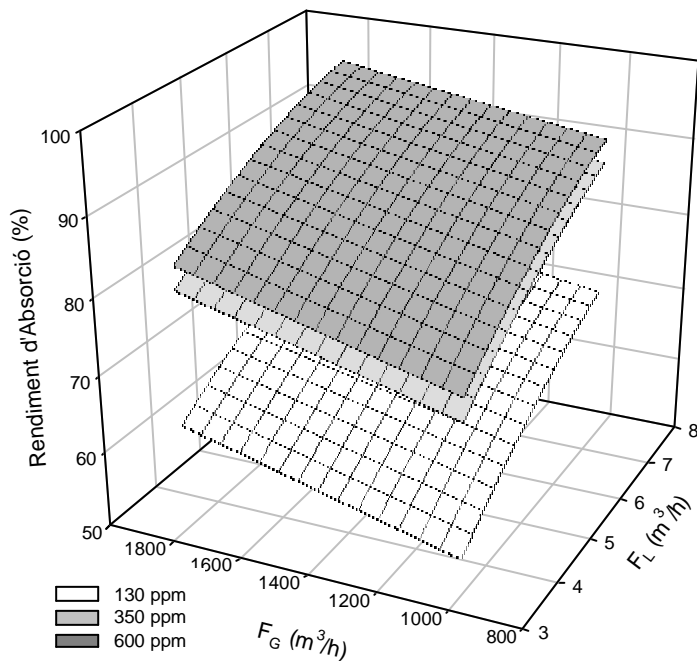


entre 1000 i 1700 m³/h.

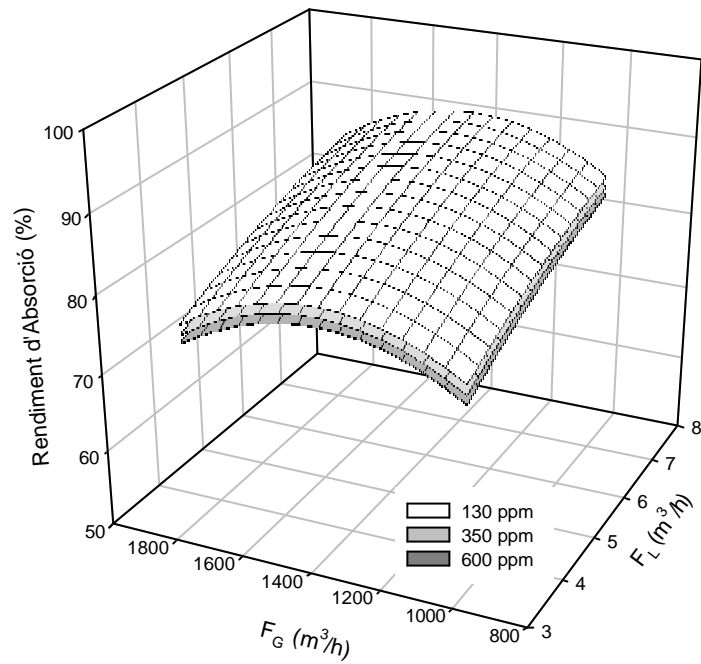
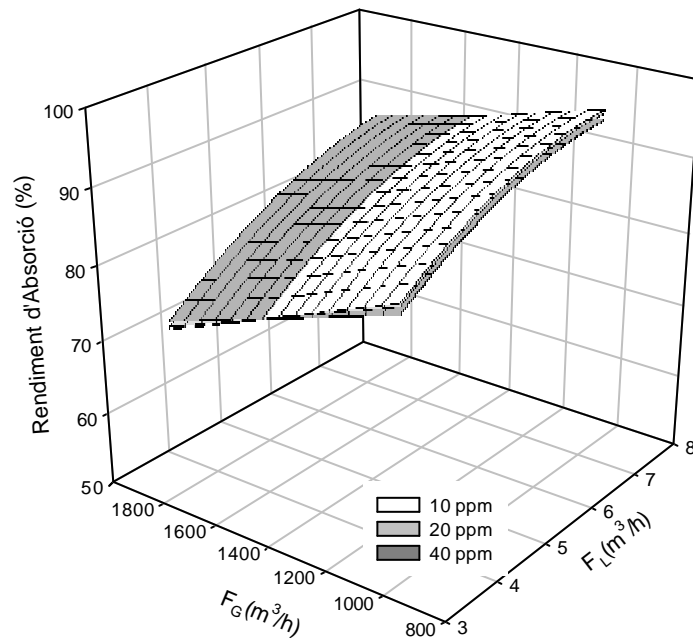
Gràfic 6.3.1: Rendiment d'absorció de SO₂ per a la configuració 1.

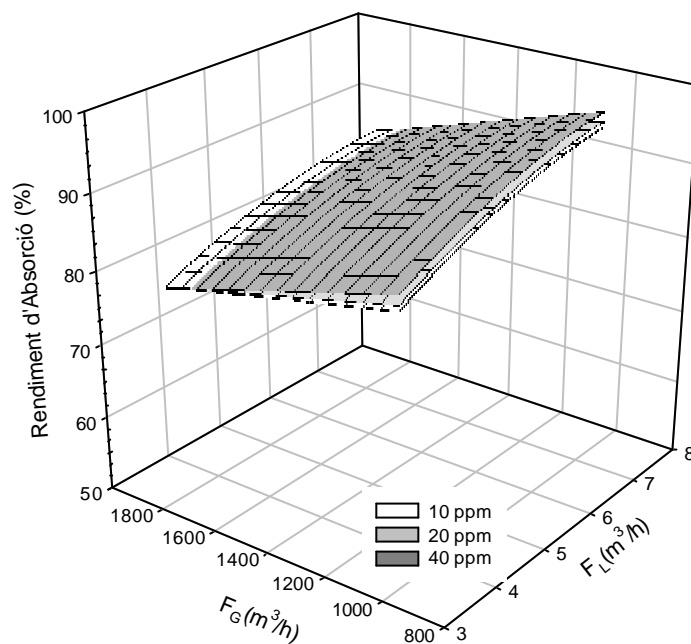


Gràfic 6.3.2: Rendiment d'absorció de SO₂ per a la configuració 2.

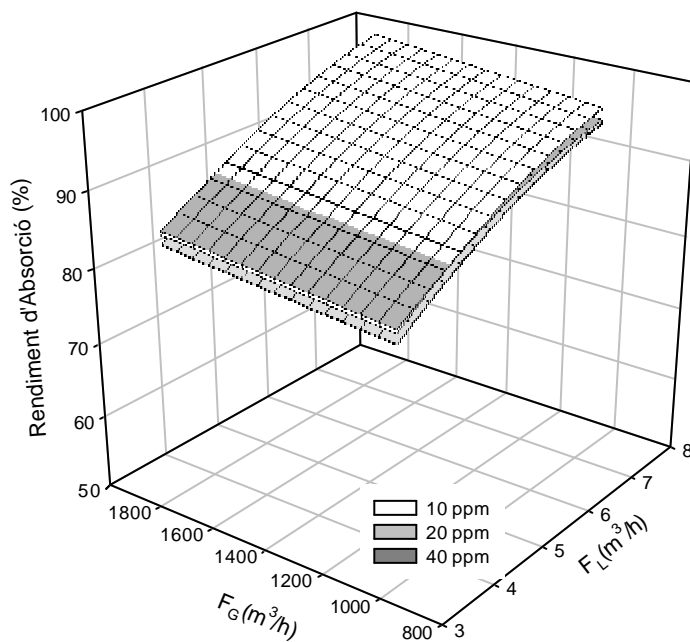


Gràfic 6.3.3: Rendiment d'absorció de SO₂ per a la configuració 3.

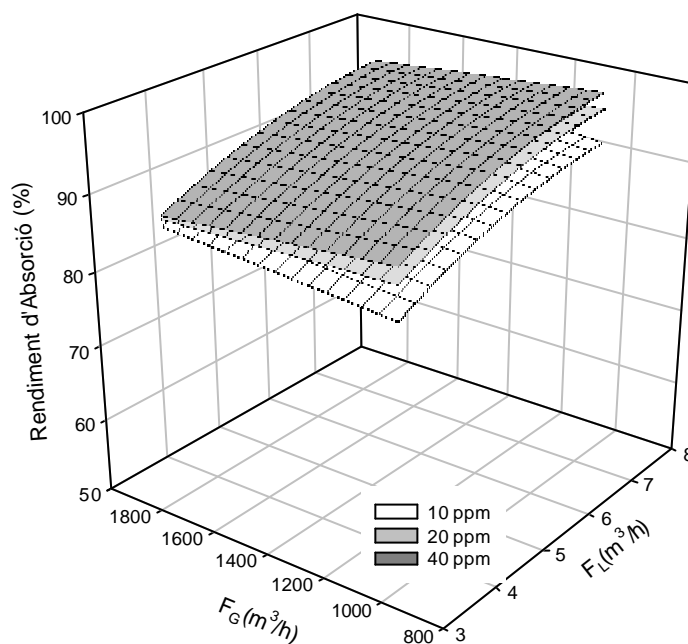
Gràfic 6.3.4: Rendiment d'absorció de SO₂ per a la configuració 4.Gràfic 6.3.5: Rendiment d'absorció de NH₃ per a la configuració 1.



Gràfic 6.3.6: Rendiment d'absorció de NH_3 per a la configuració 2.



Gràfic 6.3.7: Rendiment d'absorció de NH_3 per a la configuració 3.



Gràfic 6.3.8: Rendiment d'absorció de NH_3 per a la configuració 4.

Totes les gràfiques presenten rendiments superiors al 65 %, assolint-se valors que sobrepassen el 90 % en algunes ocasions pel que fa al diòxid de sofre, i freqüentment pel cas de l'amoniac. En general la tendència que es repeteix en totes les combinacions de gas-configuració és la d'augmentar el rendiment d'absorció en augmentar el cabal de líquid injectat, per a una concentració i un cabal de gas portador qualsevol. Aquest fou el paràmetre més significatiu en totes les regressions efectuades, de forma que apareix (igual que el seu quadrat) en tots els models avaluats. No cal dir que resulta obvi que un augment de la quantitat d'agent reactiu injectat, ocasionarà un augment en el rendiment de captació de contaminants. En aquest sentit, Johnstone *et al.* (1954) i Virkar i Sharma (1975) detectaren un augment del coeficient de transferència de matèria per a la fase gas en augmentar el cabal de líquid. Belhaj *et al.* (1983) determinaren una relació lineal entre aquestes

dues magnituds, mentre que Volgin *et al.* (1968) relacionà un augment de l'eficàcia amb un augment del nombre de Reynolds pel líquid. Tot i que es podria pensar que aquest augment és continu fins assolir el 100 % de l'eficàcia d'absorció, la forma de determinades corbes (especialment per al cas de l'amoníac), i altres proves efectuades en la instal·lació a part de les del disseny descrit, porten a intuir la localització d'un màxim en la relació entre el cabal de líquid i el rendiment. La mateixa conclusió fou obtinguda per Atay *et al.* (1987), que van determinar que a partir d'un determinat valor de F_L , el rendiment deixa de veure's afectat. Aquestes dades no són presentades pel present estudi, ja que no poden generalitzar-se a totes les configuracions i condicions operatives. Caldria efectuar algunes modificacions tècniques en la planta pilot existent per tal de poder cercar aquests valors màxims.

Un altre fet observat en els gràfics de difícil justificació és l'aparició d'un màxim en el rendiment per a valors de F_G propers als 1500 m³/h (configuracions 1, 2 i 4 pel diòxid de sofre). Aquest fenomen no és observat en el cas de l'amoníac, i podria estar lligat a una interacció entre cabal de gas i la concentració, és a dir, la quantitat de solut gasós que penetra al venturi per unitat de temps. En tot cas les variacions des del punt de menor rendiment fins al màxim no superen en cap cas el 6 %, de forma que la importància d'aquest fenomen és relativa.

En qualsevol cas s'observa que els rendiments obtinguts són similars per a totes les configuracions (i ambdós gasos). Una possible ordenació de menor a major rendiment pot ser:

$$\text{Rend. (Conf. 2)} < \text{Rend. (Conf.1)} < \text{Rend. (Conf.3)} < \text{Rend. (Conf.4)}$$

Pel cas del SO₂ s'observa un comportament 'anòmal' per a la configuració 3, en el sentit que els rendiments són més elevats per a les

concentracions més elevades, essent l'únic cas per aquest gas on es presenta aquesta característica. A més a més, el rendiment per a la concentració de 130 ppm és extremadament baix. No hi ha cap motiu aparent per aquest rendiment tant baix, si es té present que en la configuració 3 el líquid és injectat en dues posicions axials, disposant a més a més d'una llargada de reactor el doble de gran que per a la configuració 1 (dos venturis en sèrie). Revisant les dades referents al pH de la solució per aquesta configuració, s'observa que es treballà en pH molt propers al punt d'equivalència, és a dir, en zones on els processos químics desenvolupats poden arribar a ser reversibles. De fet, Cooney (1987) mesurà rendiments inferiors al 50 % per a pH inferior a 11. Tenint en compte que la solució absorbidora no fou renovada durant l'execució de tots els experiments amb SO₂ i les 4 configuracions i que, per tant, la concentració de sulfit era extremadament alta, la força iònica de la solució fou molt superior a la inicial, traduint-se en solubilitats del gas (mesurada a partir de la constant de la Llei de Henry corregida amb l'efecte salí) inferiors. Amb aquests fets pot justificar-se un comportament certament anòmal en els valors del rendiment.

La influència de la concentració d'agent reactiu (OH⁻ o bé H⁺) ha estat estudiada àmpliament per Hikita *et al.* (1977) i Chang i Rochelle (1981, 1985). Els autors constaten que el factor d'acceleració química per a la fase aquosa augmenta de forma gairebé exponencial amb la concentració de l'espècie iònica reactiva. També existeix l'efecte contrari en augmentar la concentració inicial de l'espècie a absorbir. Paral·lelament, Chang i Rochelle aconsellen afegir electròlits forts (com NaCl) a la solució absorbidora per tal d'alliberar l'ió H⁺ de la influència de la resta d'espècies iòniques i millorar-ne, així, la seva mobilitat. Aquesta major mobilitat també millora el factor d'acceleració química.

La configuració 2 apareix com la menys efectiva en el procés d'absorció, tot i això, els rendiments obtinguts difereixen només

lleugerament d'aquells obtinguts per la configuració 1. A priori aquest fet pot semblar contradictori, ja que implicaria la inutilitat del tram de difusor en el procés de rentat del gas. Val a dir que en aquesta configuració 2, la distribució del líquid observada fou diferent de la resta de configuracions. En no existir difusor, l'esprai de líquid en forma de con mantingué la seva identitat i penetrà al tanc separador a gran velocitat, comportant-se més aviat com un reactor tipus '*jet-loop*' (veure capítol 5.2). És a dir, el gas és arrossegat pel líquid i introduït a la dissolució absorbidora del tanc (Figura 6.3.1). El funcionament és similar al descrit per una '*jet-pump*', amb la diferència que la mescla gas-líquid penetra fins a l'interior de la solució absorbidora.

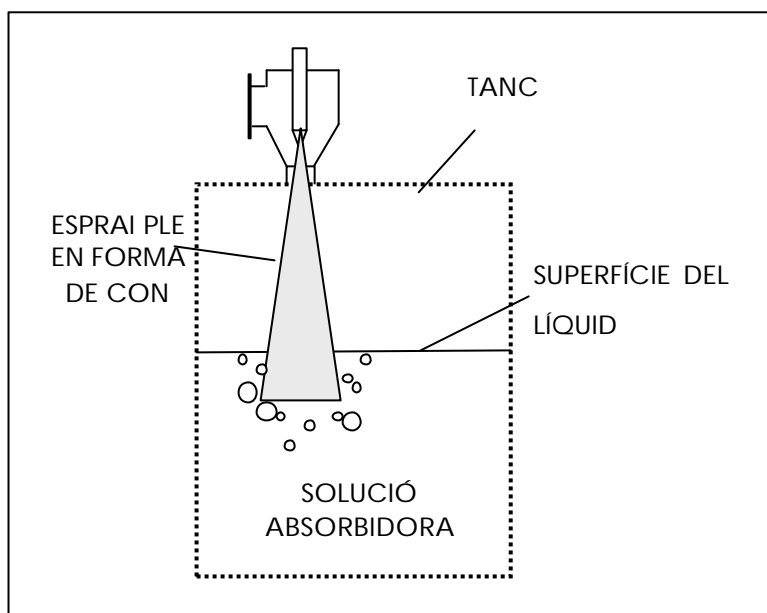


Figura 6.3.1: Distribució del líquid per a la configuració 3.

Així doncs és possible obtenir elevats rendiments d'absorció. El problema més important que presenta aquesta configuració és el fet que la inexistència del difusor provoca que no hi hagi recuperació de pressió, de forma que les pèrdues permanents ocasionades no són admissibles.

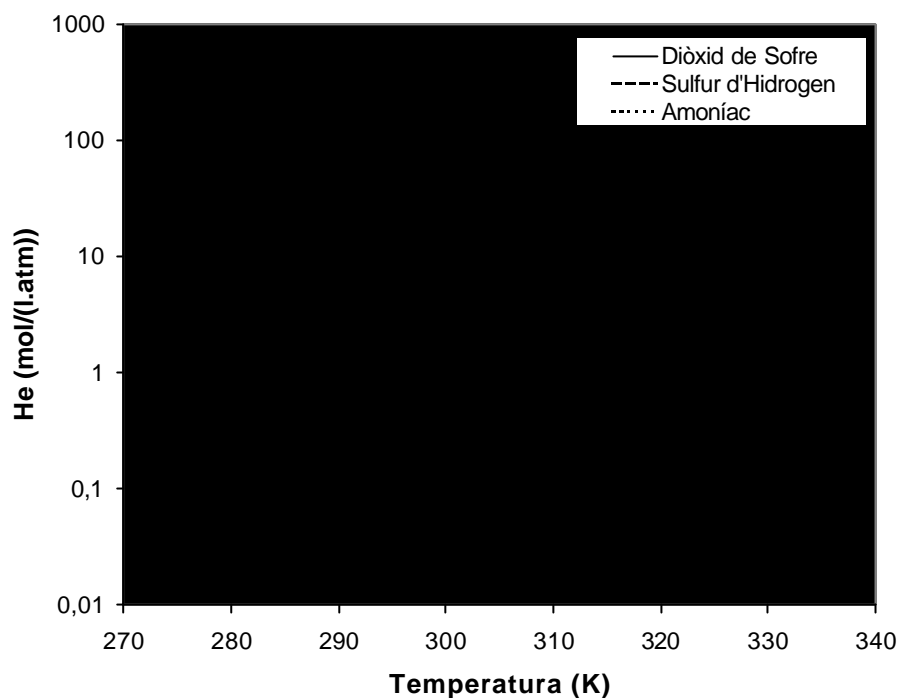
Pel que fa a l'amoniac, el rang de concentracions emprat fa que aquest factor no sigui significatiu a l'hora de determinar l'eficàcia de rentat. Només per a la configuració 4 s'observa una certa influència (tot i que lleugera), i s'observa a més una millor eficàcia per a elevades concentracions. Aquest fenomen cal atribuir-lo a la dèbil força impulsora que promou l'absorció en el rang de concentracions esmentat, de forma que com més gran és aquesta (major concentració inicial), major quantitat de matèria transferida a través de la interfície gas-liquid. L'únic treball de la bibliografia que mostra l'efecte de variar la concentració inicial de contaminant fou presentat per Volgin *et al.* (1968). Els autors utilitzen un rang de F_L/F_G d'entre 0.001 i 0.01, molt similar a l'utilitzat en el present estudi. La tendència del rendiment a disminuir en augmentar aquesta concentració inicial és força clara.

La influència del cabal de gas portador és en general força limitada, malgrat aquest fet pot ser producte de l'estret marge de valors que permet la instal·lació. Així, per les configuracions 1 i 2, l'ús de cabals elevats produeix rendiments inferiors. Aquest fet és perfectament visible pel cas de l'amoniac, mentre que pel diòxid de sofre apareix l'esmentat màxim d'absorció a cabals propers a 1500 m³/h. Per a la configuracions 3, i en ambdós gasos, l'efecte és totalment el contrari, observant-se una millora de l'eficàcia a mesura que s'augmenta F_G . Aquest fet és interessant ja que indica un major efecte de la possible reatomització del líquid dipositat en les parets (tal i com s'ha comentat en el capítol 5.3). Quant a la configuració 4, pel cas del SO₂, el comportament és idèntic al de les configuracions 1 i 2, mentre que per al NH₃ s'observa una interacció entre el cabal de gas i la concentració de forma que l'efecte d'augmentar el primer és positiu a baixes concentracions però negatiu quan aquesta augmenta. Aquesta és una de les diferències significatives amb la resta de sistemes venturi 'scrubber', ja que segons es constata en la bibliografia, un augment en F_G (o de la velocitat del

gas en el coll) porta associat una major eficàcia de rentat (Volgin *et al.*, 1968; Virkar i Sharma, 1975; Ravindram i Pyla, 1985). Cal recordar que en els sistemes tipus Pease-Anthony o d'aproximació humida, el líquid penetra a l'interior del venturi a baixa velocitat, de forma que la velocitat relativa entre el gas i el líquid és major que en els sistemes jet-venturi (com es comentarà posteriorment, una major velocitat relativa equival a una major transferència de matèria entre fases). D'aquesta manera, i per extensió, Volgin *et al.* (1968) argumenten que un augment en la pèrdua de pressió en el venturi provocarà eficàcies més elevades. Aquest propietat condiona en gran mesura la velocitat de transferència de matèria, tal i com s'explicarà posteriorment.

6.3.1.1 INFLUÈNCIA DE LA SOLUBILITAT DEL SOLUT GASÓS EN EL RENDIMENT D'ABSORCIÓ

Els gasos emprats en aquest estudi presenten solubilitats prou diferents en dissolucions aquoses (o en aigua pura) tal i com es pot observar en el gràfic 6.3.9.



Gràfic 6.3.9: Dependència de la constant de Henry amb la temperatura en aigua pura per als gasos estudiats.

És evident que la solubilitat del sulfur d'hidrogen és inferior a la de la resta de gasos estudiats, essent la del diòxid de sofre aproximadament 10 vegades superior. Pel que fa a l'amoniac, aquest presenta solubilitats fins i tot 1000 vegades superiors a les del sulfur d'hidrogen.

Les úniques configuracions utilitzades per a mesurar l'eficàcia d'absorció del sulfur d'hidrogen, en dissolucions aquoses 0.4 M de NaOH, foren la 1 i la 4. La 1 fou emprada perquè els percentatges de recuperació de pressió són força bons (així com els d'eliminació de contaminants), mentre que amb la 4 s'intentà veure si amb la utilització d'una major llargada de reactor es podia compensar la baixa solubilitat que presenta el gas.

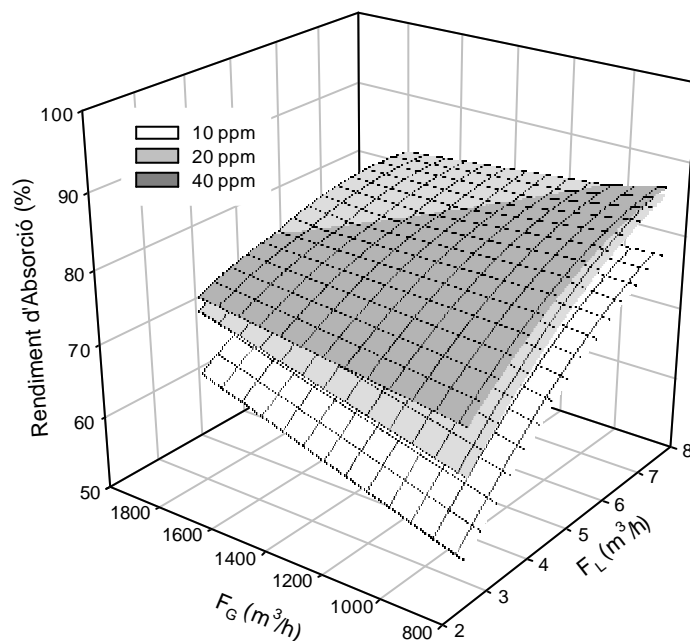
De la mateixa manera que per al SO_2 , els models i en concret els coeficients de regressió, milloraren sensiblement quan es prescindí del terme independent (taula 6.3.2). Destaca en aquest cas el fet que en els

dos models apareixen la totalitat dels coeficients referents a les interaccions, mentre que fins i tot un dels factors

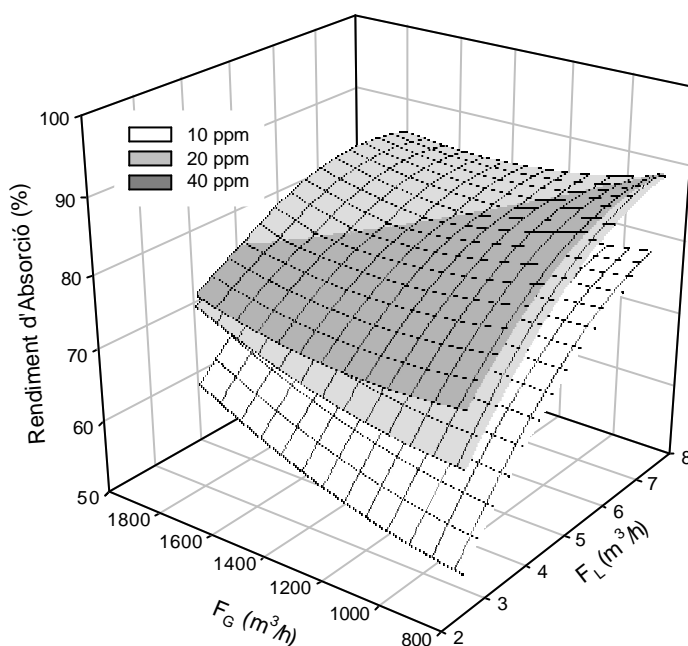
individuals deixa de ser significatiu (F_G per a la configuració 4). Els coeficients de regressió obtinguts foren sensiblement inferiors als de la resta de regressions, portant associats desviacions estàndard superiors a 3. Aquest fet cal tenir-lo en compte a l'hora d'avaluar les superfícies de resposta obtingudes, ja que sovint les diferències de comportament observades a mesura que varien les variables operatives, poden estar motivades per aquest error en les estimacions.

Així, els gràfics 6.3.10 i 6.3.11 mostren els rendiments d'absorció per a tres concentracions inicials de gas contaminant diferents (incloent-hi els valors màxims i mínims estudiats en cada cas).

Les concentracions emprades foren exactament les mateixes que per a l'amoníac, essent doncs comparables objectivament, ja que els rangs dels factors foren igualment els mateixos.



Gràfic 6.3.10: Rendiment d'absorció de H_2S per a la configuració 1.



Gràfic 6.3.11: Rendiment d'absorció de H₂S per a la configuració 4.

Tal i com és d'esperar, i segons la informació subministrada per la solubilitat, els rendiments d'absorció són menors en el cas del H₂S, demostrant-se que aquesta propietat és una de les més limitants de l'eficàcia dels sistemes venturi 'scrubber'. Així doncs, tal i com recomanen Johnstone *et al.* (1954), només aquells gasos amb una elevada solubilitat en el solvent de la dissolució absorbent, seran susceptibles de ser tractats amb aquest tipus de sistemes.

A part de l'esmentada solubilitat, les propietats de l'amoniac i del sulfur d'hidrogen són comparables, ja que en ambdós casos, el procés d'absorció química en la fase líquida va associada a una reacció de primer ordre irreversible i instantània (Astarita, 1983). Donat que els coeficients de difusió dels reactius són similars, així com els dels soluts gasosos, la utilització els mateixos rangs per a F_L i F_G , i de les mateixes concentracions inicials, permet associar les diferències observades entre

els gràfics 6.3.5 i 6.3.8 amb els 6.3.10 i 6.3.11, fonamentalment en la solubilitat dels gasos en qüestió.

En termes generals, els rendiments d'absorció per al sulfur d'hidrogen són de l'ordre d'un 10 % inferiors als de l'amoniac. La influència de la concentració sembla ser un xic superior per al sulfur d'hidrogen, malgrat que cal tenir present els elevats valors de desviació estàndard d'aquest gas en comparació amb els de l'amoniac, ja que aquests darrers són inferiors a 1. Així com per a l'amoniac i la configuració 1, la variació de la concentració inicial del solut gasós no afectà el rendiment, pel cas del sulfur d'hidrogen aquesta influència esdevingué més marcada, presentant una major dependència a baixes concentracions. En ambdós gasos el rendiment per a la configuració 4, es veu incrementat en augmentar la concentració inicial del gas, motivat per la major força impulsora en aquestes condicions.

El cabal de líquid absorbent injectat continua essent el paràmetre més influent en la millora de la capacitat d'absorció per a una concentració i cabal de gas determinat en ambdós gasos i configuracions.

Pel que fa al corrent de gas portador, la influència en ambdós gasos és completament oposada. Mentre que per a l'amoniac i la configuració 1, un augment de F_G provoca un descens acusat en el rendiment, en el cas del sulfur d'hidrogen i per a la mateixa configuració l'augment de F_G és associat a un augment de l'eficàcia, malgrat que aquest tendeix a ser més lleuger a mesura que augmenta la concentració del gas contaminant. El comportament vers el cabal de gas per la configuració 4 és similar per ambdós contaminants, observant-se un descens de l'eficàcia a mesura que augmenta F_G a baixes concentracions. A mesura que la concentració augmenta, intervé una interacció negativa entre aquesta i F_G , de forma que el rendiment d'absorció disminueix a

mesura que aquests dos paràmetres augmenten simultàniament. Aquest efecte és més apreciable per l'amoniac

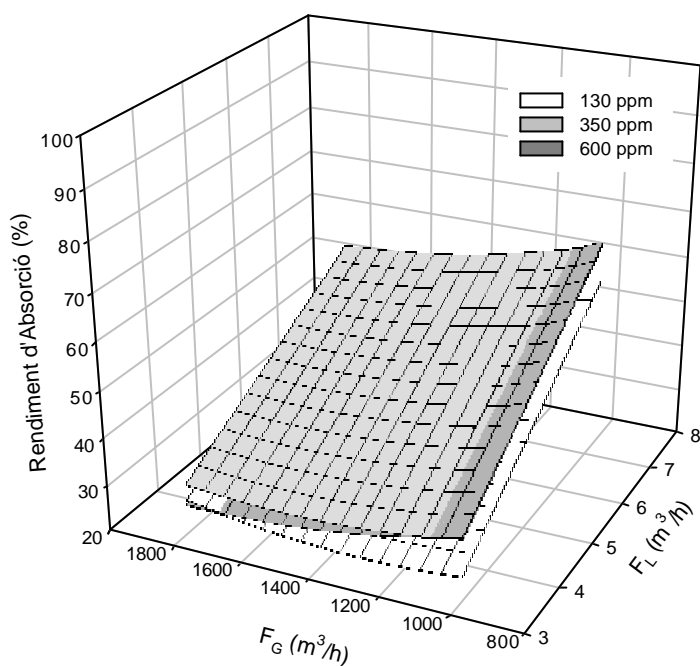
6.3.1.1 INFLUÈNCIA DE LA LLARGADA I EL DIÀMETRE DEL COLL, I DE L'ANGLE D'ATOMITZACIÓ EN EL RENDIMENT D'ABSORCIÓ

L'efecte d'utilitzar un atomitzador amb un angle d'atomització inferior, juntament amb l'ús de colls de major llargada i menor diàmetre fou avaluada només per al diòxid de sofre i la configuració 1, donat que les conclusions seran extrapolables a qualsevol gas que sigui absorbit per mecanismes similars (mitjançant processos instantanis i irreversibles en la fase líquida). Per altra banda, aquesta configuració presentà unes combinacions de rendiments i pèrdues de pressió prou satisfactòries. Les concentracions emprades foren les mateixes que aquelles assajades per a la configuració 1.

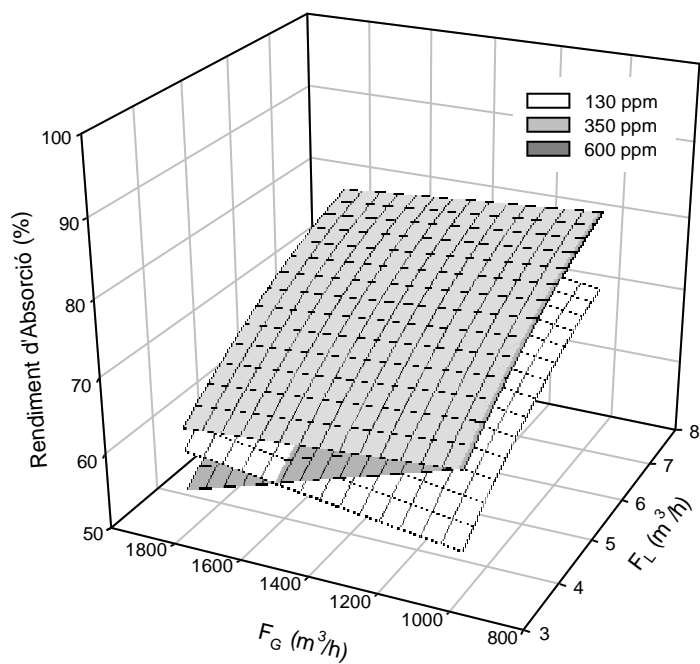
Els resultats obtinguts en les regressions múltiples per a les combinacions esmentades a la introducció d'aquest capítol són mostrats a la taula 6.3.3. Els coeficients de correlació continuen essent excel·lents, un xic inferiors als obtinguts per l'amoniac i el diòxid de sofre per les configuracions 1-4. Això es tradueix en unes desviacions estàndard per a les estimacions superiors a les obtingudes per a la resta de configuracions, malgrat que són inferiors a les del sulfur d'hidrogen.

Destaca el fet que el coeficient per a la interacció entre la concentració i el cabal de gas és significatiu en totes les combinacions de paràmetres geomètrics avaluades. Contràriament, la interacció entre la concentració i el cabal de líquid no és significativa en cap cas.

Els gràfics 6.3.12 al 6.3.15 mostren les superfícies de resposta per a les combinacions estudiades, i seguint els mateixos rangs pels factors que els utilitzats en l'anàlisi de la influència de la configuració per al mateix gas. Només en el cas del coll de 100 mm, s'utilitzà un rang de cabals de gas portador inferior a la resta, perquè tal i com s'ha comentat en el capítol 5.3, el líquid presenta una forta retenció (inundació) a l'entrada del coll, que impedeix la circulació dels mateixos cabals de gas que per a la resta de combinacions. L'atomitzador A (de 90°) no pogué ser emprat, ja que la inundació fou massa accentuada, i provocà un col·lapse en la circulació del gas.

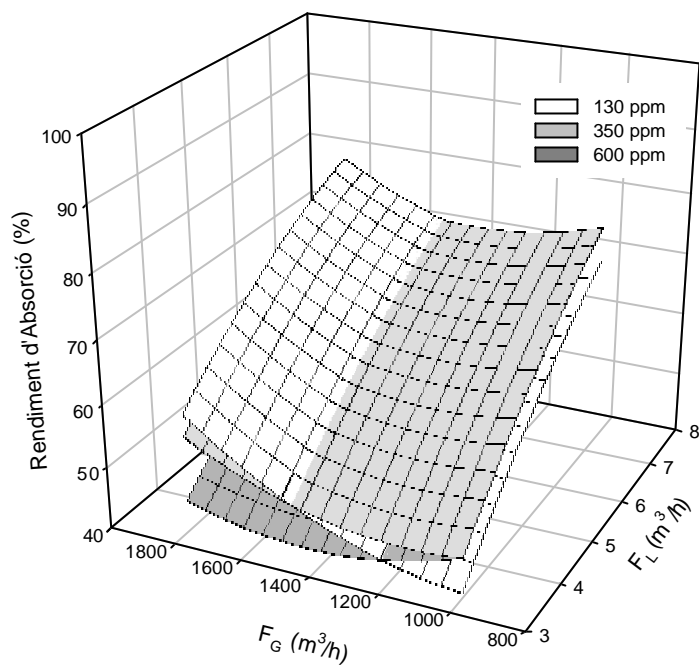


Gràfic 6.3.12: Rendiment d'absorció de SO₂ per al coll de 150 mm i l'atomitzador B.

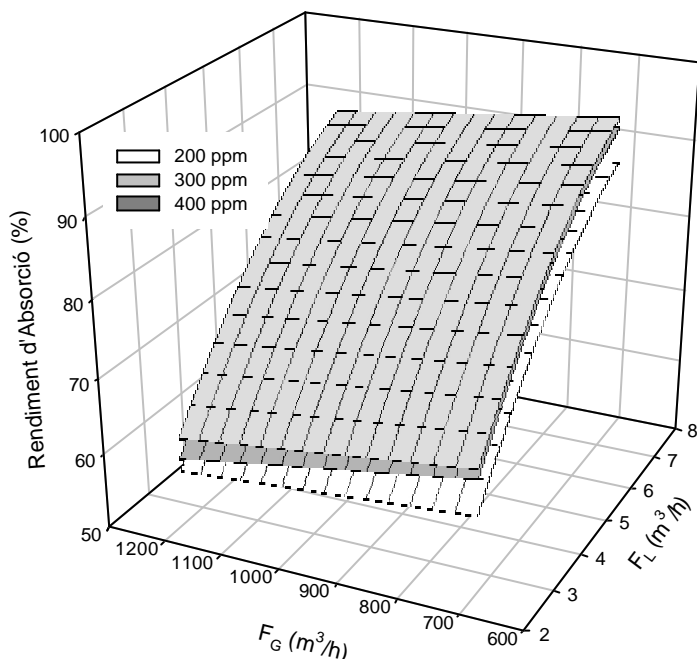


Gràfic 6.3.13: Rendiment d'absorció de SO₂ per al doble coll de 150 mm i l'atomitzador

A.

Gràfic 6.3.14: Rendiment d'absorció de SO₂ per al doble coll de 150 mm i l'atomitzador

B.



Gràfic 6.3.15: Rendiment d'absorció de SO₂ per al coll de 100 mm i l'atomitzador B.

Comparant els rendiments generals d'aquestes combinacions de colls i tipus d'atomitzadors juntament amb els corresponents al coll de 150 mm amb l'atomitzador A (configuració 1), és possible establir la següent classificació de menor a major eficàcia de eliminació de contaminants gasosos:

$$\%R (150-B) < \%R (2x150-B) < \%R (2x150-A) < (\%R (100-B)) < \%R (150-A)$$

De fet aquesta classificació pot resultar un xic qüestionable, ja que és difícil que es compleixi l'ordenació establerta per a tot el rang de concentracions i cabals emprats. Per tal de basar la classificació en mètodes totalment objectius, s'utilitzà la mitjana aritmètica dels rendiments d'eliminació obtinguts per a un mateix disseny experimental. El cas del coll de 100 mm i l'atomitzador B apareix entre parèntesi per dos motius; en primer lloc el rang de cabals de gas portador emprat fou inferior al de la resta de combinacions a causa del fenomen de la

inundació del coll. Per altra banda aquesta inundació provoca que el mecanisme d'absorció sigui sensiblement diferent al de la resta. L'anàlisi dels rendiments per aquesta combinació de paràmetres geomètrics cal que es faci apart. El gràfic 6.3.15 mostra que el rendiment d'absorció depèn pràcticament només del cabal de líquid injectat, assolint-se valors superiors al 90 %, malgrat que aquest cau dràsticament a valors inferiors al 60 % quan s'utilitzen els cabals de líquid inferiors. Per tant un major volum de líquid acumulat a l'entrada del coll comporta una major eficàcia de rentat, però quan aquesta acumulació no es produeix, els rendiments són baixos, però continuen essent superiors als de la majoria de configuracions (exceptuant el coll de 150 mm i l'atomitzador A). La influència de la concentració inicial del contaminant sembla ser pràcticament menyspreable (cal recordar que la desviació estàndard per a les estimacions és del 2% segons es pot observar en la taula 6.3.3).

Pel que fa a la resta de combinacions de colls i atomitzadors, tant el coll de 150 mm per l'atomitzador B com el doble coll de 150 mm per ambdós atomitzadors, presenten el mateix tipus de comportament, tal i com s'observa als gràfics 6.3.12, 6.3.13 i 6.3.14. Totes tres combinacions presenten el mateix efecte observat que en altres configuracions per al cabal de líquid, malgrat que per al doble coll de 150 mm i l'atomitzador A, sembla que les corbes presenten una forma més de tipus exponencial (respecte la variable F_L) que per a la resta. Per als altres dos factors, és fa evident la importància de la interacció entre ells, de forma que observant els pendents de les corbes respecte els eixos de coordenades formats per aquests factors, apareix una transició des de pendents negatius cap a positius a mesura que augmenta la concentració de gas. És a dir, que a baixes concentracions un augment en F_G afavoreix l'obtenció de rendiments més elevats, però a mesura que augmenta la concentració inicial, la tendència s'inverteix.

Aquesta classificació presentada dels rendiments d'absorció per a cada combinació de paràmetres geomètrics, pot ser justificada en gran extensió a partir de les dades recollides en els capítols anteriors (exceptuant les dades pertanyents al coll de 100 mm tal i com s'ha comentat anteriorment). Com a dada significativa, s'observa una major eficàcia d'eliminació de contaminants per a les combinacions on s'empra l'atomitzador tipus A, és a dir, el de major angle d'atomització. En un principi, la causa més evident d'aquest fenomen és la formació de gotes de grandària inferior (diàmetre mig de Sauter) a mesura que s'incrementa l'angle de sortida de l'atomitzador, tal i com s'ha comprovat en el capítol 5.1. Aquesta disminució en el diàmetre mig de les gotes contribueix a una major àrea interfacial per volum de reactor.

Per altra banda, un major angle d'atomització també porta associada una major velocitat inicial de les gotes. Per tant, l'atomitzador A presenta uns temps de residència inferiors als de l'atomitzador B, per a una mateixa llargada de reactor. Aquest fenomen es veu, probablement, compensat per la major extensió d'àrea de transferència de matèria, ja que els temps de residència avaluats per a les gotes seguint trajectòries paral·leles a la coordenada axial del tub venturi foren similars per ambdós atomitzadors, i en tot cas molt petits (inferiors a una dècima de segon en la majoria de cabals de líquid emprats).

És d'esperar una millora en els rendiments a mesura que s'allarga el reactor, és a dir, les configuracions que empen el coll de doble llargada haurien de presentar rendiments superiors als del coll simple per als seus respectius atomitzadors. Aquesta condició es compleix per a l'atomitzador B, no així per a l'atomitzador A, on clarament els rendiments per al coll simple de 150 mm (gràfic 6.3.1) són aproximadament un 10 % superiors als del doble coll. La justificació d'aquest fenomen és més subtil, i cal analitzar-la a partir de la

informació obtinguda en el capítol 5.3 referida a la distribució de líquid en les parets. Tradicionalment en la circulació del líquid en sistemes venturi 'scrubber', s'ha considerat que tot el líquid flueix en forma de gotes; en tot cas, com a molt, es negligeix la possible fracció de líquid que flueix en forma de pel·lícula per les parets. Segons les dades del capítol 5.3, el gruix mitjà de la pel·lícula de líquid que flueix per les parets, per a cada combinació de paràmetres geomètrics, pot classificar-se en ordre creixent segons:

$$\eta(100-B) < \eta(2 \times 150-B) < \eta(150-B) < \eta(2 \times 150-A) < \eta(150-A)$$

Resulta obvi veure que les combinacions on s'inclou l'angle d'atomització de 90° (atomitzador A), presenten fraccions de líquid en forma de pel·lícula més elevades. Segons totes les teories desenvolupades fins a la data (exceptuant Hills *et al.* 1996), referents a la transferència de matèria en sistemes venturi 'scrubber', aquesta fracció pot ser negligida. Si això fos així, les dades experimentals presentarien una incongruència, pel fet que per a l'atomitzador A, existeixen rendiments superiors quan s'utilitza el coll de menor longitud (coll simple), mentre que el sentit comú indica que per al doble coll els temps de residència són majors i, per tant, caldria esperar un augment en el rendiment d'eliminació a mesura que la longitud del coll augmenta.

Aquesta observació té conseqüències importants, ja que indica l'error que es comet a l'hora de negligir la pel·lícula de líquid que flueix per les parets en el procés de transferència de matèria. Per aquest motiu, en el següent apartat s'intentarà comprovar des d'un punt de vista mecanicista, quina és la millora que presenten les prediccions teòriques de l'eficàcia d'eliminació si es comptabilitza la transferència de matèria efectuada en la pel·lícula.

Hom pot trobar contradiccions en el fet que, per a l'atomitzador B, no es detecta la mateixa tendència que per a l'atomitzador A. És a dir, tot i que el coll simple presenta una major fracció de líquid per les parets que per al doble coll, els seus rendiments són els més baixos. Possiblement l'explicació d'aquest fet pot basar-se en què per a l'atomitzador B, les fraccions de líquid en forma de film foren força inferiors a les determinades per a l'atomitzador A. Per altra banda les fraccions de líquid en forma de film per als dos colls i l'atomitzador B foren força semblants. A més a més les gotes obtingudes pel B són de diàmetres superiors, de forma que ofereixen una àrea interfacial inferior. En aquestes condicions un augment en el temps de residència de les gotes comportarà una millora en els rendiments.