

Disseny del tractament de gasos de final de línia d'un procés de revestiment amb pintura.

Projecte 1711

Autors:

Arnau Cortés Ortega
Cosmin Panait
Joan Albert Duch Llames

Tutor:

Joan Ramón Cabello Rimbau

Data:

03/09/2017

11.	INTRODUCCIÓ I PLANTEJAMENT DE LA PROBLEMÀTICA.....	1
1.1.	Objectius per al desenvolupament del projecte.	2
1.2.	Abast del projecte.....	2
1.3.	Antecedents del projecte.	2
1.4.	Disposició legal i normativa aplicada.	3
1.5.	Referències.....	4
1.6.	Abreviatures i simbologia de la memòria.	7
1.7.	Requisits de disseny.	12
1.8.	Descripció del contingut del projecte.....	13
2.	ANÀLISIS DE SOLUCIONS.....	15
2.1.	Tècniques no destructives de COVs.....	15
2.1.1.	Adsorció.	15
2.1.2.	Absorció.	16
2.1.3.	Condensació.	17
2.1.4.	Membrana.	17
2.2.	Tècniques de destrucció de COVs.....	18
2.2.1.	Incineració o combustió.....	18
2.3.	Selecció de l'alternativa mitjançant criteris bàsics.	23
2.4.	Comparativa Final.	25
3.	DESCRIPCIÓ DEL PROCÈS	26
3.1.	Descripció del funcionament de l'equip RTO.	28
3.2.	PFD.....	30
3.3.	P&ID.....	31
3.4.	Plànol de llaços de control	32
3.5.	Simbologia	33
3.6.	Isomètric.....	34
3.7.	3D.....	35
4.	DISSENY DE LA UNITAT D'OXIDACIÓ TÈRMICA REGENERATIVA.....	36
4.1.	Descripció i selecció d'equip.	36
4.1.1.	Tipus de RTO.....	36
4.1.2.	Sistema de purga.	38
4.1.3.	Orientació del llit de transferència de calor.....	38
4.1.4.	Eficiència tèrmica vs. Temps del cicle.	38
4.1.5.	Elecció del tipus de RTO.	39
4.1.6.	Elecció del tipus de ceràmica.....	39
4.2.	Càlculs previs al disseny.....	42
4.2.1.	Establir la temperatura d'operació de l'incinerador	42
4.3.	Càlcul de la composició de fums generats.	42
4.4.	Balanç d'energia.....	43
4.5.	Combustible auxiliar.	44
4.6.	Dimensionament de l'equip.	46
4.6.1.	Càlcul de les dimensions de les cel·les de la ceràmica	46
4.6.2.	Càlcul del volum de la ceràmica total d'una torre.....	47
4.6.3.	Pèrdua de carrega generada per la ceràmica.	48
4.6.4.	Càlcul de les dimensions de la cambra de combustió.	49
4.6.5.	Sostre el·líptic.	49

ÍNDEX

4.7.	Anàlisi de transferència de calor (mètode Lump Capacitance”).	50
4.7.1.	Càlcul del coeficient de transferència de calor per convecció.	51
4.7.2.	Càlcul de la temperatura final de la ceràmica.	51
4.8.	Càlcul del gruix del material refractari i del material aïllant.	52
4.9.	Càlculs post disseny.	54
4.9.1.	Càlcul de rang d'eficiències de reducció d'emissions de l'RTO.	54
5.	DISSENY DEL SISTEMA DE CANONADES	56
5.1.	Espessor del sistema de canonades.	56
5.2.	Aïllament del sistema de canonades.	57
5.2.1.	Pintura.	57
5.2.2.	Aïllant principal: Rockwool.	57
5.2.3.	Recobriments d'alumini.	59
5.3.	Corrosió al sistema de canonades.	59
5.4.	Suport del sistema de canonades.	60
5.4.1.	Característiques de les sabates de fonamentació.	61
5.4.2.	Característiques del pòrtic metàl·lic.	61
5.4.3.	Accions a l'estructura.	62
5.4.4.	Coefficients de seguretat.	63
5.4.5.	Resultats dels càlculs del sistema de suport de canonades.	63
5.5.	Caiguda de pressió al sistema de canonades.	64
5.5.1.	Pressió: estàtica, velocitat i total.	65
5.5.2.	Càlcul de pèrdues per fricció en conductes.	67
5.6.	Sistema de gas natural.	69
5.6.1.	Assaig de resistència mecànica.	69
5.6.2.	Assajos d'estanqueïtat.	70
5.6.3.	Control radiogràfic de les soldadures.	70
5.6.4.	Assaig de funcionament.	70
6.	DISSENY DE LA XEMENEIA I PLOMALL	71
6.1.	Procediments de disseny de xemeneies.	72
6.1.1.	Càlcul del diàmetre de la xemeneia.	72
6.1.2.	Càlcul de l'altura de la xemeneia.	73
6.1.3.	Càlcul del tir de la xemeneia.	74
6.1.4.	Càlcul de l'esveltesa de la xemeneia.	74
6.1.5.	Altura efectiva de la xemeneia i elevació de la ploma.	75
6.2.	Dispersió de la ploma i model de qualitat de l'aire.	76
6.2.1.	Momentum adquirit per impulsió del vent.	76
6.2.2.	Flotabilitat i Principi d'Arquímedes.	77
6.2.3.	Tipologia d'atmosfera i efectes negatius sobre estabilitat i inversió tèrmica.	78
6.2.4.	Estimacions de dispersió.	80
6.3.	Resultats de la simulació de dispersió de la ploma amb programa ALOHA.	81
6.4.	Modalitats de dispersió.	85
6.4.1.	Ploma d'espiral.	85
6.4.2.	Ploma en forma de ventall.	85
6.4.3.	Ploma en forma de con.	86
6.4.4.	Ploma de flotació per damunt de la capa d'inversió.	86
6.4.5.	Ploma de flotació per sota de la capa d'inversió.	87
7.	DISSENY DEL VENTILADOR	88

ÍNDEX

7.1.	Procediment de disseny i principis de funcionament d'un ventilador centrífug.	88
7.2.	Càlcul de la potencia del ventilador	89
7.3.	Selecció del ventilador.....	90
8.	INSTRUMENTACIÓ	93
8.1.	Mesures de procés.	93
8.1.1.	Consideracions Generals.....	93
8.1.2.	Mesures de temperatura.	94
8.1.3.	Mesures de pressió.	97
8.1.4.	Transmissors.	99
8.1.5.	Mesures de cabal.....	100
8.2.	Valvuleria.	101
8.3.	Vàlvules de control.	102
8.4.	Dimensionament i elecció de la vàlvula reductora de pressió.	103
8.5.	Dimensionament i elecció d'una vàlvula de seguretat.	105
8.5.1.	Càlcul de la pressió de tara.	105
8.5.1.1	Càlcul de la capacitat de descàrrega.	105
8.6.	Elecció de la vàlvula de seguretat.	106
9.	SISTEMA DE CONTROL.....	108
9.1.	Llaços de control.	108
9.1.1.	Llaç de control n. 1	108
9.1.2.	Llaç de control n. 2	109
9.1.3.	Llaç de control n. 3	109
9.1.4.	Llaç de control n. 4	110
9.1.5.	Llaç de control n. 5	110
9.1.6.	Llaç de control n. 6.	110
9.2.	Sistema de monitorització en continu d'emissions (SMCE).	111
9.2.1.	Equip SMCE.	111
9.2.2.	SMCE Extractiva.	112
9.2.3.	Monitors i Analitzadors de gas.	114
9.3.	Controlador lògic programable (PLC).	114
9.3.1.	PLCLogix.	115
9.4.	Sistema d'adquisició de dades (SAD).	115
9.5.	Seqüència de posada en marxa.	116
10.	MEDI AMBIENT.....	118
10.1.	Limitacions d'emissions.	118
10.2.	Emissions de COVs.	118
10.2.1.	Pintures convencionals amb base de dissolvent.	119
10.3.	Formació d'Òxids de nitrogen (NOx).	119
10.3.1.	Càlcul de emissions de NOx.	119
10.3.2.	Procedència.	120
10.3.3.	Efecte paramètric.	121
10.3.4.	Contingut oxigen a la combustió.	122
10.3.5.	Reducció de la formació tèrmica de NO _x mitjançant (FGR).	122
10.4.	Multes i sancions medi ambientals.....	123
10.5.	Preestudi de l'impacte ambiental.	124
10.5.1.	Possibles fonts d'impactes.	125
10.5.2.	Descripció dels impactes potencials.....	125

ÍNDEX

11.	Manteniment de les instal·lacions	127
11.1.	Manteniment correctiu.	127
11.2.	Manteniment preventiu.	128
11.2.1.	Programa de manteniment preventiu.	129
11.3.	Manteniment predictiu.	130
11.3.1.	-Manteniment de canonades.	130
11.3.2.	Manteniment de les vàlvules manuals.	130
11.3.3.	Manteniment de les vàlvules automàtiques.	130
11.3.4.	Manteniment dels elements de control.	130
11.3.5.	Manteniment de equips principals.	130
12.	SEGURETAT INDUSTRIAL	131
12.1.	Espais de treball o zones perilloses.	131
12.2.	Vies de circulació.	131
12.3.	Senyalització.	132
12.4.	Rampes, escales fixes i de servei.	133
12.5.	Escales fixes.	133
12.6.	Sòls, obertures, desnivells i baranes.	133
12.7.	Condicions de protecció contra incendis.	134
12.8.	Soroll.	135
12.9.	Instal·lació elèctrica.	135
12.10.	Il·luminació.	135
12.11.	Condicions ambientals.	136
12.12.	Serveis higiènics i locals de descans.	136
12.13.	Càlcul del sistema d'enllumenament.	136
13.	ESTUDI ECONÒMIC	138
13.1.	Scope dels treballs a realitzar.	138
13.1.1.	Enginyeria, compres i supervisió.	138
13.1.2.	Obra civil i estructures metàl·liques.	138
13.1.3.	Equips i instrumentació.	138
13.1.4.	Sistemes elèctrics i Gas natural.	138
13.2.	Suposició del valor del Pressupost d'execució material.	139
13.3.	Pressupost total del projecte.	139
13.4.	Anàlisi de rendibilitat del projecte.	140
13.4.1.	Cas 1 Desenvolupament industrial sense RTO.	141
13.4.2.	Cas 2. Desenvolupament industrial amb RTO.	142
14.	CONCLUSIONS Final de treball final de grau	145

1. INTRODUCCIÓ I PLANTEJAMENT DE LA PROBLEMÀTICA

Durant les últimes dècades, el desmesurat augment de la contaminació de l'aire ha convertit el control de la pol·lució en un dels objectius prioritaris a millorar contínuament de qualsevol empresa, a on la investigació, el desenvolupament de tecnologies i la posada en marxa de les regulacions ambientals han sigut els principals desencadenats d'aquesta necessitat.

Entre els contaminants de l'aire més comuns, es troben els Compostos Orgànics Volàtils (COVs). Els COVs emesos a l'atmosfera poden ser d'origen natural (cloroplasts vegetals) o antropogènics (emissions fugitives d'escapament, procedents de fonts mòbils o estacionàries) on les plantes industrials representen gran part d'aquestes.

Les indústries d'imprimació de pintures en cotxes ocasionen una important contaminació de l'aire amb els solvents que s'utilitzen en aquests processos de impressió. Entre els solvents típicament emprats, es troba l'acetat d'etil i d'isopropanol. Aquesta situació, que requereix la purificació d'un corrent d'aire que conté aquestes substàncies, constitueix el cas sobre el qual es realitzarà l'estudi.

Les tècniques de tractament d'efluents gasosos poden classificar-se en dos grups:

- Les que realitzen alguna modificació en el procés i als equips (tècniques de prevenció).
- Les que impliquen algun mètode de tractament de COVs.

Les mesures preventives inclouen millores en el procés, des de la inspecció i manteniment per a evitar fuites, fins al re-disseny complet d'instal·lacions per a minimitzar els productes orgànics residuals. Quan aquestes accions no són possibles o suficients sobre el procés o el producte final, hem d'aplicar sistemes de control al final del procés (mètodes de tractament).

Les diferents alternatives disponibles per al tractament de COVs presents a efluents gasosos, principalment aire, es classifiquen en tecnologies d'eliminació (destructives) i tecnologies de recuperació (no destructives).

Els objectius específics a tractar serà doncs el factor determinant que permet determinar la utilització d'una o altra opció

Els colors per diferenciar les parts realitzades de cada integrant, seran: el color blau de l'Arnau Cortés Ortega, el color vermell per en Cosmin Panait i el color verd per en Joan Albert Duch Llames.

1.1. Objectius per al desenvolupament del projecte.

L'objectiu general d'aquest treball serà estudiar els diversos sistemes d'eliminació de compostos orgànics volàtils (COVs), calcular mitjançant una base de dades les limitacions amb les que es treballaran i per últim dissenyar un procés que ens serveixi per complir les especificacions i limitacions sota les que hauran de treballar els diferents components del procés.

És a partir d'aquest estudi particular a on es podrà arribar a extreure conclusions i desenvolupaments metodològics que es puguin extrapolar a altres sistemes amb necessitats similars a les d'aquest projecte.

Per a la obtenció i anàlisi de resultats es realitzarà la simulació de cadascun dels processos que compleixin les limitacions més generals amb les que s'haurà de treballar. Per a les simulacions s'estudiaran diferents metodologies de càlcul d'acord amb el grau de precisió requerit.

Uncop escollit el sistema que s'adapti a les necessitats més imminents es dissenyarà i plantejarà la implantació d'aquest mitjançant una evolució econòmica.

Dintre d'aquest objectiu general, es presenten objectius específics com la necessitat de coneixement necessari de la interacció dels COVs amb els que es treballaran (acetat d'etil i isopropanol) les seves propietats tant físiques com químiques.

1.2. Abast del projecte.

El disseny de la planta d'oxidació tèrmica de compostos orgànics volàtils, conta amb els següents equips:

- Oxidador tèrmic (OTR-100), el qual es compon de la cambra de combustió i cremador.
- Ventilador (V-211).
- Xemeneia (X-100) amb el seu respectiu estudi de la dispersió generada.

L'Abast del projecte, com s'indica als plànols de l'apartat 3.2, començarà a la canonada RTO-32"-COV-1100-S235, transportant els gasos amb COVs a través dels equips esmentats anteriorment, que es connecten mitjançant diferents línies com s'expliquen amb més detall al disseny del sistema de canonades a l'apartat 5 de la memòria, essent el límit del projecte l'estudi de la dispersió del plomall a l'atmosfera.

1.3. Antecedents del projecte.

La instal·lació a dissenyar, està pensada per tal d'ubicar-se en una planta de pintura de components d'automòbils dins d'Espanya, tot i que s'han tingut en compte tant les lleis i

normatives espanyoles com les catalanes, per tant, si fos necessari instal·lar-la a alguna comunitat autònoma fora de Catalunya s'haurien de revisar les lleis pròpies d'aquella comunitat, amb igualtat de condicions per si es necessités instal·lar-la en una zona amb lleis més restrictives que les pròpies de cada regió autònoma.

Aquest projecte sorgeix de la necessitat d'aplicar mesures efectives per la reducció dels COVs, ja que les mesures preventives que normalment s'utilitzen en la majoria dels casos són insuficients.

És realment greu que no se li doni suficient importància als COVs, per als quals no existeix un límit legal que garanteixi que no són perjudicials per a la salut. Són, de fet, responsables de morts, penetren en el sistema respiratori i a la sang i actuen com a disruptors endocrins i hormonal.

Cal dir que els compostos orgànics volàtils són un dels quatre contaminants responsables de l'acidificació de les aigües, eutrofització d'aigües i sols i formació d'ozó a la troposfera. Per això, la Directiva 2016/2284 de 14 de desembre, (que deroga o modifica les anteriors Directives de 2001 i 2003) a on s'estableixen els límits nacionals en referència a les emissions de contaminants entre els quals es troben els COVs, són d'obligat compliment des de l'any 2010 d'acord amb el protocol de Gotemburg.

A més a més, la Llei 16/2002 de l'1 de juliol, revisada el 13 de juny de 2013, de prevenció i control integrats de la contaminació, estableix un llistat dels compostos susceptibles de fixació de límits d'emissions on figuren els COVs.

Per tant, la llei anterior ens deriva a acomplir el Real Decret 430/2004, del 12 de març, per el que s'estableixen noves normes sobre la limitació d'emissions a l'atmosfera de determinats agents contaminants procedents de grans instal·lacions de combustió.

1.4. Disposició legal i normativa aplicada.

Per a la realització d'aquest projecte, s'apliquen una sèrie de normes i reglaments que a continuació s'exposen.

En quant a la normativa referent al medi ambient:

- Directiva 2016/2284, de 14 de desembre sobre límits nacionals de determinats contaminants atmosfèrics.
- Llei 16/2002 de 1 de juliol, de prevenció i control integrats de la contaminació.
- Decret 833/1975 de 6 de febrer

- Real Decret 430/2004, del 12 de març, relativa a la limitació d'emissions de determinats agents contaminats, procedents de grans instal·lacions de combustió.
- Llei 7/2007 del 9 de juliol de Gestió Integrada de la qualitat ambiental.

Donat que la seguretat industrial és una de les principals preocupacions a l'hora de dissenyar qualsevol projecte, a la *Taula 1.4.1.* es mencionen les normes aplicables.

Taula 1.4.1. Nomes aplicables a seguretat industrial

Norma aplicable	Referent/Definició
Llei 31/1995	Prevenió de Riscos Laborals .
Reial Decret 485/1997	Sobre disposicions mínimes en matèria de senyalització de seguretat i salut en la feina.
Reial Decret 486/1997	Pel que s'estableix les disposicions mínimes de seguretat i salut en els llocs de feina.
Reial Decret 773/1997	Sobre disposicions mínimes de seguretat i salut relatives a la utilització pels treballadors de protecció individual.
Reial Decret 1215/1997	Pel que s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut per la utilització dels equips de treball pels treballadors.
Reial Decret 615/2001	Sobre disposicions mínimes per la protecció de la salut i seguretat dels treballadors davant dels risc elèctric.
Reial Decret 286/2006	Sobre la protecció de la salut dels treballadors contra els riscos relacionats a la exposició al soroll.
Instrucció Complementària MI BT 026 per a Baixa Tensió	Referent a les prescripcions particulars de les instal·lacions en locals amb risc d'incendi o explosió. Instrucció la qual ha tingut en compte també les directives 76/117/CEE, 79/196/CEE i 84/47/CEE
Reial Decret 1244/1979	Mitjançant el qual s'aprova un nou reglament pel que s'estableixen els requisits d'instal·lació, posada en marxa, inspeccions periòdiques, reparacions i modificacions dels equips a pressió, amb pressió màxima admissible superior a 0.5 [bar].
Normes OSHA	Referents a seguretat i salut laboral.

1.5. Referències.

[01] U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

[01a] Guideline on Air Quality Models (revisado). "Code of Federal Regulations- Protection of the Environment". 40 CFR 51 Appendix W. Washinton, D.C: GOvernment Printing Office.

[01b] Pasquill, F. y otros., "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates", U.S. Office of Air Programs (1970).

[01c] Turner, D.B. "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates". Office of Air Programs, Research of Air Programs, Research Triangle Park, Carolina del Norte (1970).

[01d] William M. Vatauvuk."Cost-Air". Office of Air Programs, Research of Air Programs, Research Triangle Park, Carolina del Norte (1970).

- [02] Catálogo de costes de aislamiento de equipamientos Industriales, ROCKWOOL (2017)
<http://www.rockwool.es/productos+y+soluciones/u/2011.product/1849/climatizacion/manta-129>
- [03] David A. Lewandowski., "Design Perry R.H. i Green D.W., *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, Mc Graw-Hill, 8th ED (2007)
- [04] AZO MATERIALS S.A. <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=6022#Mechanical>
- [05] Norma UNE-EN 10025:1994 "Para productos laminados en caliente de acero no aleado, para Construcciones metálicas de uso general".
- [06] MULTI ACEROS S.A. <http://multiaceros.cl/portfolio-item/canerias-negras-a-53/>
- [07] National Institute of Standards and Technology. <https://www.nist.gov/>
- [08] Thermoplastic Duct Construction Manual
- [09] Instrumental Society of America. <https://www.astm.org/Standards/E230.htm>
- [10] Dust Control System Accesories Price List, Huntington Park, CA: Murphy-Rodgers Inc July 1992
- [11] Price and Data Catalog: Standard Ductwork Components. Warren, MI: Wer-Coy Metal Fabrication Co- 1992-93
- [12] Efecto LED S.A. Sylvania Led lights. <http://www.efectoled.com/>
- [13] Richard Turton, Analysis, synthesis and design of chemical processes. 3rd Edition (1998)
- [14] Perry R.H. i Green D.W., *Perry's Chemical Engineer's Handbook*, Mc Graw-Hill, 8th ED (2007)
- [15] Daniel M.C., *Disseny d'equips i instal·lacions*, Universitat Rovira i Virgili, PDF instruccional (2016-2017)
- [16] BREFs
- [17] Normativa UNE.
- [18] The american Society of Mechanical Engineers, Standard ASME <https://www.asme.org>
- [19] Ignacio A.FP., *Diseño de una planta de oxidación de compuestos orgánicos volátiles con capacidad de oxidación de 30,000 kg/h*, Proyecto de fin de carrera de Ingeniería Química (2007).
- [20] Lantecomb -Ceramics, www.lantecp.com/products/
- [21] Bruce R.M., *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*, LIMUSA, (2000).
- [22] Spirax Sarco – fabricant vàlvules reductores de pressió.
- [23] Límits d'emissions <http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/index.htm>
- [24] Legislació consolidada (BOE) <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-19744>

- [25] Casals Ventilación. Ventilación Industrial IND, S.L. <http://www.casals.tv/es>
- [26] Llei 34/2007, del 15 de novembre, sobre qualitat de l'aire i protecció de l'atmosfera.
- [27] Maria A.C., *Estudio de sistemas combinados de combustión catalítica de VOCs*, Tesis Doctoral (2012).
- [28] Patent US5730945 A
- [29] Patent US8740613 B1
- [30] Patent US7833010 B2
- [32] Crosby – fabricant vàlvules de seguretat
- [32] *Código Técnico de la Edificación*, Gobierno de España Ministerio de Fomento, Ley 38/1999 de 5 de novembre <https://www.codigotecnico.org/>
- [33] “*Instrucción d'Estructures de Formigó Estructural*”, Gobierno de España, (EHE-2008) http://www.fomento.es/nr/rdonlyres/e20dff7-fd75-4803-8ca4-025064bb1c40/68186/1820103_2008.pdf
- [34] Norma RC-XX “*Instrucción para la Recepción de Cementos*”, Boletín Oficial del Estado, Real Decreto 256/2016 de 10 de junio. <https://www.boe.es/boe/dias/2016/06/25/pdfs/BOE-A-2016-6167.pdf>
- [35] Drake, R.L. y otros., *Mathematical Models for Atmospheric Pollutants*, EA-1131 (1979)
- [36] Hanna, S.R. y otros., *Handbook on Atmospheric Diffusion (pp-2-4)*. DOE/tic-11223. U.S. Department of Energy. (1982)
- [37] U.S. Air Force., *Weather for Air crews*. AF Manual 105-5 (1962)
- [38] Stern, A.C. y otros. “*Fundamentals of Air Pollution*. Second Edition. Nueva York: Academic Press. (1984)
- [39] IATF 16949 <https://es.lead.bureauveritas.com/>
- [40] Kairos management “Six-Sigma” <http://www.kairosmanagement.com/es>
- [41] Gonvarri-Gestamp, 5-S. Gonvarri-Tarragona S.L.
- [42] The National Institute for Occupational Safety and Health. <https://www.cdc.gov/niosh/npg/npgd0359.html>
- [43] Crosby: catàleg N° 310 (vàlvules de seguretat)
- [44] CEE
- [45] Enrique Borrás Brucart, Gas Natural: Característiques, distribució i aplicacions industrial, Editores técnicos Asociados, s.a.

1.6. Abreviatures i simbologia de la memòria.

Taula 1.6.1: Abreviatures i simbologia.

Nomenclatura	Descripció	Unitat
GENERAL		
COVs	Compostos Orgànics Volàtils	
CE	Comunitat Europea	
RD	Reial Decret	
C ₄ H ₈ O ₂	Acetat d'etil	
C ₃ H ₈ O	Isopropanol	
O ₂	Oxigen	
CO ₂	Diòxid de carboni	
H ₂ O	Formula química de l'aigua	
NO _x	Òxids de nitrogen	
CO	Monòxid de carboni	
CH ₄	Metà	
LEL	<i>Low explosion level</i>	
NO _x	Òxids de Nitrogen	
ppmv	Part per milió en volum	
Dscf	<i>Dry Standard cubic feet of products of combustion</i>	
MM Btu	<i>Heat release in MM Btu/hr (higher heating value)</i>	
BALANÇ DE MATÈRIA I D'ENERGIA		
ΔH	Variació d'entalpia	J
C_p	Capacitat calorífica	J/g·K
T	Temperatura final	K
T_0	Temperatura inicial	K
$x_{liq\ acetat}$	Concentració màssica en el líquid d'acetat d'etil	%
$x_{liq\ isopropanol}$	Concentració màssica en el líquid d'isopropanol	%
x_{tot}	Concentració dels orgànics volàtils en la mescla gasosa	mg/m ³
m_{acetat}	Concentració d'acetat d'etil en la mescla gasosa	mg/m ³
$m_{isopropanol}$	Concentració d'isopropanol en la mescla gasosa	mg/m ³
LEL_t	Límit inferior d'explosivitat a una temperatura T	%
LEL_{25}	Límit inferior d'explosivitat a 25 °C	%
t, T	Temperatura	°C
C_n	Concentració d'un compost n	
$LEL_{isopropanol}$	Límit inferior d'explosivitat de l'isopropanol a la T del sistema	%
$LEL_{acetat\ d'etil}$	Límit inferior d'explosivitat de l'acetat d'etil a la T del sistema	%
$n_{C_4H_8O_2}$	Número de mols de l'acetat d'etil	kmols/s
$n_{C_3H_8O}$	Número de mols de l'isopropanol	kmols/s
n_{O_2}	Número de mols de l'oxigen	kmols/s
a	Constant per al càlcul de la capacitat calorífica	

b	Constant per al càlcul de la capacitat calorífica	
c	Constant per al càlcul de la capacitat calorífica	
d	Constant per al càlcul de la capacitat calorífica	
$\Delta H_{escalfament}$	Entalpia en el procés d'escalfament	MW
$\Delta H_{refredament}$	Entalpia del procés de refredament	MW
$H_{reacció}$	Entalpia de les reaccions de combustió	MW
$H_{combustible}$	Entalpia a aportar pel combustible	MW
$V_{combustible}$	Volum de combustible	m ³ /s
$V_{arrancada}$	Volum de combustible en l'arrancada del procés	m ³ /s
n_{CH_4}	Número de mols de gas natural	kmol/s
$\rho_{combustible}$	Densitat del gas natural	kg/m ³
$PM_{combustible}$	Pes molecular del gas natural	mol/g
V_{O_2}	Volum d'oxigen	m ³
V_{aire}	Volum d'aire	m ³

DISSENY RTO

Anàlisi transferència de calor

Bi	Número de <i>Biot</i>	
h	Coefficient de transferència de calor	W/m ² ·k
L	Longitud característica	m
k	Conductivitat tèrmica del material	W/m·k
v	Velocitat	m/s
Q	Cabal	m ³ /s
A	Àrea de pas	m ²
Re_{Dh}	Número de Reynolds	
D hidràulic	Diàmetre hidràulic	mm
μ	Viscositat	Pa·s
ρ	Densitat	kg/m ³
Pr	Número de Prandtl	
cp	Capacitat calorífica a pressió constant	J/g·K
Nu_D	Numero de Nusselt	
C	Constant	
m	Constant	
k_f	Conductivitat tèrmica de la ceràmica	
T_s	Temperatura a la superfície	K
T_{centre}	Temperatura al centre	K
T_∞	Temperatura del fluid extern	K
V	Volum	m ³
A_s	Àrea superfície	m ²

Protecció de la paret de la cambra de combustió

q	Flux de calor	W/m ²
-----	---------------	------------------

k_r	Resistència total	W/m·K
T_f	Temperatura del fluid	K
T_a	Temperatura de l'aïllant	K
h_f	Coefficient del transport intern d'energia	W/m ² ·K
d_n	Diàmetre del material n	M
k_n	Resistència tèrmica del material n	W/m·K
h_a	Coefficient de transport extern d'energia	W/m ² ·K
A	Paràmetre del material per al càlcul del coeficient de transport	
POST DISSENY		
$\hat{C}_{entrada}$	Concentració mitjana gas residual d'entrada	mg/Nm ³
$\hat{C}_{sortida}$	Concentració mitjana gas residual sortida	mg/Nm ³
SISTEMA DE CANONADES		
Càlcul d'espessors		
D_N	Diàmetre nominal	mm/inch
D_N'	Diàmetre nominal normalitzat	mm/inch
D_o	Diàmetre exterior	mm/inch
D_o'	Diàmetre exterior normalitzat	mm/inch
D_i	Diàmetre interior	mm/inch
D_i'	Diàmetre interior normalitzat	mm/inch
Q_v	Cabal volumètric	m ³ /t
e_{min}	espessor	mm
P_d	Pressió de disseny	bar
z	El coeficient de unió	
f	Tensió de disseny	
$ReHt$	Límit elàstic material	MPa
$Rp0,2t$	Límit de fluència	MPa
Rm	Resistència a la tracció	MPa
e_{min}	Espessor mínim	
e_{ord}	Espessor de seguretat	
e'	Espessor nominal	
C_0	Marge de corrosió	
C_1	Tolerància de fabricació	
C_2	Marge d'aprimament	
ϵ	Rugositat del tub	mm
v	Velocitat del fluid	m/s
Aïllament del sistema de canonades		
q	Flux de calor	W/m ²
k_r	Resistència total	W/m·K
T_f	Temperatura fluid	°C
T_a	Temperatura ambient	°C

T_s	Temperatura superfície	°C
r_i	Radi interior	mm
h_f	Coefficient de transport intern	W/m ² ·K
Suportacio sistema canonades		
$A_{secció}$	Àrea de la secció	m ²
r_{ext}	Radi exterior	m
r_{int}	Radi interior	m
V	Volum lineal de la canonada	m ³
L	Longitud de la canonada	m
ρ	Densitat de l'acer	kg/m ³
XEMENEIA		
Disseny xemeneia		
D_s	Diàmetre de la xemeneia	ft
u_{xe}	Velocitat de sortida de la xemeneia	ft/min
Q_{xe}	Raó de flux volumètric de sortida	ft ³ /min
H_e	Altura efectiva de la xemeneia	ft
H_s	Altura de la xemeneia	ft
H_{pr}	Altura d'elevació de la ploma	ft
H_b	Altura de l'estructura més propera a la xemeneia	ft
L	Dimensió menor de l'estructura més propera a la xemeneia	ft
SP_s	Tir de la xemeneia	In w.c.
H_{br}	Altura de penetració del conducte d'entrada amb la xemeneia	ft
p	Pressió baromètrica	In w.c.
T_{amb}	Temperatura ambient	ER
T_{sa}	Temperatura mitjana del gas a la xemeneia	ER
Plomall		
g	Acceleració deguda a la gravetat	m/s ²
X_v	Concentració del contaminant a nivell de terra	mg/m ³
Q_m	Cabal màssic	kg/h
σ_y	Desv.est. de X_v en direcció y	
σ_z	Desv.est. de X_v en direcció z	
u	Velocitat del vent	m/s
y	Distància en direcció horitzontal	m
z	Distància en direcció vertical	m
H_{xe}	Altura efectiva de la xemeneia	m
Δh	Elevació de la ploma sobre la xemeneia	m
x	Distancia a sotavento de la xemeneia / font	m
F	Flux de flotabilitat	
\hat{u}	Velocitat mitjana del vent	m/s
Cost		

C	Cost de la xemeneia	€
a	Paràmetre de l'equació pel cost de la xemeneia	
D	Diàmetre de la xemeneia	ft
b	Paràmetre de l'equació pel cost de la xemeneia	
H_s	Altura de la xemeneia	ft
C_{AC}	Cost de la xemeneia amb Acer al carboni	€
C_{Al304}	Cost de la xemeneia amb Acer inoxidable 304	€

DISSENY VENTILADOR

Càlcul potencia del ventilador

v	Volum específic del fluid	ft ³ /lb _m
p	Pressió estàtica-manomètrica	lb _f /ft ²
z	Altura del fluid per sobre algun punt de referència	ft
g	Acceleració de la gravetat	ft/s ²
g_c	Constant gravitacional	[lb _m -ft/s ²]/lb _f
u	Velocitat del fluid a través del conducte, campana, etc.	ft/s
W	Potencia del ventilador	kW
F	Pèrdues degudes a la fricció de les canonades	
P	Pressió aportada pel ventilador	Pa
Q	Cabal volumètric al ventilador	m ³ /h
T	Temperatura d'operació del ventilador	°C
v_{a100}	Volum específic de l'aire a 100°F	ft ³ /lb
v_{w100}	Volum específic de l'aigua a 100°F	ft ³ /lb
R	Constant de gasos ideals	ft-lb _f /(lb _m -mol)(ER)
T	Temperatura absoluta del gas	ER
M	Pes molecular del gas	lb _m /lb _m -mol
p	Pressió absoluta	lb _f /ft ²
hp_f	Potencia del ventilador	hp

INSTRUMENTACIÓ

A	Capacitat de descarrega de la vàlvula	mm ²
W	Cabal màxim	kg/h
T	Temperatura d'operació màxima	°C
Z	Factor de compressibilitat	
M	Pes molecular	g/mol
C	Coefficient càlcul descarrega vàlvula	
K	Coefficient efectiu de descarrega	
P_1	Pressió de descàrrega	kPa
K_b	Factor de correcció descàrrega vàlvula	

ENLLUMENAT

N	Número de lluminàries necessàries per una superfície a il·luminar	
E	Nivell lluminós	Lux

S	Superfície a il·luminar	m^2
γ	Emissió lluminosa de la làmpada	Lúmens
Cu	Coefficient d'utilització	
Fm	Factor de manteniment	
CONTROL NO _x		
K_{eqno_x}	Constant d'equilibri NO _x	
(N ₂)	Fracció molar del nitrogen	
(O ₂)	Fracció molar de l'oxigen	
(NO)	Fraccions molar de l'òxid nítric	
R	Constant universal dels gasos	Cal/g·mol·K

1.7. Requisits de disseny.

Es farà una breu introducció en forma de taula de totes les dades de partida de les condicions inicials del procés.

Taula 1.7.1. Condicions inicials de procés.

Descripció	Temperatura [°C]	Pressió d'operació [bar]
Aire de combustió	50	1.10
Aire de combustió per a la posada en marxa	150	1.10
Aire per a instrumentació	23	4.00
Gas natural	23	6.00
Gasos de COV	23	1.20

La composició inicial de la corrent de COVs és:

Taula 1.7.2. Composició inicial del corrent de COV.

Composició	% mol
C ₄ H ₈ O ₂ (Acetat d'etil)	0.01
C ₃ H ₈ O (Isopropanol)	0.04
O ₂	21.01
N ₂	78.94

Les condicions de l'aire comprimit amb el que contem són:

Taula 1.7.3. condicions de l'aire comprimit de l'empresa.

Descripció	Aire de planta	Aire d'instrumentació	
$P_{m\grave{a}x}$	10	10	[kg/cm ² g]
P'	7	4	[kg/cm ² g]
$T_{m\grave{a}x}$	35	35	[°C]
T'	20	20	[°C]
Contingut d'oli máx.	50	50	[ppm]

En quant al combustible utilitzat, en aquest cas gas natural:

Taula 1.7.4. Característiques del gas natural.

Descripció	Gas natural	
Densitat específica	3.95	[kg/m ³]
Calor específic	51.04	[MJ/m ³]
Pes molecular	16	[g/mol]
CH ₄ %mol	95-98	
C ₂ H ₆ %mol	1-3	
C ₃ H ₈ %mol	0.5-1	
C ₄ H ₁₀ %mol	0.2-0.5	
C ₅ H ₁₂ %mol	0.2-0.5	
CO ₂ %mol	0.0-0.8	
N ₂ %mol	0.0-0.5	
H ₂ S %mol	0-0-0.5	
P'	6	[kg/cm ² g]
T _{màx.}	40	[°C]
T'	23	[°C]

En quant a la climatologia de l'emplaçament, s'han tingut en comte les mitjanes del servei meteorològic de Catalunya de l'any 2016.

Taula 1.7.5. Característiques mitjanes de l'atmosfera a la planta.

Variables	Atmosfera	
Velocitat del vent	>6	[m/s]
Direcció del vent	NO	
Mesura del vent	5	[m]
Cobertura de núvols	5	[1-10]
Temperatura de l'atmosfera	20	[°C]
Estabilitat atmosfèrica	D	
Inversió atmosfèrica	NA	
Humitat relativa	75%	

1.8. Descripció del contingut del projecte.

Capítol 2: *Es farà una explicació de les tècniques existents al mercat. Ja sigui tan tècniques no destructives com de destrucció de COVs, també es farà una selecció de les possibles tècniques a utilitzar mitjançant els criteris bàsics necessaris amb els que haurà de funcionar la planta, per finalment fer una selecció final del mètode més adient al procés.*

Capítol 3: *En aquest capítol, es farà una explicació detallada del funcionament del procés, seguit dels plànols principals a mode de visualització ràpida.*

Capítol 4: *Es farà una explicació del disseny tots els càlculs necessaris per l'equip d'oxidació tèrmica regenerativa i es presenten dades finals del disseny de la d'aquest.*

Capítol 5: *En aquest apartat s'explicarà tots els càlculs necessaris per al sistema de canonades del projecte, es presenten els raonaments i dades finals de les necessitats per al disseny dimensional de canonades, disseny de l'aïllament i suport d'aquestes.*

Capítol 6: *Es farà una explicació del disseny tots els càlculs necessaris per la xemeneia i es presenten dades finals del disseny de la xemeneia, tant mateix es farà una explicació detallada del funcionament físic del plomall i una simulació extensa d'aquest.*

Capítol 7: *Es farà una explicació del disseny tots els càlculs necessaris pel ventilador i es presenten dades finals del disseny.*

Capítol 8: *En aquest apartat es farà un resum dels sistemes d'instrumentació existents i triats i els càlculs del dimensionament de la vàlvula de seguretat i de la vàlvula reductora de pressió del sistema de gas natural.*

Capítol 9: *S'explicaran tots els llaços de control dissenyats per tal de assegurar un funcionament correcte i segur de la planta d'oxidació, així com la seqüència de posada en marxa d'aquesta. Tant mateix s'exposaran tant el sistema de monitorització en continu, el sistema de control lògic programable i els sistema d'adquisició de dades del sistema.*

Capítol 10: *Donat que principalment aquest projecte està proposat i dissenyat per a la protecció del medi ambient, s'explicaran les principals problemàtiques que es volen evitar mitjançant l'aplicació d'aquest sistema de reducció de COVs a fi d'evitar un mal major a l'hora d'emetre'ls a l'atmosfera sense ningun tipus de control.*

Capítol 11: *Es parlarà dels sistemes de manteniment de les instal·lacions, dividint-les en les tres tipologies de manteniment que s'aplicaran a tot el sistema.*

Capítol 12: *En aquest apartat es parlarà sobre l'objectiu de la seguretat industrial, així com també de la protecció contra accidents que puguin produir perjudicis a les persones, fauna, flora, béns, al propi medi ambient derivats de l'activitat industrial, manteniment i funcionament de les instal·lacions o equips i del consum, producció, emmagatzematge o rebuig dels productes industrials.*

Capítol 13: *Finalment es presentarà l'estudi econòmic de dos casos diferents, els quals principalment estaran basats en la utilització o no del sistema proposat finalment.*

Capítol 14: *S'hi trobaran les conclusions del projecte.*

2. ANÀLISIS DE SOLUCIONS

En aquest capítol, es farà una explicació de les tècniques existents al mercat. Ja sigui tan tècniques no destructives com de destrucció de COVs, també es farà una selecció de les possibles tècniques a utilitzar mitjançant els criteris bàsics necessaris amb els que haurà de funcionar la planta, per finalment fer una selecció final del mètode més adient al procés.

2.1. Tècniques no destructives de COVs.

L'objectiu d'aquest tipus de tècniques és extreure els COVs presents en una corrent d'aire a tractar i recuperar-los per la seva posterior utilització. D'aquesta forma s'obtindrà un doble objectiu, que és complir amb les normes ambientals que limiten l'emissió de COVs, per també obtenir una recuperació i reutilització dels mateixos.

Existeixen diverses tecnologies que permeten la recuperació dels COVs, les quals es basen en processos d'adsorció, absorció, condensació o mitjançant la utilització de membranes. A continuació es descriuen les diverses tècniques que es tindran en compte.

2.1.1. Adsorció.

En el control de la contaminació de l'aire, l'adsorció s'utilitza per a extreure COVs de corrents de gas amb baixa o mitja concentració, quan es necessari establir una concentració de sortida i/o recuperació dels COVs.

El disseny d'un sistema d'adsorció depèn de les característiques del COV que hagi de ser recuperat, de les condicions operacionals del corrent de gas a la entrada de la columna (temperatura, pressió, caudal volumètric) i de les propietats físiques de l'adsorbent.

El corrent del procés circula a través de l'absorbidor on els COVs resulten ser selectivament retinguts per el material adsorbent fins que la presència dels mateixos a la sortida de l'absorbidor; és una operació discontinua per a que el material adsorbent pugui ser regenerat. On la regeneració del llit fix es realitza típicament per escalfament o mitjançant l'ús d'un aspirador que desadsorbeix els gasos adsorbits al procés; posteriorment el llit fix es refredat i assecat, que usualment es realitza alimentant aire mitjançant un ventilador. Un cop regenerat, el llit fix queda disponible per actuar un altre cop com adsorbidor. El procés de regeneració del llit es pot repetir tants cops com la vida útil del material ho permeti, on l'adsorbent ha de ser substituït degut a que la seva capacitat d'adsorció disminueix gradualment. Els vapors obtinguts son enviats a un sistema de recuperació, que pot ser un condensador, un decantador o una torre de destil·lació.

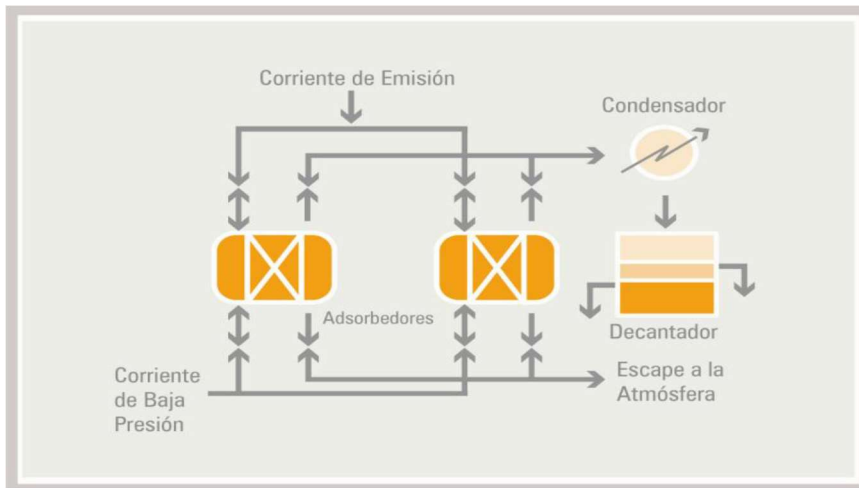


Figura 2.1.1.1. Esquema de sistema d'adsorció.

2.1.2. Absorció.

Aquesta alternativa consisteix en remoure els COVs d'una corrent gasosa posant-la en contacte amb un solvent líquid. Tots els COVs solubles són transferits a la fase líquida i d'aquesta manera s'aconsegueix reduir la concentració de COVs a la corrent gasosa.

Aquest tipus de separació es duu a terme per medi d'una torre d'absorció dissenyada per donar l'àrea necessària de contacte líquid-vapor i així facilitar la transferència de massa.

L'absorció es generalment usada per netejar corrents gasoses amb altes concentracions de COVs, especialment els que són solubles en aigua, com el metanol, etanol, isopropanol, butanol, acetona i formaldehid.

Existeixen alguns factors que limiten l'ús:

- Disponibilitat del solvent adequat. Els COVs han de ser solubles en el líquid absorbent (aigua, olis minerals).
- Disponibilitat d'informació de l'equilibri líquid-vapor per a sistemes específics orgànic-solvents en qüestió. Aquesta informació es necessària per dissenyar el sistema absorbidor, encara que en moltes ocasions no esta disponible per a compostos orgànics no comuns.

Un altre aspecte a tenir en compte per aquest tipus de sistemes es el tractament del solvent a la sortida del procés d'extracció dels COVs. En molts casos el líquid que ha absorbit els COVs és recuperat per desorció dels COVs, típicament per escalfament o per tractament al buit.

Els COVs són recuperats com a líquid en un condensador.

2.1.3. Condensació.

La separació per condensació es pot dur a terme incrementant la pressió del sistema a una temperatura donada (condensació-compressió) o disminuint la temperatura a una pressió constant (condensació-refrigeració).

En un sistema de dos components el qual un d'ells no és condensable (aire), la condensació succeeix quan la pressió parcial del component volàtil iguala a la pressió de vapor (punt de saturació). Per als compostos més volàtils, una gran quantitat dels mateixos es manté com a vapor a una donada temperatura. Per tant, per a remoure o recuperar el compost, es requereix una temperatura més baixa per a produir la saturació i condensació. En aquests casos, s'utilitza la refrigeració per a obtenir les temperatures baixes necessàries per arribar a les eficiències requerides.

L'equipament bàsic d'un sistema de condensació refrigerat inclou essencialment un condensador i una unitat de refrigeració. Per a l'obtenció de temperatures molt baixes pot utilitzar-se nitrogen líquid. Els condensadors poder ser utilitzats per a remoure els COVs no halogenats i halogenats sense necessitat d'equips auxiliars costosos. Si la corrent de venteig conté vapor d'aigua o si el COV té un alt punt de congelació, poden formar-se gels o hidrocarburs congelats als tubs o plaques del condensador reduint l'eficàcia de la transferència de calor, i augmentant la caiguda de pressió en el condensador. En aquests casos pot ser usat un pre-refredador per remoure la humitat abans que la corrent entri al condensador.

L'eficàcia dels condensadors usualment varien entre un 50% a un 95%. (Everaert y col., 2002). (ref.19).

2.1.4. Membrana.

En un separador típic de membrana, el corrent de gas a tractar és alimentat en un arranament de mòduls de membranes, on aquestes són preferentment permeables als solvents orgànics. Els COVs en el corrent permeable són després condensats i remoguts com un líquid per a la seva recuperació. El gas purificat és remogut com un residu.

El pas a través de la membrana és induït per una diferència de pressió a banda i banda de la mateixa. El compost travessa la membrana a una determinada velocitat depenent de la permeabilitat del material i de la força impulsora. Els sistemes de separació per membranes poden tenir un o múltiples passos, tants com siguin necessaris per assolir les eficiències de recuperació desitjades. Les separacions per membranes han de ser considerades per baixos cabals i altes concentracions, casos en els quals altres sistemes, com l'adsorció, no són

econòmicament viables o capaços d'aconseguir el nivell d'eficiència de remoció requerida. La vida útil de les membranes és, de mitjana, de tres anys.

Existeixen diversos factors que limiten la possibilitat d'aplicar els sistemes de membrana per a la recuperació de COVs. (Khan y Ghoshal, 2000)(ref.19):

- Adequació al tractament d'un conjunt de compostos orgànics.
- Cost de la membrana.
- Manteniment de la membrana.
- Velocitat del procés.
- Reutilització de la membrana.
- Humitat del corrent.

2.2. Tècniques de destrucció de COVs.

Com el seu nom indica l'objectiu d'aquestes tècniques és eliminar els COVs presents al corrent a tractar. Els COVs poden ser eliminats mitjançant una combustió, tèrmica o catalítica, mitjançant un procés de biofiltració o per un procediment fotocatalític, tal com es descriuen a continuació.

2.2.1. Incineració o combustió.

Dintre d'aquest mètode, que és el més important en l'actualitat, es troba la via tèrmica i la via catalítica. Els dos sistemes d'incineració consten de tres subsistemes bàsics: el cremador, la cambra de oxidació i un economitzador de calor de gasos depurats. El cremador és bàsicament un iniciador de la reacció mentre que la cambra d'oxidació és un recipient de tipus cilíndric capaç d'aguantar temperatures elevades. I per últim, l'economitzador és una manera de reaprofitar la calor de la reacció normalment exotèrmica per a altres usos com ara l'escalfament previ de la corrent o la generació de vapor.

La combustió tèrmica consisteix en la oxidació de COVs en presència d'oxigen a una temperatura elevada durant el temps necessari com per arribar a una combustió completa a CO₂ i H₂O com a únics productes. L'eficiència i la velocitat del procés de combustió depenen del temps de contacte, temperatura i la relació O₂/COVs.

L'incinerador tèrmic consisteix principalment en un equip de combustió en la qual la flama es manté per la combinació d'un combustible auxiliar, els components presents en la corrent de gas a tractar i l'oxigen. Quan el gas a tractar passa per la flama, aquest és escalfat fins a la

temperatura necessària per la ignició. Aquesta temperatura varia en funció dels diferents compostos a tractar.

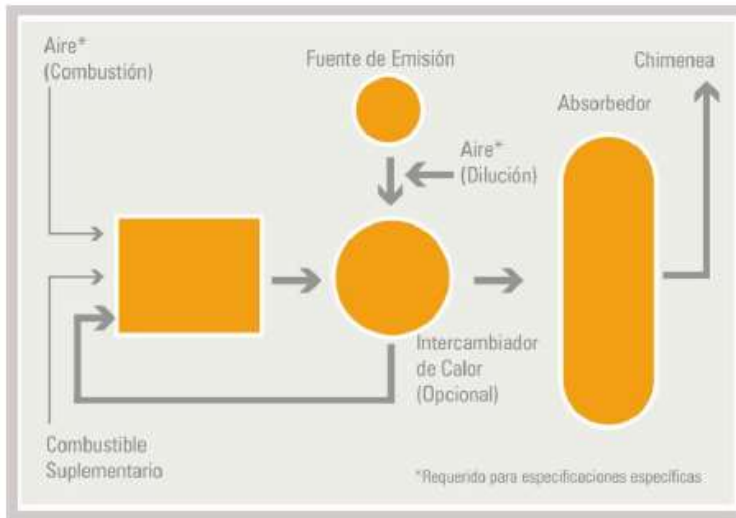


Figura 2.2.1.1. Esquema d'un incinerador tèrmic.

Per consideracions de seguretat, la màxima concentració de COVs en el gas residual a tractar ha de ser substancialment més petit al límit inferior d'explosivitat (LEL) "lower explosive límit" dels components específics que es vol controlar.

El LEL d'un compost orgànic donat, és la concentració mínima d'aquest compost en aire capaç de mantindre la combustió. Com a regla, s'utilitza un factor de seguretat de 4 (25% del LEL) tot i que alguns equips d'oxidació són capaços d'operar en forma segura sobre aquest nivell. En cas de ser necessari, el gas residual ha de ser diluït amb aire del ambient per que, d'aquesta manera, es disminueixi la seva concentració. Si bé aquest tipus de consideració no és una qüestió significativa quan es tracten corrents amb COVs mitjançant mètodes destructius, ja que normalment es troben mol diluïts.

El nivell de control necessari de COV en el gas residual que s'ha d'assolir durant el temps en el que el gas es troba en la càmera de combustió determina la temperatura del reactor. Com més petit sigui aquest temps de residència, major ha de ser la temperatura del reactor. Molts dels incineradors tèrmics estan dissenyats per no tindre més de un segon com a temps de residència del gas residuals i amb temperatures típiques de 650 a 1000°C. A més a més, un cop la unitat ha sigut construïda no és fàcil modificar el temps de residència, d'aquesta manera, la temperatura de reacció requerida, resultarà una funció de les espècies gasoses particulars i del nivell de control desitjat.

Per assegurar un 98% de destrucció de compostos orgànics no halogenats, els incineradors comercials generalment han d'operar per damunt dels 870°C amb un temps de residència

nominal de 0.75s. La destrucció de compostos orgànics halogenats en canvi, necessiten d'una temperatura propera a 1100°C.

Però les altes temperatures requerides en aquests processos poden causar la formació de NO_x, un gran desavantatge en aquest tipus de tractament. En aquest cas es necessitaria d'un tractament posterior de la corrent de sortida.

2.2.1.1 Combustió tèrmica amb incinerador de flama directa.

El exemple més simple de les configuracions d'incineradors per tal de portar la corrent residuals a la temperatura de reacció i mantenir-la és l'incinerador de flama directa. Aquest consisteix sols de la pròpia càmera de combustió. Pel que fa el sistema de preescalfament o el de recuperació d'energia, no es consideren part de l'incinerador en si.

Aquesta tècnica és la més econòmica per a cabals que varien entre els i els 1,000 [Nm³/h] i la més adient per a processos discontinus.

2.2.1.2 Combustió tèrmica amb incinerador recuperatiu.

La configuració d'aquest sistema consisteix en la càmera de combustió, el preescalfament de la corrent de gas residual i un recuperador secundari d'energia mitjançant un bescanviador *Figura 2.2.1.2.1*. D'aquesta manera, l'eficiència energètica és més favorable i més econòmica. Tot i així si la concentració de COVs a la entrada no supera els 2-3 [g/m³], límit autotèrmic, aquest procés continua necessitant d'una quantitat considerable d'energia addicional. El cremador disposa sempre d'una flama pilot auxiliar per si fes falta l'aportació extra d'energia. Aquesta tècnica és la més econòmica per a cabals que varien entre 1,000 i 15,000 [Nm³/h] i és la més adient per a processos continus i gasos residuals amb una concentració de dissolvent de 6-12 [g/m³]. Aquesta tècnica es pot utilitzar tant de manera continua com discontinua, ja que disposa d'un temps d'arrancada relativament baix (menys d'una hora).

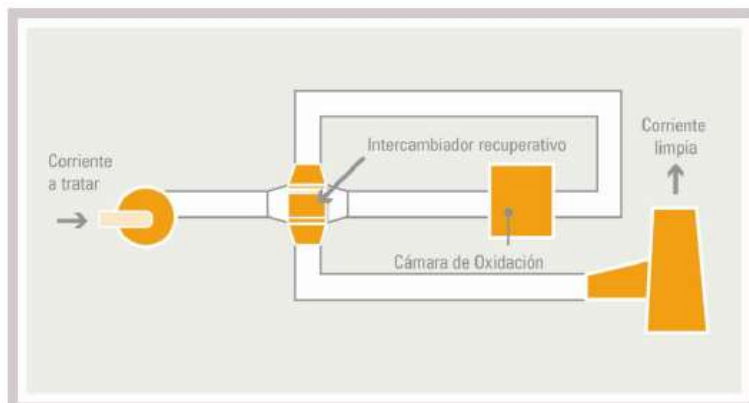


Figura 2.2.1.2.1. Combustió tèrmica amb incinerador recuperatiu.

2.2.1.3 Combustió tèrmica catalítica.

Els reactors de combustió catalítica consisteixen en llits fixes o estructurats. Com es pot observar en la *Figura 2.2.1.3.1.*, la corrent de gas es introduïda al reactor catalític on es produeix la combustió. Un cop aquesta corrent de gas calenta és introduïda, l'oxigen juntament amb els COVs es difonen, des de la corrent de gas al espai catalític on es produeix l'oxidació. Els productes resultants de la reacció són després desabsorbits dels espais catalítics i difonen altre cop a la corrent gasosa.

Aquest mètode serveix per a tractar concentracions de COVs de fins a 5 [g/Nm³] i és molt adient per a fluxos discontinus de fins a 10,000 [Nm³/h]. Si s'utilitza de manera continua la vida útil del catalitzador queda limitada a unes 15,000-20,000 hores.

A temperatures d'entrada superiors als 400 [°C] no és necessari un preescalfament per arribar a la temperatura d'activació del catalitzador. No obstant si el sistema requereix de temperatura es pot fer servir el corrent de sortida per a escalfar una corrent amb combustible addicional per a augmentar la temperatura a l'entrada.

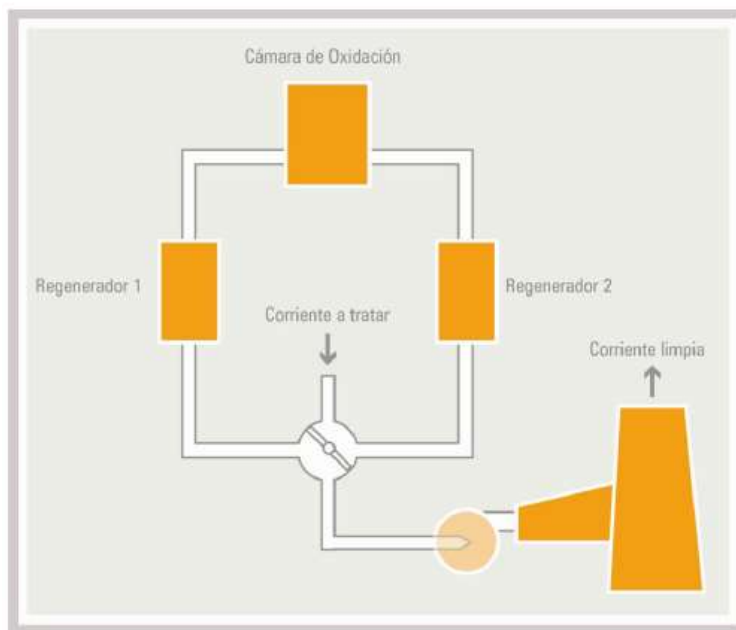


Figura 2.2.1.3.1. Incinerador catalític.

El sistema catalític ha d'optimitzar-se en funció dels requisits d'aplicació dissenyant correctament els seus components: suport i material actiu (activitat, superfície específica, estabilitat, difusió de reactius i productes).

Un dels grans avantatges d'aquest mètode és una menor temperatura necessària als mecanismes alternatius que la combustió catalítica ens proporciona. Els catalitzadors propis de la eliminació dels COVs poden ser materials actius als òxids metàl·lics o metalls nobles. Per tant,

a part de l'estalvi energètic, també permet utilitzar una menor quantitat d'oxigen, genera nivells més baixos de òxids de nitrogen (NO_x) i pot emprar-se per fluxos variables.

Per l'altre banda, l'oxidació tèrmica presenta com a inconvenient la possibilitat d'enverinar el catalitzador i per tant, augmentar les despeses. Malgrat això, existeixen catalitzadors més adequats segons el tipus de COV en concret.

2.2.1.4 Combustió tèrmica regenerativa.

Es caracteritza per la presència d'unes torres omplertes d'un material ceràmic que reté i cedeix la calor de la combustió del gas tractat durant els successives cicles del procés. Amb aquestes torres s'aconsegueix una eficàcia de recuperació tèrmica superior al 95%.

Aquests equips doten d'un sistema de vàlvules de tancament cònic, gracies a les quals s'aconsegueix una eficiència de purificació molt elevada i s'evita el risc d'escapaments d'aire sense tractar. Mitjançant aquest sistema l'equip pot romandre tancat durant el torn de nit o dies no laborables, mantenint així alta temperatura i per tant una ràpida posada en marxa amb un consum més reduït. La temperatura de combustió en la cambra és de 750 [°C] aproximadament i aquesta pot ser alimentada d'un combustible addicional si és que la concentració del gas a tractar no és suficient com perquè el sistema sigui autotèrmic.

És un mètode molt flexible ja que permet treballar amb dos, o bé, tres càmeres de combustió si es necessita tractar fluxos molt elevats, no es vol perdre la capacitat de tractament o en la destrucció tèrmica de dissolvent halogenats. Això permet tindre cabals molt variats, des de 2000 [Nm³/h] fins a 100,000 [Nm³/h], i amb unes concentracions de COVs que van des de 0,3 a 10 [g/Nm³]. Al ser uns equips molt utilitzats avui en dia, garanteixen fiabilitat i una vida útil llarga, així com també baixos costos d'exploració i manteniment.

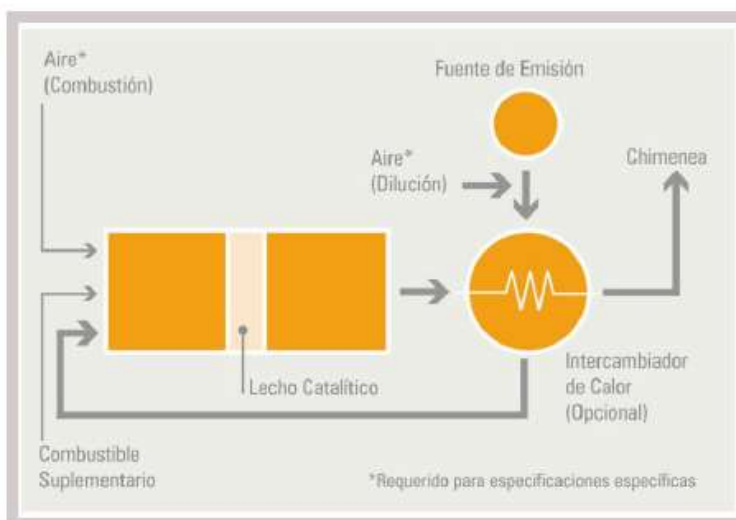


Figura 2.2.1.4.1. Oxidació regenerativa amb dos càmeres de combustió.

També mencionar una alternativa dintre d'aquests sistemes que és el bescanviador rotatori, el qual consisteix en un llit cilíndric, amb una matriu de farciment i amb una partició, de tal manera que es manté una posició física espacial fixa pel que fa les corrents fredes i calentes. Però gira el propi bescanviador, permetent l'eliminació de les vàlvules i el contacte alternat de les corrents fredes i calentes amb la matriu de farciment.

2.2.1.5 Oxidació per UV.

Aquesta tècnica consisteix en l'ús de llums UV col·locades en sèrie per on passa el corrent a tractar, les molècules de COV es fragmenten per l'acció de l'energia d'ona curta que emeten els llums i, a partir de l'oxigen de l'aire es forma ozó. L'ozó reacciona amb les molècules fragmentades, oxidant-les parcialment. Després dels llums es troba una unitat que conté un agent catalitzador (TiO_2 normalment), que permet que la oxidació de l'ozó i els COVs continuï, destruint així tot l'excés d'ozó.

La temperatura d'entrada dels gasos no pot superar els 60°C i la humitat ha de ser inferior al 85%.

Aquesta tècnica es va desenvolupar principalment per a la reducció de mals olors i per a la destrucció de substàncies tòxiques però, actualment s'utilitza per a la completa destrucció de COVs, especialment en gasos residuals amb baixes concentracions d'aquests (menys de $0.5[\text{g}/\text{Nm}^3]$).

2.3. Selecció de l'alternativa mitjançant criteris bàsics.

Descrites les principals tècniques per el tractament dels COVs, resta formular criteris que permetin la selecció entre les mateixes. En termes generals el criteri a aplicar seria seleccionar la tècnica que permeti assolir l'objectiu (nivell de COVs requerit) amb el menor cost possible. Encara que per cada cas específic es pot definir criteris que permetin fer una tria entre les diverses metodologies. Una selecció entre els diferents mètodes pot basar-se en les següents característiques:

- Eficiència de reducció d'emissions (nivell de COVs a la sortida).
- Cabal del corrent a tractar.
- Concentració dels volàtils.

Per tenir una visió més completa de les especificacions tècniques esmentades anteriorment, s'ha construït la *Taula 2.3.1.* amb les alternatives destructives i no destructives que s'han cregut més importants i més atractives pel corrent a tractar.

Taula 2.3.1. Taula comparativa d'especificacions d'alternatives més destacables.

Alternatives	Eficàcia	Cabal (Nm ³ /h)	Concentració màxima
Condensació	Fins concentració de saturació	20 – 1200	1000 g/Nm ³
Absorció	99%	20 – 2000	Depèn de la retenció de l'absorbent
Adsorció	90 - 99%	10,000– 450,000	15 g/Nm ³
Oxidació tèrmica directa	98 – 99%	1,000 – 30,000	< 25% LEL
Oxidació tèrmica recuperativa	>99%	100 – 50,000	< 25% LEL
Oxidació tèrmica catalítica	90 – 95%	1,000 – 20,000	< 25% LEL
Oxidació tèrmica regenerativa	>95%	5,000 – 250,000	1 – 10 g/Nm ³

Tenint en compte les especificacions, tal com s'ha observat a la *taula 2.3.1*, tant d'entrada com de sortida del gas a tractar, s'han descartat varis mètodes. Seguint la llei del Real Decret 34/2007, del 15 de novembre, la imposició més important ve donada per la concentració de sortida i per tant, per l'eficàcia del mètode corresponent. Partint d'això es descarten tots els mètodes que no arriben a una eficiència d'emissions del 97,6%.

El cabal d'aire i la concentració dels volàtils d'aquesta són els dos següents aspectes importants per la selecció del tractament. Moltes de les alternatives mencionades no presenten inconvenients de tipus tècnic per a ser utilitzades fora de certs rangs d'operació. Però les mateixes deixen de ser econòmicament convenientes, ja que sempre es pot tractar de dividir el flux donat entre diferents equips o en el cas de la concentració, diluir-la augmentant el cabal, o bé, concentrar-la amb un equip auxiliar.

Per poder descartar l'opció de posar dos equips i complir amb les especificacions marcades de cabal i eficàcia, tal com passa amb l'oxidació tèrmica directa i la oxidació recuperativa, sembla interessant fer la següent comparació de balanç d'energia. Tal com es pot observar en la *Taula 2.3.2.*, l'oxidació tèrmica regenerativa suposa molta menys despesa d'energia, ja sigui elèctrica o un combustible addicional. Per aquest motiu, es veu clarament com a primera vista no surt a compte invertir en dos equips com l'incinerador de flama directa o el recuperatiu més les despeses que cadascú implica quan es pot triar l'incinerador regeneratiu.

Taula 2.3.2. Consum i estalvi d'energia amb diferents tipus d'incineradors.

Concepte	kW	GN [Nm ³ /h]
Calor necessari per escalfar 5000 [Nm ³ /h] d'aire de 20 a 800[°C]	1700	170
Calor que aporten els contaminants [1gC/Nm ³]	60	6
Calor que hauria d'aportar el cremador en un sistema d'oxidació directa	1640	164
Calor que hauria d'aportar el cremador en un sistema d'oxidació recuperatiu amb un 50% de recuperació de calor en el bescanviador	820	82
Calor que ha d'aportar el cremador del sistema d'oxidació tèrmic regeneratiu amb un 95% de recuperació de calor	65	6.5

Tenint en compte les premisses esmentades es descarten gairebé totes les alternatives restants, essent les úniques viables l'adsorció com a mètode no destructiu i la oxidació tèrmica regenerativa com a mètode destructiu.

2.4. Comparativa Final.

L'oxidació tèrmica regenerativa, com bé s'ha dit, té una elevada eficiència de destrucció independentment de la naturalesa del COVs, de la seva concentració, del seu punt d'ebullició o de les condicions de humitat i temperatura. Però mirant el cas a tractar, l'isopropanol i l'acetat d'etil presenten unes entalpies d'oxidació adequades per tal de intentar realitzar un procés encara més auto tèrmic. En el cas de l'adsorció el tipus de COVs són molt importants, ja que el material adsorbent dependrà de la naturalesa dels compostos a adsorbir. També s'ha de tenir en compte que l'adsorció no es un mètode per a eliminar els contaminants si no que cada cert temps s'ha de regenerar el material fent servir un corrent líquid o gas que pugui absorbir-los i, posteriorment tractar aquest corrent o utilitzar-lo. Per tant utilitzar l'adsorció en aquest cas no sembla la opció més idònia ja que un cop regenerat el material adsorbent es torna a tenir un corrent amb COV.

Pel que l'adsorció fa, es sol construir amb unitats paquets, les qual son dimensionades normalment per cabals estandarditzats. En canvi, els incineradors regeneratius són unitats acoblades al camp i poden ser construïdes prèviament per separat de les dimensions desitjades. La cambra de combustió, el preescalfador, i altres tipus d'equips, són dissenyats i fabricats individualment i acoblades en el lloc desitjat.

3. DESCRIPCIÓ DEL PROCÉS

Els gasos freds de COV a depurar arriben pel conducte general (RTO-32''-COV-1100-A152-) des del procés on han estat capturats fins a l'oxidador tèrmic regeneratiu (RTO-100). El conducte disposa d'una vàlvula de tall tot o res automàtica (MV-010) enclavada per el valor de la temperatura indicat i transmès per TT/TIC-110 i pel detector i transmissor de flama BT-100 en la cambra de combustió de l'oxidador (RTO-100). Amb això s'aconsegueix que durant la posada en marxa o la parada de la planta no es pugui introduir la corrent de COV a l'oxidador (RTO-100), fins que no existeixi una flama del gas natural. Tal com està marcat en les condicions d'operació, el RTO treballarà a una temperatura mínima de 686 °C . En la posada en marxa aquesta temperatura s'aconseguirà només amb la calor aportada per la combustió del gas natural. Per tant, la vàlvula de tall tot o res (MV-010) només obrirà quan existeixi aquesta temperatura mesurada pel TT/TIC-110 a prop de la paret interna de la cambra. Després de la vàlvula de tall es troba una vàlvula controladora de pressió. Aquesta ve enclavada pel transmissor controlador indicador PT/PIC100. En la corrent de COV a depurar (RTO-32''-COV-1100-S235-) també ve instal·lada una placa d'orifici (FE-100) juntament amb el transmissor FT-100, que manarà la mesura de cabal d'aquesta.

La corrent de combustible addicional de gas natural (RTO-3/4''-GN-1200-A53-) és necessària sobretot per la posada en marxa del dispositiu de depuració però també per compensar la calor aportada per la ceràmica de manera continua. El gas natural, juntament amb l'aire per la combustió, són els encarregats d'aportar el 26 % de la calor necessària en condicions normals d'operació. La línia disposarà d'una placa d'orifici (FE-150) juntament amb el transmissor (FT-150). Aquests estan connectats amb un sistema *block and bleed* format per dues vàlvules manuals de bola (BV-153 i BV 151) i la vàlvula de purga (VP-150), col·locada verticalment i en el punt més baix per tal de facilitar la purga de la canonada un cop bloquejada. Per tal de protegir la línia de gas natural (RTO-3/4''-GN-1200-A53-) i els seus components més importants, es disposa d'un filtre de tipus Y (ST-150) abans de la vàlvula autoreguladora (PCV-150). Aquest filtre evitarà la poca quantitat de sòlids petits que pot tindre la instal·lació provinents de la canonada mateixa o bé d'altres elements anteriors trobats a la línia.

Tot seguit es troba la vàlvula autoreductora de pressió (PRV-150), la qual es troba dissenyada a l'Annex II a l'Apartat 3.1.1. Aquesta s'encarrega d'eliminar les possibles variacions de pressió provinents d'aigües a munt, i fer arribar el gas natural a la pressió desitjada de treball.

Abans de la vàlvula autoreguladora es disposa d'un transmissor indicador controlador de pressió que actua sobre la PRV respectiva. Després es troba un manòmetre (PI-151), indicant la pressió a camp. Tot i haver-hi la vàlvula autoreguladora, existeix el risc de que aquesta falli i sobrepassar la pressió màxima admissible d'aquesta. A causa d'aquest possible risc, a continuació es troba instal·lada a la línia de gas natural una vàlvula de seguretat de membrana (PSV-150), que compleix amb la norma ISO 4126 i per tant, és capaç de descarregar amb una sobrepressió que no excedeixi un 10% per damunt de la pressió de tara. La vàlvula està tarada a 7.1 bars i rearma a 6.0 bars. Aquest càlcul es troba a l'Annex II, l'*Apartat 3.1.1*.

La línia de gas natural (RTO-3/4"-GN-1200-A53-) conta amb un segon filtre (F-150) capaç de filtrar partícules molt més fines. Després del filtre és el pressòstat de baixa PSL-151 i el pressòstat d'alta PSH-151, en el cas de sobrepassar els punts de consigna, actuen sobre la vàlvula de tall BV-153. La vàlvula de tall tot o res TCV-151 controlarà el cabal de gas natural en funció de la temperatura mesurada pel TT/TIC-101 . Tot i que normalment aquest cabal ha de ser constant, quan per qualsevol motiu no s'aconsegueixi transferir la suficient calor de la ceràmica al gas a tractar, fet que es veurà reflectit en els transmissors i controladors indicadors de temperatura TT/TIC 110,111,120,121,130,131 abans de que el gas arribi a la cambra d'oxidació. En el cas que es necessiti més calor, els controladors de temperatura mencionats anteriorment actuaran sobre la vàlvula TCV-151 fent obrir i introduint gas natural. Per últim, les vàlvules de tall tot o res automàtiques BV-151, BV-152 i BV-153 enclavades per el detector de flama BT-100.

L'aire de combustió pel cremador prové de la corrent dels COV. L'aire arriba per la canonada RTO-14"-GASC-1000-S235- la qual surt justament d'abans de la primera entrada a la primera ceràmica. Aquesta línia s'uneix amb una línia de recirculació (RTO-14"-GASR-2300-S235-I) amb gasos ja tractats. Aquesta línia es recircula amb la finalitat de reduir els NO_x en la combustió ja que es redueix l'excés d'oxigen i es puja la temperatura de l'aire.

Les dues línies s'ajunten just a l'entrada del cremador, a on es disposa d'una vàlvula controladora de cabal (FCV-011) actuada per el transmissor i indicador controlador FT/FIC-021. També es disposa d'un pressòstat de baixa PSL-051, el qual actua sobre la vàlvula de tall BV-153 de la línia de gas natural.

A l'entrada del RTO-100 la línia RTO-32"-COV-1100-S235- es divideix en 3 línies corresponents de cada torre de l'equip. Aquestes tres línies s'identifiquen com a RTO-32"-COV-

1110/1120/1130-S235- i disposen de tres vàlvules papallona automàtiques MV-101/102/103. A la sortida de les tres cambres les dimensions de les canonades són superiors a les de l'entrada. Les tres sortides RTO-44"-GAST-1310/1320/1330-S235-I venen aïllades per seguretat amb manta armada de llana de roca ja que els gasos surten a una temperatura de 150 [°C], igual que la línia principal (RTO-44"-GAST-2100-S235-I) on s'ajunten aquestes. A la sortida de cada torre hi ha les tres vàlvules papallona automàtiques MV-121/122/123 i els tres transmissors i indicadors controladors de temperatura TT/TIC-112/122/123, els quals disposen d'alarma de baixa i també d'alta. Tant les vàlvules d'entrada, com les de sortida de l'equip, a part de disposar de la senyal *digital output*, per una seguretat major també disposa d'un senyal *digital input* que identifica la posició de la vàlvula en cada moment.

Al final de la línia RTO-44"-GAST-2100-S235-I es troba el ventilador centrífug V-211 que treballa a aspiració. Aquest ve connectat per un motor amb un variador de velocitat (VSD-211) i genera un senyal d'ordre de parada, XY-211. Les revolucions a la que treballa el motor són transmises pel JT-211. El SY-211 és un senyal analògic al VSD que fa que el variador reguli la velocitat. Abans del ventilador, es troba el pressòstat de baixa 211 que actua sobre la senyal XY-211 del ventilador aturant o encenen aquest. El transmissor i indicador controlador de pressió PT/PIC 211, el qual actua directament sobre el SY-211 i sobre el VSD-211 respectivament quan s'interpreti que les pèrdues de pressió per fricció augmenten o disminueixen. El controlador disposa d'alarma de baixa i d'alta. A més a més, abans del ventilador es troba una entrada d'aire de l'atmosfera controlada per la vàlvula papallona automàtica MV-212. Després del ventilador V-211 es troba el pressòstat PSL-212 que actua sobre l'entrada d'aire fresc d'abans del ventilador.

3.1. Descripció del funcionament de l'equip RTO.

Un cop establerts el temps de residència i el temps de durada de cada cicle es pot explicar de forma més detallada el funcionament de l'equip. S'explicarà com es duu a terme el procés d'alternar el flux de gasos a tractar d'una cambra a un altre mitjançant les vàlvules papallona automàtiques de tall. Es parteix de la suposició que a la primera cambra s'hi troba la ceràmica escalfada prèviament per la combustió dels COV en el cicle anterior, o bé escalfada pel gas natural en la posada en marxa de l'equip.

Tal com es pot observar en la *Figura 3.1.1*, els gasos COV a tractar es passen per la primera torre (C1) durant 90 segons amb les vàlvules MV-101 i MV-123 obertes. En aquest moment

descriu es pot dir que la torre de ceràmica C1 fa la funció d'entrada i escalfar el gas, la torre C2 farà la funció de purga pel canvi de direccions de flux, i la torre C3 fa la funció de sortida i de "refredar" el gas absorbint calor. D'aquesta manera s'aconsegueix escalfar la corrent amb la calor emmagatzemada per la ceràmica que en un principi es trobarà a 629 [°C] i passats els 90 segons, a 86 [°C].

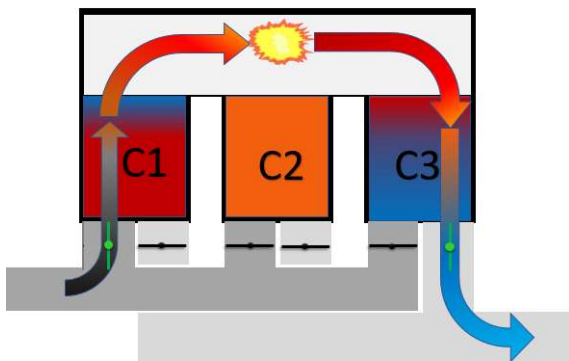


Figura 3.1.1. Torre C1 està cedint calor i la torre C3 absorbint-la.

Després dels 90 segons de cicle, la torre C1 es trobarà a una temperatura de 86 [°C] i la torre C3 a una temperatura de 629 [°C]. Per tant, a continuació la torre C3 farà la funció de torre d'entrada ja que és la ceràmica ja té prou energia emmagatzemada. Per fer el canvi de direcció de flux sense emetre gasos sense tractar a l'atmosfera la torre C2 farà de purga. Per fer-ho possible, la vàlvula M-123 de la torre C3 tanca al mateix temps que la vàlvula MV-122 de la torre C2 obre mentre el gas a tractar segueix entrant per la torre C1 tal com es pot observar en l'esquema de la Figura 3.1.2.

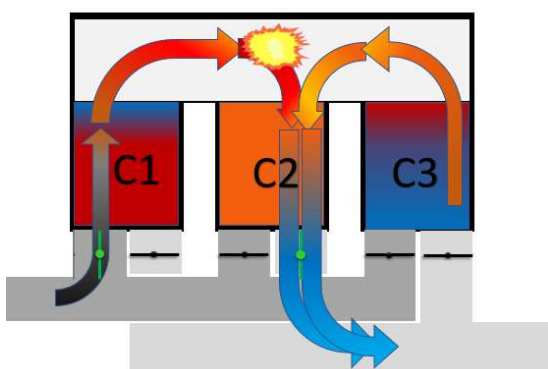


Figura 3.1.2. Torre C1 segueix cedint calor i la torre C2 absorbint-la.

Dos segons després, temps suficient per que el gas que encara es troba travessant la ceràmica C3 arribi a la vàlvula de sortida de la torre C2, la vàlvula MV-101 de l'entrada de la torre C1 tancarà al mateix moment que la vàlvula M-103 d'entrada de la torre C3 obrirà. Els gasos que encara estiguin travessant la torre C1 sortiran per la ceràmica C2. D'aquesta manera comença

un altre cicle de 90 segons tal com es pot observar en la *Figura 3.1.3*. Al final d'aquest cicle, la torre C1 serà la que farà la funció que ha fet la C2 anteriorment, és a dir de purga i després de torre de sortida i sent la C2 la torre d'entrada.

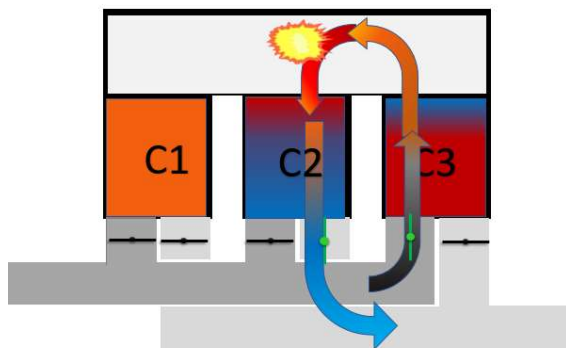
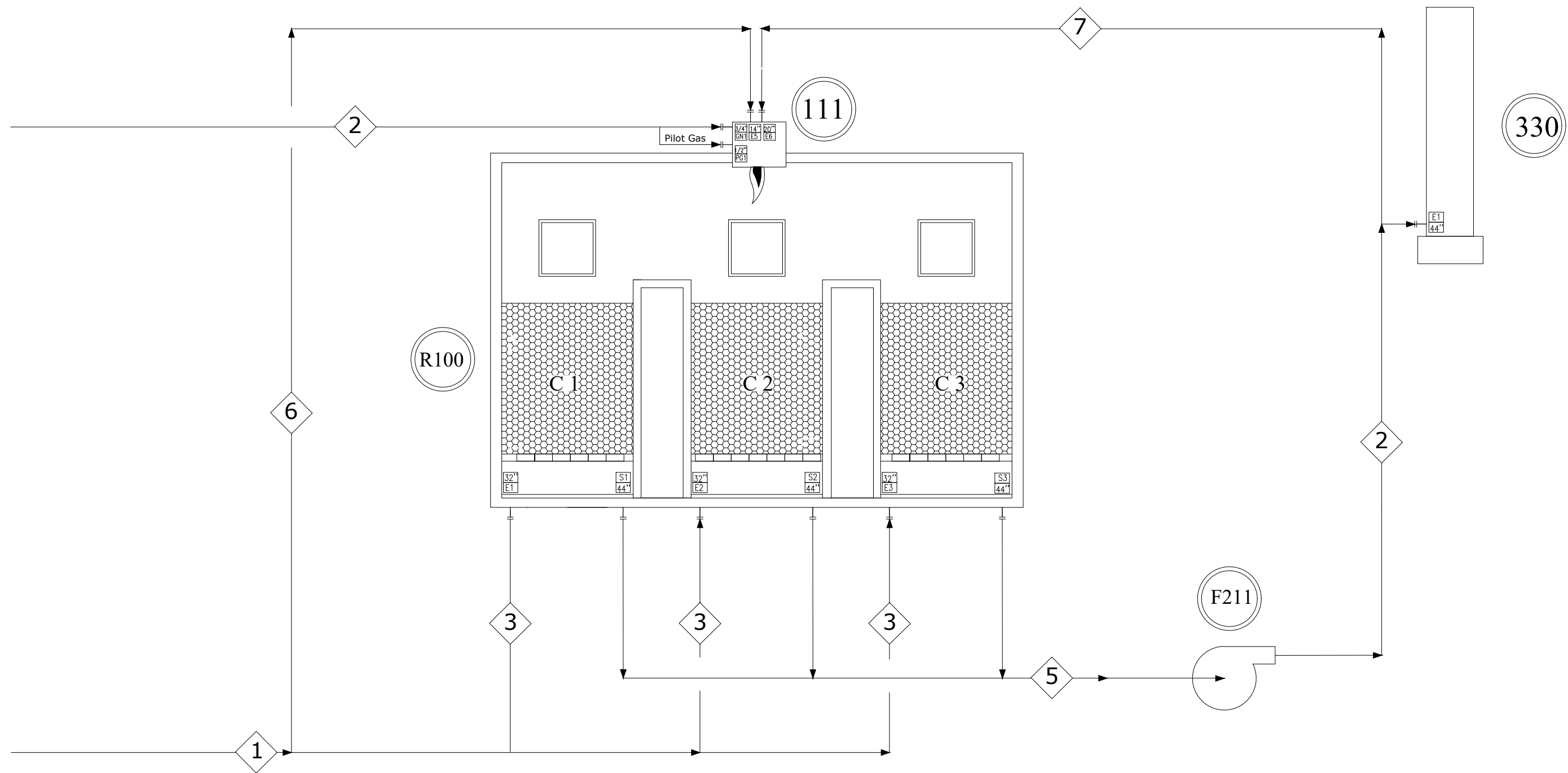


Figura 3.1.3. Torre C3 cedint calor i la torre C2 absorbint-la.

1	0.18
2	0.18
3	0.25
4	0.25
5	0.50
6	0.35
7	0.35
8	0.50
9	0.18
11	0.35
31	0.25
51	0.25
71	0.18
81	0.18
111	0.25
131	0.25
151	0.25
171	0.35
191	0.50
211	0.70

Escala: 1:1



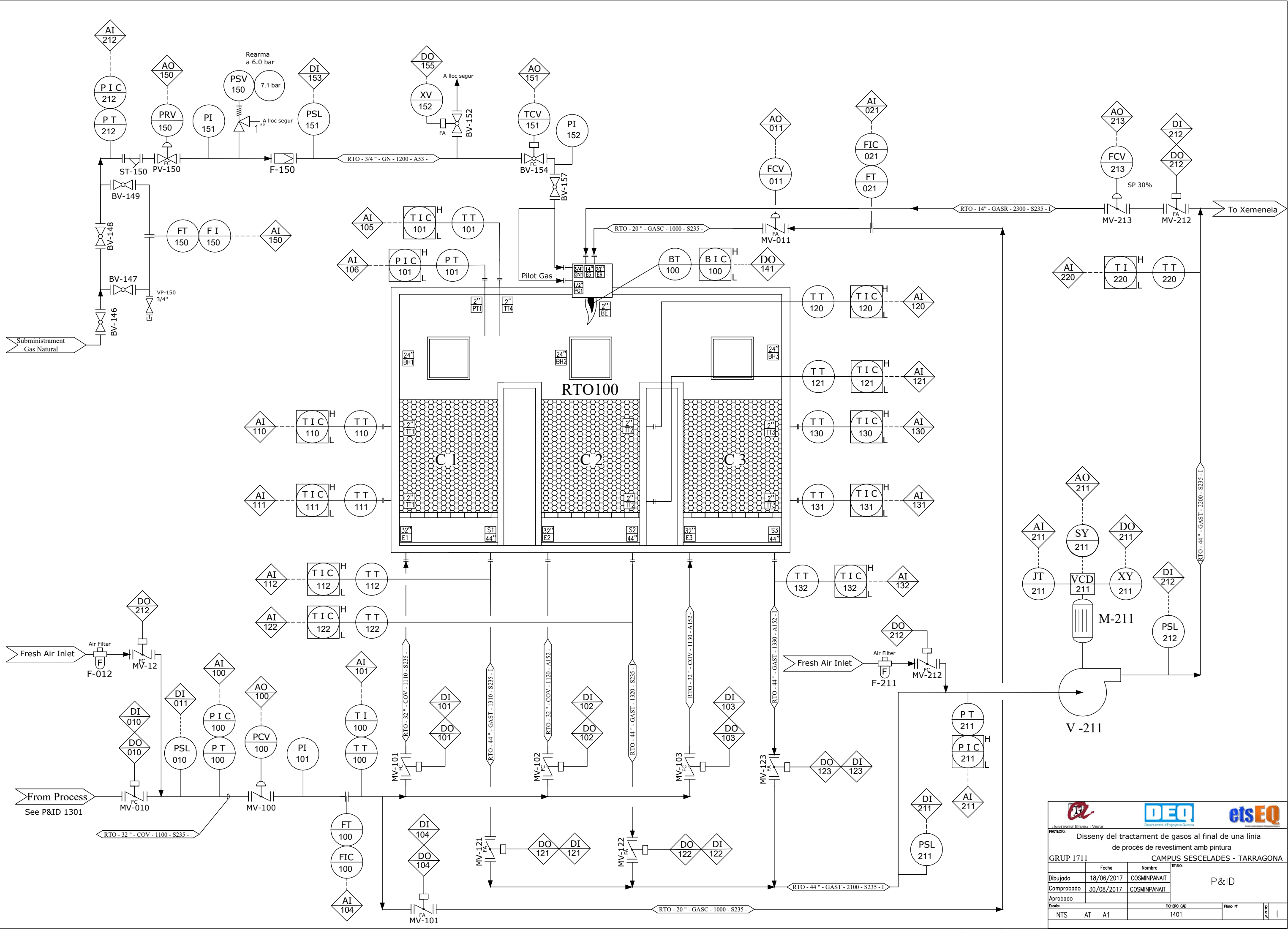
[kmol/s]	1	2	3	Reacció	5	6	7
C ₄ H ₈ O ₂	6,12E-05	0,000	4,16E-05	-6,00E-05	1,22E-06	1,96E-05	1,50E-07
C ₃ H ₈ O	3,59E-04	0,000	2,44E-04	-3,52E-04	7,17E-06	1,15E-04	8,73E-07
O ₂	0,180	0,000	0,122	-0,090	0,090	0,058	0,011
N ₂	0,680	0,000	0,460	0,000	0,680	0,220	0,083
H ₂ O	0,000	0,000	0,000	0,090	0,090	0,000	0,010
CO ₂	0,000	0,000	0,000	0,050	0,050	0,000	0,006
CH ₄	0,000	0,044	0,000	-0,044	0,000	0,000	0,000
Total	0,860	0,044	0,584	0,001	0,904	0,276	0,110
T [°C]	23,0	23,0	23,0	150,0	150,0	150,0	150,0
P [bar]	1,20	6,00	1,16	1,16	1,10	1,20	1,16

REV	DATA	DESCRIPCIÓ	CP
A	02/03/17	DIBUJAT	
PROFECTE:		Disseny del tractament de gasos al final de una línia de procés de revestiment amb pintura	
GRUP 1711		CAMPUS SESCELADES - TARRAGONA	
Dibujado	18/06/2017	COSMINPANAIT	PFD
Comprobado	30/08/2017	COSMINPANAIT	
Aprobado			
Escala:		FIJERO CAD	Plano N°
NTS	AT	A1	1401

PLANO 00

1	0.18
2	0.18
3	0.70
4	0.25
5	0.50
6	0.25
7	0.35
8	0.50
9	0.18
11	0.35
31	0.25
51	0.25
71	0.18
91	0.18
111	0.25
131	0.18
151	0.25
171	0.35
191	0.50
211	0.70

Escala: 1:1

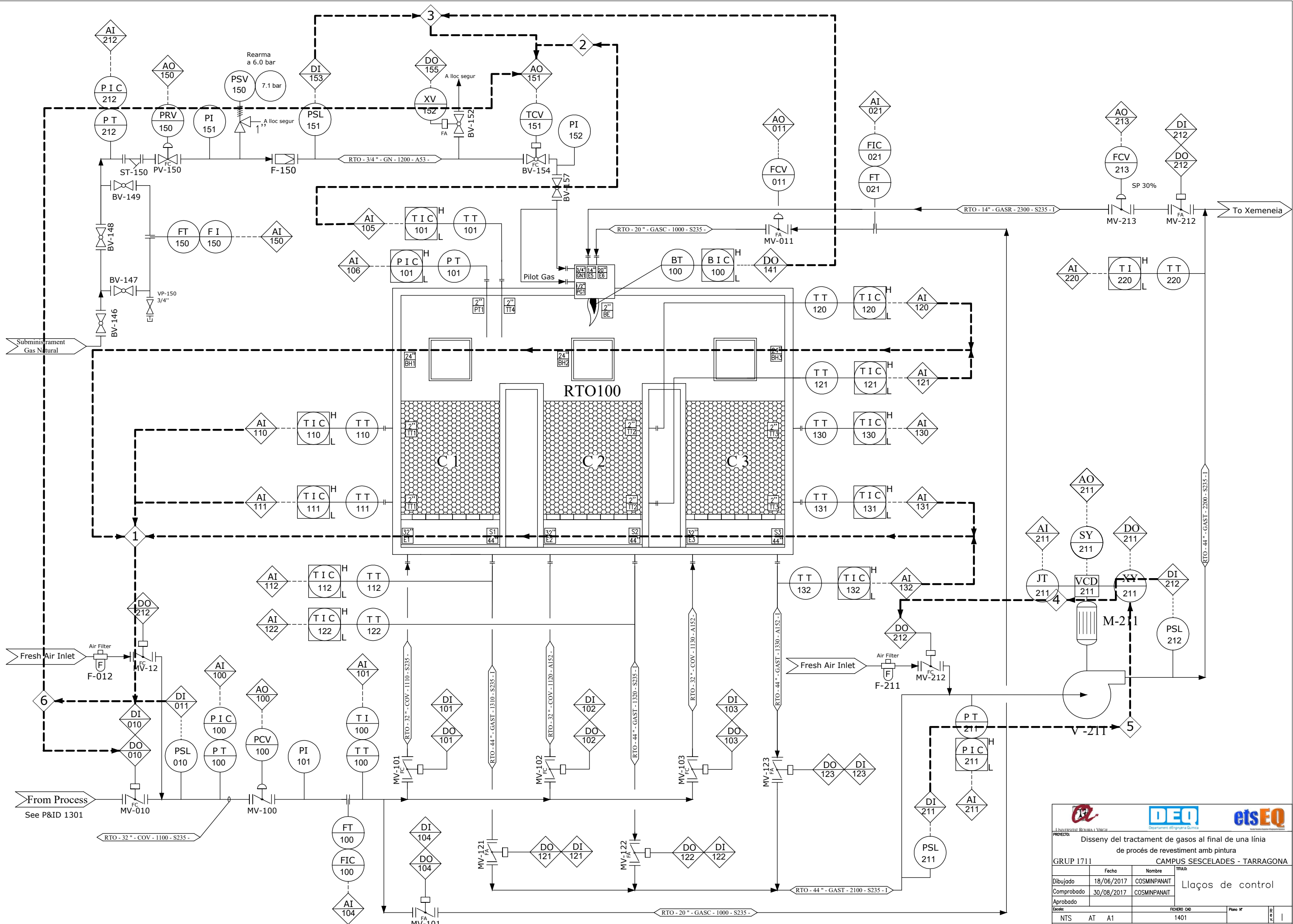


PROYECTO: Disseny del tractament de gasos al final de una línia de procés de revestiment amb pintura	
GRUP 1711 CAMPUS SESCELADES - TARRAGONA	
Dibujado	18/06/2017 COSMINPANAIT
Comprobado	30/08/2017 COSMINPANAIT
Aprobado	
Escala:	
NTS	AT A1
FICHERO CAD	1401
Plano N°	P&ID
R	C

PLANO 00

1	0.18
2	0.18
3	0.70
4	0.25
5	0.50
6	0.25
7	0.35
8	0.50
9	0.18
11	0.35
31	0.25
51	0.25
71	0.18
91	0.18
111	0.25
131	0.18
151	0.25
171	0.35
191	0.50
211	0.70

Escala: 1:1

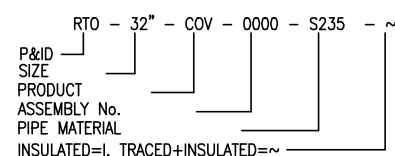


PROJECTE: Disseny del tractament de gasos al final de una línia de procés de revestiment amb pintura			
GRUP 1711 CAMPUS SESCELADES - TARRAGONA			
Dibujado	18/06/2017	COSMINPANAIT	Llaços de control
Comprobado	30/08/2017	COSMINPANAIT	
Aprobado			
Escala: NTS AT A1		FICHERO CAD: 1401	Plano N°: R C I

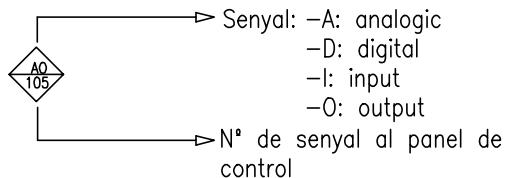
1	0.18
2	0.18
3	0.25
4	0.25
5	0.50
6	0.50
7	0.50
8	0.50
9	0.50
10	0.50
11	0.50
12	0.50
13	0.50
14	0.50
15	0.50
16	0.50
17	0.50
18	0.50
19	0.50
20	0.50
21	0.50
22	0.50
23	0.50
24	0.50
25	0.50
26	0.50
27	0.50
28	0.50
29	0.50
30	0.50
31	0.50
32	0.50
33	0.50
34	0.50
35	0.50
36	0.50
37	0.50
38	0.50
39	0.50
40	0.50
41	0.50
42	0.50
43	0.50
44	0.50
45	0.50
46	0.50
47	0.50
48	0.50
49	0.50
50	0.50
51	0.50
52	0.50
53	0.50
54	0.50
55	0.50
56	0.50
57	0.50
58	0.50
59	0.50
60	0.50
61	0.50
62	0.50
63	0.50
64	0.50
65	0.50
66	0.50
67	0.50
68	0.50
69	0.50
70	0.50
71	0.50
72	0.50
73	0.50
74	0.50
75	0.50
76	0.50
77	0.50
78	0.50
79	0.50
80	0.50
81	0.50
82	0.50
83	0.50
84	0.50
85	0.50
86	0.50
87	0.50
88	0.50
89	0.50
90	0.50
91	0.50
92	0.50
93	0.50
94	0.50
95	0.50
96	0.50
97	0.50
98	0.50
99	0.50
100	0.50

Nomenclatura

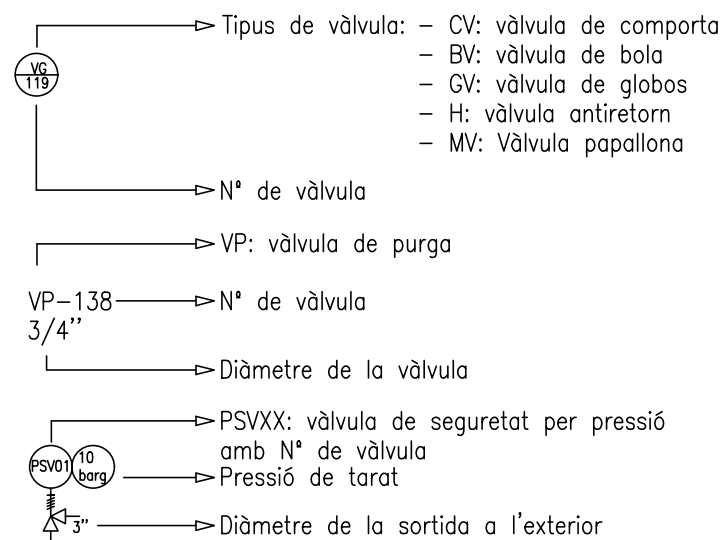
Identificació línies



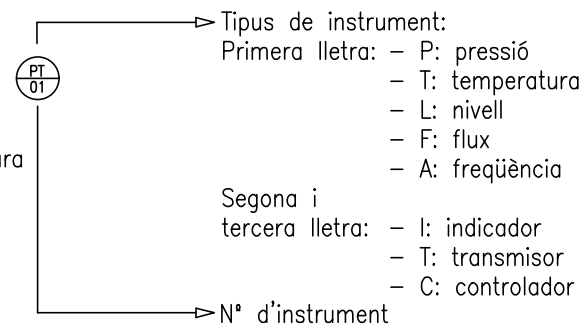
Identificació senyals



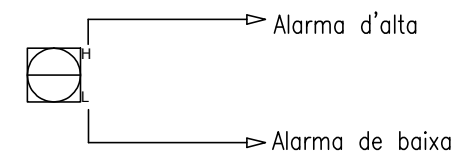
Identificació vàlvules



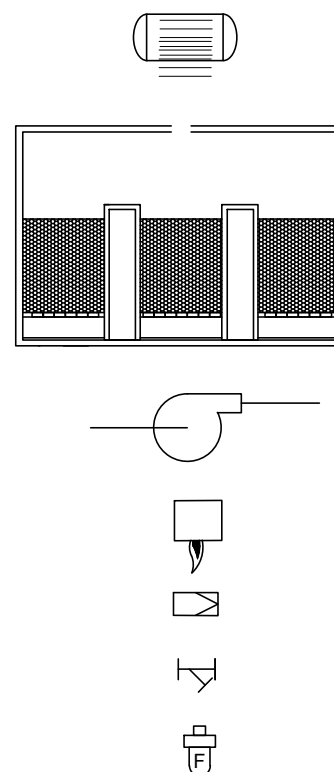
Identificació instrumentació de mesura



Identificació alarmes



Equips



Motor Elèctric

Incinerador Tèrmic Regeneratiu

Ventilador centrífug

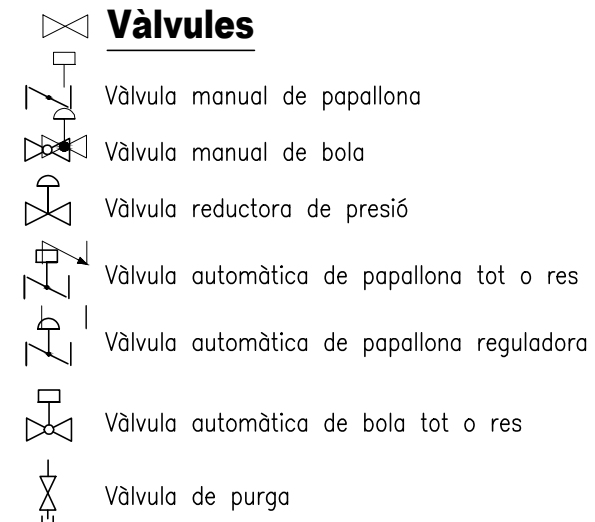
Creamador

Filtre de gas natural

Filtre de tipus Y

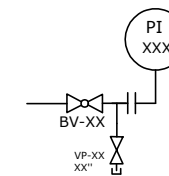
Filtre d'aire

Vàlvules

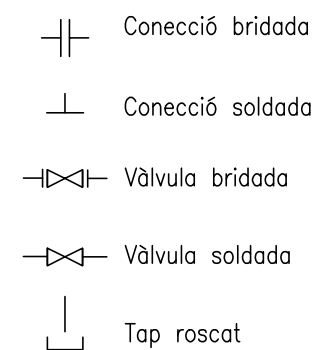


Notes

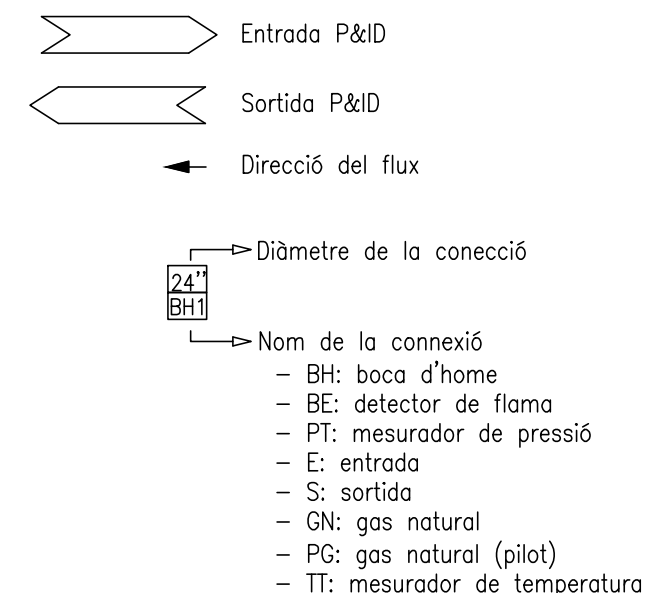
- 1) Les línies d'instrumentació d'indicadors de pressió i pressostats estaran proveïdes d'una vàlvula manual i d'una vàlvula de purga per tal de realitzar les tasques de manteniment necessàries.
- 2) Les vàlvules de purga seran sempre que sigui possible d'una polzada o més per tal de tindre una regidesa major davant de possibles cops.
- 2) Les vàlvules de tall XV tot o res disposaran d'un butó pulsador per facilitar la prova de fuites.
- 3) Totes les senyals d'alarma es tractaran agrupades per donar una única senyal de parada per avaria.
- 4) El set point fixat de la vàlvula controladora de cabal MV-213 és el 30% del volum d'aire necessari pel cremador.



Connexions



Indicadors



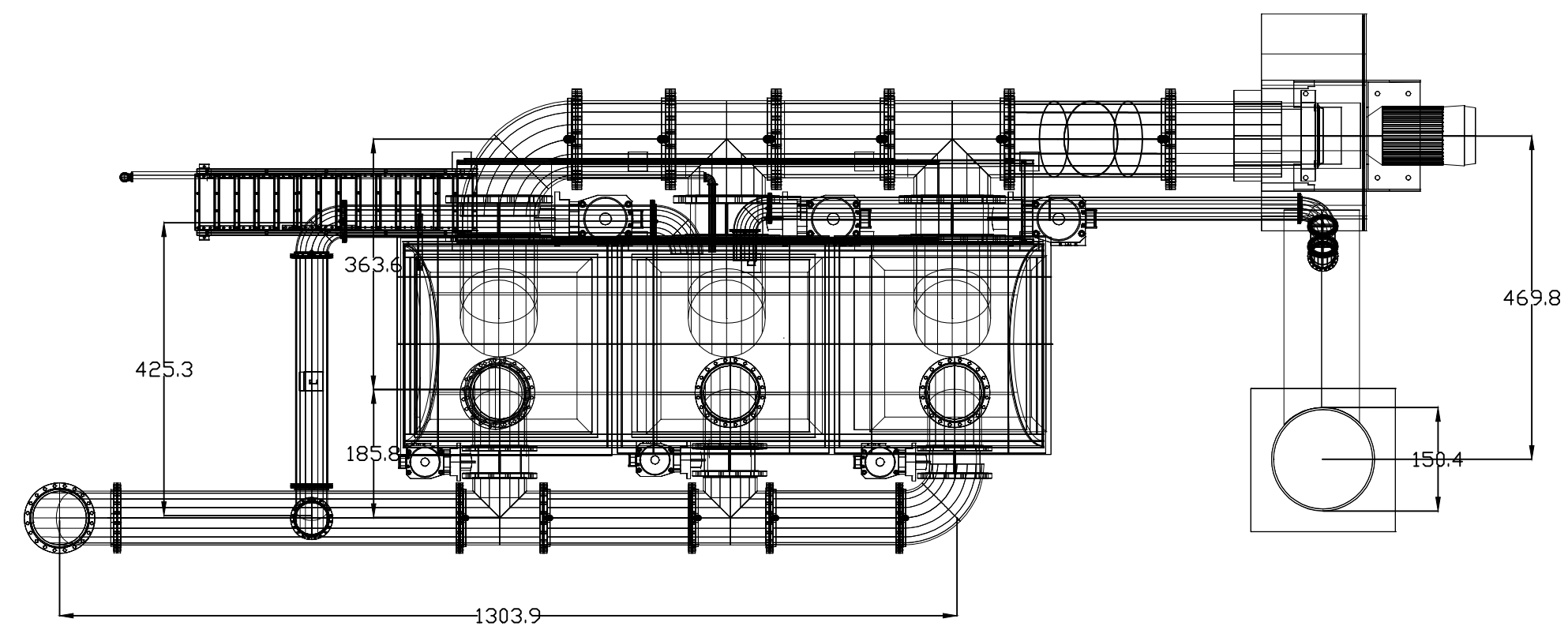
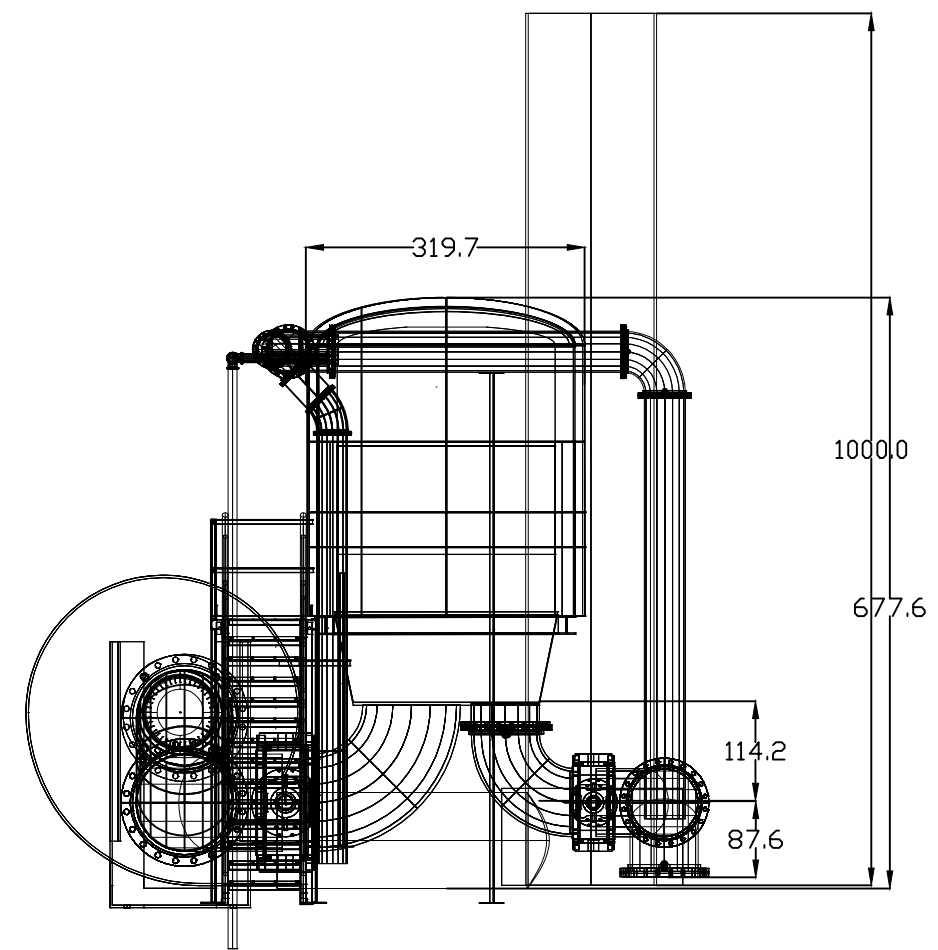
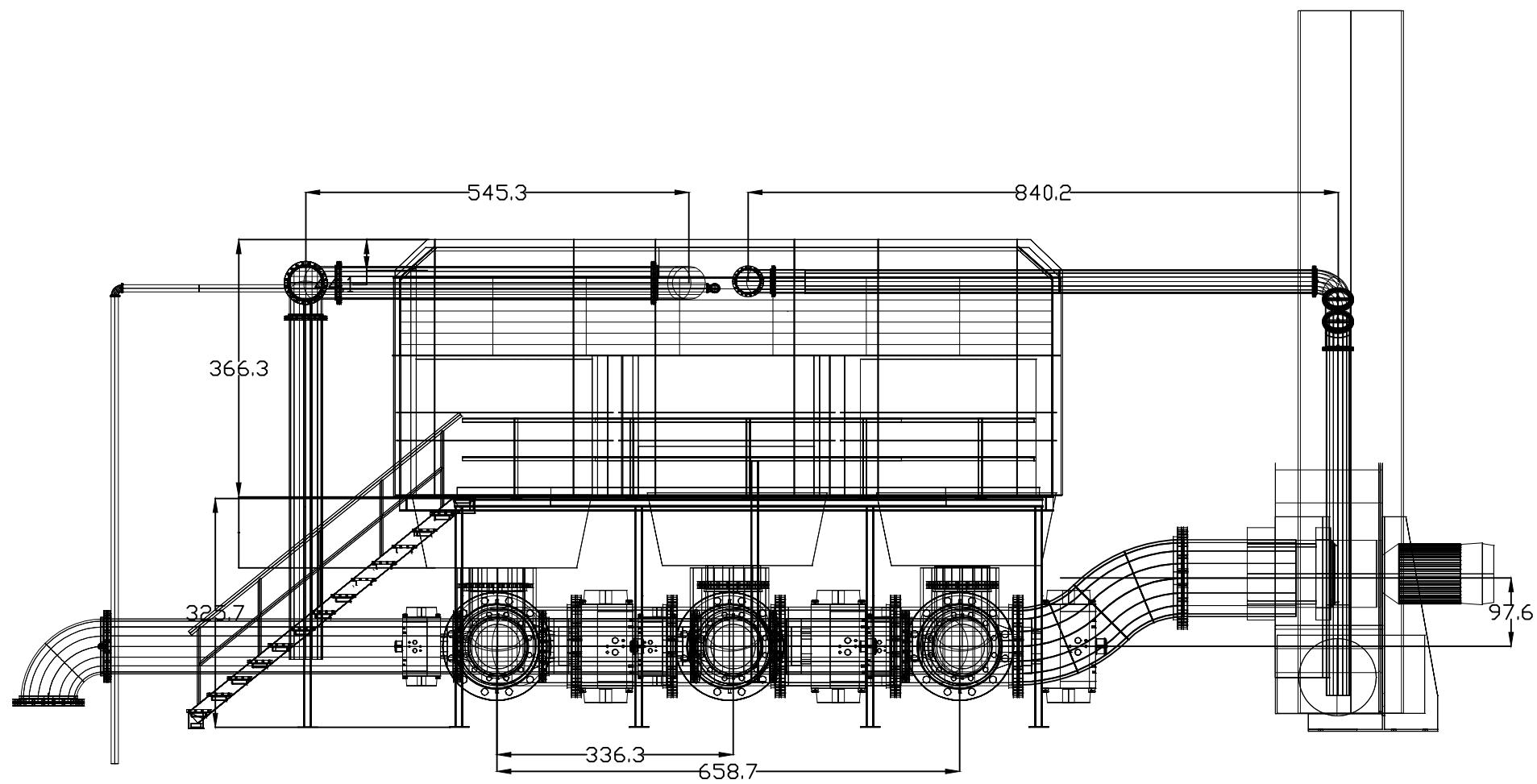
- FA En cas de fallada d'aire: obre
- FC En cas de fallada d'aire: tanca



GRUP 4

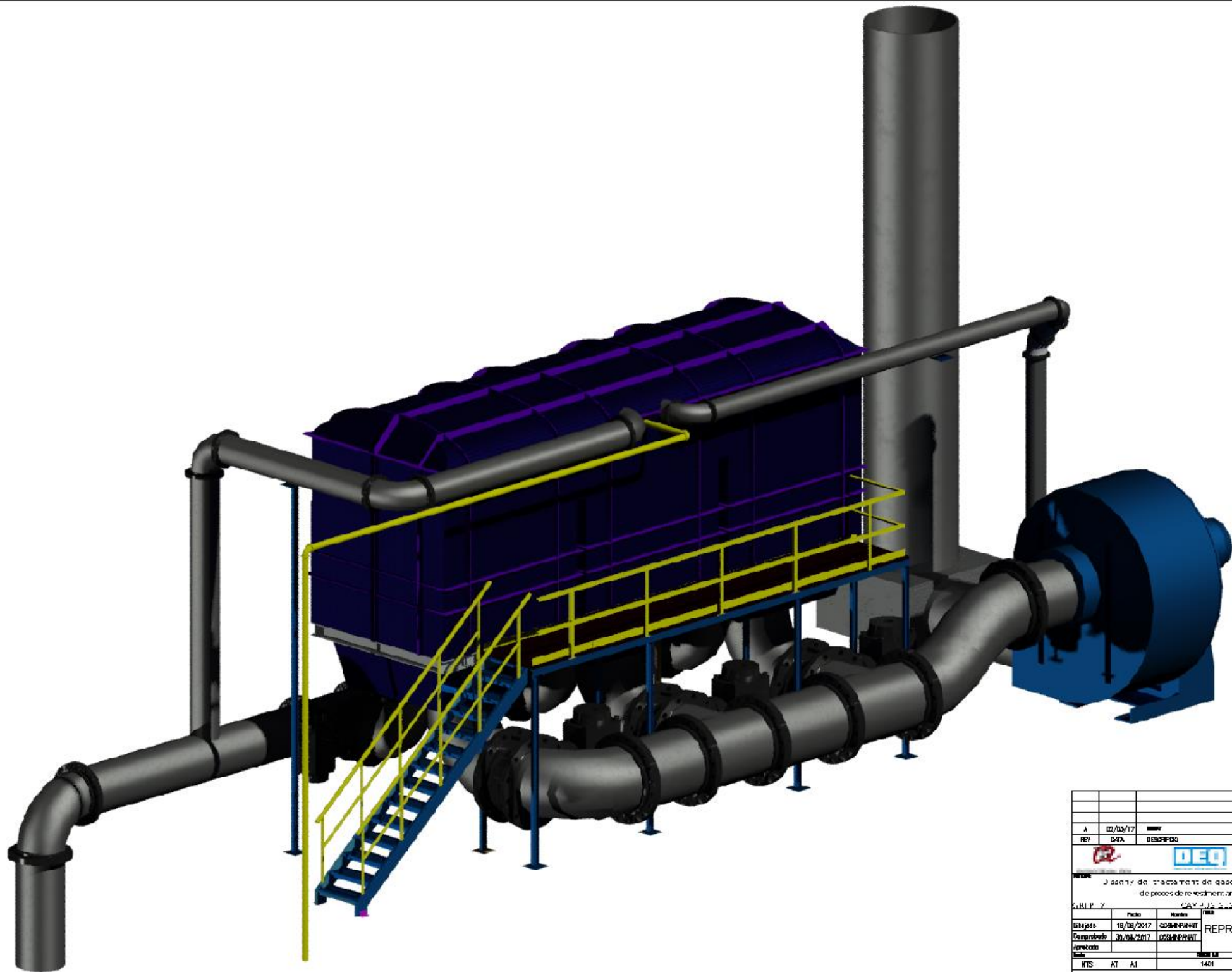
PROYECTO: Disseny del tractament de gasos al final de una línia de procés de revestiment amb pintura					
GRUP 1711		CAMPUS SESCELADES - TARRAGONA			
Dibujado		Fecha		Nombre	
Comprobado		Fecha		Nombre	
Aprobado		Fecha		Nombre	
Escala:		FICHERO CAD		Plano Nº	
NTS AT A1		1401		R e l	



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----



GRUP 1711			
Disseny del tractament de gasos al final d'una línia de procés de revestiment amb pintura			
Dibuixat: 18/06/2017 COSMINFANIT			
Dissenyat: 18/06/2017 COSMINFANIT			
AUTOR: NTS AT A1			
Escala: 1:40			

01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100



A	02/05/17	REV		CP
REV	0474	DISSENY		
 				
TITOL: Disseny de tractament de gasos a l'ha de una ha de procés de recolliment amb pinus				
CURS: 7				
Disseña	18/05/2017	OSCAR PÉREZ	REPRESENTACIÓ 3D	
Comprova	20/05/2017	OSCAR PÉREZ		
Aproba				
Taula:		TITOL:		Pàg:
RTS	AT	A1	1401	1

4. DISSENY DE LA UNITAT D'OXIDACIÓ TÈRMICA REGENERATIVA

4.1. Descripció i selecció d'equip.

4.1.1. Tipus de RTO.

Els primers sistemes RTO de la història d'aquests utilitzaven tres o més llits de transferència de calor ceràmica per recuperar la calor dels gasos de combustió calents. Es mostra un esquema de l'enfocament tradicional de tres cambres en la *Figura 4.1.1.1*. Els llits són de vegades anomenats regeneradors i durant el funcionament normal, aquests llits de ceràmica contenen calor emmagatzemat dels cicles operatius anteriors. El flux de gasos contaminats entra en un dels tres llits i, a mesura que viatja pel llit de ceràmica, es transfereix calor des del mitjà ceràmic fins al corrent de gas. Surt del llit i entra a la cambra d'oxidació a una temperatura que s'aproxima a la temperatura de funcionament final de la càmera d'oxidació. A continuació, s'utilitza un cremador estàndard de gas per augmentar la temperatura de la corrent de desescalfament ja preescalfada fins a la temperatura de funcionament final. La combustió calenta és eliminada del RTO a través d'un dels llits restants, transferint la major part del seu calor al mitjà de transferència de calor ceràmic per a la seva recuperació en un cicle invers. Es repeteixen els cicles, es refreda alternativament un llit, s'escalfa un altre i es purga el tercer.

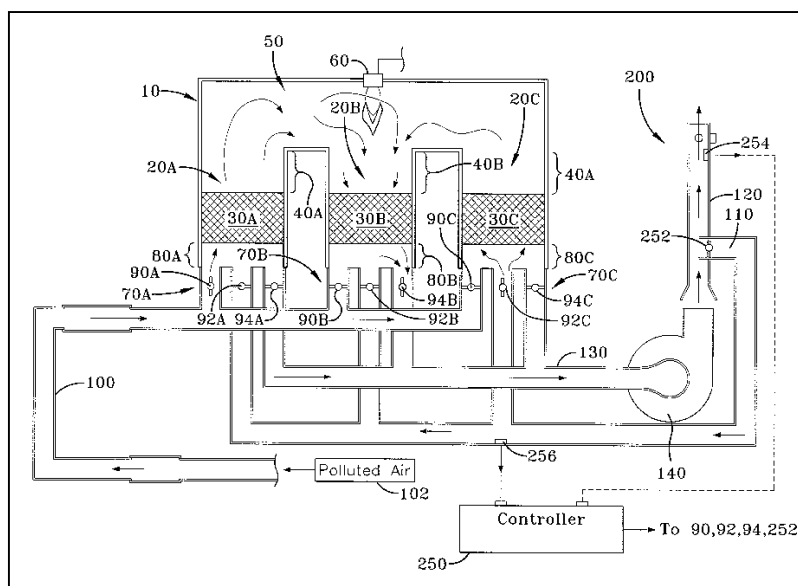


Figura 4.1.1.1. Sistema RTO amb 3 cambres (ref.28)

En general, els sistemes de dos llits són molt similars als conceptes múltiples (tres o més), però sense el cicle de purga. Sense un cicle de purga, una part del gas contaminant al final d'un cicle roman sense tractar. Alguna fracció de la corrent de residus que conté VOC entra al llit

aportador de calor però no pot entrar a la cambra de combustió abans que el cicle s'inverteixi. Quan el cicle s'inverteix, aquest gas no tancat es descarrega sense el tractament dels seus COVs. L'eficiència de destrucció de COVs normalment supera el 99%, però, es produirà un augment dels COVs en la descàrrega de la pila quan s'inverteix el cicle, la qual cosa redueix l'eficiència de destrucció total de VOC a un 98% aproximadament. El valor real depèn dels volums dels llits del regenerador i de la concentració de COV a la xarxa de residus.

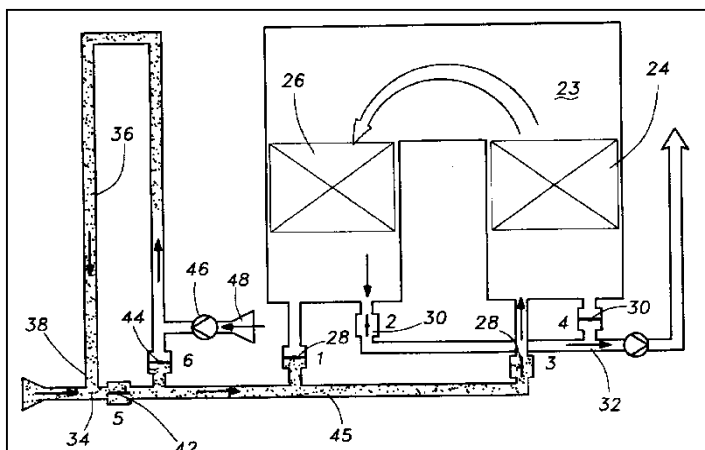


Figura 4.1.1.2. Sistema RTO de dues cambres. (ref.29)

Un nou tipus de RTO va sorgir a finals dels anys noranta. Tal com es pot observar en la *Figura 4.1.1.3.*, aquests conceptes utilitzen una sola cambra de material de dissipació de calor. Un desviador de flux de flux de residus d'indexació giratori, dirigeix seqüencialment la transmissió de residus dins i fora de segments específics de la càmera durant un cicle. Mitjançant l'aplicació d'un dispositiu de segellat a la superfície del rotor en un extrem, el rotor es divideix en dues seccions, entrada i sortida, a través del qual les emissions de residus carregats de COV i netes entren i surten a la càmera RTO.

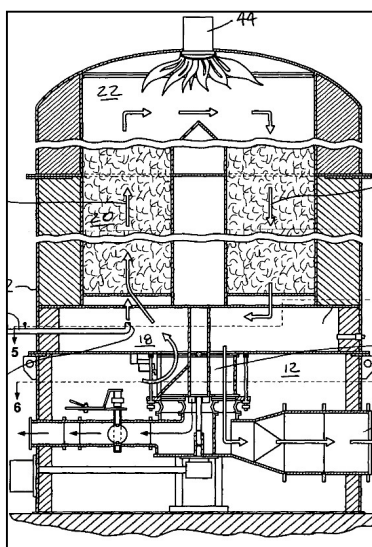


Figura 4.1.1.3. Sistema RTO giratori. (ref.30)

4.1.2. Sistema de purga.

El sistema de purga doncs, fa de tal manera per forçar que l'aire contaminat es desplaci del llit d'entrada del cicle anterior a la cambra de combustió quan s'inverteixi un cicle. Tradicionalment, es va fer amb tres llits de calor. Les tècniques alternatives utilitzen una càmera buida o una canonada ampliada per recollir aquests gasos no tractats durant un període curt (normalment de 1 a 2 segons són adequats) i reciclar els gasos a la cambra de combustió durant el següent cicle. Els sistemes de purga són objecte de moltes patents de equips RTO. Tot i que aconseguen els propòsits d'augmentar l'eficiència general de destrucció de COV, generalment donen lloc a una petita reducció del TER a causa d'un augment del flux de gas relativament fred al sistema.

4.1.3. Orientació del llit de transferència de calor.

La majoria de les RTO utilitzen llits de transferència de calor verticals. No obstant això, existeixen sistemes amb llits horitzontals i funcionen amb eficàcia. L'eficiència de la transferència de calor és gairebé igual per als llits del mateix material i la profunditat (longitud). No obstant això, no requereix cap suport pel material de dissipació de calor. Per als sistemes grans, el pes de l'emalatge de calor pot ser significatiu, i aquest pes s'ha de suportar per permetre que els gasos flueixin per sota dels sistemes de llit verticals. En tots dos sistemes, la distribució del flux d'entrada de residus en tota la secció transversal de l'emalatge de calor és crític. Si la distribució del flux és desigual, la corrent de residus podria evitar una part del llit i reduir la recuperació d'energia tèrmica. Els mètodes que s'utilitzen per evitar la distribució del flux són longituds d'entrada ampla, paletes de gir, una malla de filferro que obliga a distribuir el flux uniformement a causa de la caiguda de pressió i una capa curta de *saddles*, per exemple, sota un llit d'emalatge estructurat en una unitat vertical.

4.1.4. Eficiència tèrmica vs. Temps del cicle.

Especificar l'eficiència tèrmica d'un equip RTO sense el temps de cicle corresponent pot ser enganyós. L'eficiència tèrmica és una funció del disseny, de les variables d'operació i del tipus d'emalatge tèrmic. Per a un disseny i un tipus d'emalatge determinats, l'eficiència tèrmica disminueix a mesura que augmenta la durada del cicle. Per tant, els valors de la recuperació d'energia tèrmica no tenen sentit sense el temps de cicle corresponent. Es poden aconseguir elevades eficiències tèrmiques amb temps de cicle curts. De fet, l'eficiència tèrmica pot superar el 95% en un temps de cicle molt curt (ref.3) Però hi ha dos grans desavantatges treballant amb temps de cicle curt: (1) desgast de vàlvules i altres equips que actuen durant

cada cicle i (2) eficiència de destrucció total de COV per a unitats sense un sistema de purga. L'eficiència de destrucció de COV disminueix perquè l'explosió dels COV quan un cicle s'inverteix es fa més freqüent en relació amb el temps total del cicle. A més a més els operaris i el personal de manteniment prefereixen els temps de cicle més llargs a causa del menor desgast i manteniment.

4.1.5. Elecció del tipus de RTO.

El sistema triat és un oxidador tèrmic regeneratiu de tres cambres. El motiu principal pel qual s'ha triat aquest sistema és per aconseguir l'eficiència de destrucció de COVs superior al 98%. Tal com s'ha esmentat en l'apartat anterior, aquesta eficiència és possible amb una tercera cambra, però també es pot aconseguir funcionant amb un cicle relativament més llarg en un RTO de dues cambres. Aquesta última alternativa no és la més idònia ja que allargant el temps d'un cicle, disminueix l'eficiència tèrmica. I en corrent gasosa a tractar, la concentració de COV (1.3 – 1.4 [g/m³]) està per sota del rang de concentracions (1.5 – 3 [g/m³]) donat en la bibliografia per tal de que el sistema sigui autotèrmic (ref.16). Per tant, donat que no es disposa d'una concentració de COV suficientment alta com per poder permetre's disminuir l'eficiència tèrmica, l'opció més convenient és una tercera cambra de purga. A més a més, segons el Document de referència sobre les Milliores Tècniques Disponibles en el Tractament de superfícies mitjançant dissolvents orgànics, els processos amb un cabal a tractar superior a 70,000 [Nm³/h], resulten més econòmics amb sistemes multi-cambres. Es considera que ens trobem al límit d'aquest valor ja que el cabal a tractar és de 69,300 [Nm³/h].

4.1.6. Elecció del tipus de ceràmica.

En general, els avantatges del rendiment dels mitjans estructurats versus els mitjans aleatoris es deuen a la seva gran superfície per volum d'unitat. Com més gran sigui el valor d'aquesta propietat, major serà la recuperació de l'energia tèrmica. En general, els sistemes amb mitjans estructurats poden tenir temps de cicles més curts perquè la quantitat de material utilitzat és molt inferior que amb els sistemes amb mitjans aleatoris (*random saddles*). Com més gran sigui la massa dels mitjans, més curt és el temps del cicle. La ceràmica de tipus aleatori i estructurada ve explicada amb més detalls a el *Annex (II), Apartat 1.1*.

L'objectiu del disseny d'un RTO és optimitzar el sistema en termes de costos d'operació i costos d'equips de capital. Per tant es mirarà de triar un tipus de ceràmica que combini una gran eficiència tèrmica, una gran capacitat de transferència de calor per unitat de volum i sobretot una pèrdua de càrrega petita. Per exemple, es pot fer una comparació ràpida dels costos anuals

que pot suposar l'electricitat gastada per un ventilador tenint en compte les diferències pèrdues de càrrega que presenten les ceràmiques. Suposant una eficiència del ventilador i del motor del 65%, un cabal de 69,000 [Nm³/h] i un cost de l'electricitat de 0.06 [€/kW·h].

Taula 4.1.6.1. Comparació dels costos anuals d'electricitat per diferents tipus de ceràmica.

Tipus de ceràmica:	Saddles	Monolith	MLM
Pèrdua de càrrega [in. w.c.]	22	13	9
Potència requerida [Hp]	217	128	88
Cost electricitat [€/any]	99,208	58,623	40,585

En l'apartat anterior s'han esmentat de manera general les característiques físiques i principals avantatges de cada tipus de ceràmica existents. Però s'ha volgut profunditzar en els tipus de ceràmica i s'ha demanat més informació a un proveïdor. Segons la bibliografia dels apartats anteriors, el sistema estructurat presenta més avantatges en tots els aspectes en comparació amb el sistema aleatori o *random*. Per tant s'ha partit amb una comparació del proveïdor entre un tipus de ceràmica aleatori, els *saddles*, i un estructurat, el MLM. Primerament, i tal com es pot observar en la *Figura 4.1.6.1.*, s'ha volgut comprar les pèrdues de càrrega per pressió [mm H₂O] en funció de la velocitat superficial [m/s]. S'han comparat una única mesura de *saddles* (25mm) i tres tipus de MLM: els tres tenen el mateix volum però diferent nombre de cel·les interiors indicades pel seu nom (160, 180 i 200 cel·les). També ve indicada la profunditat que ha de tenir la torre per una mateixa àrea transversal per arribar a una eficiència de recuperació tèrmica de, més o menys, 95% (ref.20). Tal i com la bibliografia indica, les pèrdues per pressió en un sistema aleatori de ceràmica augmenta de al quadrat en proporció a la velocitat, mentre que les del sistema *MLM* augmenten proporcionalment. Per tant les *saddles*, a part de suposar un cost extra pel que el volum de producte fa, també suposa una gran despesa els costos extra d'electricitat per superar la pèrdua de pressió donada.

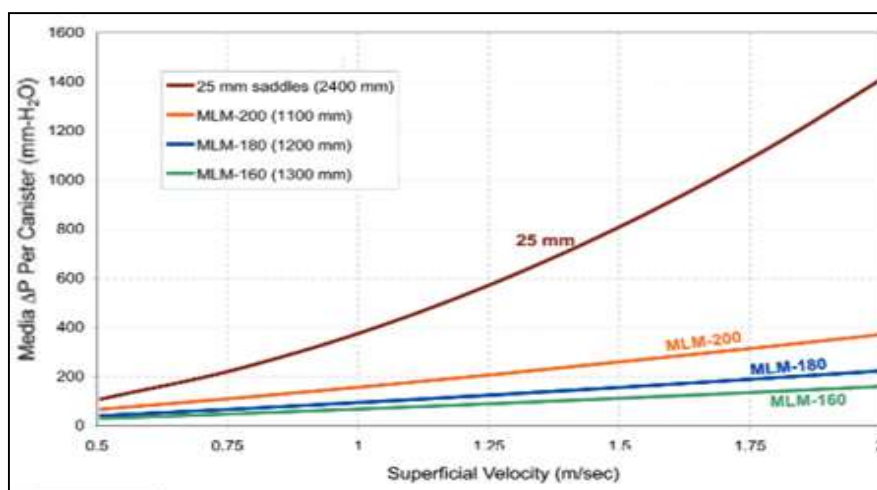


Figura 4.1.6.1. Comparació de la pèrdua de càrrega per pressió.

Tot i que els productes MLM semblin ser la millor alternativa, s'ha investigat més i s'ha trobat un altre producte del mateix proveïdor molt més atractiu. Es tracta d'un sistema estructurat MLM millorat i anomenat *LanteComb-H*. Aquest, tal com es pot observar en la *Figura 4.1.6.2.*, per una mateixa profunditat i àrea transversal, presenta una pèrdua de càrrega inferior als tipus de ceràmiques anteriors. Aquest és comparat amb un tipus monollit de 40 cel·les, el qual també és superat per el *LanteComb-H*.

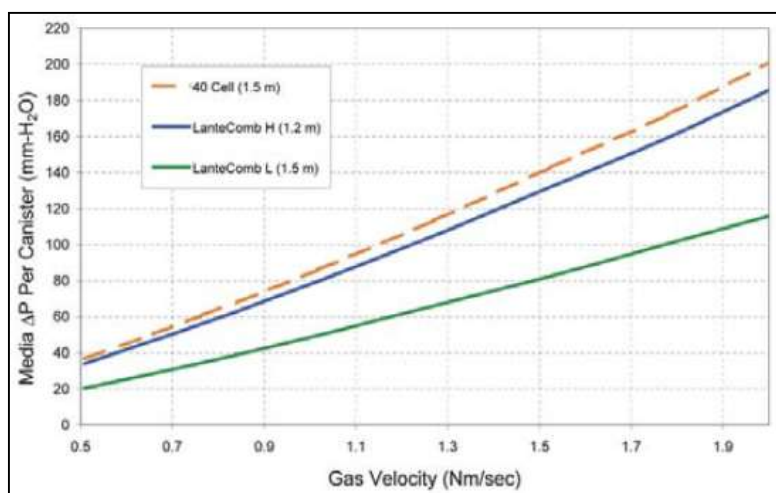


Figura 4.1.6.2. Comparació de pèrdues de càrrega entre sistemes estructurats (ref.20).

Si s'igualava la profunditat de *LanteComb-H* a la profunditat necessària pel monollit de 40 cel·les per arribar a una eficiència tèrmica de 95%, es veu en la *Figura 4.1.6.3.*, com l'eficiència d'aquest és molt superior a les altres. Això és degut a la gran àrea superficial que presenta i al bon disseny de les seves cel·les que permeten que el gas pugui fluir longitudinalment i també lateralment.

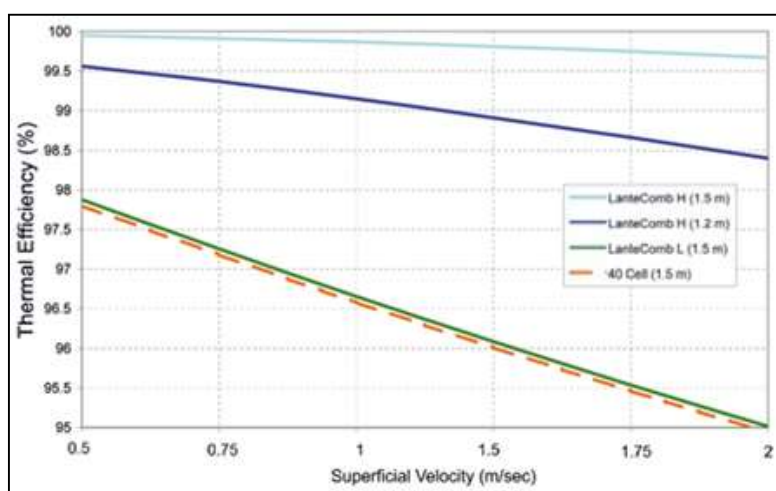


Figura 4.1.6.3. Comparació entre eficiències tèrmiques (ref.20).

4.2. Càlculs previs al disseny.

Per duu a terme el procediment de disseny es necessita determinar primerament les especificacions del gas residual a tractar i de l'incinerador. Les característiques del gas residual venen donades per l'empresa i es poden apreciar en la *Taula 4.2.1*.

Pel que fan els paràmetres de l'incinerador vindran determinats per la concentració de sortida necessària per tal de complir amb la llei 34/2007 del 15 de novembre.

Taula 4.2.1. Paràmetres del gas residual i de l'incinerador.

Variable	Valor
Cabal	69,300 [Nm ³ /h]
Temperatura del gas a tractar	23 [°C]
Composició:	
Acetat d'Etil [mg/m ³]	280
Isopropanol [mg/m ³]	1120

A continuació s'estableix la temperatura amb la que tindrà que operar l'incinerador. Els altres paràmetres a calcular abans de poder realitzar el disseny de l'incinerador es troben a *A(II)2.1* i es tracta del càlcul per assegurar que la quantitat d'oxigen que hi ha al sistema es adequada i, que el límit d'explosivitat entra dins de la legalitat.

4.2.1. Establir la temperatura d'operació de l'incinerador

La temperatura del reactor i el temps de residència són dos dels factors clau per a determinar el nivell de destrucció dels COV. La temperatura mínima a la que ha de treballar el reactor ha de ser la temperatura d'autoignició més alta dels COV's. En aquest cas la temperatura d'autoignició més elevada és la del isopropanol i és de 456 [°C] (ref.42) , per a assegurar que la temperatura a la que es treballa serà suficient per a la combustió completa dels dos compostos s'ha decidit treballar amb una temperatura de 230 [°C] més elevada per tal de compensar totes les pèrdues d'energia que pot haver-hi entre la temperatura ideal i la temperatura real.

Finalment, s'ha decidit que la temperatura d'operació del RTO serà de 686 [°C].

4.3. Càlcul de la composició de fums generats.

Ja que un incinerador regeneratiu recupera gairebé tota l'energia del gas de combustió, la seva requeriment de combustible auxiliar usualment és menor que per a un incinerador recuperatiu. No obstant això, tal com s'ha discutit abans, aquest requeriment de combustible és determinat via balanços de massa i energia presos al voltant de tota la unitat, i no només de

la cambra de combustió. Agafant els voltants de l'incinerador es fa un balanç de matèria i un d'energia.

En el procés es pot afegir aire, combustible auxiliar i inclús aigua o vapor, però en qualsevol cas la massa que entra és igual a la massa que surt del oxidador ja que el terme de acumulació no té sentit en aquest tipus de reactors.

A les *Taules 4.3.1.* i *4.3.2.* es troben els corrents del procés amb les variacions en massa i mols amb el gas natural. Els càlculs realitzats es troben a *A(II)2.3.*

Taula 4.3.1. Balanç de matèria general del procés en mols.

[kmol/s]	COV-1100	GN-1200	COV-1110/1120/1130	Reacció	GAST-2100	GASC-1000	GASR-2300
C ₄ H ₈ O ₂	6.12E-05	0	4.16E-05	-6.00E-05	1.22E-06	1.96E-	1.50E-
C ₃ H ₈ O	3.59E-04	0	2.44E-04	-3.52E-04	7.17E-06	1.15E-	8.73E-
O ₂	0.18	0	1.22E-01	-0.09	0.09	0.058	0.011
N ₂	0.68	0	4.60E-01	0	0.68	0.22	0.083
H ₂ O	0	0	0	0.09	0.09	0	0.01
CO ₂	0	0	0	0.05	0.05	0	0.0056
CH ₄	0	0.044	0	-0.044	0	0	0
Total	0.86	0.044	5.84E-01	0.001	0.904	0.276	0.11

Taula 4.3.2. Balanç de matèria general del procés en massa.

[kg/s]	COV-1100	GN-1200	COV-1110/1120/1130	Reacció	GAST-2100	GASC-1000	GASR-2300
C ₄ H ₈ O ₂	5.39E-03	0	3.66E-03	-5.28E-03	1.08E-04	1.73E-	1.31E-
C ₃ H ₈ O	2.16E-02	0	1.47E-02	-2.11E-02	4.31E-04	6.92E-	5.25E-
O ₂	5.78	0	3.92E+00	-2.84	2.93	1.86	0.36
vN ₂	19	0	12.9	0	19	6.1	2.31
H ₂ O	0	0	0	1.6	1.6	0	0.19
CO ₂	0	0	0	1.99	1.99	0	0.24
CH ₄	0	0.697	0	0	0	0	0
Total	24.805	0.697	16.845	0	25.52	7.96	3.1

En el cas de la combustió s'ha suposat el pitjor escenari possible considerant només un 98% de conversió, s'ha de tenir en compte que aquest tipus de oxidadors poden arribar a tenir conversions d'un 99.99%.

4.4. Balanç d'energia.

Un cop realitzat el balanç de matèria s'ha calculat l'energia necessària per a dur a terme l'escalfament a l'entrada per tal d'arribar a la temperatura d'operació. Per al procés d'arrancada serà necessària l'aportació de combustible auxiliar per tal d'aportar aquesta energia, un cop realitzada la primera oxidació s'aprofitarà l'energia absorbida per la ceràmica.

A la *Taula 4.4.1* es poden veure els resultats en quant a l'energia necessària per arribar al 686 °C, l'energia que es desprèn per la oxidació i l'energia aprofitada per l'absorció de calor per part de la ceràmica.

Per a realitzar els càlculs s'ha fet servir l'equació 4.3.1 on es calcula l'entalpia d'un canvi de temperatura a partir de la capacitat calorífica dels compostos. En l'annex A(II)2.4 es troben tots els càlculs efectuats.

$$\Delta H = Cp \cdot (T - T_0) \quad (4.4.1)$$

Per a realitzar el càlcul del balanç d'energia s'ha suposat que tot el corrent gasos és aire. Tenint en compte els valors del balanç de matèria de la *Taula 4.3.2*, aquesta suposició es bastant aproximada a la realitat.

Taula 4.4.1. Resultats del balanç d'energia.

Energia necessària	118.8 [MW]
Energia reacció	0.84 [MW]
Energia Absorbida	92.68 [MW]

Un cop calculades les energies del procés, s'han de sumar l'energia de la reacció i l'energia absorbida per la ceràmica. La diferència entre aquestes dues i l'energia necessària per a esclafar la mescla fins a la temperatura d'operació serà la que s'haurà d'aportar mitjançant un combustible addicional.

$$\text{Energia combustible} = 26.93 \text{ [MW]}$$

4.5. Combustible auxiliar.

En molts casos la calor produïda per la combustió és insuficient per a recuperar tota l'energia necessària per a dur a terme l'oxidació, en el cas dels RTO l'energia que s'ha d'aportar mitjançant un combustible auxiliar es més baixa que en els altres tipus d'oxidadors ja que s'aprofita la calor que pot absorbir la ceràmica.

Per a calcular la quantitat de combustible que es necessita s'utilitzen les dades obtingudes amb el balanç d'energia. El volum s'ha calculat utilitzant el valor de l'energia de combustió del gas natural a les condicions d'operació del reactor. Aquest valor és de 51.04 [MJ/m³] (ref.07).

Un cop escollides les condicions del gas natural es calcula la quantitat necessària per al procés un cop en marxa; també es calcula el volum per a la posada en marxa del procés.

$$\text{Volum gas natural} = \text{Calor a aportar} / \text{Energia disponible} \quad (4.5.1)$$

Taula 4.5.1. Combustible necessari per l'arrancada i durant el procés.

Combustible per a l'arrancada	2.33 [m³/s]
Combustible procés	0.52 [m ³ /s]

A la *Taula 4.5.2.* es troben els volums dels diferents compostos una vegada la combustió tant dels COV com del gas natural ha finalitzat. Per al càlcul del volum s'ha tingut en compte les densitats dels compostos a la temperatura i pressió d'operació i s'han considerat negligibles les quantitats dels COVs durant tot el procés.

Taula 4.5.2. Volum dels diferents compostos.

[m ³ /s]	COV-1100	GN-1200	GAST-2100	GASC-1000	GASR-2300
C ₄ H ₈ O ₂	0	0	0	0	0
C ₃ H ₈ O	0	0	0	0	0
O ₂	3.64	0	3.57	1.28	0.39
N ₂	13.77	0	26.47	4.81	2.87
H ₂ O	0	0	3.45	0	0.37
CO ₂	0	0	1.76	0	0.19
CH ₄	0	0.18	0	0	0
Total	17.41	0.18	35.25	6.09	3.82

Un cop coneguts els volums de tots els compostos es calculen les concentracions volumètriques per tal de demostrar que a la sortida hi ha més d'un 3% d'oxigen i, per tant no es necessària l'addició d'aire en excés. A la *Taula 4.5.3.* es troben les concentracions calculades.

Taula 4.5.3. Concentracions volumètriques a la sortida del reactor.

Compost	Concentració sortida [%]
O ₂	10.13
N ₂	75.09
H ₂ O	9.79
CO ₂	4.99
Total	100

En aquest cas no es necessari aportar un excés d'aire a la combustió del gas natural ja que, com es demostra a la *Taula 4.5.3.* l'oxigen al corrent de sortida supera el 3% en volum. Aquest valor d'oxigen és una condició indispensable per tal de conèixer l'aportació d'aire en excés segons la informació trobada. (ref. 03).

Cal tenir en compte que la combustió del gas natural es duu a terme amb l'oxigen del mateix corrent a tractar que entra al RTO. Aquest oxigen es suficient tal i com ja s'ha demostrat anteriorment i, per tant, la combustió del gas natural serà total sense necessitar cap entrada auxiliar al sistema.

4.6. Dimensionament de l'equip.

El dimensionament de l'oxidador consta de dues parts: el dimensionament de les torres de ceràmica i el dimensionament de la cambra on es duu a terme la combustió dels gasos un cop calents. El dimensionament de les torres té en compte varies variables com el cabal, el temps de residència, l'àrea de pas, la velocitat del gas, el temps del cicle, pèrdua de càrrega per pressió i les propietats del gas en funció de la composició, de la temperatura i de la pressió la pressió a la que es troba. Sempre que l'eficiència obtinguda al final dels càlculs no sigui inferior al 98%, el temps de residència establert serà de 1.5 [min] per tal de prolongar la vida útil de les vàlvules operatives del sistema i reduir costos en el manteniment d'aquestes. El temps de residència serà de 1 [s] per què a part d'assegurar una combustió total dels gasos residuals, també assegurar que hi hagi temps suficient per rebre la calor addicional provinent de la combustió del gas natural. Les dades sobre les propietats físiques i tèrmiques de la ceràmica escollida proporcionades pel proveïdor es troben resumides en la *Taula 4.6.1.*

Taula 4.6.1. Propietats físiques i tèrmiques de la ceràmica LanteComb-H (ref.20).

Propietats	Valor
Dimensions mòdul [mm]	150 x 150 x 150
Gruix de la paret [mm]	0.8
Cel·les per mòdul:	30 x 30
Densitat [kg/m ³]	840
Capacitat de calor [KJ/m ³ °C]	812
T màx. de treball [°C]	1300
Material	Cordierita
Conductivitat tèrmica cordierita [W/m ² ·°C]	3.0

4.6.1. Càlcul de les dimensions de les cel·les de la ceràmica.

Tot i que el disseny de les cel·les de la ceràmica són d'una forma bastant complexa, s'aproximarà la seva forma a tubs rectangulars. Coneixent les dimensions de cada mòdul i el nombre de cel·les per cada un d'aquests, es calcula l'àrea de pas de cada cel·la, l'àrea de pas per cada mòdul i l'àrea superficial que aportaran les 900 cel·les (30x30) per a cada mòdul.

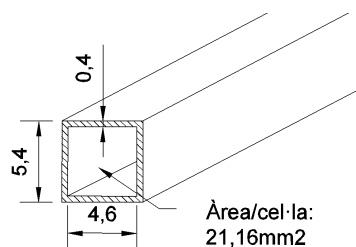


Figura 4.6.1.1. Dimensions d'una cel·la

Els diferents resultats dels diferents càlculs realitzats a A(II).2.6.2. venen reflectits en la següent taula:

Taula 4.6.1.1. Resultats dels càlculs realitzats

Àrea de pas	Àrea de pas per mòdul	Àrea superficial de 900 cel·les
21.16 [mm ²]	19.044 [mm ²]	2.48 [m ²]

4.6.2. Càlcul del volum de la ceràmica total d'una torre.

Les dimensions establertes de la torre de ceràmica han tingut en compte moltes variables. A part d'intentar tindre una relació entre les dimensions de la base i l'altura de la torre acceptable, s'ha decidit tindre una entrada ampla per varis motius. Primerament s'ha de tenir en compte que el cabal a tractar és molt gran i que la ceràmica marca una velocitat màxima bastant petita per tal de no tindre un excés de pèrdues de càrrega. A més a més, és molt crític la distribució del flux a l'entrada de la ceràmica en tota la secció transversal d'aquesta. Tot i que la corrent residual arriba amb canonades bastant grans, la diferencia de seccions segueix sent elevat i si la distribució del flux és desigual, la corrent de residus podria evitar una part del llit i reduir la recuperació d'energia tèrmica. Per tant s'estableix una base de 2.5 x 2.5 [m], però, els mòduls de ceràmica són de 0.15 x 0.15 [m] obligant a modificar les dimensions a 2.4 x 2.55 [m]. L'altura establerta és de 2 [m] per assegurar l'intercanvi de calor suficient, càlculs que es troben en A(II).2.6. També s'ha triat aquesta dimensió perquè és una altura que varia molt poc en comparació amb la que el proveïdor assegura que les pèrdues de càrrega són acceptables. Però, passa el mateix que amb la base, no poden ser 2 metres exactes per les dimensions prefabricades dels mòduls de ceràmica i per tant, la dimensió serà de 1.95 metres. Els 5 centímetres restants fins als 2 metres, s'ha decidit instal·lar una malla de filferro a l'entrada (sota la torre de ceràmica), seguit d'una capa petita de *saddles* per obligar a distribuir el flux més uniformement.

Les dimensions establertes i el nombre de mòduls proporcionals a aquestes mesures es troben a la *Taula 4.6.2.1* i en la *Figura 4.6.2.1*, la qual és una representació en 3D de la forma final de la torre de ceràmica.

Taula 4.6.2.1. Dimensions del pack de ceràmica per cada torre.

	Altura	Ample	Profunditat	Àrea base	Volum
Inicial	2.00 [m]	2.50 [m]	2.50 [m]	6.25 [m ²]	12.5 [m ³]
Final	1.95 [m]	2.40 [m]	2.55 [m]	6.12 [m ²]	11.93 [m ³]
Nº mòduls	13	16	17	272	3536

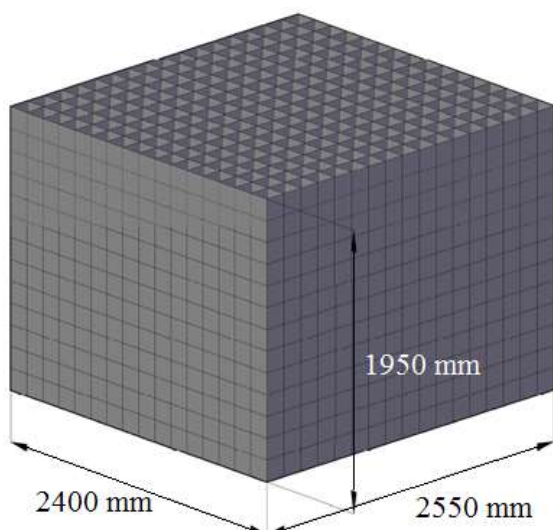


Figura 4.6.2.1. Esquema 3D de les dimensions totals de ceràmica utilitzada per cada torre.

4.6.3. Pèrdua de carrega generada per la ceràmica.

La velocitat amb la que els gasos passen a través del bloc de ceràmica és de 6.03 [m/s], càlculs que es troben a l'Annex, Apartat 2.5.2. Coneguda la velocitat dels gasos a tractar en la ceràmica, es pot obtenir la pèrdua de carrega generada per aquesta ja que el fabricant només dona dades fins a 2 [m/s]. La bibliografia assegura que la pèrdua de càrrega en aquest tipus de ceràmica (estructurada) augmenta linealment en funció de la velocitat. Per tant, es fa una aproximació agafant dos punts qualsevol del gràfic donat pel fabricant i s'allarga la pendent donada fins a una velocitat de 6 [m/s].

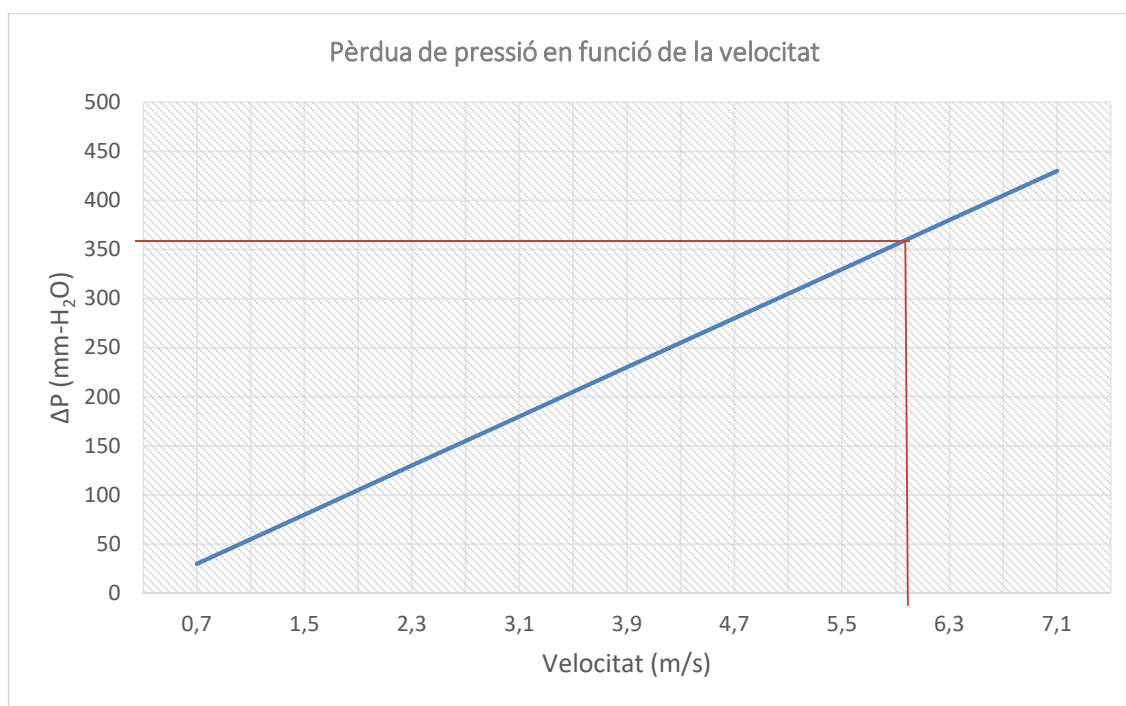


Figura 4.6.3.1. Pèrdua de pressió en funció de la velocitat a través de la ceràmica.

A una velocitat de 6 [m/s], la pèrdua de pressió generada per la ceràmica serà de 360 [mm H₂O]

4.6.4. Càlcul de les dimensions de la cambra de combustió.

La longitud total de l'equip ve limitat per les dimensions de les tres torres amb ceràmica. Contant que cada torre té una longitud amb un valor de 2.5 [m], la longitud mínima de l'equip ha de ser de 7.5 [m]. Però les dimensions de les torres no tenen en compte el grup del material aïllant, del material refractari ni de la carcassa d'acer. Per tant, es decideix afegir 1.5 [m] a la longitud mínima requerida per l'espaiat necessari entre les cambres i del gruix de les proteccions de les seves parets. En total, la longitud del RTO serà de 9 [m] i una amplada de 2.4 [m].

L'altura es trobada a partir d'una iteració de càlculs, en els quals es variarà el valor de l'altura. Tal com s'ha establert al principi, el temps de residència dels gasos dintre de l'equip interessa que sigui d'1 [s]. Per què això es compleixi, el volum que de gasos que passen en un 1 segon a la pressió i temperatura de treball, ha de ser igual al volum de l'equip. Es considerarà que els gasos ocuparan el volum de la cambra de combustió més el volum de dues torres de ceràmica (entrada i sortida). També s'ha de tindre en compte el valor de l'àrea de pas que tindrà la cambra i per tant, la velocitat amb la qual els gasos travessaran aquesta. Aquesta velocitat no ha de superar els 30 [m/s].

Taula 4.6.4.1. Iteracions realitzades per trobar l'altura de la cambra d'oxidació.

Altura [m]	Volum cambra [m ³]	Àrea de pas [m ²]	Velocitat del gas en la cambra [m/s]	Volum RTO [m ³]	Temps de residència [s]
0,50	11,25	1,25	47,43	35,25	0,59
1,00	22,50	2,50	23,71	46,50	0,78
1,25	28,13	3,13	18,97	52,13	0,88
1,50	33,75	3,75	15,81	58,80	0,99

L'altura serà de 1.5 [m] ja que d'aquesta manera s'obté aproximadament 1 [s] de residència i una velocitat acceptable a través de la cambra de 15.8 [m/s].

4.6.5. Sostre el·líptic.

Es troba convenient dissenyar la cambra d'oxidació amb un sostre el·líptic en comptes de una forma totalment rectangular. A part d'una major rigidesa, la seva forma també ajuda a que el flux es desplaci amb més facilitat i per tant, generar menys pèrdues de pressió per fricció. Els càlculs efectuats es troben a l'Annex II, Apartat 2.5.4. explicats amb més detalls.

Per tant, les dimensions finals, sense tenir en compte l'aïllament tèrmic de l'equip tèrmic regeneratiu, són les representades en la *Figura 4.6.5.1*.

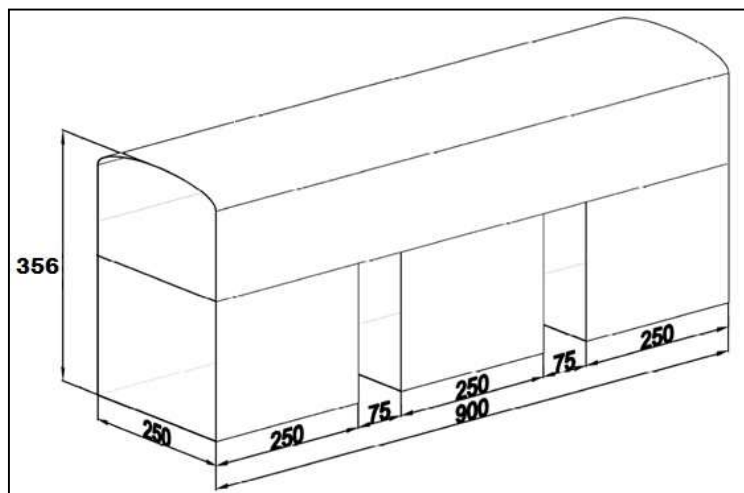


Figura 4.6.5.1. Dimensions finals RTO sense aïllament.

4.7. Anàlisi de transferència de calor (mètode *Lump Capacitance*”).

Després del balanç d'energia calculat en l'Apartat 4.4 de la memòria, i a partir de les suposicions fetes pel que fa la temperatura de la flama, s'ha trobat la temperatura de combustió dels gasos. Aquesta temperatura és de 686 [°C], i juntament amb la temperatura establerta de sortida cap a la xemeneia de 150 [°C], seran la base dels següents càlculs i suposicions. L'energia aportada a la ceràmica depèn de les propietats físiques i tèrmiques dels gasos però també de les de la ceràmica.

En molts sistemes, la taxa de transport d'energia cap o des del sistema és molt més lenta que la velocitat a la que es distribueix dintre del sistema. En aquest cas, és raonable assumir que l'energia es distribueix uniformement a través del sistema en cada moment ja que no hi ha un gradient dintre d'aquest. Per tant, l'aproximació que es fa mitjançant aquest mètode és suposar el sistema com una sola entitat. Es suposarà doncs, que durant l'escalfament o el refredament de la ceràmica, aquesta tindrà una temperatura uniforme durant tot el procés.

Per determinar si el mètode de *Lump Capacitance* (ref.14) és aplicable o no, s'ha de veure la raó entre resistències internes i externes. Donat que durant la transferència de calor, l'energia transferida des de l'ambient a la superfície iguala a l'energia conduïda des de la superfície s'obté l'Equació 4.7.1 següent:

$$Bi = \frac{hL}{k} \quad (4.7.1)$$

Si aquesta raó és molt menor que 1, la resistència a conduir calor dintre del sòlid és molt menor que la resistència convectiva. Però per un valor de Bi inferior a 0.1, l'error introduït per aquesta

tècnica és menor al 5%, cas en el que seria molt acceptable donat la complexitat que presenta un sistema com el de la ceràmica.

Tant la longitud, que és una dimensió establerta anteriorment, com la conductivitat tèrmica, que és una propietat tèrmica del material de fabricació de la ceràmica, són conegudes. Però, el coeficient de transferència per convecció no està calculat, ja que depèn de varis factors i en especial, de les propietats del gas. Bibliogràficament, aquest coeficient varia per la convecció forçada en gasos entre 25 i 150 [W/m²·K]. però s'ha trobat apropiat calcular aquest valor mitjançant el número de *Nusselt* i comparar-ho amb el bibliogràfic (ref.14).

4.7.1. Càlcul del coeficient de transferència de calor per convecció.

Al forçar el moviment del flux a través de la ceràmica mitjançant el ventilador es dona a terme la convecció forçada i això permet aplicar la metodologia de càlcul sobre un flux extern sobre una superfície no circular i relacionar-ho amb l'expressió de *Nusselt*. El número de *Nusselt* és un número adimensional que mesura l'augment de la transmissió de calor des d'una superfície per la que un fluid discorre comparada amb la transferència de calor si aquesta pasés solament per conducció.

Seguint la metodologia de càlcul, totes les propietats han de venir donades a una temperatura mitjana a la que es troba el flux del sistema. Tal com s'ha explicat a principis de l'apartat de dimensionament de l'equip, es treballa sobre la torre de ceràmica de sortida ja que és la limitant per tindre un cabal més gran que a l'entrada.

Taula 4.7.1.1. Resultats obtinguts.

Prandtl	Reynolds	Nu _D	Coeficient de transferència [W/m ² K]
0.80	144.3	8.02	11.41

4.7.2. Càlcul de la temperatura final de la ceràmica.

Un cop comprovat que es pot aplicar el mètode de *Lump Capacitance* (Annex II, Apartat 2.7.), es pot continuar amb el càlcul de la temperatura de la ceràmica al final d'un cicle. Aquesta temperatura serà la temperatura que haurà agafat a l'escalfar-se, ja que ho estem calculant sobre la torre de "sortida" cap a la xemeneia.

Els càlculs realitzats a l'Annex II, Apartat 2.6.3. especifiquen una temperatura final a la sortida de la ceràmica després d'un cicle de 90 segons de 629.0 [°C] i una temperatura final de la ceràmica després de cedir la seva calor als gasos quan entren a l'equip de 86.6 [°C].

També es representa la variació de les dues temperatures en funció del temps en un gràfic (Figura 4.7.2.1). Es pot observar com més enllà dels 90 segons de cicle, per un mateix increment de temps, la ceràmica s'escalfa i es refreda molt menys, ja que és un punt on la paràbola comença a apropar-se tangencialment a la temperatura màxima. Per tant, es pot considerar que el temps escollit és òptim.

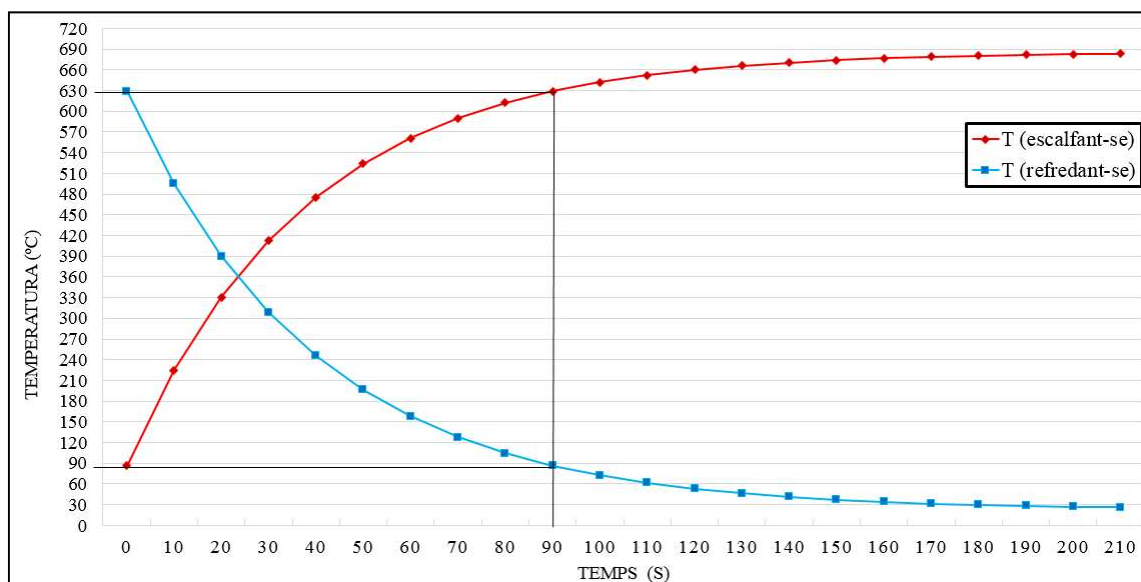


Figura 4.7.2.1. Representació de l'escalfament/refredament de la ceràmica en funció del temps.

4.8. Càlcul del gruix del material refractari i del material aïllant.

Tant per mantenir una temperatura en l'interior de la cambra, com per aïllar el material (acer al carboni) de la mateixa, s'utilitzarà varis materials com formigó refractari i maons de diatomees.

En la paret interna de la cambra d'oxidació s'instal·len materials que puguin contenir els gasos calents per prevenir l'exposició de la carcassa d'aquest de les altes temperatures. S'ha de remarcar que els acers al carboni generalment no poden suportar temperatures superiors als 450 [°C]. Els materials refractaris en canvi, gràcies a la seva composició de minerals no metàl·lics, poden suportar temperatures més altes que aquesta.

Un dels factors més importants que es tindrà en compte és la porositat, i l'altre és la densitat, de manera que a majors densitats s'obtidrà propietats de resistència mecànica més favorables, mentre que si els materials són més porosos, es millorarà la insolació. Com a material extern, utilitzarem formigó refractari (HF), i vindrà seguit de maons de diatomees com a material més porós i l'acer al carboni exterior. A la Figura 4.8.1. es pot veure les diferents capes de materials de la paret de la cambra.

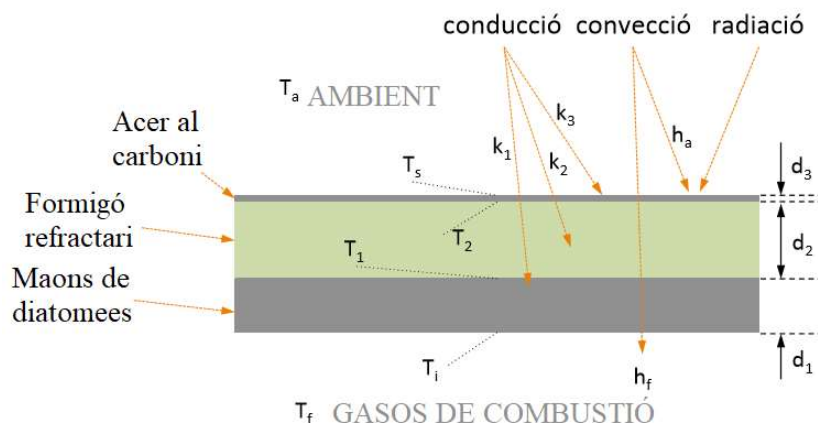


Figura 4.8.1. Esquema de les diferents proteccions de la paret del RTO (ref.15).

Després de realitzar els càlculs que es troben a l'Annex II, Apartat 2.8, el valor de la resistència total obtingut és de $0.34 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$ i el de la temperatura superficial és de $56.6 \text{ [}^\circ\text{C]}$. En la Figura 4.8.2. es pot veure representada la temperatura en la que es troba cada paret de material en funció de la seva profunditat. El formigó refractari no pot aïllar la temperatura a dintre la cambra i es troba a una alta temperatura en tota la seva secció. Els maons de diatomees en canvi, aconseguixen retenir la calor de tal forma que al final de la seva paret superficial exterior només es troba a una temperatura de $56.6 \text{ [}^\circ\text{C]}$, la qual es dona per acceptable.

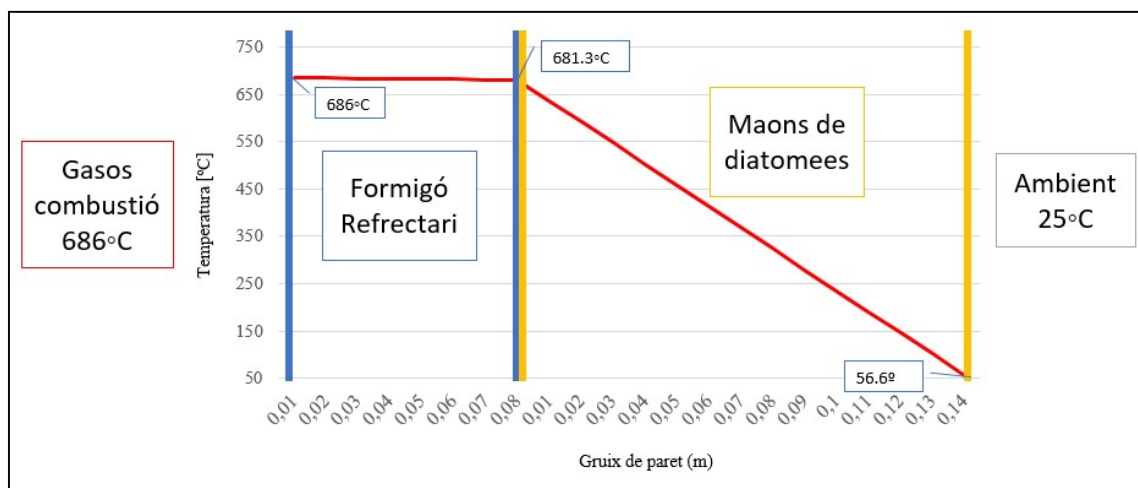


Figura 4.82. Esquema de la variació de temperatura a través dels dos materials.

4.9. Càlculs post disseny.

4.9.1. Càlcul de rang d'eficiències de reducció d'emissions de l'RTO.

Es farà un càlcul dels possibles rangs d'eficiències de l'oxidador tèrmic regeneratiu per tal de consolidar uns valors de referència a l'hora de treballar, aquest valors son referents a mostres extretes de un oxidador tèrmic real donat per fer tots els càlculs del projecte, els valors es poden veure a la *Taula 4.9.1.1*. Per tant, sempre poden variar i confirmar mitjançant el sistema d'anàlisis de variables que s'explica a l'*Apartat 9.4*.

Taula 4.9.1.1 Valors d'exemple d'un Oxidador Tèrmic.

	mostra 1	mostra 2	mostra 3
COT febrer 2016	1393	1393	1393
COT maig 2016	1309	1401	1400
COT agost 2016	1405	1412	1396
COT novembre 2016	1401	1390	1456

Càlcul de l'eficiència de treball. El càlcul de l'eficiència es farà en base a un testeig en 4 temps diferents durant un any on tindran una duplicitat de 3 mostres per a verificar-la.

4.9.1.1 *Entrada de gas residual. (C_{entrada}).*

Es calcularà un rang de treball en el qual la nostre eficiència mínima es complirà.

Calculant la mitjana del mostratge, s'obtindrà:

$$\hat{C}_{entrada} = \frac{x_{nm}}{(n*m)} = 1398 \left[\frac{mg}{Nm^3} \right] \quad (4.9.1.1.1)$$

Aplicant un coeficient de seguretat de treball del $\pm 10\%$ sobre la mitjana s'obté:

$$\hat{C}_{entrada} + 10\% = 1538 \left[\frac{mg}{Nm^3} \right] \quad (4.9.1.1.2)$$

$$\hat{C}_{entrada} - 10\% = 1258.2 \left[\frac{mg}{Nm^3} \right] \quad (4.9.1.1.3)$$

un valor màxim de 1538 [mg/Nm³] i un valor mínim 1258,2 [mg/Nm³] dels valors de entrada de COVs al procés, s'observa que tots els valors donats a la *Taula 4.9.1.1* estan dins del rang de valors mínim i màxim de l'entrada.

4.9.1.2 *Sortida de gasos residuals. (C_{sortida}).*

Màxima establerta per llei de 50 [mg/Nm³] on s'aplicarà també un coeficient de seguretat del 30% obtenint una sortida de gasos de 35 [mg/Nm³] la qual aplicant un coeficient de regularitat del 25% s'obté:

$$\hat{C}_{sortida} + 25\% = 43.75 \left[\frac{mg}{Nm^3} \right] \quad (4.9.1.2.1)$$

$$\hat{C}_{sortida} - 25\% = 26.25 \left[\frac{mg}{Nm^3} \right] \quad (4.9.1.2.2)$$

Per tant, els valors límit de sortida de procés són 43.75 [mg/Nm³] com a valor màxim i de 26,25 [mg/Nm³] com a valor mínim.

4.9.1.3 Eficiència variable.

4.9.1.3.1 -Eficiència d'emissions mínima.

$$\left(1 - \frac{(\hat{C}_{sortida} + 25\%)}{(\hat{C}_{entrada} - 10\%)}\right) * 100 = E_{min}; \left(1 - \frac{43.75}{1258.2}\right) * 100 = 96.52\% \quad (4.9.1.3.1.1)$$

S'obté una eficiència mínima del procés d'un 96.52 %.

4.9.1.3.2 -Eficiència d'emissions màxima.

$$\left(1 - \frac{(\hat{C}_{sortida} - 25\%)}{(\hat{C}_{entrada} + 10\%)}\right) * 100 = E_{max}; \left(1 - \frac{26.25}{1538}\right) * 100 = 98.29\% \quad (4.9.1.3.2.1)$$

S'obté una eficiència màxima del procés d'un 98.29 %.

4.9.1.3.3 Eficiència d'emissions objectiu.

$$\left(1 - \frac{\hat{C}_{sortida}}{\hat{C}_{entrada}}\right) * 100 = E_{obj}; \left(1 - \frac{35}{1398}\right) * 100 = 97.49\% \quad (4.9.1.3.3.1)$$

S'obté una eficiència objectiu del procés d'un 97.49 %, la qual serà un indicador a extreure del sistema SAD, que ens permetrà saber si el sistema funciona correctament, si esta sobre aquest valor o per sobre, en cas contrari i s'extreuen valors per sota serà un indicador de problemàtica a l'RTO.

4.9.1.3.4 Eficiència fora d'especificacions i legalitat del procés.

$$\left(1 - \frac{>50mg/Nm^3}{\hat{C}_{entrada} - 10\%}\right) * 100 = E_{obj}; \left(1 - \frac{50}{1258.2}\right) * 100 = 96.02\% \quad (4.9.1.3.4.1)$$

S'obté una eficiència límit de 96.02 %, la qual ens servirà com a punt crític del sistema ja que per sota d'aquesta eficiència no es compleix la llei i podria donar lloc a sancions i multes per excés del límit d'emissions.

5. DISSENY DEL SISTEMA DE CANONADES

El sistema de conductes és l'equip encarregat per transportar els gasos des del lloc capturat, segurament mitjançant una campana, fins al dispositiu de control. Aquest sistema inclourà conductes rectes, accessoris de colzes o tes, dispositius de control de flux i suports per als conductes. Els components del sistema de canonades, estan explicats a l'*Apartat 1.1.* de l'*Annex I.*

En aquest apartat s'explicaran tots els components càlculs necessaris per al sistema de canonades del projecte, es presenten els raonaments i dades finals de les necessitats per al disseny dimensional de canonades, disseny de l'aïllament i suport d'aquestes.

5.1. Espessor del sistema de canonades.

L'espessor de paret d'un conducte depèn de diversos factors, pressió interna, diàmetre, material de fabricació i altres paràmetres estructurals. No obstant això, s'ha fet un càlcul aproximat sobre les necessitats dels diferents tipus de canonades amb els seus respectius espessors que es necessitaran per a la construcció del procés de reducció de COVs.

A l'*apartat 1.2.* de l'*Annex I.* s'explica amb més detall el procés de disseny i selecció de les diferents tipologies de canonades que s'utilitzaran a les diferents parts del procés. A la taula 5.1.1., es troben tots els espessors calculats amb totes les dades sobre les canonades necessàries per els diferents equips del projecte. Per al mètode de càlcul es considera la normativa acceptada a Europa i tanmateix la normativa concordant d'Espanya, UNE "*Una Norma Espanyola*" (ref.17) que són un conjunt de normes tecnològiques creades per els CTN "*Comitès Tècnics de Normalització*".

Taula 5.1. Resultats de dimensionament de canonades.

		COV-1100	GN-1200	GAST-2100	GASC-1000	GASR-2300
Tipologia flux		COVs	Gas Natural	Gasos de comb.	COVs	Gasos de comb.
Pressió treball	bar	1.20	6.00	1.00	1.10	1.00
Temperatura	°C	23.00	23.00	150.00	23.00	100.00
P_N	bar	2.50	10.00	1.00	2.50	2.50
P_d	bar	2.50	8.00	1.00	2.50	2.50
P. Prova	bar	4.00	16.00	2.00	4.00	4.00
Material		S235	ASTM A53	S235	S235	S235
D_N	mm	746.99	90.62	1064.43	422,20	348,70
D_N'	mm	(32")800.00	(4 1/2")100	(44")1100.00	(20")500	(14")350
Do'	mm	842.00	114.30	1152.00	518.00	378.00
e_{ord}	mm	3.41	1.21	2.39	3.29	1.95
e'	mm	11.70	6.02	14.40	9.00	7.70
Pd'	bar	4,63	49,45	6,06	9.63	16.41
v'	m/s	33,30	21,91	35,92	24,83	36,99

5.2. Aïllament del sistema de canonades.

Els constants augments dels preus de l'energia han obligat a que en la major part de les instal·lacions i plantes industrials que es projectin, es reconsiderin i tinguin en compte aspectes que, aplicats, signifiquin un estalvi des del punt de vista energètic.

El problema d'aïllar es pot enfocar sota tres aspectes: Primerament com a limitació del calor dissipat prescindint del cost del material, també mitjançant l'estalvi de calor per pèrdues amb l'amortització de la inversió del material, i finalment de ser un problema de seguretat si les canonades estan a una zona delimitada com a zona de treball.

Primerament, s'observarà una capa de pintura que s'utilitzarà com a sistema de protecció contra la corrosió. Sempre tenint en compte la problemàtica que aquesta comporta. Es presentarà aquest tipus de protecció a tot el sistema de canonades que necessiti protecció tèrmica el qual considera la utilització d'una manta de llana de roca, com aïllant i finalment xapa d'alumini per protegir-lo de possibles condicions meteorològiques adverses, que podrien afectar a la funcionalitat principal de l'aïllant.

5.2.1. Pintura.

Ha d'oferir una bona barrera al vapor d'aigua i per conseqüència, tenir absència de porus i inhibir la corrosió mitjançant pigments com el Pb3O4 i el ZnCrO4.

La pintura pot presentar corrosió filiforme que no deixa de ser un atac sobre el substrat metàl·lic que succeeix sota la capa de pintura i tendeix a desenvolupar-se en forma de filaments. Per tant requerirà un manteniment periòdic freqüent i d'una perfecta capa d'imprimació per tal d'evitar la corrosió sota l'aïllament, sempre utilitzant una pintura que sigui resistent a la corrosió de substrats metàl·lics caracteritzada per un creixement amb una estructura fibril·lar i direccional. Se seguirà l'estàndard de la norma ASTM D-16-93 "*Standard Test Method for environmental Stress-Cracking of ethylene Plastics*".

5.2.2. Aïllant principal: Rockwool.

L'aïllament principal serà de llana de roca en forma de mantes armades posat que les dimensions de les canonades son més grans de les prefabricades. La raó per la qual s'utilitza llana de roca en lloc de fibra de vidre és per els possibles pics de temperatura que pugui tenir en cas de mala transmissió de calor la ceràmica del RTO. Generalitzant, la fibra de vidre aguanta la temperatura d'una raó de 250 [°C] mentre que la llana de roca té una temperatura òptima de treball de 680 [°C] fins a una temperatura màxima de treball de 750 [°C].

Dintre de les diferents tipologies de llana de roca, s'ha escollit utilitzar la llana de roca en forma de manta armada 129 de Rockwool. (ref.02).

5.2.2.1 Requeriments econòmics i ambientals de l'aïllant.

L'òptim econòmic és un compromís entre, el cost de l'energia que es perd i/o el cost de l'aïllament i (que depèn del gruix), el cost de l'energia ha de considerar la tendència a créixer amb el temps i l'aïllament estalvia energia i redueix les emissions de CO₂ imputables a la planta (ref.15).

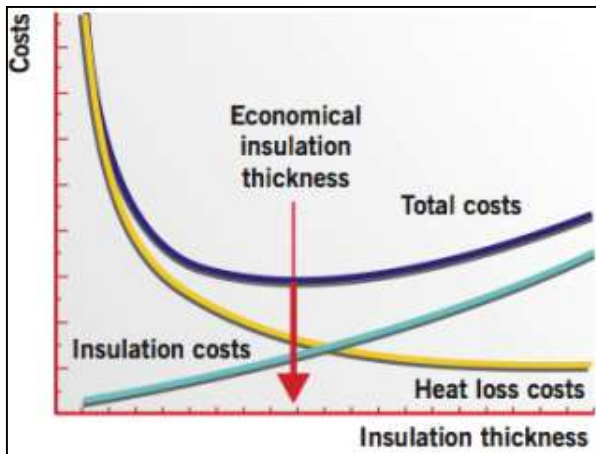


Figura 5.2.2.1. Òptim econòmic de l'aïllant.

5.2.2.2 Recobriments d'accessoris.

Igual que la canonada estarà aïllada, tots els accessoris d'aquesta ho hauran d'estar també de igual manera amb el mateix tipus d'aïllament seguint l'esquema de la figura 5.2.2.2.1.(ref.15)(ref.02)

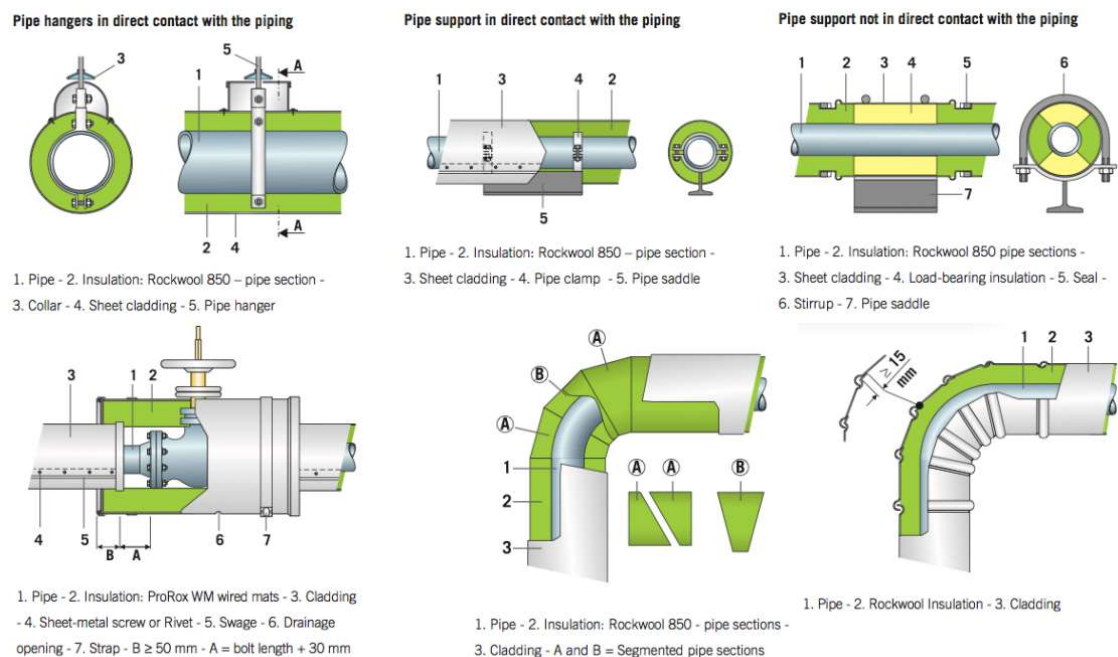
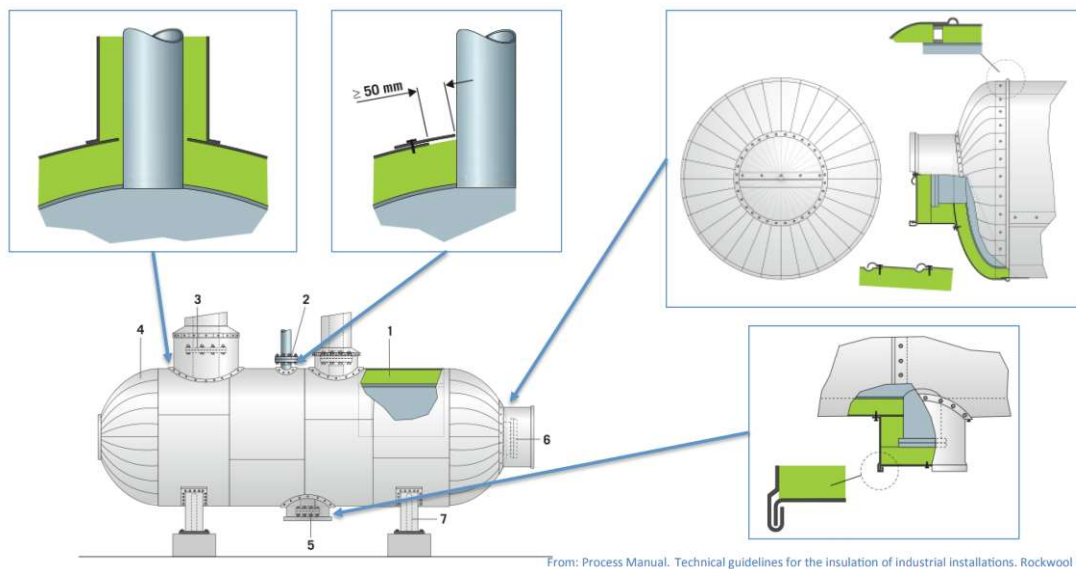


Figura 2.5.2.2.1. Esquemes recobriments d'accessoris.

5.2.3. Recobriments d'alumini.

La llana es recobrirà amb una jaqueta completament soldada d'alumini, on haurà de tenir un gruix nominal de 1,5 [mm]. La jaqueta ha de tenir una mescla retardant de la combustió aplicada ja prèviament a l'interior del recobriments. Una de les coses més importants a tenir en compte l'instal·lar el recobriments d'alumini serà de col·locar-lo de manera que eviti entrades d'aigua de pluja, com es mostra a la figura 5.2.3.1.(ref.15)(ref.02)



From: Process Manual. Technical guidelines for the insulation of industrial installations. Rockwool (RTI)

Figura 5.2.3.1. Correcta instal·lació del recobriments de la jaqueta d'alumini.

5.2.3.1 Resultats del càlcul de l'aïllament tèrmic.

Per l'aïllament d'aquelles canonades, que per la seva energia calorífica requeriran d'aïllament, tant per raons de necessitats de procés com per raons de seguretat, s'utilitzarà el mètode que s'explica a l'apartat . A la Taula 5.2.3.1.1 es presenten les característiques finals de l'aïllament tèrmic.

Taula 5.2.3.1.1. Taula resultats de càlcul d'aïllament.

Tipus aïllament	e_{llana} [mm]	k_{mat} $\left[\frac{W}{mK}\right]$	k_{rtub} $\left[\frac{W}{mK}\right]$	T_s [°C]
Acer S235	14.40	50.00		150.00
Manta armada 129 Rockwool	100	0.0052	1.52	52.28
Alumini	1.50	15.00		52.28

5.3. Corrosió al sistema de canonades.

Posat que les úniques canonades que tenen aïllament tèrmic treballaran sempre sobre els 100[°C], no tindran problemes de corrosió sota l'aïllament. Totes les canonades i accessoris estaran protegits contra la corrosió generalitzada que es pugui produir al estar a l'exterior.

Donat que és un sistema que treballarà a pressió, es faran proves de pèrdua d'espessor cada 5 anys i inspeccions visuals anualment per evitar problemes mitjançant un manteniment preventiu al sistema. La protecció contra corrosió es cobreix a la norma EN ISO 12944-1 a 7 "Coating materials – Protection against the corrosion of steelwork by means of coating Systems".

5.4. Suport del sistema de canonades.

El present apartat tracta del disseny estructural de les bancades de suport de les canonades i altres elements auxiliars que componen aquest projecte.

La tipologia estructural de la intervenció consisteix en el disseny d'un pòrtic metàl·lic tipus de manera que només canviant les dimensions d'altura del pòrtic, aquest es pugui adaptar a les diferents situacions constructives que ens podem trobar.

Aquest pòrtic metàl·lic estarà format per perfils laminats en calent i soldats formant un quadre rígid ancorat al terra per medi de platines metàl·liques sobre sabates de formigó armat.

Per tal d'acotar els diferents elements que intervenen, es determinen les següents hipòtesis de disseny que responen als condicionants establerts en les diferents normatives consultades, entre d'altres el "Codi Tècnic de l'Edificació" (CTE) i la "Instrucció d'Estructures de Formigó Estructural" (EHE-2008).(ref.32)(ref.33)

Les hipòtesis de partida són:

- L'edificació es troba en un ambient força humit però suficientment allunyat del mar per tal que no calgui protecció addicional respecte de l'ambient marí.
- L'estudi geotècnic ens donaria una resistència del terreny de 2[kg/cm²]mínim a la capa de fonamentació, un tipus de sòl no contaminat i capa freàtica allunyada sense influència mecànica a l'edificació.

Per tant el grau d'exposició de l'estructura de formigó de les sabates de fonamentació és classifica com IIa (Tipus de sòl normal, humitat alta i sense influència marina).

- El tipus de formigó a emprar serà doncs HA-25/a/20/II on HA-25 és formigó armat de resistència 25.0 [N/mm²], "a" és el tipus de sòl en el qual es recolzarà la estructura, el gruix de l'àrid a utilitzar serà de 20 [mm] de gruix rodats, amb un tipus d'atmosfera ambiental de tipus II.
- Els pòrtics d'acer seran amb perfils laminats en calent del tipus HEB-200 soldats i mecanitzats en taller de manera que el control de soldadures és acurat i el control

adicional per líquids o raigs X és senzill. Es preveu que aquest pòrtics d'acer estaran separats 3 [m] per tal que la fletxa, tant de les canonades com dels pòrtics, no superi els llindars normatius.

D'acord amb el Codi Tècnic de l'Edificació, tots els elements de l'estructura hauran de garantir una resistència al foc sense trencament de 60 minuts (R-60) i s'ha considerat una durabilitat de 100 anys.

5.4.1. Característiques de les sabates de fonamentació.

Els elements de formigó armat de formigó in situ que formen les sabates de fonamentació i ancoratge dels pòrtics metàl·lics es realitzaran d'acord amb la norma EHE-2008, "Estructuras de Hormigón Estructural" i la norma RC-2003 "Instrucción para la Recepción de Cementos", de manera que: (ref.33)(ref.34)

Les característiques per els elements es mostren a la *Taula 5.4.1.1*:

Taula 5.4.1.1. Característiques del formigó armat.

Formigó armat			
Acer	Límit elàstic	500	N/mm ²
	Tipologia	B500S	Soldable
	Control	Normal	
Formigó	R_{C28}	25.00	N/mm ²
	R_{C7}	17.50	N/mm ²
	Control	Normal	
Ciment	CEM	I – 42.50	
	Densitat estimada	250 kg/m ³ <400 kg/m ³	
	Màx. relació aigua/ciment	0.65	
Àrid	Classe rodant grandària màxim	20	mm
Docilitat	Consistència plàstica		
Compactació	Per vibrat energètic a l'obra		
Ambient	Ila		

Les sabates es recolzaran a l'estrat resistent a 50 [cm]. de profunditat, amb unes dimensions de les sabates 60x60x50 [cm]. (ample x llarg x cantell).

5.4.2. Característiques del pòrtic metàl·lic.

Els elements metàl·lics que formen els pòrtics de suport es dimensionaran segons el CTE "Código Técnico de la Edificación: Acero". L'acer utilitzat per al pòrtic metàl·lic serà l'acer S275JR, les característiques principals d'aquest acer es mostren a la taula 5.4.2.1. (ref.32)

Taula 5.4.2.1: Característiques de l'acer S275JR.

Característica	Valor
Límit elàstic	275 [N/mm ²]
Mòdul d'elasticitat E	2100000 [kp/cm ²]
Mòdul d'elasticitat transversal (G)	810000 [kp/cm ²]
Coefficient de Poisson (μ)	0.30
Coefficient de dilatació de l'acer (α_1)	0.000012 [m/m°C]

Per a l'execució de tota l'estructura metàl·lica, el constructor, basant-se en els plànols del projecte, realitzarà els plànols de taller necessaris per a definir completament tots els elements de l'estructura. Es comprovarà en obra les cotes de replanteig de l'estructura per a la realització dels plànols de taller i s'indicaran característiques dels elements. Es redactarà un programa de muntatge segons prescriu la norma "Código Técnico de la Edificación: Acero".

Es considerarà la relació fletxa/llum (fletxa admissible) elements d'acer de 1/500.

Considerem una fletxa petita degut a la sensibilitat dels elements d'unió de canonades i elements auxiliars.

5.4.3. Accions a l'estructura.

Segons la norma "Código Técnico de la Edificación: Seguridad Estructural", les accions que en general actuen en les estructures es mostren a la Taula 5.4.3.1.(ref.32)

Taula 5.4.3.1. Recull de problemàtiques que afectes a una estructura.

Tipologia d'acció	Resolució
Acció gravitatòria.	És la produïda pel pes dels elements constructius, pels objectes que puguin actuar per raó d'ús. Pot anar acompanyada d'impactes o vibracions. En el nostre cas són les càrregues que suportaran els pòrtics.
Acció del vent.	És la produïda per les pressions i succions que el vent origina sobre les superfícies. En el nostre cas hi actuaran ja que les canonades són exteriors.
Acció tèrmica.	És la produïda per les deformacions degudes als canvis de temperatura. En ser una instal·lació exterior hi actuaran.
Acció reològica.	És la produïda per les deformacions que experimenten els materials en el transcurs del temps per retracció, fluència sota càrregues o altres elements. Actuen sempre i en qualsevol cas.
Acció sísmica	És la produïda per les acceleracions dels sisme. En el nostre cas, l'acceleració horitzontal de Tarragona (ab) té una sismicitat entre $0.04g < ab < 0.08$ que no implica seguretat addicional, segons "Norma Construcción Sismo Resistente" (NCSR-2002) i el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE).

5.4.4. Coeficients de seguretat.

Segons les normes esmentades anteriorment i concordants, s'estableixen uns coeficients de seguretat estructurals tant per al formigó armat com per a l'acer estructural. Els coeficients de seguretat es mostren a la Taula 5.4.4.1.

Taula 5.4.4.1: Coeficients de seguretat del formigó i de l'acer estructural.

	Tipologia	Coefficient de seguretat
Formigó armat	Minorització de la resistència	1.50
	Majorització de les càrregues	1.50
Acer estructural	Minorització de la resistència	1.15
	Majorització de les càrregues	1.35

5.4.5. Resultats del càlcul del sistema de suport de canonades.

A l'Apartat 1.5. de l'Annex I es poden trobar els càlculs per a tot el sistema de suport de canonades del projecte que es mostra a continuació:

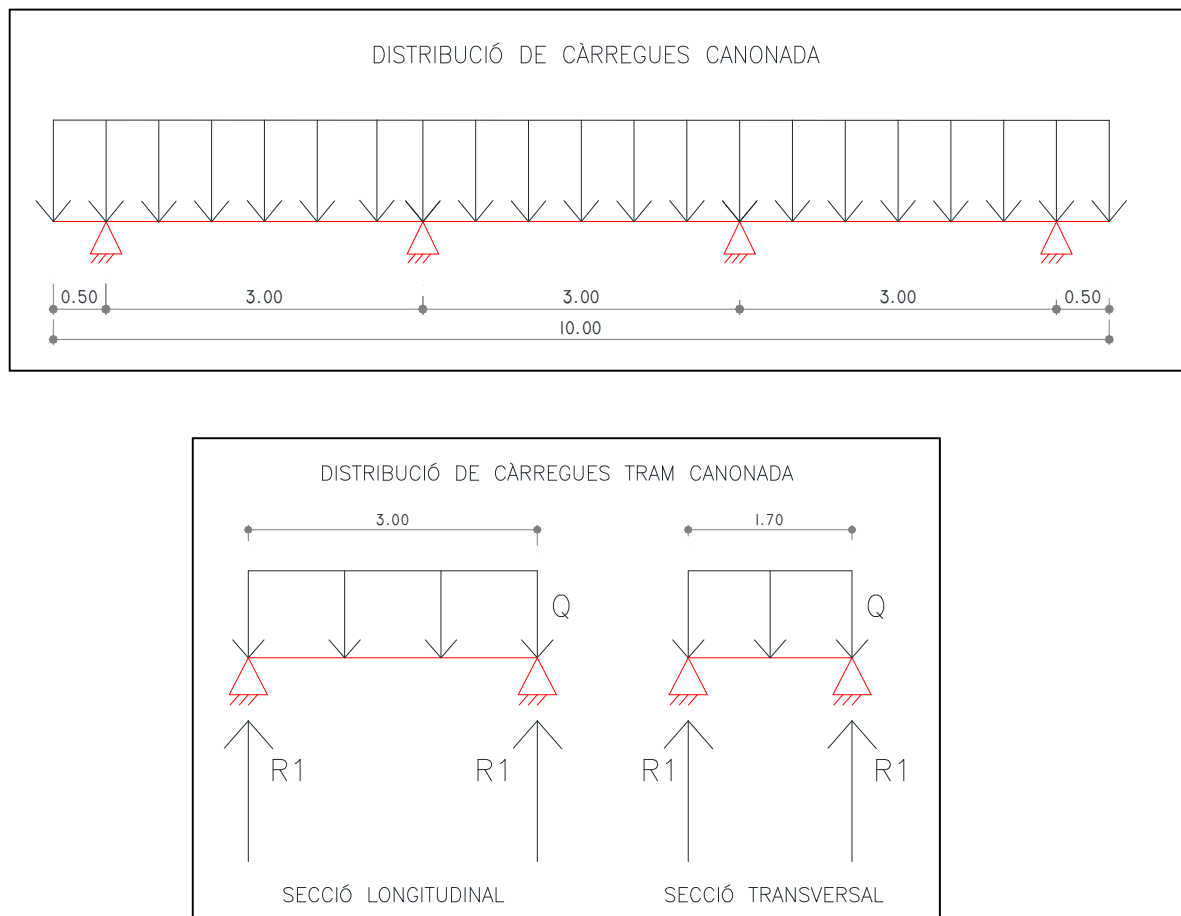


Figura 5.4.5.1. Distribució de carregues de canonades.

Es pot veure la distribució de bancades de suport de canonades, els detalls dels tipus d'ancoratges constructius i suports i la secció en detall de la sabata de fonamentació de la bancada de les canonades a l' *annex III*.

Per experiències semblants, es comprova que una sabata aïllada de formigó de 60x60 [cm]. i de cantell 50 [cm]. amb l'armat mínim, -que indica la normativa del formigó **EHE-2008** i normes concordants consultades-, suporta amb escreix la càrrega resultant.

Tanmateix, per la normativa de dimensionat de perfil·l·l·ria d'acer, Codi Tècnic de l'Edificació: Acer i normativa concordant, es comprova que el perfil HEB-200 supera amb escreix les càrregues resultants. En qualsevol cas s'han comprovat aquestes dimensions resultants amb el programa de càlcul d'estructures de "CYPE Ingenieros".

5.5. Caiguda de pressió al sistema de canonades.

El flux de fluids en qualsevol campana, conducte, canonada, o xemeneia està governada per una relació simple, que és l'equació de Bernoulli. Aquesta estableix que l'energia mecànica total d'un element d'un fluid fluïnt és constant a través del sistema. Això inclou la seva energia potencial, energia cinètica i energia de pressió. Però tot i això, cap sistema és ideal i per tant, l'equació de Bernoulli ha de ser ajustada per tindre en compte les pèrdues de fricció. Els guanys deguts a l'energia agregada per ventiladors, bombes etc., també s'han de tindre en compte. L'equació de Bernoulli ajustada és:

$$\int_1^2 v dp + \Delta z \left(\frac{g}{g_c} \right) + \frac{\Delta(u^2)}{2g_c} = W - F \quad (5.5.1)$$

Cada un dels termes de la part esquerra de l'Equació 5.5.1 representa un canvi d'energia d'una lliura de massa de fluid entre dos posicions en el sistema: punts 1 i 2. Els termes de treball (W) i la fricció (F) representen les quantitats d'energia guanyada/perduda entre aquests dos punts. En situacions de control de contaminació de l'aire, el fluid té, amb molta freqüència, les propietats de l'aire. Això és perquè els contaminants en la corrent gasosa residual estan presents en quantitats tan petites que les propietats físiques de la corrent s'aproximen a les de l'aire pur.

Degut a que l'aire és un fluid "compressible", el seu volum específic és molt més sensible a canvis de pressió i temperatura que el volum específic de fluids "incompressibles" com és l'aigua. Per això, el terme "vdp" en l'equació ha de ser integrat entre els punts 1 i 2. Però en la majoria dels sistemes de ventilació de control de la contaminació del aire, ni la pressió ni la temperatura canvien apreciablement des de el punt on les emissions són capturades fins

l'entrada del dispositiu de control. A conseqüència d'això, el volum específic es considera constants a través del sistema de ventilació i no s'ha d'integrar el terme "vdp". Amb aquesta suposició, el primer terme en l'Equació 5.5.2 se simplifica:

$$\int_1^2 v dp = v \int_1^2 dp = v \Delta p \quad (5.5.2)$$

5.5.1. Pressió: estàtica, velocitat i total.

Si es vol ser encara més rigorós, es pot expressar els termes de l'equació de Bernoulli en termes de peus d'aire tot i que els enginyers en ventilació industrial prefereixen utilitzar les unitats "polzades de columna d'aigua" (in. w.c.). A més a més, els resultats expressats en "peus d'aire" són amb freqüència números grans que són incòmodes d'utilitzar i els canvis en la pressió total en els sistemes de ventilació són relativament petits comparats amb aquells en els sistemes de flux líquid. Els canvis de pressió total expressats en polzades de mercuri serien números massa petits, els quals seguirien sent incòmodes de treballar. Per tant, "polzades d'aigua" és acceptable, ja que els valors expressats en aquestes unitats de mesura normalment varien tant sols entre 1 i 10. A més a més, les mesures de canvis de pressió es fan amb manòmetres plens d'aigua.

La pressió total, també coneguda com a "pressió d'impacte", és la suma de la pressió estàtica manomètrica (SP) i de velocitat (VP) en qualsevol punt dintre del conducte, campana, xemeneia etc., tot expressat en "in. w.c.". L'equació doncs tindrà la següent forma:

$$TP = SP + VP \quad (5.5.1.1)$$

$$SP = (cf) \cdot v \cdot p \quad (5.5.1.2)$$

$$VP = (cf) \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g_c} \quad (5.5.1.3)$$

Les expressions per SP i VP necessiten un factor(cf) per convertir els termes d'energia de "ft. aire" a "in. w.c.", ambdues a temperatura estàndard i pressió absoluta (70 [°C], 1 [atm]). Aquest factor de conversió s'obté arreglant l'Equació 5.5.1.4:

$$cf \left(\frac{\text{in.w.c.}}{\text{ft.aire}} \right) = 12 \left(\frac{v_{w70}}{v_{a70}} \right) \quad (5.5.1.4)$$

Taula 5.5.1.1. Dades per el desenvolupament de l'equació 5.5.1.5.

Component	Volum específic [ft ³ /lbw]
Aigua	0.016
Aire	13.41

Per tant, el valor del factor de conversió serà de 0.0143 [in. w.c./ft aire]. Clarament aquest valor varia com una funció de temperatura i pressió, però d'aquí en endavant en aquesta secció es donaran les condicions estàndards.

El terme de l'energia potencial "z[g/gc]" no apareix a l'Equació 5.5.1.1. Però això és degut a que l'energia potencial en sistemes de ventilació normalment és petita comparada amb altres termes. Es creu doncs, que ignorant aquest terme no es realitza cap error important.

Pel que fa la pressió manomètrica, en un conducte és igual en totes direccions, mentre que la pressió de velocitat, varia a través de la secció transversal del conducte. La velocitat en el conducte és més alta al centre i més baixa en les parets del conducte. Però per aire fluïnt en un conducte llarg i recte, la velocitat mitjana (u_t) s'aproxima a la velocitat de la línia central (u_{cl}). Substituint el factor de conversió "cf" en l'Equació 5.5.1.1, podem obtenir una equació simple que relaciona la velocitat a la pressió de velocitat a condicions estàndards. Aquesta equació es pot aplicar en qualsevol conducte sense importar la forma d'aquest:

$$VP = \frac{0.01436 \cdot u_t^2}{2 \cdot g_c} \quad (5.5.1.5)$$

Resolent:

$$u_t^2 \left(\frac{ft}{min} \right) = 66.94 (VP)^{1/2} \quad (5.5.1.6)$$

La pressió estàtica manomètrica es pot obtenir com l'energia "emmagatzemada" en un sistema de ventilació. Aquesta energia emmagatzemada és convertida en la energia cinètica de la velocitat i en les pèrdues per fricció (les quals són principalment calor, vibració i soroll). Les pèrdues per fricció doncs, es poden catalogar en diferents categories:

- Pèrdues a través de conductes rectes.
- Pèrdues a través d'accessoris de conductes: colzes, tes, reductors, etc.
- Pèrdues en les entrades a ramals i dispositiu de control.
- Pèrdues en ventiladors.

Generalment es perd molta més energia de pressió manomètrica per fricció que la que es converteix a energia de pressió de velocitat. S'expressa les pèrdues per fricció (ΔSP_f) en termes de pressió de velocitat:

$$F = \Delta SP_f = k \cdot V \cdot P \quad (5.5.1.7)$$

El factor k és un factor adimensional de pèrdua determinat experimentalment per diferents components o categories. A més a més, les equacions anteriors es poden combinar per expressar F (in. w.c.) en termes de velocitat mitjana en el conducte, u_t (ft/min):

$$F = (6,200 \cdot 10^{-8}) \cdot k u_t^2 \quad (5.5.1.8)$$

5.5.2. Càlcul de pèrdues per fricció en conductes.

Les pèrdues d'energia en els sistemes de ventilació degut a la fricció, son calculats com fraccions de la pressió de velocitat VP . Tècnicament aquestes equacions s'apliquen solament per a aquelles regions del sistema on no hi ha canvis en la pressió de velocitat (on el diàmetre del conducte es constant). Aquestes regions inclouran conductes rectes, campanes i accessoris tals com acoblaments i colzes simples.

La pèrdua per fricció d'un sistema de conductes és una funció complexa de varies variables: diàmetre, longitud del conducte, velocitat de transport, viscositat i densitat del gas. Específicament, les equacions de *Darcy-Weisbach* i de *Colebrook* són utilitzades típicament per aquest tipus de càlculs. També per simplificar els càlculs, s'han derivat equacions empíriques per a certes classes de sistemes de conductes disponibles comercialment. Per exemple, per a estimar la pèrdua per fricció per 100 peus a condicions estàndard per a sistemes de conductes galvanitzats rodons, en espiral, tenint 10 unions per 100 peus, es pot utilitzar la següent equació:

$$\frac{F_d}{100[ft]} = 0.136 \cdot \left(\frac{1}{D_d}\right)^{1.18} \cdot \left(\frac{u_t}{1000}\right)^{1.8} \quad (5.5.2.1)$$

On el diàmetre ha d'estar entre 0.25 i 5 [ft].

Per estimar la pèrdua per fricció per a altres tipus de materials de conductes, s'ha de multiplicar el valor obtingut en l'equació anterior per un factor de correcció per rugositat.

Els seus valors aproximats es troben en la figura 5.5.2.1. (ref.1).

Material	Factor de Corrección por Rugosidad
Galvanizado no en espiral	0.9
Fibra de vidrio (acabado liso)	0.8
Plástico ABS y PVC	0.8
Concreto	1.4
Conducto flexible corrugado	2.3

Figura 5.5.2.1. Factors de correcció per rugositat per a diferents materials.

Els factors de pèrdua per accessoris també han estat recopilats, en bases de dades experimentals. Un dels accessoris més utilitzats en els sistemes de control de contaminació d'aire son els colzes de 90°. Els valors de “ k_{90} ” per a colzes, varien segons el diàmetre i el radi de curvatura, el qual s'expressa com a un múltiple del colze. Els rangs típics d'aquests valors es troben a la *Figura 5.5.2.2*.(ref.01).

Radio de Curvatura	Factor de pèrdua por fricció (k_{90})
0.50	0.80
1.00	0.35
1.25	0.30 - 0.55
1.50	0.27 - 0.39
2.00	0.24 - 0.27
2.50	0.22 - 0.24

Figura 5.5.2.2. Valors típics del factor de pèrdua per fricció (k_{90}).

Com indiquen aquests valors, a major radi de curvatura, menor es la pèrdua per fricció. Això es degut a que, com mes gran es el radi de curvatura, més gradualment canvia de direcció el corrent de gas. Per a colzes amb angles menors a 90°, s'ha de multiplicar el valor “ k_{90} ” per un factor de $(\theta/90)$, de manera que:

$$k_{\theta} = \left(\frac{\theta}{90}\right) k_{90} \quad (5.5.2.2)$$

Per últim, el càlcul de la pèrdua de pressió en les vàlvules de papallona es pot calcular mitjançant els valor tabulats del coeficient de fricció “ k_{α} ” per a obertura total i amb un angle de 90°. A la *Figura 5.5.2.3*. es troben diferents valors de “ k_{α} ” segons el diàmetre de la vàlvula (ref.14).

Inches	2"	2" 1/2	3"	4"	5"	6"	8"	10"	12"	14"	16"	18"	20"	24"	28"
DN	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
K_{α}	0.76	0.65	0.64	0.64	0.58	0.56	0.48	0.48	0.48	0.45	0.45	0.45	0.45	0.44	0.43

Figura 5.5.2.3. Coeficients de fricció amb obertura total ($\alpha=90^{\circ}$)

La formula per a la pèrdua per fricció d'una vàlvula de papallona amb un angle d'obertura α és:

$$\Delta P_{\alpha} = \frac{\rho}{10000} \cdot K_{\alpha} \cdot \frac{V_{\alpha}^2}{2g} \quad (5.5.2.4)$$

En la *Taula 5.5.2.1* es troben les pèrdues degudes a la fricció de tot el sistema de canonades que hi ha a la planta. A l'*A(l)1.3*. hi ha un exemple, realitzat amb les equacions esmentades en aquest apartat, de les pèrdues de pressió que genera la fricció en la canonada (GAST-2100).

Taula 5.5.2.1 . Valor de les pèrdues en les canonades de la planta degudes a la fricció.

	COV-1100	GAST-2100	GASC-1000	GASR-2300
F_{total} [in c. w.]	18.027	21.075	1.041	2.706

5.6. Sistema de gas natural.

Les brides seran d'acer del tipus DIN 2633 PN 16 amb coll, ja que són les recomanades per pressions entre 2 i 12 bars. Les unions d'aquestes s'efectuaran amb perns o barres roscades amb femella i volandera que pressioni sota la femella. Les juntes seran d'amiant comprimit grafit del tipus "Klingerit", sent les recomanades per pressions inferior a 12 bars (ref.45).

El material escollit per la canonada de gas natural serà d'acer soldada i sense costura, negra i d'immersió en calent, amb recobriment de zinc d'acord al estàndard ASTM A 53, ja que és el recomanable per diàmetres inferiors a 2". Les soldadures serà del Tipus E, és a dir, una soldadura amb resistència elèctrica de Grau B. Les soldadures del Tipus E també s'aplicaran a l'acoblament de brides, aparells, accessoris i altres elements de canalització. Les característiques de la soldadura hauran de ser, al menys, iguals a les del metall de la canonada i hauran d'estar exemptes de buits o defectes, podent-se exigir-se, si és necessari o preceptiu, el radiografiat de les mateixes.

5.6.1. Assaig de resistència mecànica.

Aquest assaig consisteix en sotsmetre al conjunt de canonades i accessoris de canalització i valvuleria a una pressió hidràulica de prova, a excepció dels aparells reductors de pressió, control i accessoris diversos garantits pel constructor i aïllats per una junta cega. L'aigua utilitzada ha d'estar exempta de sediments en suspensió. A continuació de la prova, la canalització ha de purgar-se i assecar-se acuradament.

La pressió de prova serà de 1.5 vegades la pressió màxima susceptible d'aconseguir, amb un marge de 10%. La pressió controlada per un manòmetre, pressió del qual permet avaluar el valor absolut del marge esmentat. La pressió ha de mantenir-se sense variació durant el temps necessari a la inspecció de la instal·lació. Durant les probes les canonades han d'estar visibles en tota la seva extinció (ref.45).

5.6.2. Assajos d'estanqueïtat.

Aquest assaig es realitza sobre el conjunt de canalitzacions i accessoris sotmesos al mateix tipus de pressió. Durant els assajos, tota la canalització ha d'estar visible i accessible. En general,

l'assaig d'estanqueïtat s'efectua amb aire, amb gas inert o amb el gas distribuït, i consisteix en portar el fluid a la pressió d'assaig i comprovar l'absència de fuites.

La pressió de treball corresponent d'aquest sistema és de 6.0 bars, la pressió d'assaig ha de ser a 1.5 x Pressió de Treball, és a dir, a 9 bars. La pressió haurà de quedar-se constant durant el temps de la prova, considerant les variacions de temperatura abans i al final de l'assaig. La pressió es mesurarà per un manòmetre de columna de mercuri o per un manòmetre metàl·lic la sensibilitat de la qual sigui, al menys, igual al 5% de la pressió d'assaig (ref.45).

Quan s'hagi obtingut l'estabilització de la pressió en la canalització, es comprova que la mateixa quedi completament aïllada, per medi de vàlvules o de brides, de la resta de la instal·lació. No es procedirà mai a la localització de fuites de gas combustible mitjançant la utilització de una flama, llumí, etc. Aquesta localització s'efectuarà amb un pinzell mullat en aigua sabonosa o algun producte escumant, aplicant en totes les juntes, soldadures, etc.

5.6.3. Control radiogràfic de les soldadures.

Per una canalització sotmesa a una pressió inferior a 32 bars, les radiografies s'efectuaran al 30% de les soldadures. En aquest cas, l'assaig s'efectuarà per mostreig, seguint el criteri de selecció que estableixi en cada cas l'Empresa distribuïdora (ref.45).

5.6.4. Assaig de funcionament.

Després de que s'hagin realitzats els assajos de pressió i estanqueïtat, hauran de purgar-se amb gas de la xarxa, amb la finalitat d'expulsar l'aire o els gasos inerts de la prova, de forma que quedi en disposició de la seva posada en marxa, sense perill de mescles explosives. Per això, es connectaran els extrems de la xarxa amb una mànega o canonada provisional, extrem de purga de sortida de la qual estarà connectada a l'aire lliure, i com a mínim a 3 metres de qualsevol edifici o presa d'aire.

6. DISSENY DE LA XEMENEIA I PLOMALL

Les xemeneies curtes s'instal·len després dels dispositius de control per dispersar els gasos d'escapament per la part superior respecte al nivell del terra o dels edificis circumdants. A diferència de les xemeneies d'una altura considerable, les quals poden arribar a 300 metres d'altura, les curtes típicament no superen els 40 metres d'altura.

Alguns dispositius de control en paquet venen equipats amb xemeneies curtes amb altures que van des de 10 a 15 metres. Però si aquesta xemeneia no és proporcionada ni adequada, l'establiment ha de construir una xemeneia separada per servir a dos o més dispositius. Bàsicament, aquesta xemeneia és un conducte vertical construït sobre uns fonaments i suportat rígidament. Per estabilitat estructural, el diàmetre del fons d'aquesta és una mica més gran que el diàmetre de la part superior, el qual normalment varia de 0.5 a 2 metres.

Una xemeneia curta pot ser fabricada d'acer, maons o bé de plàstic (normalment és un plàstic reforçat amb fibra de vidre o FRP). Aquesta pot estar folrada o no folrada. La selecció del material depèn de les propietats físiques i químiques de les corrents de gas, com ara la corrosió i acidesa, així com també la diferència de temperatura entre la corrent gasosa i la de l'aire ambient. Els folres d'acer inoxidable, maó o FRP (plàstic reforçat amb fibres) són utilitzats generalment per protegir la xemeneia contra danys causats per la corrent gasosa. Aquests materials es fan servir bàsicament perquè són més fàcils i més econòmics de canviar que no pas la xemeneia sencera. Alternativament a aquests, l'interior d'una xemeneia pot ser recoberta amb zinc (galvanitzat), alumini o un altre material resistent a la corrosió, però una capa protectora no proporciona la mateixa protecció que un folre, ni tampoc dura el mateix temps.

Les xemeneies curtes normalment són auto-estables, suportades per cables o subjectes a estructures adjacents. El tipus de suport utilitzat depèn del diàmetre de la xemeneia, altura i pes, la carga del vent, les característiques sísmiques de la zona i altres factors.

L'equip auxiliar d'una xemeneia típica inclou una porta d'accés, una plataforma de mostreig, escales, sistema parallamps i llums d'advertència per a aeronaus. La porta d'accés permet l'eliminació de qualsevol material acumulat en el fons de la xemeneia i permet accés al folre ja sigui per reparació o per la seva eliminació. Les regulacions locals i estatals de control de la contaminació de l'aire poden requerir el sistema permanent de plataformes de mostreig per utilitzar-se durant les proves periòdiques de compliment. Pel que fa les escales, són utilitzades durant el mostreig però també durant el manteniment. El sistema de parallamps es necessita

per prevenir el dany a la xemeneia durant les tempestes elèctriques. Per últim, les llums d'advertència per aeronaus son requerides per les autoritats d'aviació locals. Tot plegat, aquests auxiliars poden afegir una despesa important al cost base de la xemeneia.

6.1. Procediments de disseny de xemeneies.

Igual que el sistema de conductes, el disseny de xemeneies implica un número de paràmetres de la corrent, estructural i específics del lloc. Aquests inclouen:

- Variables del gas residual: Raó de flux volumètric d'entrada, temperatura i composició.
- Dades específiques de la zona: Altura sobre el nivell del mar, fluctuacions de temperatura ambiental, dades topogràfiques i sísmiques, registres meteorològics i elevacions i distribució de l'edifici.
- Paràmetres estructurals: espessor de la paret de la xemeneia i del folre, localització de la "breaching opening" (apertura de penetració), tipus de suports, capacitats de càrrega de la fonamentació, mòduls de resistència i freqüència de la vibració natural.

Afortunadament, per a propòsits d'estudi d'estimacions de costos, els únics dos paràmetres de disseny de la xemeneia que necessiten determinar-se són: (1) el diàmetre de la xemeneia i (2) l'altura d'aquesta. Les dos variables (v.g., l'espessor de la paret) son incorporades a les correlacions de cost de l'equip. El diàmetre de la xemeneia és relativament fàcil de determinar, ja que depèn principalment de les condicions de la corrent residual. És més difícil de determinar l'altura de la xemeneia, ja que està influenciada per variables específiques del lloc. No obstant es pot observar el desenvolupament que s'ha seguit per a obtenir els valors i dimensions de la xemeneia.

6.1.1. Càlcul del diàmetre de la xemeneia.

Degut a que la majoria de les xemeneies tenen seccions transversals circulars, el diàmetre de la xemeneia (D_s ,ft) pot ser calculat amb la fórmula del diàmetre del conducte (Equació 6.1.1.1):

$$D_s = 1.128 \left(\frac{Q_{xe}}{u_{xe}} \right)^2 \quad (6.1.1.1)$$

S'observa que el diàmetre de la xemeneia d'aquesta fórmula es mesura a la sortida de la xemeneia i no a l'entrada. Això és perquè, per raons estructurals, el diàmetre al fons de la xemeneia típicament és major que el diàmetre de la part superior. S'observa el mateix amb la velocitat de sortida de la xemeneia no iguala necessàriament la velocitat de transport del conducte. Finalment, Q_{xe} pot ser diferent de la raó de flux volumètric utilitzat per dimensionar

la mesura del sistema de conductes. Degut a que la xemeneia sempre segueix al dispositiu de control, la raó de flux d'entrada al dispositiu pot no igualar la raó de flux d'entrada a la xemeneia, parlant de [ft³/min], ja siguin estàndard o reals. Per exemple en un incinerador no auto-tèrmic, la raó de flux estàndard del gas residual de sortida és quasi sempre major que la raó de flux d'entrada degut a l'addició de combustible suplementari.

La velocitat de sortida de la xemeneia (u_{xe}) afecta a l'altura de la ploma i a la distància que la ploma s'eleva per damunt de la part superior de la xemeneia un cop surt. A una xemeneia ben dissenyada, la velocitat de sortida ha de ser 1,5 vegades la velocitat del vent. La velocitat mitjana del vent a Tarragona és de uns 20 [m/s].

6.1.2. Càlcul de l'altura de la xemeneia.

L'estimació de l'altura de la xemeneia és més difícil de calcular que el diàmetre de sortida d'aquesta. L'altura de la xemeneia depèn de diverses variables: l'altura de la font de gasos, la velocitat de sortida de la xemeneia, la temperatura de la xemeneia i ambiental, forma de l'estructura propera, el terreny i la composició del gas de sortida de la xemeneia.

Algunes d'aquestes variables es determinen de forma directa, mentre que d'altres, son difícils de determinar sense realitzar models al lloc i estudis de comportament d'aquests per tant s'han suposat.

Principalment l'altura té dos components; l'altura de la xemeneia mateixa (H_s) i l'altura d'elevació de la ploma (H_{pr}). Junts, aquests dos components, componen l'altura efectiva de la xemeneia (H_e).

$$H_e = H_s + H_{pr} \quad (6.1.2.1)$$

Encara que el cost de la xemeneia és en funció de sols l' H_s .

Tal i com s'ha comentat anteriorment, l'elevació de la ploma ocorre en funció de la velocitat de sortida de la xemeneia. També depèn del diferencial de temperatura entre el gas de la xemeneia i de l'aire ambient. Específicament, una diferencia de temperatura de 1 [°F] correspon a un augment d'aproximadament 2.5-[ft]. en H_{pr} .

Per a aquelles fonts d'emissió subjectes a Plans de Implementació Autonòmics, l'altura de la xemeneia (H_s) s'ha de determinar segons el *GEP (good engineering practice)*. Es defineix GEP com " l'altura necessària per assegurar que les emissions de la xemeneia no resultin en concentracions excessives de qualsevol contaminant de l'aire a les rodalies immediates de la font de gasos, com a resultat de precipitacions atmosfèriques, remolins o vendavals que es poguessin crear per la mateixa font d'emissió, les estructures properes o obstacles als terrenys

propers. Per tant la GEP estableix el “*màxim allowable stack height credit*”, crèdit màxim permisible de la altura de la xemeneia, amb propòsit de calcular l'impacte de la font emissora en la qualitat de l'aire ambiental. Una font pot construir una xemeneia a qualsevol altura, però només serà permesa una quantitat d'altura de xemeneia al determinar els impactes ambientals.

Per a xemeneies construïdes després del 12 de febrer del 1979, l'altura GEP de xemeneia és l'altura determinada per la equació següent:

$$H_s = H_b + 1.5L \quad (6.1.2.2)$$

A la *Taula 6.1.2.1* estan les mides de l'edifici més proper a la xemeneia i, per tant, el que influirà directament a l'alçada d'aquesta.

Taula 6.1.2.1. Mides de l'edifici més proper a la xemeneia.

Hb [ft]	L [ft]
20	9

6.1.3. Càlcul del tir de la xemeneia.

Tal i com s'ha comentat prèviament, el gas residual flueix a través de les campanes i sistemes de conductes, perdent pressió estàtica degut a la fricció.

En el cas de les xemeneies, no obstant, la corrent del gas pot realment guanyar pressió estàtica, com a resultat del tir de la xemeneia, el qual es el tir creat per el diferencial de temperatura entre el gas de la xemeneia i de l'aire ambiental. El tir de la xemeneia ($SP_{S,in}$ w.c.) pot calcular-se de la següent manera:

$$SP_S = 0.034 (H_s - H_{br})p \times \left(\frac{1}{T_{amb}} - \frac{1}{T_{sa}} \right) \quad (6.1.3.1)$$

En la *Taula 6.1.3.1* es troben els resultats dels càlculs que s'han dut a terme pel disseny de la xemeneia fent servir les equacions anteriorment descrites.

Taula 6.1.3.1. Resultats del disseny de la xemeneia.

Hs (m)	D (m)	Sp (bar)
10.05	1.48	0,024

6.1.4. Càlcul de l'esveltesa de la xemeneia.

A continuació es realitzarà el càlcul de l'esveltesa de la xemeneia per tal de determinar si es necessària l'addició de elements externs per tal de contrarestar l'acció del vent sobre l'estructura.

El rati d'esveltesa es calcula com el quocient de la base d'un edifici i la seva altura.

Es considera un edifici esvelt aquell amb un ratí de 1:10 o 1:12.

En el cas particular el rati d'esveltesa tenint en compte els valors de la *Taula 6.1.3.1* es de 1:7, per tant no es considera una estructura esvelta i no necessita de suports externs.

6.1.5. Altura efectiva de la xemeneia i elevació de la ploma.

Es coneix com a altura efectiva de xemeneia (H) con la suma de l'altura física de xemeneia (H_s) més l'elevació de la ploma (Δh) representada com una línia imaginaria centrada i no des dels límits superior o inferior d'aquesta com es pot veure a la *Figura 6.1.5.1*.

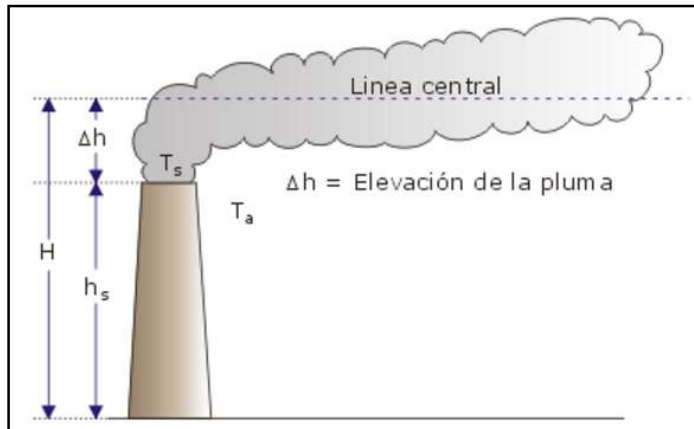


Figura 6.1.5.1: altura efectiva de la ploma

L'elevació de les plomes ha sigut tema d'estudi durant molts anys. Les fórmules més utilitzades son les desenvolupades per Gary A. Briggs (ref.01):

$$\Delta h = \frac{1.6F^{1/3}x^{2/3}}{\hat{u}} \quad (6.1.5.1)$$

Només s'utilitzarà l'*Equació 6.1.5.1* quan les temperatures de l'efluent gasos siguin més altes que la temperatura ambient. Sabent que la diferencia de temperatura entre el gas de sortida de la xemeneia (T_s) i l'aire ambiental (T_a) és un dels grans punts d'influència sobre l'elevació de la ploma.

$$F = \frac{g}{\pi} Q_v \left(\frac{T_s - T_a}{T_s} \right) \quad (6.1.5.2)$$

Com ja s'ha comentat abans, les fórmules de l'elevació de la ploma serveixen per determinar la línia imaginària central d'aquesta, on es produeix la major concentració de contaminants. Per tant la condició de l'atmosfera, inclosos els vents i el perfil de la temperatura al llarg del recorregut de la ploma, determinarà en gran mesura l'elevació final d'aquesta.

Existeixen varies tècniques per calcular les concentracions de contaminants al llarg de la ploma, en aquest cas s'ha utilitzat un programa anomenat ALOHA on s'explica tant els resultats com el seu funcionament al *A(l)3.1.3*.

6.2. Dispersió de la ploma i model de qualitat de l'aire.

En aquest apartat s'explicarà el funcionament de una xemeneia, les lleis físiques que s'apliquen tant a aquesta com al derivat de les emissions (plomall), la diferent tipologia de atmosferes i condicions meteorològiques i els diferents models de qualitat de l'aire i la forma en que es poden simular mitjançant el programa ALOHA.

A mesura que els gasos d'escapament turbulents són emesos per la xemeneia, es barregen amb l'aire de l'ambient creant una mescla amb una temperatura superior a la temperatura ambiental incentivant i augmentant el *momentum* adquirit per l'arrossegament que crea el vent. En aquests casos, els gasos emesos són menys densos que l'aire exterior, és a dir tenen un índex de flotabilitat superior al de l'aire. La combinació del *momentum* i la flotabilitat dels gasos fan que aquests s'elevin.

Aquest fenomen és conegut com elevació de la ploma, permetent que els contaminants emesos a l'aire mitjançant aquest corrent de gas pugi a una altura major. A mesura que la mescla de gasos avança per l'arrossegament de l'aire, la ploma augmenta el seu diàmetre a *sotavento* de la xemeneia.

Tot el que es troba als apartats posteriors, està extret de les ref.(01a, 01b, 35, 36, 37 i 38).

6.2.1. Momentum adquirit per impulsió del vent.

Es començarà explicant com s'ha comentat anteriorment, una de les dos característiques més rellevants en la elevació de la ploma, el *momentum*.

S'han de distingir dos tipologies de forces que actuen sobre la ploma, la primera és la velocitat latent a l'efluent d'emissió de la xemeneia i la força d'impulsió del vent, que variarà segons la tipologia d'atmosfera i la seva estabilitat.

Aquesta velocitat latent a l'efluent que ve principalment donada per el tir de la xemeneia explicat i calculat a l'*Apartat 6.1.3*, que es veu afectada també per un mínim canvi en la pressió de sortida dels gasos residuals i com a conseqüència d'això i la barreja amb el cabal de gas del tir afectarà a la densitat final.

Un cop s'arriba al punt d'emissió dels gasos de la xemeneia on comença a afectar el segon tipus de força, la impulsió adquirida pel vent, on inicialment la velocitat directa de la ploma disminuirà a causa de l'expansió que pateix, però és on es comença a aplicar la força d'arrossegament produït pel *momentum* horitzontal que crea el vent on aquest fenomen farà que la ploma adquireixi una certa inclinació. A major velocitat del vent, més horitzontal serà el

recorregut de la ploma i més dispersió adquiriran els gasos emesos. Aquest fenomen es pot observar a la *Figura 6.2.1.1*.



Figura 6.2.1.1: Diferències en adquisició de momentum horitzontal per la velocitat de vent.

Es pot observar que contra més força tingui el vent, més ràpid s'inclinarà cap a la horitzontal. A mesura que la ploma continua elevant-se, els vents més forts fan que s'inclini encara més. En general, aquesta velocitat augmenta amb la distància sobre la superfície de la Terra i aquest procés persisteix fins que la ploma sembla horitzontal a terra.

Una altra variable a tenir en compte és la diferència de pressions creades per l'altura: si l'emissió dels gasos està a una capa atmosfèrica més alta i més allunyada del terra, la ploma experimentarà una major dispersió abans d'arribar al terra, a causa de la diferència de pressió per la l'altura del punt d'emissió.

6.2.2. Flotabilitat i Principi d'Arquímedes.

Com a segon terme, està la flotabilitat natural dels elements que componen la font d'emissió.

Es coneix la flotabilitat com la capacitat d'un cos o fluid per sostenir-se dins d'un altre. Aquest sura quan la força resultant de la pressió exercida a la part inferior del cos és superior a la força del seu pes a causa de la gravetat més la pressió exercida a la part superior per la columna de fluid, seguint el Principi d'Arquímedes, un dels principis més importants de la física i un dels fonaments en estàtica de fluids:

“Un cos insoluble totalment o parcialment submergit en un fluid (líquid o gas) en repòs rep una força de baix cap a dalt igual al pes del volum del fluid que desallotja”

Per tant, podem dir que un cos està en flotació quan roman suspès en un entorn líquid o gasós:

“Un objecte flotarà sobre un fluid (ambdós sota els efectes de la força d'una gravetat dominant) sempre que el nombre de partícules que componen l'objecte sigui menor al nombre de partícules de fluid que es desplacen per l'acció de l'objecte penetrant al medi”.

El cos puja fins que les dos forces s'igualen i el cos/fluid roman constant i estable. Per això els cossos que floten no surten volant. En ocasions la pressió exercida a la part inferior és deguda al líquid que té parcialment per damunt, i unes altres a la pressió atmosfèrica, com és el cas d'un iceberg.

6.2.3. Tipologia d'atmosferes i efectes negatius sobre estabilitat i inversió tèrmica.

Donat que mai es trobarà una situació ideal on l'atmosfera serà sempre la mateixa, s'ha realitzat un estudi de les diferents tipologies d'atmosferes que es poden trobar a la situació de la planta on s'instaurarà l'oxidador tèrmic.

6.2.3.1 Classes d'estabilitat atmosfèrica.

L'estabilitat no només depèn de la velocitat del vent de l'atmosfera sinó que la diferència de temperatura entre una porció de gas d'emissió i l'aire que l'envolta també afecta a aquesta. Per tant, es poden produir diferents nivells d'estabilitat segons com de gran o petita sigui la diferència de temperatura entre la porció de gas emès i l'aire circumdant.

Els paràmetres atmosfèrics són crítics per a l'ús de models de difusió de contaminants a l'atmosfera. En efecte, els coeficients de dispersió que apareixen en les fórmules Gaussianes, estan determinats per la mescla o poder dispersiu del flux turbulent dins de la capa límits atmosfèrica. Per a aquest propòsit el Sr. Pasquill (ref.01b) va proposar un mètode que permet determinar els coeficients de dispersió a partir d'una classificació senzilla de les condicions atmosfèriques, definides com categories d'estabilitat.

L'explicació de les diferents classes d'estabilitat atmosfèrica es poden trobar a l'*Apartat 3.1.1. de l'Annex I.*

6.2.3.2 Efecte de situació de la xemeneia.

A causa de la configuració de la xemeneia o per culpa dels edificis adjacents, és possible que la ploma no s'elevi lliurement a l'atmosfera. Alguns efectes aerodinàmics causats per la manera en què flueix el vent al voltant dels edificis i de la xemeneia poden impulsar a la ploma cap a terra en lloc de permetre que s'elevi a l'atmosfera.

Principalment podem trobar dos tipus de situacions en les quals es pot produir un flux descendent de la ploma:

El flux descendent es pot produir quan la raó entre la velocitat de sortida de la xemeneia i la del vent és petita.

En aquest cas, es crea una depressió a l'estela de la xemeneia provocant que la ploma descendeixi per darrera d'aquesta. Quan això succeeix, la dispersió dels contaminants

disminueix ja que es redueix el flux d'aire provocant un augment de la concentració de contaminants imminents a *sotavento* de la font d'emissió.

A mesura que l'aire es mou sobre i al voltant dels edificis i altres estructures, es formen ones turbulentes.

Segons l'altura de descàrrega de la ploma, és probable que aquesta sigui arrossegada per les corrents i els fluxos d'aire creats per les distorsions dels edificis al voltant.

Tot i que se sap que no sempre serà causat per edificis sinó qualsevol element topogràfic afectarà el flux i l'estabilitat atmosfèrica del vent. Per tant, un terreny desigual a causa de la presència de turons, valls i muntanyes afectarà la dispersió de la ploma.

Això es coneix com flux descendent aerodinàmic que pot conduir a concentracions elevades de contaminants immediatament a sotavento de la font. La *Figura 6.2.3.2.1* il·lustra aquests tipus de flux.

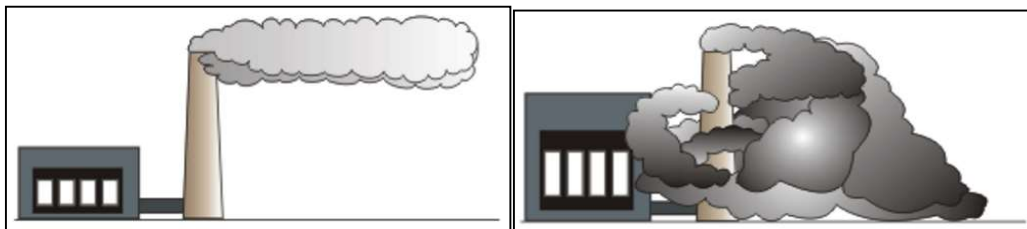


Figura 6.2.3.2.1: flux descendent tipus 1 i flux descendent tipus 2.

6.2.3.3 Inversió tèrmica.

La inversió tèrmica és el fenomen atmosfèric pel qual la temperatura augmenta amb l'alçada, al contrari del que és usual. Les condicions d'inversió tèrmica poden ser quasi permanents (corrents freds) o ocasionals (anticicló hivernal).

El fenomen de la inversió tèrmica és el responsable de que l'aire calent (menys dens) no tingui aquesta tendència a pujar, per tant una situació d'inversió tèrmica pot provocar que la contaminació de l'aire com el boirum, quedi atrapada a prop del sòl, amb efectes nocius per a la salut. La inversió tèrmica també pot aturar el fenomen de la convecció, actuant com una capa aïllant. Si per algun motiu aquesta capa es trenca, la convecció de qualsevol humitat present pot ocasionar violents temporals.

Una de les característiques més importants de l'atmosfera terrestre des del punt de vista termodinàmic és la variació de la temperatura a mesura que s'ascendeix en alçada, és a dir, el gradient tèrmic. És un factor de gran importància per la dispersió dels contaminants, i la situació normal és que la temperatura decreixi amb l'alçada. En les denominades condicions

adiabàtiques, la disminució de temperatura amb l'alçada és constant, de l'ordre d'1°C per cada 100 m. Aquesta variació rep el nom de gradient adiabàtic de temperatures.

El màxim grau d'estabilitat s'estableix en aquelles capes de l'atmosfera on la temperatura augmenta amb l'alçada. Els estrats on es presenta aquest fenomen s'anomenen inversions tèrmiques.

Es diu punt d'inversió tèrmica a aquell on el gradient vertical de temperatura canvia de signe, i capa d'inversió a la zona compresa entre dos punts d'inversió. Les inversions impedeixen la difusió vertical dels contaminants.

Les condicions principals perquè es produeixi aquest fenomen són:

- En les zones molt poblades o industrialitzades, perquè els efectes de les calefaccions i la circulació de vehicles fan que la temperatura sigui més elevada que en les zones que envolten les grans ciutats.
- En les zones de costa, la persistència dels vents o el seu caràcter de circulació tancat, fan que els contaminants es dispersin dintre d'un volum d'aire limitat.
- En les zones muntanyoses, que en les hores centrals del dia adquireixen una temperatura més elevada que l'aire que es troba al seu mateix nivell, provoca un escalfament de l'aire en contacte amb la muntanya, el qual s'eleva i provoca una brisa des de la vall cap a la muntanya. Per les nits, el refredament més ràpid de la muntanya serà la causa que la brisa circuli en sentit contrari.

L'existència de qualsevol tipus d'obstacle que pot induir turbulències en les masses de l'aire. Generalment, la inversió tèrmica s'acaba quan en escalfar-se l'aire que està en contacte amb el sòl, es restableix la circulació normal a la troposfera. En condicions meteorològiques desfavorables, la inversió pot persistir durant diversos dies.

6.2.4. Estimacions de dispersió.

Normalment les estimacions sobre les dispersions de les xemeneies es determinen mitjançant equacions de distribució i/o models de qualitat de l'aire, on normalment són vàlides per a la capa de l'atmosfera més propera al terra, ja que la probabilitat de que es produeixin canvis freqüents de la temperatura i de la distribució dels vents és més probable.

L'explicació dels diferents models de qualitat de l'aire, la selecció de dispersió gaussiana i l'explicació de l'aplicació d'aquest, es poden trobar a l'*Apartat 3.1.2. de l'Annex I* i es mostra un exemple a la *Figura 6.2.4.1.*

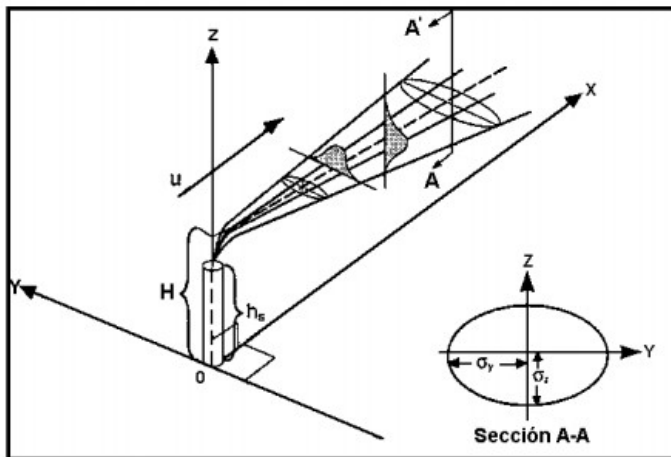


Figura 6.2.4.1: Model de dispersió gaussiana.

6.3. Resultats de la simulació de dispersió de la ploma amb programa ALOHA.

Posat que la versió gratuïta del programa només deixa fer simulacions amb compostos purs, es farà una simulació amb els compostos majoritaris que seran el nitrogen i el diòxid de carboni. L'explicació del funcionament operacional del programa es troba a l'*Apartat 3.1.3* de l'*Annex I*.

Pel que fa a l'aigua que surt del procés, una petita part patirà una condensació al llarg de la xemeneia que ens podria donar problemes de corrosió. El vapor d'aigua restant només sortirà per l'orifici de sortida, condensarà als pocs metres de sortir de la xemeneia a causa del canvi de temperatura que patirà, ja que al tenir un punt de ebullició molt proper a la temperatura de sortida, canviarà a estat líquid als pocs metres.

Es pot concloure que els contaminats són tan poc representatius que no es simularan suposant que són purs i amb aquestes condicions atmosfèriques ja que s'allunyaria massa de la realitat de la dispersió real i el programa no ens donaria cap informació rellevant.

Donat que el programa necessita de valors de perillositat per a l'Oxigen on les concentracions han de ser superiors al 80% i a on seria impossible arribar a aquests valors mitjançant la tipologia de la font d'emissió, no es simularà a causa de la poca perillositat que representa.

Per a crear les diferents àrees de perillositat, el programa segueix els "*Temporary Emergency Exposure Limits*" (TEELs), TEEL, que bàsicament es representen en graus de concentració. Els valors que utilitza el programa estan representats a la *Taula 6.3.1*.

Taula 6.3.1: Valors TEEL per als diferents compostos.

Reactius	TEEL-3 (ppm)	TEEL-2 (ppm)	TEEL-1 (ppm)
Nitrogen	400,000	230,000	65,000
Oxigen	-----	-----	-----
Diòxid de carboni	40,000	30,000	30,000
Aigua	-----	-----	-----
Isopropanol	2,000	400	400
Acetat d'etil	2,000	400	400

Les simulacions que es troben a continuació, estan fetes com si els compostos fossin purs en la totalitat de l'efluent gasós, per a observar el comportament que tindrien en una atmosfera ideal.

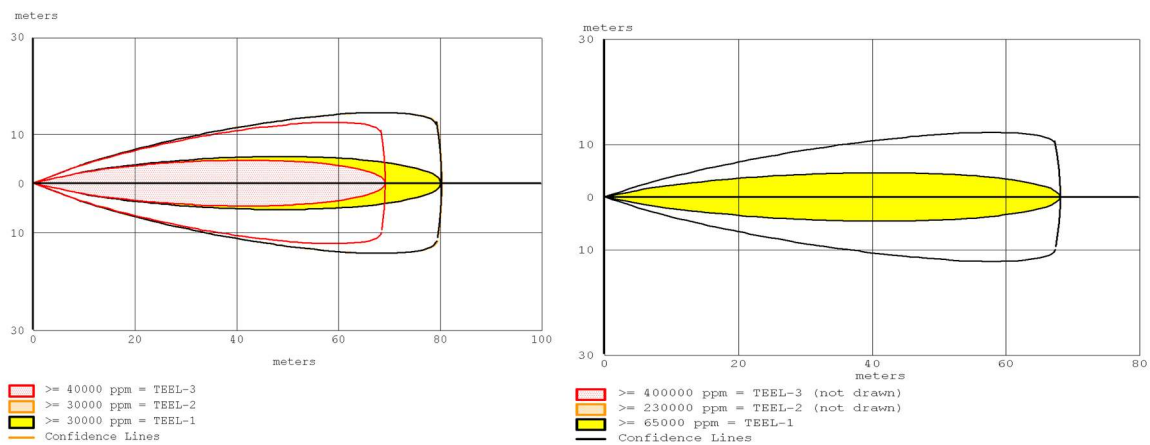


Figura 6.3.1: Dispersió del CO₂ i N₂ purs a atmosfera ideal.

Un cop tenim la representació en massa dels diferents compostos i la simulació de dispersions dels compostos purs que es poden simular amb el programa, tornarem a simular els compostos amb la massa real que representen dins de la font d'emissió.

Es crea la Taula 6.3.2 amb les distàncies representatives de les dispersions mitjançant els "Temporary Emergency Exposure Limits" (TEELs), ja que amb cabals tant petits no es pot generar una gràfica de dispersió amb el model que es pot veure als requadres vermells a la Figura 6.3.2.

Taula 6.3.2: Distància de dispersió dels compostos que formen la ploma amb atmosfera ideal

Reactius	%massa	Kg/s	TEEL-3 (m)	TEEL-2 (m)	TEEL-1 (m)
Nitrogen	70.395%	16.641	27	36	68
Oxigen	6,874%	1.625	-----	-----	-----
Diòxid de carboni	14.813%	3.501	27	30	30
Aigua	7.777%	1.838	-----	-----	-----
Isopropanol	0.117%	0.027	<10	<10	<10
Acetat d'etil	0.022%	0.005	<10	16	16

```

SITE DATA:
Location: TARRAGONA, SPAIN
Building Air Exchanges Per Hour: 1.02 (unsheltered single storied)
Time: December 10, 2014 1655 hours ST (user specified)

CHEMICAL DATA:
Chemical Name: ETHYL ACETATE      Molecular Weight: 88.11 g/mol
TEEL-1: 400 ppm      TEEL-2: 400 ppm      TEEL-3: 2000 ppm
IDLH: 2000 ppm      LEL: 22000 ppm      UEL: 114000 ppm
Ambient Boiling Point: 77.1° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: 0.12 atm
Ambient Saturation Concentration: 122,777 ppm or 12.3%

ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)
Wind: 6 meters/second from N at 10 meters
Ground Roughness: open country      Cloud Cover: 3 tenths
Air Temperature: 25° C      Stability Class: D
No Inversion Height      Relative Humidity: 75%

SOURCE STRENGTH:
Direct Source: 0.02765 kilograms/sec
Source Height: 0
Release Duration: 60 minutes
Release Rate: 1.66 kilograms/min
Total Amount Released: 99.5 kilograms

THREAT ZONE: (GAUSSIAN SELECTED)
Model Run: Gaussian
Red : less than 10 meters(10.9 yards) --- (2000 ppm = TEEL-3)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
Orange: 16 meters --- (400 ppm = TEEL-2)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
Yellow: 16 meters --- (400 ppm = TEEL-1)
Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness
make dispersion predictions less reliable for short distances.
    
```

Figura 6.3.2: Dispersió real de l'acetat d'etil.

Com s'ha comentat abans, a la Taula 6.3.3 es poden veure els valors que es donen al programa per a crear les dos tipologies atmosfèriques que es volen representar i simular.

Taula 6.3.3: Variables de les dues atmosferes a simular.

Variables	Atmosfera ideal	Atmosfera desfavorable
Velocitat del vent	>6	2
Direcció del vent	NA	NA
Mesura del vent	NA	NA
Cobertura de núvols	5	0
Temperatura de l'atmosfera	20	38
Estabilitat atmosfèrica	D	F
Inversió atmosfèrica	NA	NA
Humitat relativa	75%	100%

Un cop obtingudes totes les dades necessàries per a començar a tenir una idea de la dispersió que tindrà la ploma en la majoria de l'any, es farà la simulació d'una dispersió amb la atmosfera més desfavorable possible que s'exposa a la Taula 6.3.3, amb el suport de les dispersions tipus dels compostos més representatius a la Figura 6.3.3 i del comportament dels contaminants en una atmosfera desfavorable a la Figura 6.3.4.

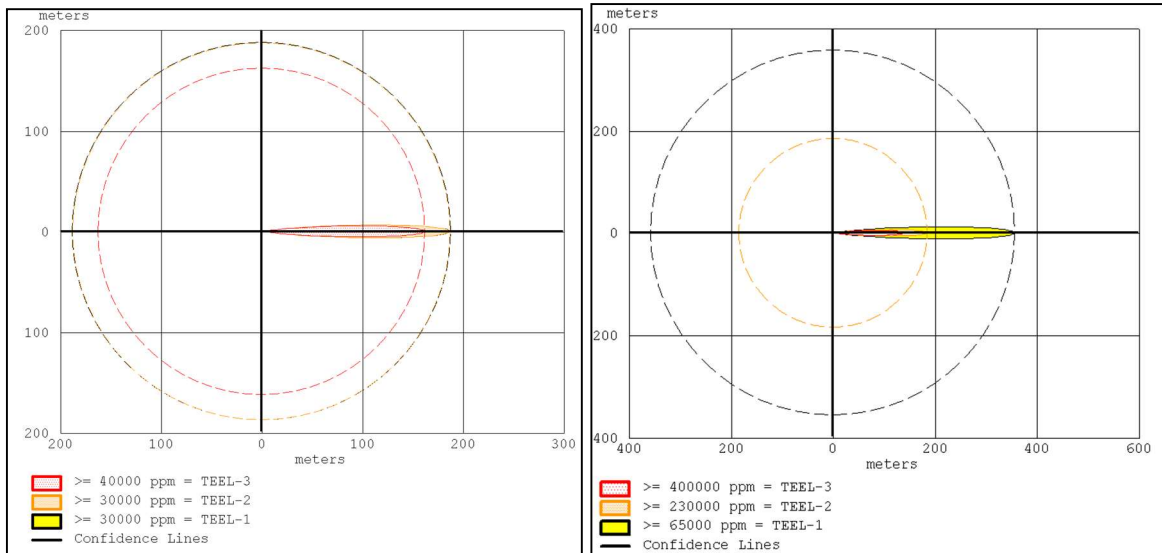


Figura 6.3.3: Dispersió de CO₂ i N₂ amb atmosfera més desfavorable respectivament

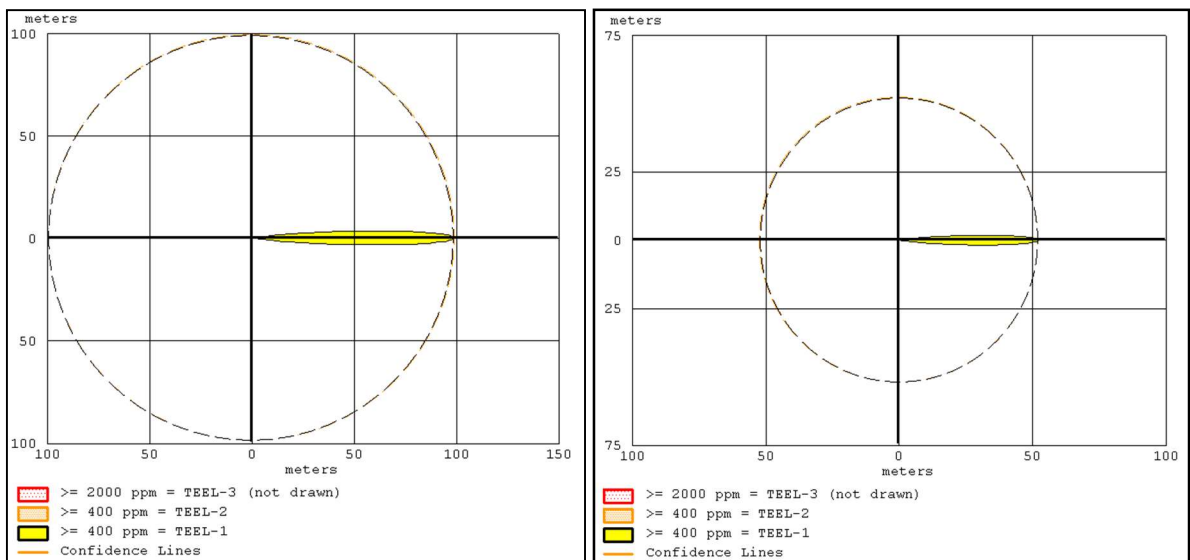


Figura 6.3.4: Dispersió d'acetat d'etil i isopropanol amb atmosfera desfavorable respectivament

A la taula 6.3.4, es mostra la distancia de dispersió dels diferents components de la ploma a la simulació d'una atmosfera el més desfavorable possible.

Taula 6.3.4: Distància de dispersió de ploma amb atmosfera desfavorable.

Reactius	%massa	Kg/s	TEEL-3 (m)	TEEL-2 (m)	TEEL-1 (m)
Nitrogen	70.395%	16.641	139	185	358
Oxigen	6,874%	1.625	----	----	----
Diòxid de carboni	14.813%	3.501	162	188	188
Aigua	7.777%	1.838	----	----	----
Isopropanol	0.117%	0.027	53	121	121
Acetat d'etil	0.022%	0.005	19	43	43

6.4. Modalitats de dispersió.

6.4.1. Ploma d'espiral.

LA ploma d'espiral de la figura 6.4.1.1 es produeix en condicions molt inestables degut a la turbulència causada per l'efecte accelerat dels girs de l'aire. Mentre les condicions inestables són favorables per la dispersió dels contaminants, alguns cops es poden produir altres concentracions momentànies a nivell de terra si els espirals formats per la ploma es mouen cap a la superfície.

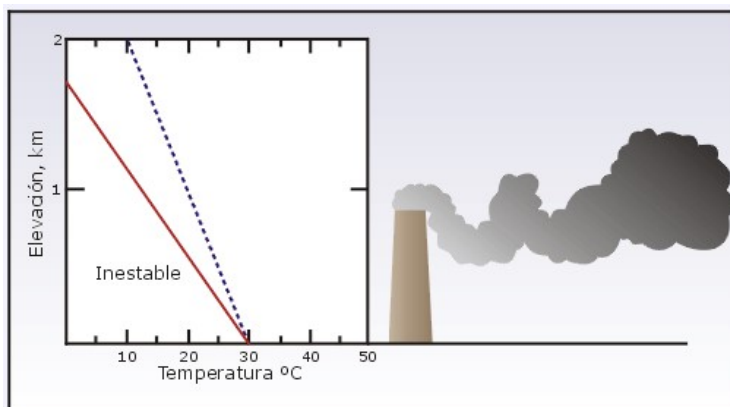


Figura 6.4.1.1: Dispersió de la ploma en espiral.

6.4.2. Ploma en forma de ventall.

La ploma en forma de ventall mostrada a la figura 6.4.2.1. es produeix en condicions atmosfèriques estables. El gradient d'inversió tèrmica inhibeix el moviment vertical sense impedir l'horitzontal i la ploma pot expandir-se per varis quilòmetres a *sotavento* de la font d'emissions. Les plomes en forma de ventall ocorren amb freqüència a les primeres hores de la matinada durant una inversió per radiació solar.

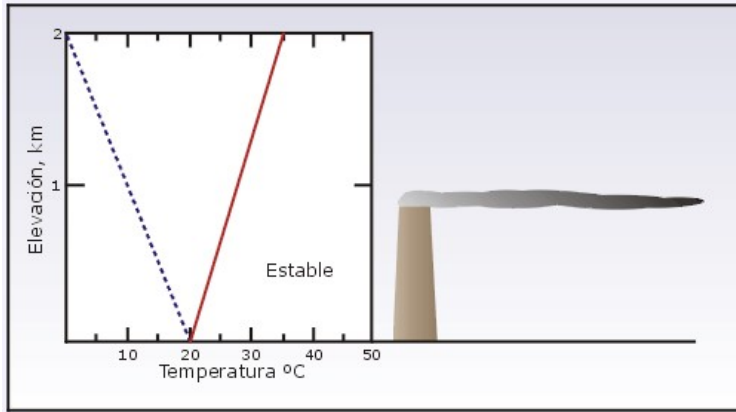


Figura 6.4.2.1: Dispersió de la ploma en espiral.

6.4.3. Ploma en forma de con.

La ploma en forma de con mostrada a la figura 6.4.3.1. és característica de les condicions neutrals o lleugerament estables. Aquest tipus de plomes tenen major probabilitat de produir-se en dies nuvolosos o solejats, entre la interrupció de una inversió tèrmica per radiació i el desenvolupament de condicions diürnes inestables.

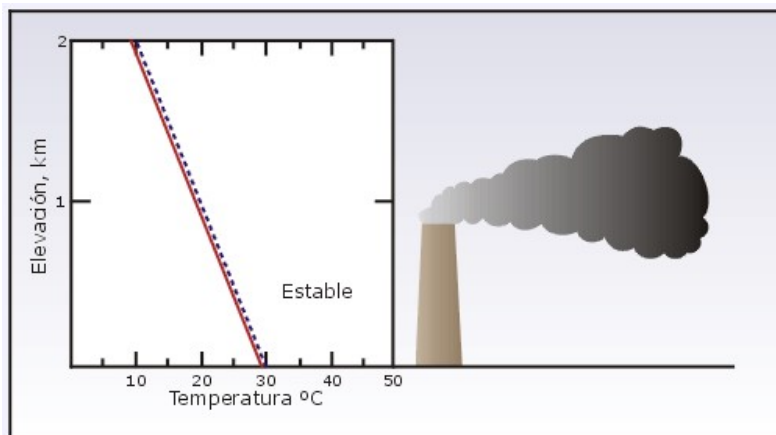


Figura 6.4.2.1: Dispersió de la ploma en forma de con.

Un problema important per la dispersió dels contaminants és la presència de la capa de inversió que actua com una barrera per la mescla vertical. Durant una inversió, la altura de una xemeneia en relació amb la capa de inversió moltes vegades pot influir en la concentració dels contaminants a nivell del terra.

6.4.4. Ploma de flotació per damunt de la capa d'inversió.

Quan les condicions són inestables sobre una inversió, la descàrrega de la ploma sobre la inversió dona lloc a una dispersió efectiva sense concentracions elevades a nivell del terra als voltants de la font d'emissions, com es mostra a la figura 6.4.4.1. Aquesta condició és la representació de la flotació explicada anteriorment.

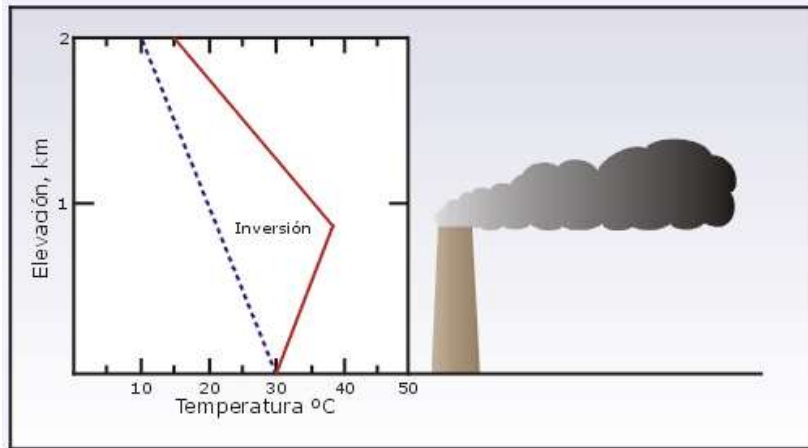


Figura 6.4.2.1: Dispersió de la ploma per damunt de la capa d'inversió.

6.4.5. Ploma de flotació per sota de la capa d'inversió.

Si la ploma s'allibera justament a sota de una capa d'inversió, és probable que es desenvolupi una greu situació de contaminació de l'aire. Ja que el terra s'escalfa durant la matinada i l'aire que es troba sota d'aquesta capa es torna inestable. Quan la inestabilitat arriba al nivell de la ploma estampada sota la capa de inversió, els contaminants es poden transportar ràpidament cap al terra com es mostra a la figura 6.4.5.1. Aquest fenomen es coneix com fumigació, on les concentracions de contaminants a nivell de terra poden ser molt altes quan es produeix aquest fenomen. Aquest fenomen es pot produir si les xemeneies no són suficientment altes i estan sempre per sobre de la capa d'inversió.

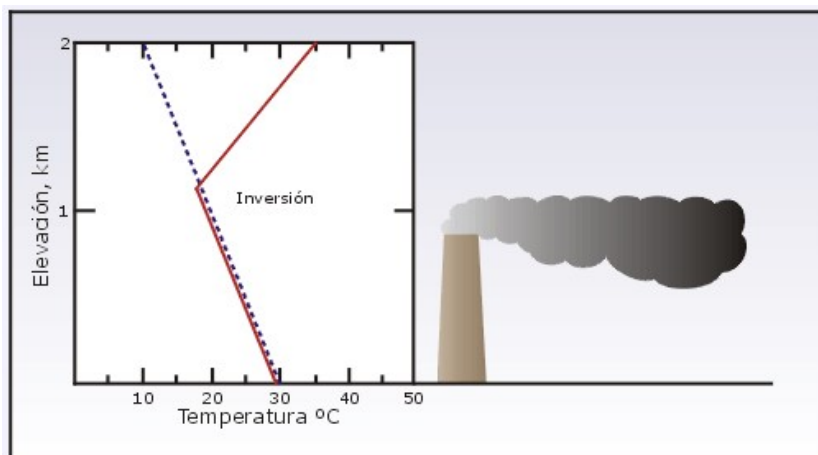


Figura 6.4.2.1: Dispersió de la ploma per sota de la capa d'inversió.

7. DISSENY DEL VENTILADOR

Un ventilador és una màquina rotativa que posa l'aire, o un gas, en moviment. Es pot definir com una turbomàquina que transmet energia per generar la pressió necessària amb la que mantenir un flux continu d'aire. Un ventilador consta en essència d'un motor d'accionament, generalment elèctric, amb els dispositius de control propis d'aquests: arrencada, regulació de velocitat, commutació de polaritat, etc. i un propulsor giratori en contacte amb l'aire, al que transmet energia. Aquest propulsor adopta la forma de rodets amb àleps, en el cas del tipus centrífug, o d'una hèlix amb pales de números varis. El conjunt va envoltat per una caixa amb parets de tancament en forma d'espiral pels centrífugs i per un marc pla o un embolcall tubular en els axials. L'embolcall tubular pot portar una reixa radial d'àleps fixes a l'entrada o sortida de l'hèlix, anomenada directriu, que guia l'aire, per augmentar la pressió i el rendiment de l'aparell.

Els ventiladors han sigut classificat de moltes maneres diferents i no és estrany que un mateix aparell pugui acceptar dos, tres o més denominacions. És bastant comú adoptar la designació atenent a alguna de les seves característiques adaptades al cas que s'està tractant.

7.1. Procediment de disseny i principis de funcionament d'un ventilador centrífug.

Segons el ventilador, tipus i dimensió, existeix una zona de la seva corba característica en la que és recomanable el seu ús. Fora d'aquesta poden produir-se fenòmens que fan augmentar desproporcionadament el consum, baixar el rendiment, provocant un augment intolerable de soroll i inclòs produint fluxos intermitents d'aire en sentit invers. En els catàlegs de ventiladors venen indicades les zones de la corba característica.

És necessària una comprensió bàsica dels principis de funcionament del ventilador per avaluar el rendiment d'un sistema de ventilació industrial. La velocitat de funcionament del ventilador és una de les variables de funcionament més importants. La majoria dels ventiladors, com ara l'exemple del ventilador centrífug de la *Figura 7.1.1*, poden operar a un modest rang de velocitats.

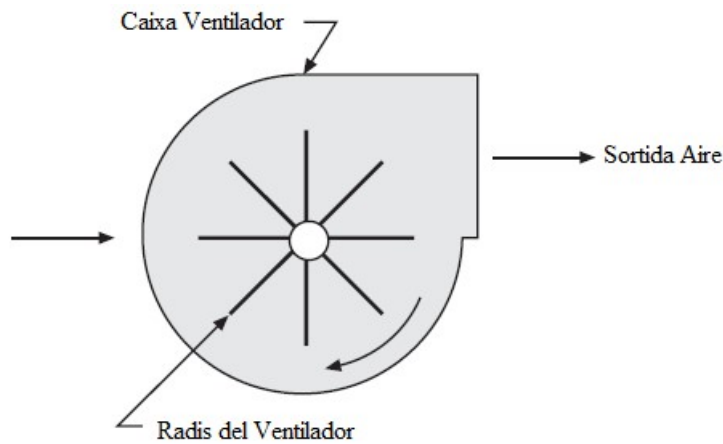


Figura 7.1.1. Ventilador centrífug amb àleps radials

La velocitat de flux d'aire que es mou a través del ventilador depèn de la velocitat de rotació de l'eix del ventilador. A mesura que la velocitat augmenta, augmenta la taxa de flux d'aire com s'indica en les dades d'exemple de la Taula 7.1.1.

Taula 7.1.1. Relació entre la velocitat del ventilador i la velocitat de l'aire

Velocitat de l'eix (rpm)	Velocitat de l'aire (ACFM)
800	16,000
900	18,000
1,000	20,000
1,100	22,000
1,200	24,000

És important reconèixer que una disminució del 10% resulta una disminució del 10% en la taxa de flux d'aire a través del sistema de ventilació.

7.2. Càlcul de la potencia del ventilador

El flux en qualsevol campana, conducte, tub, xemeneia, etc. està governat per l'equació de Bernoulli. Tenint en compte que cap sistema és ideal es deu ajustar l'equació per tal de tenir en compte les pèrdues degudes a la fricció. Els augments d'energia deguts als ventiladors, bombes, etc., també deuen ser tinguts en compte. Per una lliura de massa de fluid en un sistema en estat estable, l'equació de Bernoulli ajustada es la següent:

$$\int_1^2 v dp + \Delta z \left(\frac{g}{g_c} \right) + \frac{\Delta(u^2)}{2g_c} = W - F \tag{7.2.1}$$

Degut a que l'aire és un fluid compressible, el seu volum específic és molt sensible a canvis de temperatura i pressió en comparació amb fluids incompressibles com l'aigua i per això s'inclou el terme " $\int_1^2 v dp$ ".

Tot i així en la majoria de sistemes de ventilació ni la pressió ni la temperatura canvien apreciablement. Conseqüentment el volum específic es pot considerar constant a través del sistema de ventilació i per tant, no s'ha d'integrar el primer terme. Amb aquesta suposició, el primer terme de l'equació es calcula simplement com:

$$\int_1^2 v dp = v \int_1^2 dp = v \Delta p \quad (7.2.2)$$

El ventilador s'instal·larà a la canonada de sortida del RTO i, impulsarà el gas compensant les pèrdues de pressió, degudes a la fricció, que es troben des del punt anterior a la ceràmica fins a l'entrada del ventilador. També compensarà les pèrdues que pateix el gas de recirculació durant la canonada per tal de assegurar l'entrada a l'equip a la pressió d'operació.

En el A(1)2.4. es troben els càlculs de la potència, a la *Taula 7.2.1* està el resultat obtingut d'aquest càlcul, així com la pressió a aportar, la temperatura i el cabal.

W [kW]	228.6
P [Pa]	5900
Q [m ³ /h]	126900
T [°C]	150

Taula 7.2.1. Variables d'operació del ventilador.

7.3. Selecció del ventilador.

Per a la selecció de ventilador s'han buscat diferents catàlegs d'empreses i, al final s'ha optat per escollir un ventilador de l'empresa *Casals Ventilación* situada a Girona (ref.45).

Partint del cabal de treball, 126900 [m³/h], la pressió a aportar pel ventilador, 5900 [Pa], la temperatura de treball, 150 [°C] i la potència calculada anteriorment, 228.6 [kW].

El ventilador més adequat dels que s'han trobat al catàleg es el *MTGR 2000*.

En la *Figura 7.3.1* es poden veure les corbes característiques per aquest ventilador.

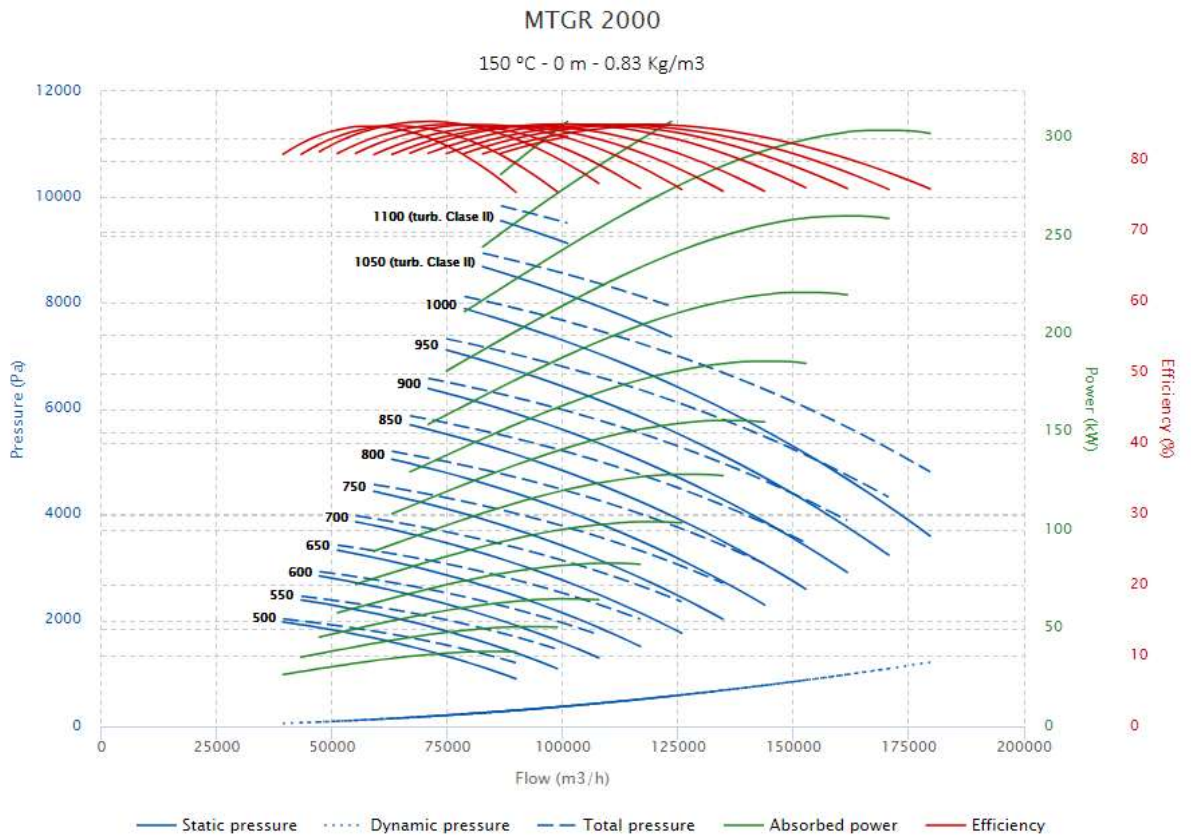


Figura 7.3.1 Corbes característiques del ventilador MTGR 2000.

Per a trobar el punt de treball del ventilador a partir de la corba característica, un cop coneguda la pèrdua de càrrega que ha de superar es dibuixa una línia horitzontal sobre aquest punt de l'eix d'ordenades. A partir d'aquí es dibuixa una línia vertical en l'eix de coordenades en el punt del cabal que proporciona el ventilador, en la *Figura 7.3.2* es troba marcat el punt, en negre, d'intersecció entre el cabal i la pressió que ha de superar el ventilador. Com aquest punt es troba fora de les línies de pressió estàtica que proporciona l'empresa, s'augmenta el cabal i la pressió seguint la corba de resistència que proporciona l'empresa per a les condicions de treball del sistema i en el punt en que talla amb la corba, punt blau, serà el punt de treball del ventilador. La pressió en el punt de treball serà de 6837.7 [Pa], aquesta pressió és més alta de la que es necessita en el sistema, tot i així, això no provoca cap problema. Si es dibuixa una línia vertical des de el punt de treball fins a creuar les línies d'eficiència i potència, es troben aquests dos valors. En el cas de treball la potència total serà de 280.4 [kW] amb una eficiència de 84.72 [%]

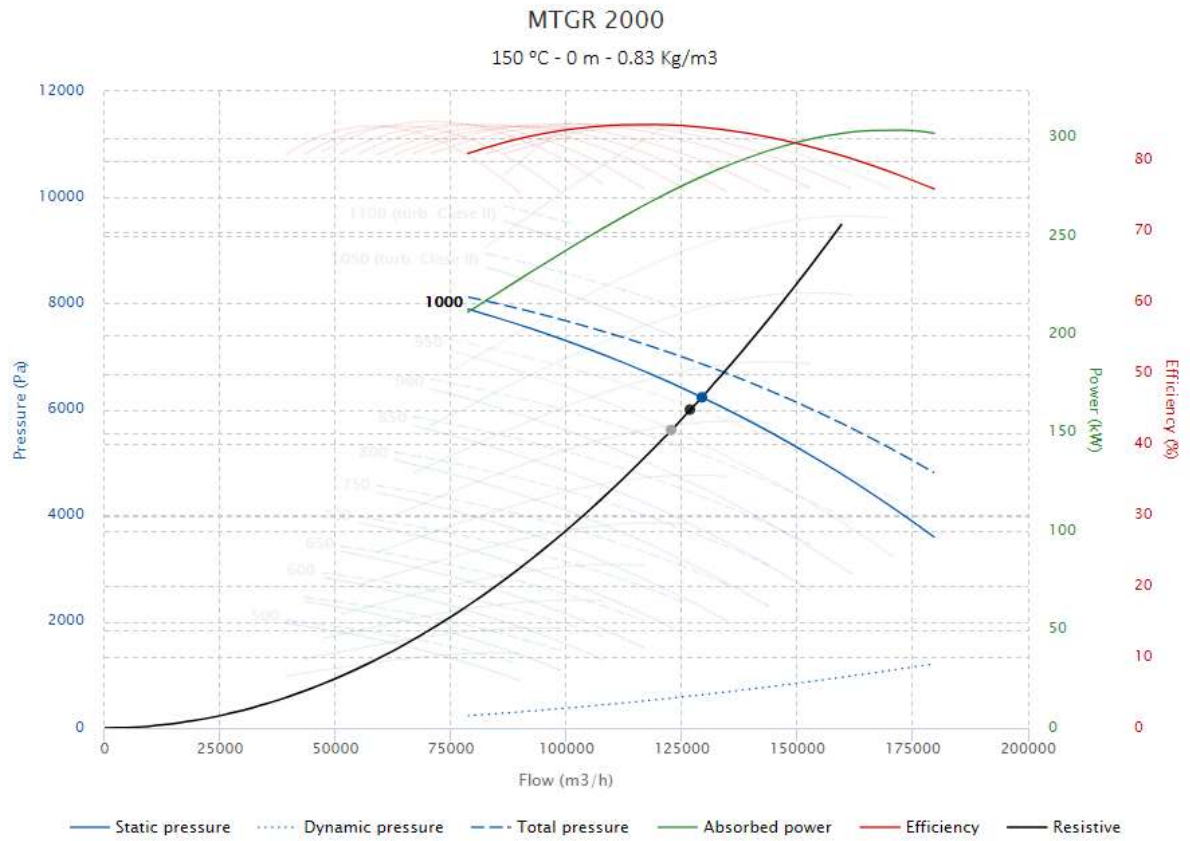


Figura 7.3.2. Corba característica per l'aplicació del ventilador MTGR 2000 en el sistema.

En el A(IV) es troba el full d'especificacions del ventilador, on es poden veure totes les dades de treball.

8. INSTRUMENTACIÓ

En aquest apartat es farà un resum dels sistemes d'instrumentació existents i triats i els càlculs del dimensionament de la vàlvula de seguretat i de la vàlvula reductora de pressió del sistema de gas natural.

8.1. Mesures de procés.

A continuació s'indicaran aquelles variables de mesura i control de les quals són imprescindibles, és a dir, són estrictament necessàries pel òptim funcionament del procés, així com la instrumentació mínima necessària que aquest implica.

8.1.1. Consideracions Generals.

L'objectiu de les mesures a realitzar en un procés, és la de recollir valors actuals del mateix, i a més a més, fer-ho en un format aprofitable pel sistema de control aplicat. El terme "variable mesurada" o "variable de procés" designa a la condició del procés que s'ha de duu a terme. Fonamentalment es distingeix dos tipus de mesures, les discretes i les contínues, sent aquestes últimes les que poden fer necessari un processament de la senyal considerable. Els components en un sistema de mesura contínua són el sensor, el processament de la senyal i el transmissor.

Per aquest motiu es dona un criteri general de selecció d'instruments de mesura:

8.1.1.1 Interval de mesura.

L'interval de mesura requerit per la variable mesurada ha de situar-se per complet dintre de la zona de funcionament de l'instrument.

8.1.1.2 Rendiment.

Depenent de l'aplicació, es convenient alguna mesura del rendiment com precisió, repetibilitat o altres. Quan es contempli la utilització del llaç tancat, s'ha d'incloure també la velocitat de resposta.

8.1.1.3 Seguretat.

Les dades subministrades pels fabricants es poden expressar de varies formes i varies condicions de referencia. Molt sovint la experiència prèvia amb l'instrument de mesura dintre de la organització compradora té un pes important.

8.1.1.4 Materials de construcció.

L'instrument ha de resistir les condicions de procés a les que s'ha d'exposar. Això comprèn consideracions com les temperatures d'operació, pressions d'operació, corrosió i abrasió.

8.1.1.5 Primera instal·lació.

El primer cop que s'instal·la un instrument nou de mesura en la planta, podria ser necessari l'entrenament del personal de manteniment i la compra de material de recanvi.

8.1.1.6 Potencial per alliberar materials del procés al medi ambient.

Les emissions causades per fugues rebran cada cop més atenció. Són especialment importants les consideracions d'exposició, tant instantànies com a llarg termini, per el personal de manteniment quan el fluid de procés és tant corrosiu com tòxic.

8.1.1.7 Classificació elèctrica.

L'article 500 del Codi Elèctric Nacional proporciona les guies per a la classificació de la naturalesa del perill de l'àrea de procés en el que l'instrument de mesura ha de ser instal·lat. Si l'instrument de mesura no és inherentment compatible amb aquesta classificació, s'han de comprar proteccions i incloure-les en el preu de instal·lació.

8.1.1.8 Accés físic.

Després de la instal·lació, el personal de manteniment ha de tenir accés físic a l'instrument de mesura per la calibració i manteniment d'aquest. Es necessita instal·lar estructures addicionals i s'han d'incloure en el preu d'instal·lació.

8.1.2. Mesures de temperatura.

La temperatura és la variable més utilitzada en el control de processos. La demanda mundial d'instruments de temperatura ronda els 3000 milions de dòlars anuals. Com a conseqüència d'això, s'han desenvolupat una gran varietat de tècniques i instruments de mesura.

8.1.2.1 Termoparell.

Un dels instruments que s'utilitza en el projecte per mesurar la temperatura és el termoparell. Aquest es basa en la propietat física entre unions de dos metalls diferents. Formant un circuit tancat, es genera un corrent elèctric quan aquestes unions es troben a diferents temperatures, depenent del corrent llegit, de la diferència de temperatures i de la naturalesa d'aquests metalls. D'aquesta manera, si es manté la temperatura a 0 [°C] d'una de les unions prenent-la com a referència, el valor del voltatge entre les dos unions pot indicar el valor de la temperatura de l'altre unió.

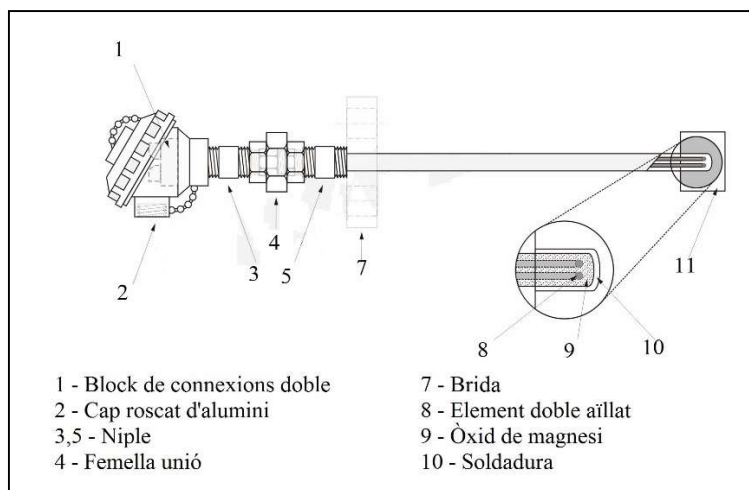


Figura 8.1.2.1.1. Esquema d'un termoparell de tipus K

8.1.2.1.1 Tipus de termoparells.

Existeixen varies combinacions de metalls per aconseguir la formació de termoparells, però són generalment acceptades les següents combinacions designades segons recomanacions donades en les taules de temperatures estàndards de ASTM E230 I.S.A. (Instrumental Society of America). (ref.9)

Taula 8.1.2.1.1.1. Tipus de termoparells.

Tipus	Materials utilitzats
T	Coure i constantà
J	Ferro i constantà
K	Cromel i alumel
R	Platí i 13% de rodi
S	Platí i 10% de rodi

El termoparell T és un sensor precís i econòmic, amb una gran resistència a la corrosió, adequat per mesurar temperatures entre 200 i 250 [°C], en ambients tant oxidants com reductors. El termoparell J, compost per un fil de ferro i un altre de constantà, és adequat per rangs de temperatures entre 0 i 750 [°C], però té com a inconvenient de que el fil de ferro és fàcilment oxidable. Finalment els termoparells de tipus R i S, són molt similars ja que només es diferencien pel percentatge en rodi que tenen.

Els termoparells utilitzat en el projecte són els de tipus K i tipus T. Aquest últim només és utilitzat en zones on el rang de temperatura de treball mai pugui superar la temperatura màxim de 250 [°C]. El termoparell de tipus K és triat ja que presenta bones característiques contra la oxidació i té un rang d'operació en la indústria entre 0 i 1300 [°C]. Té una gran sensibilitat, precisió i resposta ràpida. Donades les altes temperatures que es donen en una combustió, es

creu que aquest tipus és el més convenient. L'únic inconvenient és la possible afecció de corrosió, però aquesta és pot compensar mitjançant la soldadura freda.

8.1.2.2 Termòmetres.

8.1.2.2.1 Termòmetre de dilatació.

Els més populars són els de vidre, constituïts per un depòsit i un tub capil·lar que conté líquid com mercuri o alcohol, el qual es dilata al escalfar-se i s'expandeix pel capil·lar fins a un determinat punt el qual indica la temperatura.

Al ser la banda útil d'aquests termòmetres entre 196 i 500[°C], no es mencionaran més detalls sobre el funcionament i característiques d'aquests ja que no s'aplicaran en el projecte present.

8.1.2.2.2 Termòmetre de resistència.

La tècnica d'aquests mesuradors de temperatura es basa en el fet que alguns elements deixen passar amb major o menor facilitat una corrent elèctrica quan varia la temperatura. Dintre d'aquets tipus de mesuradors es pot destacar els de resistència metàl·lica i els termistors com els més comuns.

8.1.2.3 Piròmetres.

Són uns aparells de mesura de temperatura d'un cos a distància, basant-se en el principi que totes les substàncies a qualsevol temperatura per damunt de zero absolut radien energia com a resultat de l'agitació atòmica associada amb la seva temperatura. Així doncs, un piròmetre de radiació consisteix en un sistema òptic que recull la energia radiada i la concentra sobre un detector, el qual genera una senyal proporcional a la temperatura. Per cada temperatura, la mencionada energia s'emet normalment mitjançant ones electromagnètiques de diferent longitud, predominant la intensitat més en unes que en d'altres. A temperatures baixes, l'energia radiant és principalment de longitud d'ona relativament llarga, i al pujar la temperatura, la intensitat augmenta però la longitud d'ona disminueix. Això de fet, explica el canvi de color que experimenta un cos al augmentar la seva temperatura, passant del vermell al blanc o inclòs al blau.

En les tècniques de pirometria, solament es fan servir les longituds d'ona per sota de 20 micres i es procura treballar en l'espectre que tingui major intensitat seleccionant un detector o un filtre adequat. L'energia radiant emesa depèn, com ja s'ha vist, de la temperatura, però també depèn de l'estat de la superfície del cos. Això planteja la necessitat de definir un radiador ideal, anomenat "cos negre", el qual té la propietat d'emetre el màxim d'energia per unitat de superfície, a una temperatura determinada. D'aquesta definició s'extreu que, en les aplicacions

reals, l'energia emesa serà sempre menor, i al fer una mesura amb un piròmetre calibrat en condició de "cos negre", s'haurà d'introduir un factor de correcció per emissivitat, definit com la relació entre l'energia emesa per un cos real i el "cos negre". Aquesta emissivitat dels cos reals va des de el 0.35 de l'inoxidable i els metalls polits, al 0.95 de l'acer sense desbastar o de la pintura mate.

De tot el que s'ha mencionat fins aquí, es podria deduir que les mesures en els piròmetres són excessivament complicats, i de fet, només es fan servir quan no es poden fer servir els termoparells, normalment quan la temperatura a mesurar està fora dels rangs d'aquests. Aquest és el motiu pel que s'ha decidit l'ús dels termoparells en el procés.

8.1.3. Mesures de pressió.

La pressió, és una variable molt important ja que a partir d'ella es pot conèixer d'altres com el cabal, densitat o el nivell. Es distingeix dos elements bàsics en aquest apartat: els sensors i els transmissors.

8.1.3.1 Sensors.

Els elements mecànics d'aquests sensors són dispositius que permeten la conversió del senyal de pressió en un senyal de desplaçament o deformació, que permet la seva mesura. En el passat formaven part d'altres dispositius més complexes, però en l'actualitat únicament es reserven a elements locals, com manòmetres. Existeixen diferents tipus de sensors i a continuació es donarà una explicació breu de cada un d'ells.

Taula 8.1.3.1.1. Tipus de sensors mecànics.

Tipus	Descripció
La càpsula	Consisteix en una o varies capsules circulars connectades rígidament entre sí per una soldadura, de forma que al aplicar la pressió, es deforma i provoca un desplaçament.
<i>El tub Bourdon</i>	És un tub de secció el·líptica que forma un anell casi complet, tancat per un extrem. Al augmentar la pressió en el seu interior, aquest tendeix a redreçar-se, provocant un moviment.
La manxa	Aquest dispositiu es semblant al diafragma d'una sola peça flexible axialment i que pot dilatar-se o contraure's amb un desplaçament considerable.

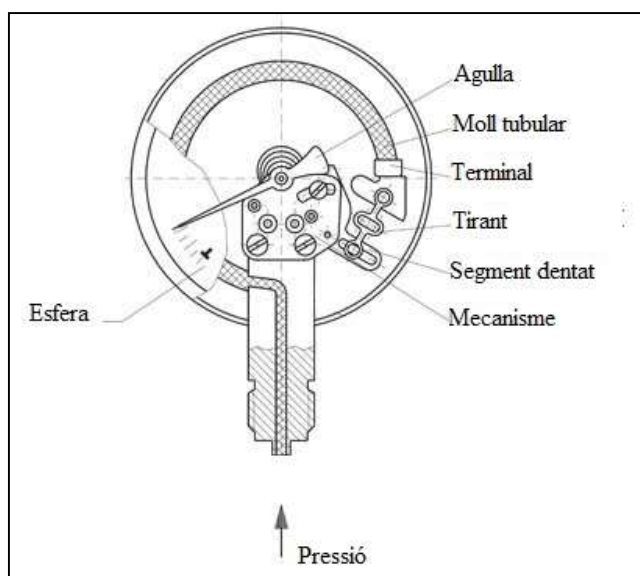


Figura 8.1.3.1.1. Esquema sensor de pressió mecànic (tub Bourdon)

També es destacarà el grup de sensors electró-mecànics, que proporcionen un senyal proporcional a la pressió mesurada, la qual es tracta i, posteriorment, transmesa als dispositius encarregats de la seva recepció. Dintre d'aquest grup es pot diferenciar entre cinc tipus de sensors.

Taula 8.1.3.1.2. Tipus de sensors electró-mecànics.

Tipus	Descripció
Capacitatius	Estan basats en el principi del condensador diferencial, on la pressió a mesurar-se es transmet mitjançant dues membranes separadores i un fluid adequat a un diafragma sensor situat en el centre del conjunt. Aquest diafragma es desplaça a un costat o a un altre proporcionalment a la pressió diferencial a la que es troba sotmesa. Les variacions de capacitat es produeixen com a conseqüència del moviment del diafragma sensor.
De galga extensiomètrica	Es basa en la variació de longitud i diàmetre i, per tant, de la resistència elèctrica que presenta la galga al estar sotmesa a una pressió. Aquesta galga forma part del pont de <i>Wheatstone</i> .
Inductius	Són aquells en els que el desplaçament d'un nucli mòbil dintre d'una bobina augmenta la tensió inductiva. La diferència d'aquesta tensió es proporcional al senyal de pressió d'entrada.
"Piezoelèctrics"	Els transductors " <i>piezoelèctrics</i> " són materials cristal·lins, com el quars o el titani de bari, que al deformar-se físicament per l'acció d'una pressió, generen un senyal elèctric.
De semiconductor	Es tracta d'aprofitar les propietats elèctriques dels semiconductors que varien al estar sotmesos a l'acció de la pressió.

8.1.4. Transmissors.

El senyal que proporciona el sensor no és apte per a un receptor, per tant, és precís realitzar un condicionament d'aquest senyal i transformar-lo en un senyal elèctric o neumàtic normalitzat. Dintre dels transmissors elèctrics de pressió destacarem els que es troben explicats en la *Taula 8.1.4.1.*

Taula 8.1.4.1. Tipus de transmissors elèctrics de pressió.

Tipus	Descripció
Analògics de baix cost.	Acostumen a ser d'una mida i pes reduït, oferint en l'actualitat prestacions i estabilitat acceptables. En la major part dels casos no solen ser reparables en totalitat. Algunes de les seves prestacions i opcions estan més limitades que en equips més sofisticats i de un preu superior.
Analògics convencionals.	Són els més coneguts i extensos. Acostumen a tractar-se de models amb gran implantació en el mercat i que disposen d'una gran quantitat d'opcions i possibilitats, permetent que la seva sèrie es pugui utilitzar pràcticament en totes les aplicacions d'una planta.
Intel·ligents.	Són similars als anteriors en quant a nivell de diversitat, opcions i flexibilitat, però presenten importants característiques addicionals. Per començar, la seva electrònica és microprocessada, la qual cosa permet millorar substancialment la qualitat de la mesura mitjançant correccions de linealitat, deriva tèrmica, etc. Per l'altre part, disposen de capacitat per comunicacions digitals, permetent la seva verificació, interrogació i examinació a distància.
D'altres prestacions	No només ofereixen alta precisió i error total probable molt reduït, sinó també excepcional estabilitat, ràpida velocitat de resposta i totes els avantatges associats a la capacitat de comunicació de la seva electrònica intel·ligent.

8.1.4.1 Criteris de selecció

A continuació es proposa un criteri de selecció per la elecció d'aquets transmissors.

- Integració en planta: en funció del tipus d'instal·lació a la que es destinen els transmissors, s'inclinarà per uns o per uns altres. Com el procés a controlar no es tracta d'una àrea on s'integrin sistemes complexes, s'opta per transmissors de baix cost.
- Situació de la instal·lació: són importants la situació geogràfica de la planta i la ubicació dels transmissors dintre d'aquesta. I com que ens trobem en una atmosfera explosiva, aquets transmissors hauran de portar els corresponents certificats de classificació, a més de considerar la seva situació de cara al manteniments del mateix.

- Tipus de procés: el tipus de procés condicionarà els material de contacte amb el mateix. Aquests seran adequats per suportar les condicions de corrosió o abrasió.
- Tipus de mesura: en plantes amb llaços dinàmics, com cabal i pressió, poden necessitar-se de instruments d'elevada velocitat de resposta.
- Precisió: és evident que quant més elevada sigui la precisió de la mesura, major serà la qualitat de control de llaç on s'integri. Dir que la precisió oferta dependrà en gran part de la qualitat de l'equip utilitzat pel seu calibratge, que ha de ser al menys quatre cops superior a la de l'instrument a ajustar.
- Cost del manteniment: fruit dels estudis de costos de manteniments realitzats fins ara, es sap que els transmissors de pressió són els instruments responsables del major número de intervencions en camp.

8.1.5. Mesures de cabal.

El cabal, definit com el volum per unitat de temps en condicions de temperatura i pressió específica, es mesura normalment amb mesuradors de desplaçament positiu o de velocitat. El terme "desplaçament positiu" s'aplica a un dispositiu en el que el flux es divideix en volums aïllats mesurats, en el que el número d'ompliment d'aquests volums es compta d'alguna manera. El terme de "mesurador de velocitat" s'aplica a tots els mesuradors de cabal pel que passa el material sense dividir-se en quantitats aïllades. El moviment del material es detecta quasi sempre per mitjà d'un element primari de mesura, que activa un element secundari. A continuació es dona una classificació de mesuradors de cabal, i bàsicament es compondrà de dos grups: els mesuradors volumètrics i els màssics, sent els primers de major interès en quant la seva aplicació en la instal·lació objecte del projecte.

Taula 8.1.5.1. Tipus de mesuradors de cabal volumètrics i màssics.

Mesuradors de cabal volumètrics	Mesuradors de cabal màssics
Cabalímetre d'àrea variable	Mesuradors basats en el principi tèrmic
Cabalímetre de turbina	Cabalímetre basats en l'acceleració de Coriolis
Cabalímetre de desplaçament positiu	
Cabalímetre tipus vòrtex	
Mesuradors magnètics	
Mesuradors per ultrasons	
De pressió diferencial:	
- placa d'orifici	
- tub ventura	
- tovera	
- tub pilot	
- tub Annubar	

Per la instal·lació a controlar s'aplicarà una mesura de cabal per pressió diferencial, sent la placa d'orifici el dispositiu fet servir. La mesura de cabal a partir de la pressió diferencial està basada en el *Teorema de Bernoulli (Equació 8.1.5.1.)*, que expressa el principi de conservació d'energia, per un fluid movent-se a través d'una canonada horitzontal i suposant que no existeixen forces exteriors aportadores d'energia.

$$\frac{v^2}{2g} + y + \frac{P}{\rho g} = ct \quad (8.1.5.1)$$

La placa d'orifici és una placa metàl·lica, generalment d'acer inoxidable, a la que se li ha practicat un orifici, el qual pot ser concèntric, excèntric o segmentat respecte el diafragma, però els pels gasos, l'indicat és el de tipus concèntric. El que es realitza, és una restricció de cabal d'àrea fixa en la canonada que transporta el fluid. Aquesta restricció de pressió pot relacionar-se amb la velocitat de cabal. A part de la seva simplicitat, suposa un baix cost i es disposa d'una gran quantitat de dades d'investigació sobre el seu comportament. Apuntar que les dades de calibratge estàndard no augmenten pertorbacions de cabal significatives, com colzes, vàlvules o altres accessoris, a una distància mínima aigües avall de l'orifici.

8.2. Valvuleria.

Les vàlvules són elements que estan instal·lats en una canonada i poden realitzar algunes de les següents funcions (o bé, de manera automàtica o, de manera manual):

- Impedir totalment el pas del fluid a través d'una canonada, o bé permetre el pas sense crear cap obstacle, com per exemple les vàlvules de comporta).
- Variar la pèrdua de carrega que pateix el fluid al travessar la vàlvula amb la que es pot regular el cabal que circula a traves d'ella.
- Permetre la circulació del fluid a traves de la vàlvula però només en un únic sentit, com les vàlvules de retenció.
- Permetre el pas d'un fluid a traves d'una vàlvula, quan el fluid es presenta en estat líquid, però no si es presenta en estat gasós, o viceversa, prova d'això són els purgadors automàtics.
- Permetre el pas d'un fluid a través d'una vàlvula, quan la diferencia de pressió a una i a l'altre part d'aquesta, sobreexcedeix un valor en concret prèviament establert, com per exemple les vàlvules de seguretat.

Les vàlvules poden classificar-se en dos grups segons el moviment del obturador sigui lineal o circular respecte el seu eix com es mostra a la *Taula 8.2.1:*

Taula 8.2.1. Tipus de vàlvules segons el moviment del obturador.

Es mou en direcció del seu propi eix	Moviment circular
De globus	D'obturador excèntric rotatiu
D'angle	D'obturador cilíndric excèntric
De tres vies	De papallona
De gàbia	De bola
En Y	D'orifici ajustable
De comporta	De flux axial
De cos partit	
De Saunders	
De compressió	

8.3. Vàlvules de control.

La vàlvula de control és un dels instruments essencials en la unitat pel control del procés. Explicada simplement, és un orifici variable dintre d'una línia, que permet regular el cabal del fluid.

En la *Figura 8.3.1.* es poden observar les diferents parts d'una vàlvula de control de la unitat. En la unitat es tindran vàlvules en les quals la seva posició serà normalment obert o normalment tancat. L'acció de l'aire en la vàlvula permetrà l'obertura o tancament, total o parcial, de la vàlvula segons procedeixi.

La vàlvula de la *Figura 8.3.1.* És de tancament automàtic en cas de fallada d'aire però canviant el seu disseny per la part superior (diafragma), pot operar al revés. El cos de la vàlvula pot ser d'un sol orifici (tap simple) o de dos orificis (tap doble). La vàlvula d'un sol orifici té solament un orifici per on passa el fluid i només necessita d'un seient.

El diagnòstic d'un vàlvula de control serà:

- Comprovar la pressió de l'aire al diafragma respecte al de sortida del controlador, haurà de ser el mateix, sinó vol dir que hi ha fugues.
- Examinar totes les vàlvules del bloqueig i la del bypass que haurà d'estar hermèticament tancada.
- Comprovar l'indicador del plançó.

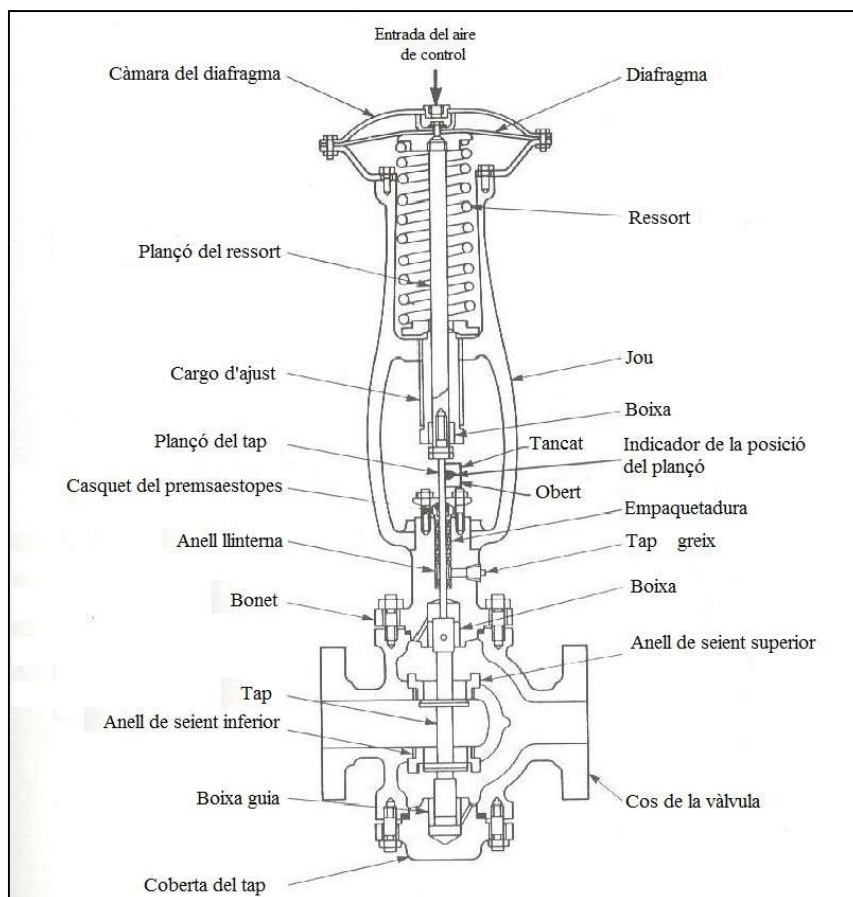


Figura 8.3.1. Esquema vàlvula de control de dos orificis.

8.4. **Dimensionament i elecció de la vàlvula reductora de pressió.**

En la línia GN-1200 de l'alimentació de gas natural de RTO, aquest combustible arriba subministrat a una pressió de 13.0 [bar]. Aquesta pressió no és la desitjada per l'entrada a l'equip de combustió perquè a part de ser molt elevada, pot presentar fluctuacions provinents d'aigües amunt. Per aquest motiu s'instal·la una vàlvula reductora de pressió a la línia per limitar-ho a 6.0 [bar], que és la pressió desitjada de treball.

Primerament s'escull un fabricant i es busca una vàlvula reductora de pressió adequada pel fluid i les condicions d'operació donades. La vàlvula escollida és una vàlvula amb cos en fosa nodular, model DP27G, del fabricant *Spirax Sarco* (ref.22). Permet treballar a una temperatura màxima de 120 [°C], una pressió màxima de 17 [bar] i una pressió diferencial mínima de 10 [bar]. Aquesta vàlvula compleix amb tots els requisits de la Directiva Europea d'Equips a Pressió 2014/68/UE i disposa del certificat típic del fabricant.

Per trobar la capacitat de gas en dm^3/s de la vàlvula, es fa servir un gràfic proporcionat pel fabricant. En aquest, tal com es pot veure en la *Figura 8.4.1* marcat amb color blau, s'ha d'unir la pressió aigües amunt a l'eix vertical (13 bars) amb la pressió aigües avall desitjada (6 bars) .

En el creuament d'aquestes dues línies de les corbes de les dues pressions, es baixa perpendicularment i es troba la capacitat de totes les mesures de la vàlvula treballant en aquestes condicions. Coneixent el cabal volumètric mínim que ha de travessar la vàlvula (*Taula 4.5.2*), es pot triar una mida de la vàlvula adequada. En la *Figura 8.4.1*, es veu com la mida d'una vàlvula DN15 no seria suficient, per tal es tria la mida DN20 (línia marcada de color vermell).

Taula 8.4.1. Pressions aigües amunt i avall de la vàlvula reguladora de pressió.

Dades	Aigües amunt	Aigües avall
Pressió [bar]	13.0	6.0
Cabal volumètric [dm ³ /s]	88.4	193.2

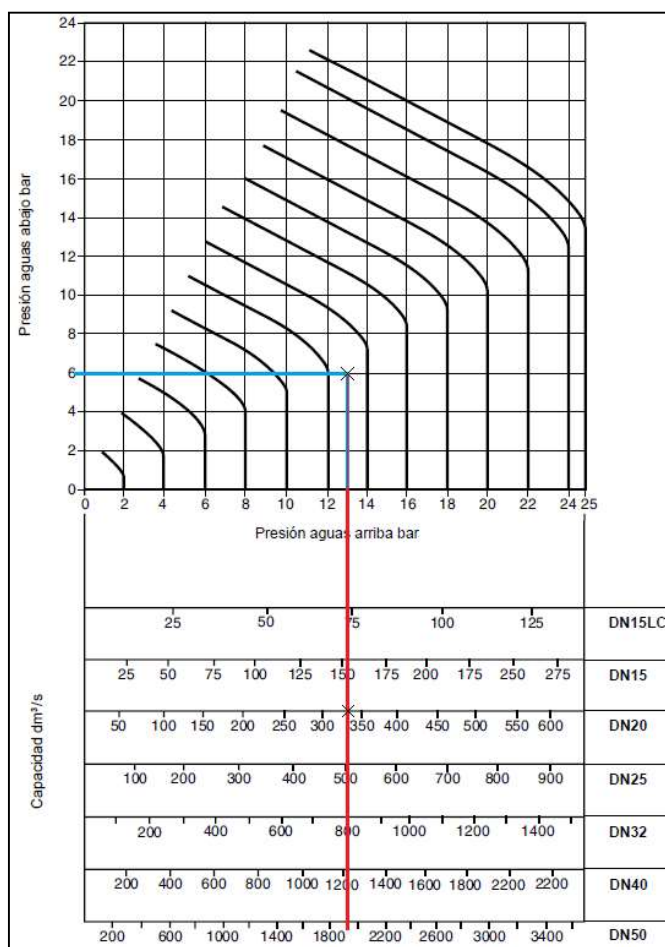


Figura 8.4.1. Possibles mides de la vàlvula en les condicions especificades.

Per tant, el cabal volumètric màxim que passarà són d'aproximadament 330 [dm³/s], el que equival a 4288.7 [kg/h]. Les mides i el pes de les diferents parts de la vàlvula així com la rosca o les brides varien en funció de la mida seleccionada i venen detallades en el full d'especificacions A(IV).

8.5. Dimensionament i elecció d'una vàlvula de seguretat.

En la línia GN-1200, és a dir, la línia d'entrada del gas natural a l'equip es troba una reductora de pressió per tal d'assegurar-se de que no hi ha variacions de pressió en el sistema i la pressió d'entrada a l'equip RTO és sempre la desitjada. Però sempre que hi hagi risc de sobrepassar la pressió màxima admissible d'aquest element, s'ha d'instal·lar una vàlvula de seguretat. Aquesta vàlvula, segons la norma EN ISO 4126, ha de ser capaç de descarregar amb una sobrepressió que no excedeixi un 10% per damunt de la pressió de tarada.

8.5.1. Càlcul de la pressió de tara.

És molt important seleccionar una correcta pressió de tara de la vàlvula, primer per qüestions de seguretat, però també per evitar problemes de funcionament i també possibles danys en el seient de la vàlvula. El rang màxim de tara es troba limitat, ja que la pressió de tarada no ha de ser mai superior a la pressió màxima admissible de la instal·lació que s'ha de protegir. És important considerar les variacions de pressió en el sistema per tal d'evitar la obertura innecessària de la vàlvula. Aquest fet és conegut com a "*Simmering*", i es dona quan el seient de la vàlvula de seguretat i el disc quasi bé no fan contacte perquè la pressió de treball i la pressió de descàrrega estan molt pròximes. Això pot provocar conseqüències molt greus i tant el seient com el disc poden resultar danyats i ocasionant una fuga constant. Si es necessita que la pressió de descàrrega estigui el més a prop possible de la pressió del sistema, es recomana fer servir un marge de 0.1 [bar] entre les dues pressions per tal de garantir un tancament estanc. Però sempre que això no sigui necessari, es recomana fixar la pressió de descàrrega de la vàlvula de seguretat el més lluny possible de la pressió de treball del sistema sense excedir la pressió màxima de disseny.

La pressió de tara de la vàlvula de seguretat serà de 7.1 [bar] i els càlculs realitzats es troben al A(II)3.1.1.1.

8.5.1.1 Càlcul de la capacitat de descàrrega.

Després de fixar la pressió de descàrrega el següent pas és calcular l'àrea de descàrrega que ha de tindre la vàlvula de seguretat. No s'ha de cometre l'error de assumir que el cabal necessari de la descàrrega de la vàlvula de seguretat és el mateix cabal que el cabal que circula pel procés. La manera correcta és agafar el cabal màxim que la vàlvula reguladora anterior permet, és a dir, 4288.7 [kg/h].

La capacitat de descàrrega de la vàlvula serà de 801.2 [mm²]. Aquests càlculs es troben al A(II)3.1.1.2.

8.6. Elecció de la vàlvula de seguretat.

Segons l'àrea efectiva calculada de la vàlvula, es pot triar el tipus d'orifici per després poder seleccionar una vàlvula en concret del catàleg (ref.32). Tal com es pot observar en la *Figura 8.6.1.*, el fabricant recomana un tipus d'orifici *J*, el qual té una àrea efectiva de 830 [mm²]. Es tria la tipologia de vàlvula "Style JOS" perquè compleix amb les condicions màximes d'operació i el tipus de fluid que hi passarà (gas natural).

Orifice Designation and Effective Area (Sq. In. (Sq. mm))	Series BP Fixed Blowdown Balanced Pressure Relief Valve Gas, Vapor, Liquid 3/4" x 1", 1" x 1"	Style JOS/JBS Closed Bonnet Pressure Relief Valve Gas, Vapor, Steam 1 D 2 to 8 T ₂ 10	Style JLT-JOS/JBS Closed Bonnet Pressure Relief Valve Liquid 1 D 1 to 8 T ₂ 10	Style JOS-H Open Bonnet Pressure Relief Valve Steam 1 D 2 to 8 T ₂ 10	Style JO/JB Closed Bonnet Pressure Relief Valve Gas, Vapor, Steam 10 V 14 to 20 BB ₂ 24	Series 800 Adjustable Blowdown Pressure Relief Valve Gas, Vapor, Steam 3/4" x 1" to 1-1/2" x 2-1/2"	Series 900 OMNI-TRIM [®] Fixed Blowdown Pressure Relief Valve Gas, Vapor, Steam, Liquid 1/2" x 1" to 1-1/2" x 2-1/2"
- 0.074 (47.7)	*						*
D 0.110 (71.0)	*	*	*	*		*	*
E 0.196 (126)		*	*	*		*	*
F 0.307 (198)		*	*	*		*	*
G 0.503 (325)		*	*	*		*	*
H 0.785 (506)		*	*	*			
J 1.287 (830)		*	*	*			
K 1.838 (1186)		*	*	*			

Figura 8.6.1. Orificis recomanats pel proveïdor en funció de l'àrea efectiva.

Tot seguit, es fa servir el catàleg de vàlvules de seguretat del fabricant (ref.43), on dintre de l'apartat de el tipus *Style JOS orifici tipus J*, es tria el serial amb més exacte en funció de la pressió de tara (7.1 [bar]) i la temperatura (23 [°C]). Tal com es pot observar en la *Figura 8.6.2.* (taula del fabricant), el serial escollit és el número 15.

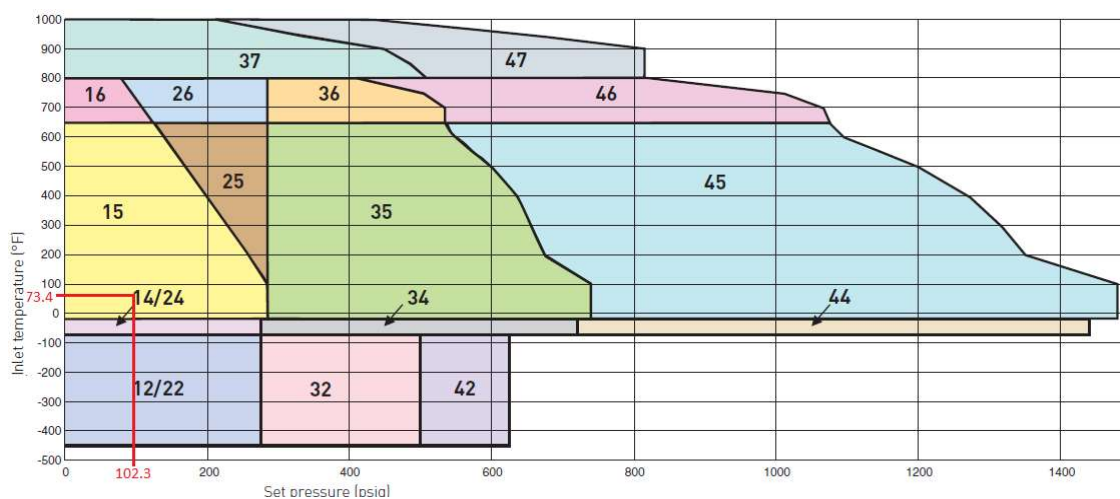


Figura 8.6.2. Elecció de la vàlvula de seguretat.

Les vàlvules de ressort de pressió estan equipades amb un capó tancat i una tapa roscada sobre els pern d'ajust. Es triarà una tapa roscada (*Figura 8.6.3.*), que no requereix una palanca

d'elevació, ja que segons el Codi ASME secció VIII, la vàlvula requereix una palanca d'elevació quan la temperatura d'entrada excedeixi els 60 [°C].

Per tant la vàlvula de seguretat (PSV-XX) serà del tipus *Style JOS – 15* amb orifici tipus J i tapa roscada. Els materials seran estàndards ja que el gas natural no requereix cap material especial. Les dimensions de la vàlvula es troben detallades en el A(IV).

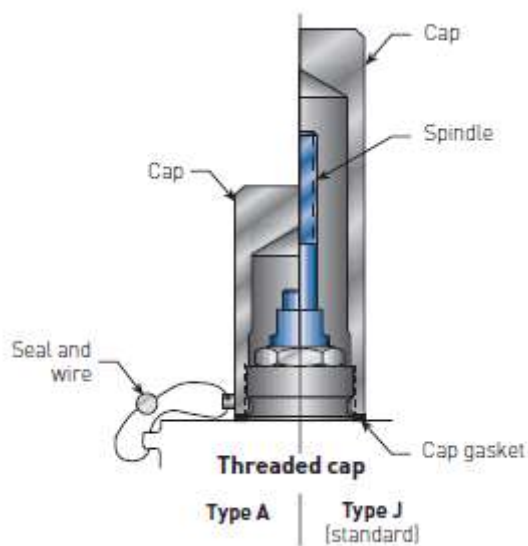


Figura 8.6.3. Tapa roscada estàndard escollida.

9. SISTEMA DE CONTROL

En aquest apartat s'expliquen tots els llaços de control dissenyats per tal de assegurar un funcionament correcte i segur de la planta d'oxidació, així com la seqüència de posada en marxa d'aquesta. Tant mateix s'exposaran tant el sistema de monitorització en continu, el sistema de control lògic programable i els sistema d'adquisició de dades del sistema.

9.1. Llaços de control.

La planta d'oxidació tèrmica regenerativa dissenyada constarà de tota la instrumentació necessària per un bon funcionament i integrada en un sistema de control distribuït. L'equip principal del procés serà l'oxidador tèrmic regeneratiu (RTO-100) que disposarà d'un cremador, la cambra de combustió i tres torres amb ceràmica pel bescanvi de calor. L'equip portarà instal·lat un quadre de control d'encesa per poder efectuar l'encesa/apagat del pilot del cremador i per consegüent procedir amb la posada en marxa o parada de la planta. El cremador disposa d'un detector de flama (BT-100) que rep la informació necessària per introduir el combustible auxiliar o la corrent gasosa de COV a tractar quan existeixi flama en el pilot.

Com a lògica de control s'ha dissenyat:

- Vàlvules de tall tot o res automàtiques amb enclavaments.
- Vàlvules de control accionades per el cabal de gasos de COV a tractar.

A continuació s'exposa la llista d'enclavaments realitzats separats per diferents subapartats.

9.1.1. Llaç de control n. 1

Taula. 9.1.1.1. Llaç de control 1.

Cas del llaç n. 1	Característica	Acció
A)	a 628.9 [°C]	Obre la vàlvula de tall MV-010
B)	a 600.0 [°C]	Tanca la vàlvula de tall MV-010

La temperatura de 628.9 [°C] és la temperatura màxima que la ceràmica tindrà després d'absorbir-la dels gasos sortint de la cambra de combustió durant tot un cicle. Aquesta temperatura està calculada a l'Annex II, Apartat 2.7.3. Aquesta temperatura es mesurarà al final de cada cicle i només en la torre que ha estat absorbint calor durant el cicle. Per tant, mentre el bloc de ceràmica estigui entre el rang de temperatures de 600.0 i 628.9 [°C], els gasos COV per tractar poden entrar a l'equip. El combustible adicional proporciona la calor extra que necessiten els gasos per arribar a 686 [°C].

9.1.2. Llaç de control n. 2*Taula. 9.1.2.1. Llaç de control 2.*

Cas del llaç n. 2	Característica	Acció
A)	a 686.9 [°C]	Tanca la vàlvula de tall BV-154
B)	a 650.0 [°C]	Obre la vàlvula de tall BV-154

Tal com s'ha esmentat anteriorment, el gas natural té la funció d'aportar la calor addicional necessària per arribar a una temperatura màxima de 686 [°C]. L'equip RTO-100 juntament amb el cremador estan dissenyats per treballar amb un flux constant de gas natural. Aquest cabal deix d'aportar energia al cabal de gasos COV quan es superi la temperatura de 686.9 [°C] i es tornarà a introduir-se mitjançant la vàlvula de tall BV-154 quan la temperatura baixi per sota dels 650.0 [°C].

9.1.3. Llaç de control n. 3*Taula. 9.1.3.1. Llaç de control 3: segons l'interruptor de pressió PSL-151 i la senyal del detector de flama BT-100.*

Cas del llaç n. 3	Característica	Acció
A)	- A baixa pressió	Tanquen vàlvules de tall BV-151/153.
	i/o	Obre vàlvula de tall BV-152
B)	- Senyal del detector de flama no detecta	Obren les vàlvules de tall BV-151/153
	- Senyal del detector de flama detecta	
	i	Tanca la vàlvula de tall BV-152
	- Pressió correcta	

Per seguretat sempre que no es detecti flama mitjançant el detector de flama i transmissor BT-100, o es detecti baixa pressió en la línia de gas natural, es tancaran automàticament les dues vàlvules de tall BV-151/153 per més seguretat. El gas natural que queda entre les dues vàlvules és expulsat cap a l'atmosfera mitjançant l'obertura de la vàlvula de bola automàtica BV-152. Quan es torni a donar la pressió correcta i senyal de flama, les vàlvules mencionades faran l'acció contrària a l'explicat anteriorment.

Llaç de control n. 4

Taula. 9.1.4.1. Llaç de control 4 : segons l'interruptor de pressió PSL-212.

Cas del llaç n. 4	Característica	Acció
A)	A baixa pressió	Obre la vàlvula de tall MV-212
B)	Pressió correcta	Tanca la vàlvula de tall MV-212

Donat qualsevol problema abans del ventilador V-211 que puguin fer treballar a aquestes condicions de pressions per sota de les òptimes, serà detectat per el pressòstat de baixa PSL-212. Aquest actuarà sobre la vàlvula automàtica de tall MV-212, deixant entrar aire des de l'atmosfera per no causar danys al ventilador i per poder fer arribar aire al RTO mitjançant la recirculació i ventilar els gasos allí presents.

9.1.4. Llaç de control n. 5

Taula. 9.1.5.1. Llaç de control 5 - segons l'interruptor de pressió PSL-211.

Cas del llaç n. 5	Característica	Acció
A)	A baixa pressió	Actua sobre XY-211 apagant el ventilador.
B)	Pressió correcta	Actua sobre XY-211 posant en marxa el ventilador.

9.1.5. Llaç de control n. 6.

Taula. 9.1.6.1. Llaç de control 6 - segons l'interruptor de pressió PSL-010.

Cas del llaç n. 6	Característica	Acció
		Tanquen les vàlvules de tall BV-151/153.
A)	A baixa pressió	Tanca la vàlvula de tall MV-010 Obre vàlvula de tall BV-152 Obren les vàlvules de tall BV-151/153
B)	Pressió correcta	Tanca la vàlvula de tall BV-152 Obre la vàlvula de tall MV-010

9.2. Sistema de monitorització en continu d'emissions (SMCE).

El monitoratge de les emissions es una part cada cop més important del control de la contaminació de l'aire. La legislació sobre el control de la contaminació, en ocasions pren la forma de límits d'emissions o orientacions amb les que un procés industrial ha de complir. El monitoratge es una mostra del compliment de les regulacions o dels límits permesos. A més, el monitoratge proporciona informació a prop dels contaminants gasosos i la matèria en forma de partícules a l'atmosfera, que pot ser utilitzada per emmagatzemar dades d'inventaris d'emissions, autoritzar nous establiments i realitzar auditories. Els establiments industrials poden usar el monitoratge per determinar l'eficiència dels dispositius de control de la contaminació i monitoritzar la salut i seguretat dins de la planta. La participació en programes d'intercanvi d'emissions requereix per el general del monitoratge d'emissions.

El terme monitor es refereix a un amplia varietat d'instrumentació utilitzats per mesurar concentracions de compostos gasosos i matèria en forma de partícula i propietats físiques tals com la opacitat, en una corrent de fas residual. Existeixen molts tipus diferents de monitors comercialment disponibles per al monitoratge d'emissions. Els monitors requereixen d'equip addicional per al la pres de mostres, el calibrat d'instruments i l'adquisició i processament de dades. Aquests han de ser capaços de proporcionar dades exactes reproduïbles.

L'acta d'Aire Net "*Clean Air Act*" de 1990, requereix el monitoratge millorat i periòdic de contaminants específics en varies fons estacionaries. Aquests requeriments van ser codificats a la norma d'Assegurament de Compliment del Monitoratge (ACM) "*Rule for Compliance Assurance Monitoring, (CAM Rule)*".

9.2.1. Equip SMCE.

Un SMCE consisteix en tot l'equip necessari per la determinació de la concentració o raó d'emissió de gasos o de matèria en forma de partícules. Aquest equip consta de 3 parts: el sistema de presa de mostres i condicionament, l'analitzador o monitors de gas, el sistema d'adquisició de dades (SAD) "*Data Acquisition System (DAS)*" i el sistema de control.

Un SMCE pot dissenyar-se per monitorar un sol contaminant o múltiples contaminants i paràmetres del corrent de gas residual. Els compostos gasosos, la matèria en forma de partícules, la opacitat i la raó del flux volumètric, son típicament monitorats per un SMCE.

L'apropiada col·locació dels ports de presa de mostres en la corrent del gas residual i l'apropiada selecció de l'equip per els components, son crítiques per a la recol·lecció

d'informació exacta i reproduïble en un SMCE. Per aquesta raó el disseny de un SMCE usualment esta basat en l'experiència dels proveïdors.

Els SMCE es divideixen en dos grans categories, extractius i in situ: Els SMCE in situ, típicament tenen monitors i analitzadors directament a la xemeneia o conducte. Els SMCE extractius capturen una mostra de la xemeneia o conducte, condicionant la mostra, remouent-les

9.2.2. SMCE Extractiva.

A un SCME extractiu, el sistema extrau una mostra a un lloc específic al corrent de gas residual i la transporta fins al monitor a una àrea ambientalment protegida. Aquest tipus de sistemes protegeixen la instrumentació de monitoratge de les de les altes temperatures, altes velocitats, altes pressions, matèria en forma de partícules, substàncies corrosives i vapor d'aigua al corrent de gas residual.

Es transporta una mostra des de la localització de la sonda de presa de mostres fins l'analitzador o monitor. En general, la mostra requereix algun tipus de condicionament previ a l'anàlisi. El condicionament pot incloure filtracions de la matèria en forma de partícules, remoció del vapor d'aigua per refredament i dilució de la mostra. Els sistemes extractius es classifiquen generalment en base al tipus de condicionament: calent-humit, fred-sec o dilució:

Els sistemes calent-humit mantenen la mostra a alta temperatura i no remouen el vapor d'aigua, els sistemes fred-sec baixen la temperatura de la mostra i remouen el vapor d'aigua i els sistemes de dilució prenen la mostra a baixes raons de flux o dilueixen la mostra prèvia a l'anàlisi, el que resulta en continguts de vapor d'aigua i de matèria en forma de partícules més baixes. El condicionament pot realitzar-se al port o a l'analitzador. Depenent del tipus de sistema, l'equip de presa de mostres i de condicionament del SCME extractiu pot incloure el port/sonda de presa de mostres, línies de transferència de la mostra, escalfadors de línia, una bomba, un filtre, un condensador o assecador i refredadors. La selecció del tipus de sistema de mostreig es específica de l'aplicació. A la *Figura 9.2.2.1* es mostra un sistema extractiu típic amb un sistema de mostreig fred-sec.

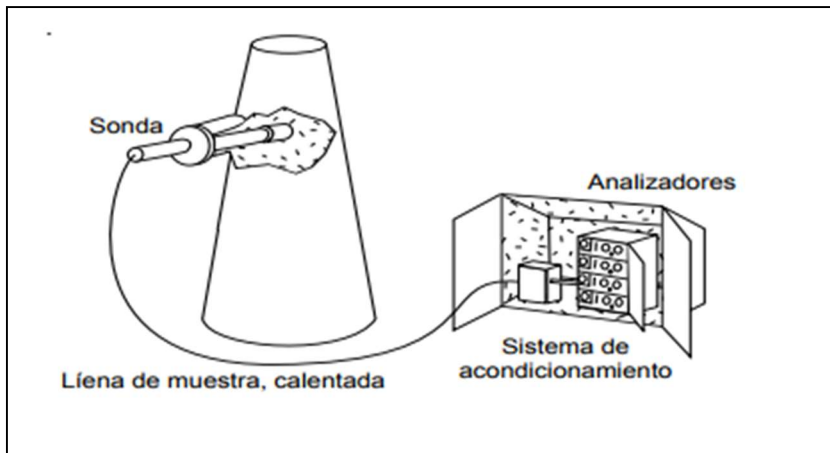


Figura 9.2.2.1: sistema extractiu amb sistema de presa de mostres fred-sec.

Típicament, els analitzadors extractius són més barats i més fàcils de mantenir i reparar que els analitzadors in situ. Això es deu principalment a la seva localització a una zona ambientalment controlada a nivell del terra, en lloc de a la font. Degut a la seva localització, no requereix protecció ambiental addicional. A més, els analitzadors són més fàcilment accessibles per als tècnics de manteniment i reparació. Tenir una zona ambientalment controlada permet també que els gasos i sistemes de calibratge es localitzin a la mateixa àrea, el qual simplifica els calibratges.

No obstant, els avantatges del SCME extractiu poden ser contrarestades per els requeriments del sistema de presa de mostres. Els costos inicials dels sistemes de presa de mostres poden ser bastant alts i l'equip de condicionament requereix manteniment de rutina.

Uns altres problemes a l'hora de manipular la mostra, inclouen:

- Obstrucció de sondes i línies amb la contaminació
- Falla dels escalfadors de les línies en climes freds, ocasionant que l'aigua es congeli i obstrueixi les línies.
- El filtre de la sonda ocasiona pèrdua del contaminant a mesura que passa per la sonda.
- La sonda de dilució ocasiona efectes en la temperatura, la pressió i en la densitat del gas i evaporació de gotes d'aigua quan s'agrega aire de dilució a la mostra del gas.
- Arrossegament d'aigua.
- Fuites en els tubs o en alguna altra part del sistema.
- Adsorció del contaminant a la paret, filtre, tubs o altres components.
- Absorció del contaminant en l'aigua que és remoguda pel sistema de condicionament.

Altres factors importants en la selecció i disseny de sistemes de monitorització inclouen:

- Requeriments de regulació.

- Disponibilitat de dades (% del temps que el monitor subministra dades).
- Volum del gas residual que ha de ser recol·lectat i condicionat [18].

Hi un nombre de monitors i analitzadors de gas d'SMCE disponibles comercialment, incloent a diversos analitzadors de múltiples contaminants. aquest manual proporciona costos per als següents tipus de SMCE extractius donats a la *Taula 9.2.2.1*

Taula 9.2.2.1: Compostos gasosos vs. tipologia de monitoratge.

Compostos Gasosos a mesurar	Monitoratge
NOx	Opacitat
CO/CO2	Raó de flux
O2	-----
COVs	Presa de mostra

9.2.3. Monitors i Analitzadors de gas.

La discussió tècnica dels tipus de monitors i analitzadors de gasos que estan disponibles comercialment per sistemes extractius, supera l'abast d'aquest projecte. A la referència (ref. 01) es poden trobar discussions tècniques detallades d'analitzadors de gasos i monitors per a diferents tipus de SMCE i dels contaminants i paràmetres que poden ser monitorats. A la *Taula 9.2.3.1* es resumeixen els diferents tipus de aplicacions que estan disponibles actualment per a sistemes extractius:

Taula 9.2.3.1: Analitzadors de Gas de SMCE Extractius.

Mètode per absorció Espectroscòpica (infra)	Mètode per Luminescència	Mètode per Electro Anàlisis	Mètode Paramagnètic
Espectrofotometria	Fluorescència	Polarografia	Termomagnetisme
Absorció diferencial	Quimioluminescència	Potenciometria	Magnetodinàmica
Correlació filtre de gas Transformada de Fourier de l'infraroig	Fotometria de flama	Electrocàtàlisis	Magnetoneumatisme
		Amperometria	
		Conductimetria	

9.3. Controlador lògic programable (PLC).

Tots els sistemes de control de variables del procés necessiten PLC, per unir qualsevol instrument de mesura tant al monitor de procés com al SAD. Els PLC generalment tenen un disseny modular i son àmpliament utilitzats a la indústria. Les funcions típiques dels PLC són:

- Seqüència lògica dels temps (Logic timing).
- Transferència de dades.
- Activació de funcions automàtiques del procés.

- Proporcionen conversió de senyal analògica a digital.
- Registres d'alarmes i dades de procés.
- Realitza càlculs matemàtics o funcions de calibratge dels equips de control del procés.

A les aplicacions de SMCE per exemple, els PLC operen la presa de dades i el calibratge, controlant les vàlvules solenoides que envien, ja sigui gas residual o el gas de calibratge al monitor. Aquesta informació també es envia al SAD per prevenir que les dades de calibratge s'utilitzin com dades de la mostra. Els PLC típicament controlen funcions com les verificacions del zero i del rang de les alarmes per excés d'emissions o per mal funcionament del sistema enviant també informació amb el SAD.

Per al projecte s'utilitzarà un PLC de a marca Allen-Bradley

9.3.1. PLCLogix.

Per tal de poder controlar i configurar el PLC que controlarà RTO i el SMCE, una de les opcions serà utilitzar el programa PLCLogix que és un simulador de control dels PLC Logix 5000 de Rockwell Automation que s'instal·larà a la línia.

Aquest programa proporciona als usuaris la capacitat d'escriure, editar i eliminar programes utilitzant un format basat en etiquetatge. Molts dels PLC més populars dins de la indústria, utilitzen aquest sistema, que és un mètode realment complex perquè et permet aconseguir un nivell de control i programació molt elevat.

9.4. Sistema d'adquisició de dades (SAD).

Els sistemes d'adquisició de dades SAD "*Data Acquisition System*", consisteixen d'un programa que interfassa amb el sistema de control per PLC on mitjançant les dades recollides, es crea la possibilitat d'emmagatzemar dades, visualització in-time del procés i creació d'informes. Els analitzadors creen una senyal de sortida en volts o miliampers, que representa una fracció de la lectura total de l'escala establerta. Els SAD inclouen típicament taules de conversió analògica a digital, que prenen la senyal de voltatge o miliampers dels analitzadors la converteixen en informació digital que la pot entendre l'ordinador. Els requeriments de reportar informacions tenen un efecte important en els dissenys dels SAD, la freqüència del reports i el temps mitjà per els resultats.

No obstant, el poder creixent de les computadores personals ha millorat la funcionalitat i reduït els costos finals tant elevats dels SAD. Aquest sistema té normalment un rang de costos de entre \$16,000 i \$40,000. El programa patentat *probe* típicament del proveïdor del SAD. Aquest

programa utilitza les dades i variables del procés per produir informes valuosos per al personal de la planta i de les autoritats reguladores.

9.5. Seqüència de posada en marxa.

Després de verificar, la funcionalitat de cada un dels elements de cada equip, la seqüència d'encesa des de una posició de parada, o estat fred, serà la següent:

1. Amb l'entrada de gasos de COV tancada (MV-010), s'obre l'entrada d'aire de l'atmosfera (MV-212).
2. S'obre una de les vàlvules de entrada a l'equip i una de la sortida.
3. S'encén el ventilador que mou els gasos COV (V-211).
4. Les vàlvules que controlen el cabal de combustió per l'arrancada es col·loquen en posició de purga.
5. Les vàlvules de seguretat es tanquen i les vàlvules de control de gas natural per la encesa es col·loquen en posició de mínim.
6. La cambra de combustió és purgada mitjançant aire, fins desplaçar un volum d'aire igual a quatre cops el volum de la cambra de l'oxidador cap a la xemeneia.
7. El cap del cremador es regula en posició d'apagat, i és ventejada fins omplir la línia de gas natural fins al cremador completament.
8. La vàlvula de control d'aire és col·loca en posició d'encesa.
9. S'activa el generador de d'espurna del cremador per encendre el cremador pilot. Aquest haurà d'encendre's en un interval de temps inferior a 15 segons, sinó s'haurà de repetir el cicle fins l'etapa mencionada anteriorment.
10. Un cop que el sensor de flama verifica la mateixa, les vàlvules de seguretat de la línia de gas natural per l'arrancada de la unitat, són obertes per iniciar la combustió.
11. Un cop establerta la flama, les vàlvules d'aire i fuel gas s'ajusten a les seves posicions normals d'operació. Si la ignició en el cremador no apareix en un interval de temps inferior a 5 segons després d'obrir les vàlvules de seguretat de la línia de fuel gas per l'arrancada de la unitat, hauran de ser tancades, i es repetirà el procés de purga de la línia, per començar novament amb la etapa 4.
12. Es tanca l'entrada d'aire fresc (MV-212) i l'entrada que permetia l'entrada a l'equip RTO.

13. Es deix oberta una de les vàlvules de sortida i s'extreu els gasos calents de la combustió del gas natural per la mateixa ceràmica fins que aquesta agafi la temperatura desitjada.
14. Quan la ceràmica estigui a la temperatura òptima, es posarà en marxa el procés en condicions normals i cicles normals d'operació.

10. MEDI AMBIENT

En aquest apartat es trobarà la tipologia de pintures i perquè s'ha d'aplicar un sistema com aquest, no només s'ha de tenir en compte els problemes d'emetre COVs sinó també la generació de NO_x (Òxids de Nitrogen) al produir-se la combustió per reduir-los, per tant a l'*Apartat 10.3* s'explica tant els diferents tipus de generació de NO_x com la forma de reduir aquesta generació. També es farà una breu entrada als articles 30 i 31 de la Llei 34/2007 del 15 de novembre, per tal d'obtenir una mica més de profunditat sobre els temes de multes i sancions mediambientals que s'utilitzaran a l'estudi econòmic i per finalitzar, es farà una breu introducció a els punts necessaris a tenir en compte en un possible estudi d'impacte medi ambiental.

A l'apartat 9.3 on es parla sobre el control operacional, es parla del sistema SMCE que servirà per controlar de forma exhaustiva que no es sobrepassin els límits dels diferents tipus de contaminants esmentats a l'apartat 10.1.

Les referències utilitzades per extreure tota la informació sobre aquest apartat són ref.(03, 16, 23, 24)

10.1. Limitacions d'emissions.

A la *Taula 10.1.1* es mostren els principals límits de contaminants extrets de les diferents lleis esmentades a l'*Apartat 1.5*. S'ha de tenir en compte que gràcies als separadors en humit o en sec dins de les cabines de polvorització de pintura, les emissions de partícules d'aquest tipus, estaran per sota de 5 [mg/Nm³]. Per tant no es tindran en compte per al procés.

Taula 10.1.1: Límits d'emissió dels diferents compostos.

Compost	Límits d'emissió
COVs	50 [mg/Nm ³]
NO _x	100 [mg/Nm ³]
CO	100 [mg/Nm ³]

10.2. Emissions de COVs.

Principalment, les emissions que es troben al sector automobilístic, són a causa de la tipologia de pintures que s'utilitzen. (ref.16)

10.2.1. Pintures convencionals amb base de dissolvent.

Les pintures convencionals amb base de dissolvent, contenen aproximadament del 35% al 80% en pes de dissolvents orgànics per la regulació de la viscositat i la formació de la capa de pintura. El tipus de dissolvent utilitzat depèn principalment de les resines o aglomerants que s'hagin utilitzat per la formació de la pintura. Segons el procés de formació de la capa, els materials es poden subdividir en:

Recobriments termoplàstics, recobriments termostables, recobriments de assecat oxidatiu, que s'assequen per la evaporació del dissolvent i sigui de la tipologia que sigui, al evaporar-se crearan una corrent gasosa de COVs que requeriran mesures de depuració. L'ús de pintures convencionals en base de dissolvent, donen lloc a les emissions de COVs més elevades, però en requereixen menys energia per assecar.

10.3. Formació d'Òxids de nitrogen (NO_x).

El terme òxid de nitrogen (N_xO_y) s'aplica a diversos compostos químics binaris formats per la combinació d'oxigen i nitrogen. El procés de formació més habitual d'aquests compostos inorgànics és la combustió a altes temperatures, procés en el qual habitualment l'aire és el comburent.

Els òxids de nitrogen en realitat són la combinació de dos espècies químiques diferents, òxid nítric (NO) i diòxid de nitrogen (NO₂). A temperatures de combustió normals, l'òxid nítric predomina en més de un 95% del total. No obstant, mentre que els gasos de combustió son emesos a la atmosfera mitjançant la xemeneia, l'òxid nítric reacciona amb l'oxigen de l'atmosfera i a mesura que es va refredant, es transforma en diòxid de nitrogen. Per el qual, els càlculs de les emissions de NO_x sempre assumeixen que estan formades per NO₂, amb un pes molecular igual a 46.

L'explicació referent a les cinètiques i equilibri químic dels NO_x estan explicades a l'*Apartat 4.1.1. de l'Annex I.*

10.3.1. Càlcul de emissions de NO_x.

Les emissions de NO_x es mesuren en parts per unitat de milió de volum [ppmv]. Malgrat això, els límits d'emissió de NO_x proposats per els sistemes reguladors d'emissions estan en termes de [mg/Nm³].

En el cas d'aquest projecte, el nivell de emissió de NO_x, serà controlat mitjançant el sistema SMCE que s'explica a l'*Apartat 9.2.1.* Generalment els instruments que s'utilitzen per mesurar les emissions de NO_x, retiren el vapor d'aigua abans de prendre la mesura de la mostra. Així, els

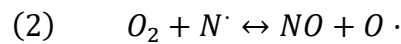
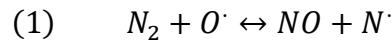
resultats que ens donarà seran en base seca “*dry basis*”. Normalment, els límits de les emissions estan especificats per a una certa concentració d’oxigen als productes de la combustió.

10.3.2. Procedència.

El NO_x es forma per un dels tres mecanismes en el procés de combustió: NO_x tèrmic, per residus de combustible o enllaç químic de NO_x, i de la possible formació ràpida de NO_x, “prompt NO_x”.

10.3.2.1 Formació de NO_x tèrmic.

Principalment les emissions de NO_x dels processos de combustió són generats per fixació tèrmica del nitrogen a aire de combustió. El mecanisme de la formació tèrmica de NO_x generalment acceptada es descriu per les reaccions d’equilibri de Zeldovich següents:



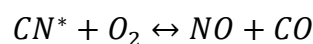
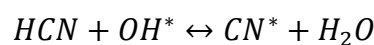
El $N \cdot$ i l’ $O \cdot$ són espècies radicals produïdes per dissociació tèrmica del N_2 i l’ O_2 a elevades temperatures. Reduint el pic de temperatura de la flama en un cremador, és un “*well-established method*” per a la taxa de reducció de formació de NO_x. També és important saber que la generació tèrmica de NO_x es veu també afectada per el temps al que està a aquesta temperatura. A més temps, més quantitat de NO_x es genera.

10.3.2.2 Formació de NO_x per residus de combustible o enllaç químic.

Principalment els NO_x generats provenen dels components presents en els residus del combustible. Generalment, el combustibles en estat gasós com el gas natural o el propà estan absents de compostos nitrogenats per tant en aquest procés no es tindrà generació de NO_x a causa del combustible.

10.3.2.3 Formació NO_x per formació ràpida “prompt NO_x”.

Per últim, explicarem una de les formes menys conegudes de la formació de NO_x. En aquest punt, els radicals hidrocarbonats (CH, CH₂, etc.) formats per la fragmentació del combustible reaccionen amb el nitrogen dins del aire de la combustió per formar cianur d’hidrogen (HCN), un reactiu intermediari. L’HCN reacciona amb oxigen i nitrogen present a l’aire de la combustió per formar òxids de nitrogen com es mostra a continuació:



La formació "prompt NO_x" és proporcional al nombre d'àtoms de carboni presents al combustibles que tenen una baixa dependència de la temperatura i una vida curta.

10.3.3. Efecte paramètric.

Mentre que les emissions de NO_x es citen per a fonts genèriques, aquestes dades han de ser estudiades més profundament per les condicions de funcionament i els equips en què es generen.

Aquests factors poden tenir un efecte final molt diferent sobre els valors generats. De fet, és el control d'aquests factors que s'utilitza principalment per reduir les emissions de NO_x.

10.3.3.1 Temperatura.

Les emissions de NO_x es veuen afectades tant per la temperatura de la flama com per la temperatura del gas a després de completar les reaccions de combustió. Una vegada més, com més alta sigui la temperatura, més altes són les emissions de NO_x.

Encara que sabem que l'RTO dissenyat treballarà a temperatures de 680°C aproximadament, i l'efecte de la temperatura no és tan pronunciat amb els cremadors baixos, és bo saber que per exemple per a augments de la temperatura de l'oxidador de 900 a 1300[°C] es duplica la generació de NO_x. Aquests valors són aproximats, ja que són molt dependents de l'equip i depenen del mètode d'injecció de la corrent de residus a la cambra de combustió.

10.3.3.2 Excés d'aire.

L'equació d'equilibri del NO_x mostra que aquest està en funció de la concentració d'oxigen dels productes de combustió. Per tant, funcionant a nivells baixos d'excés d'aire (concentracions d'oxigen més baixes als productes de la combustió) es pot reduir la generació tèrmica de NO_x.

El contingut d'oxigen estàndard utilitzat en el disseny per part de la majoria dels fabricants d'oxidants tèrmics és de 3% d'oxigen en els productes de combustió. Tot i que hi ha poca diferència en la destrucció de COVs i les emissions de CO, si aquesta concentració es redueix al 2%, sempre tenint en compte que reduir encara més l'oxigen en excés pot provocar una reducció de l'eficiència de la destrucció dels COVs.

A més, les emissions de CO comencen a augmentar per sota d'aquest nivell i poden ser especialment elevades si la concentració d'oxigen es redueix a menys de l'1%. Per contra, si el nivell d'excés d'aire és molt alt, es reduiran les emissions de NO_x. Això es deu a l'efecte de refredament de la càrrega tèrmica sensible d'aquest excés (reacció no reactiva). La corba demostra l'efecte de l'excés d'aire en les emissions de NO_x.

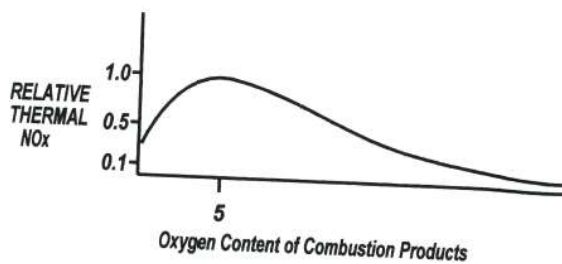


Figura 10.3.2.2.1: Relació entre els nivells d'excés d'aire i de NO_x

10.3.4. Contingut oxigen a la combustió.

En general, l'aire ambient o una xarxa de residus d'aire contaminats s'utilitza com a font d'oxigen per a la combustió en un oxidant tèrmic. No obstant això, es pot utilitzar un flux reduït d'oxigen sempre que el contingut d'oxigen sigui suficient per mantenir una flama estable, tal com es mostra a la *Figura 10.3.2.2.1*. Com més baix sigui el contingut d'oxigen, més baixes són les emissions de NO_x. Això té el mateix efecte que la recirculació de gasos de combustió (FGR), una de les tècniques de control de NO_x tèrmic que es descriuen més endavant. La concentració d'oxigen en el sobre de flama es redueix. Com s'ha dit anteriorment, les emissions de NO_x tèrmic són proporcionals a l'arrel quadrada de la concentració d'oxigen. Com a generalització, la reducció del contingut d'oxigen de l'aire de combustió del 21 al 16% reduirà les emissions de NO_x aproximadament la meitat.

10.3.5. Reducció de la formació tèrmica de NO_x mitjançant (FGR).

S'utilitzarà un mètode molt comú utilitzat per reduir la generació tèrmica de NO_x en un sistema de combustió, s'anomena "*flue gas recirculation*" (FGR). Amb aquesta tècnica, una part dels productes de la combustió es recirculen i es barregen amb l'aire de combustió, s'utilitza normalment en sistemes de recuperació de calor regenerativa on hi ha disponibles productes de combustió relativament freds. Normalment s'utilitza un ventilador per recircular els productes de combustió.

Si no es refredessin, en el dispositiu de recuperació de calor, la seva temperatura seria massa alta per a un ventilador. Amb el sistema FGR, la formació de NO_x es suprimeix mitjançant dos mecanismes:

- En primer lloc, la temperatura màxima de la flama es redueix a causa de la necessitat d'escalfar menys massa de gas "*sensible heat load*" (càrrega sensible de calor).
- Com a segon mecanisme, es redueix la concentració d'oxigen a la flama i per tant pateix una reducció de la temperatura màxima, on es crea l'efecte de la reducció de NO_x.

El gas de combustió pot ser recirculat fins arribar a un 25%-30% de la barreja de gasos d'entrada al cremador. La quantitat de gasos de combustió que es recirculen només està limitat per l'estabilitat del cremador en el contingut d'oxigen inferior. Les reduccions de NO_x poden variar del 60 al 80% a altes taxes de recirculació.

Finalment, com és complicat saber la quantitat final de NO_x que s'alliberaran a l'atmosfera, s'estima que mitjançant aquest sistema de reducció, no es superarà el límit establert tal i com es mostra a les aproximacions de la *Figura 10.3.5.1*.

NO_x Emission Factors for Natural Gas Combustion Systems

System	NO _x (lb/10 ⁶ ft ³ of natural gas)
Utility/Large Industrial Boilers	
Uncontrolled	550
Controlled — low NO _x burners	81
Controlled — flue gas recirculation	53
Small industrial boilers	
Uncontrolled	140
Controlled — low NO _x burners	81
Controlled — flue gas recirculation	30
Commercial boilers	
Uncontrolled	100
Controlled — low NO _x burners	17
Controlled — flue gas recirculation	36

Figura 10.3.5.1: Factors d'emissions de NO_x per sistemes de combustió de gas natural.

A la *Figura 10.3.5.1* es poden observar els diferents valors mitjans per a diversos equips genèrics amb diferents tipologies de reducció de COVs, extrets de la "Compilation of Air Pollutant Emission Factors", desenvolupat per la "Environmental Protection Agency(EPA)".(ref.01)

10.4. Multes i sancions medi ambientals.

Les principals multes i infraccions referent a les emissions de contaminants a l'atmosfera es troben a la Llei 34/2007, del 15 de novembre, sobre la qualitat de l'aire i la protecció de l'atmosfera:

"1. Les infraccions tipificades en l'article 30 de la mateixa llei poden donar lloc a la imposició d'alguna o varies de les següents sancions:

a) En cas d'infracció molt greu:

- 1. Multa des de 200,001 fins a 2,000,000 €.*
- 2. Prohibició o clausura definitiva, total o parcial de les activitats e instal·lacions.*
- 3. Prohibició o clausura temporal, total o parcial de les activitats o instal·lacions per un període no inferior a dos anys ni superior a cinc.*
- 4. El precintat de equips, màquines i productes, per un període no inferior a dos anys.*

5. *Inhabilitació per el exercici de l'activitat per un període no inferior a un any ni superior a cinc.*
6. *Extinció, o suspensió de les autoritats en les quals s'hagin establert condicions relatives a la contaminació atmosfèrica per un temps no inferior a dos anys.*
7. *Publicació a través dels medis que es considerin oportuns, de les sancions imposades, in cop que hagin adquirit fermesa a la via administrativa o, en el seu cas jurisdiccional, així com els noms, cognoms o denominació o raó social de les persones físiques o jurídiques responsables i la índole i naturalesa de les infraccions.*

b) En el cas de infracció greu:

1. *Multa des de 20,001 fins 200,000 €.*
2. *Prohibició o clausura temporal, total o parcial, de les activitats o instal·lacions per un període màxim de dos anys.*
3. *Inhabilitació per l'exercici de l'activitat per un període màxim d'un any.*
4. *El precintat temporal d'equips, màquines i productes per un període màxim de dos anys.*
5. *Suspensió de les autoritzacions en les que s'hagi establert condicions relatives a la contaminació atmosfèrica per un període màxim de dos anys.*

c) En el cas de infracció lleu:

1. *Multa de fins a 20,000 euros.*
2. *En qualsevol cas, la quantitat de la multa imposada, serà coma mínim al doble del import en el cas de que s'hagi beneficiat l'infractor."*

A l'article 30 es descriuen les diferents tipologies d'infraccions i a l'article 32 la graduació d'aquestes. Per a més informació es poden trobar a la referència (ref.30).

Donat que només es tenen en compte multes i infraccions relacionades amb el medi ambient, per a qualsevol altre tipologia de multes i sancions es poden veure a les referències de les lleis i normatives a l'Apartat 12 sobre seguretat industrial.

10.5. Preestudi de l'impacte ambiental.

L'impacte ambiental es defineix com l'efecte sobre el medi ambient que és produït per una determinada acció humana. Aquestes es desenvolupen per tal de complir certs objectius que són positius, però la seva execució provoca objectius secundaris negatius, els quals afecten al medi natural i social.

Primerament, es determinen les possibles fonts d'impacte segons cada fase del projecte a l'hora d'aplicar-lo. (construcció, explotació i desmantellament). Finalment s'identifiquen de forma concreta quin són aquests impactes per tal de caracteritzar-los, avaluar-los i corregir-los.

10.5.1. Possibles fonts d'impactes.

10.5.1.1 Fase de construcció: Estudi, disseny i construcció.

- -Transport (terrestre i/o marítim) del material necessari per a la construcció de la unitat.
- -Adequació del terreny, màquines i consum necessari per aquest fi.
- Muntatge de la planta, instal·lació d'equips, proves realitzades als equips, soldadures, implantació dels suports dels equips, etc.

10.5.1.2 Fase d'explotació: Impactes provocats pel funcionament de la unitat.

- Impactes derivats dels gasos d'escapament.
- Incorrecte funcionament de les instal·lacions, provocant fugues i vessament dels components que circulen per les canonades.
- Realització de tasques de manteniment que provoquin efectes perjudicials.

10.5.1.3 Fase de desmantellament: Cessament de l'activitat.

- Desmuntatge dels equips de la unitat, màquines i processos per tal d'aconseguir-ho.
- Reciclatge del material desmantellat i desfer-se de tot aquell que no es pugui aprofitar per altres fins.
- Transport utilitzat per realitzar totes les tasques nombrades.

10.5.2. Descripció dels impactes potencials.

En aquest apartat es concreta i especifica els impactes originats en les tres fases de projecte anteriors. S'ha de tenir en compte que no es tracta de la implantació d'una nova planta, sinó que es un projecte petit on s'instal·la una unitat a una planta ja en funcionament.

10.5.2.1 Fase de construcció: Estudi, disseny i construcció.

En la fase de construcció es troben tres impactes mediambientals que destaquen, els impactes visuals, els impactes sonors i els impactes en la flora i la fauna.

Els primers són el tipus menys perjudicial degut a les seves mínimes conseqüències en el medi ambient i que la ubicació es caracteritza per ser una zona industrialitzada. Això redueix la necessitat de minimitzar els efectes visuals, ja que tindrà poca influència en la població de l'entorn.

Els impactes sonors tenen una importància major als anteriors, degut a que les conseqüències que se'n deriven són més perjudicials i provoquen major mal estar als individus que treballen a la planta. No obstant, la ubicació permet uns nivells sonors que difícilment superaran els establerts per la legislació, i els treballadors van correctament equipats per reduir els efectes.

Els impactes que es poden produir a la fauna i la flora també són limitats, ja que una zona industrial no és un ambient on prolifera.

10.5.2.2 Fase d'exploració: Impactes provocats pel funcionament de la unitat.

Els impactes comentats a l'apartat anterior continuaran presents en la fase d'exploració. A aquests cal sumar-li d'altres característics únicament en aquesta fase.

Els primers són els impactes ambientals que es produeixen directament per les emissions de les activitats industrials, les quals poden ser sòlides, líquides o gasoses. Són els impactes amb major importància en el medi ambient, tant els de caràcter accidental i imprevisible com vessaments i fuites, o els suposats com les purgues i els contaminants els quals s'envien directament a l'atmosfera.

En aquest projecte s'intentarà reduir al màxim la generació d'imprevistos a partir d'un correcte pla de manteniment i un bon disseny dels sistemes de seguretat.

10.5.2.3 Fase de desmantellament: Cessament de l'activitat.

En aquesta fase trobem impactes negatius com són el rebuig dels materials que no es poden aprofitar, el transport d'aquests fins al punt net i els impactes produïts per les accions realitzades en el desmantellament. No obstant, es troben impactes positius com són l'aprofitament de material i equips, ja sigui en la mateixa planta amb usos similars, o bé la venda d'aquests a les empreses que ho necessitessin.

11. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

El manteniment és un conjunt de procediments i tècniques que permeten que les instal·lacions de la planta funcionin correctament i amb les prestacions amb les que van ser dissenyades, augmentant la fiabilitat i seguretat disminuint el preu. D'aquesta manera es preveuen avaries i es realitzen revisions i reparacions amb la finalitat d'aconseguir allargar la vida útil de les instal·lacions de la manera més rentable possible.

L'empresa disposarà d'un programa informàtic que facilitarà la gestió de les tasques de manteniment, augmentant la coordinació dels operaris i reduint costos, tant mateix l'empresa disposarà de personal qualificat per programar els PLC dels que disposarà la línia en cas de fer canvis substancials en el funcionament de l'RTO.

Principalment el manteniment es pot separar en tres grans grups, el manteniment correctiu, el preventiu i el predictiu, els quals es detallen a continuació. Donat que aquest projecte té una base principalment en el sector automobilístic, a l'hora de crear una matriu de TPM "Manteniment productiu total" per el sistema de tractament de COVs, es tindrà en compte la necessitat d'enfocar el manteniment en un àmbit més preventiu que correctiu tal i com indica la norma IATF de qualitat per al sector dels automotors.(ref.39, 40, 41)

La informació referent al manteniment s'ha extret dels sistemes de integració industrial de qualitat i millora continua, 5S i "six-sigma".

11.1. Manteniment correctiu.

El manteniment correctiu es caracteritza perquè es realitzen les tasques de reparació i correcció de defectes errades o aturades sobtades en les instal·lacions.

El manteniment correctiu com a base del manteniment té alguns avantatges:

- No produeix despeses fixes.
- No és necessari programar ni preveure cap tasca de manteniment.
- A curt termini pot oferir un bon resultat econòmic.
- Només es gasten diners quan està clar que es necessari fer-ho.

Aquest avantatges són la raó per la qual moltes empreses basen el seu manteniment en el correctiu, encara que existeixen també importants inconvenients:

- No totes les instal·lacions es poden basar en manteniment correctiu, ja que determinats equips necessiten a més de continus ajustos, vigilància i greixatge fins i tot per funcionar durant curts períodes de temps.

- Impedeix el diagnòstic fiable de les causes que provoquen la fallida, doncs s'ignora si va fallar per mal tracte, per abandonament de la instal·lació, per desconeixement de la utilització i funcionament o per desgast natural del material.
- Suposa assumir riscos econòmics que en ocasions poden ser importants.
- La vida útil dels equips s'escurça.
- No és recomanable basar el manteniment en les intervencions correctives en plantes amb un alt valor afegit del producte final, ja que la producció es torna impredecible i poc fiable.
- Les avaries i els comportament anormals no només posen en risc la finalitat del equip, també poden suposar accidents amb riscos per a les persones i el medi ambient.

Encara que es disposin d'avantatges indubtables, basar el manteniment de la planta únicament en el manteniment correctiu sol ser un error, degut a les grans desavantatges que existeixen. És per això, que el manteniment la planta no és realitzarà de manera exclusiva aquest tipus de manteniment. Les mesures correctives que s'adoptaran en la instal·lació són:

- **Pal·liatives:** Es recanvia de forma immediata el dispositiu que impedeix el correcte funcionament però sense corregir la font de l'avaria. Gran despesa en els recanvis, però solució immediata en la instal·lació.
- **Curatives:** Es repara el dispositiu o equip, així com les possibles fonts d'avaries, comprovant el correcte funcionament del conjunt. Es redueix el cost del recanvis augmentant el cost de la mà d'obra.

11.2. Manteniment preventiu.

El manteniment preventiu constitueix una acció o sèrie d'accions, que són necessàries per prolongar la vida útil de l'equip i instal·lacions i reduir la probabilitat de suspensió de les activitats laborals per imprevistos.

Per aconseguir-ho, es planifiquen períodes de paralització de treball en moments específics, per inspeccionar i realitzar les accions de manteniment dels equips que es considerin necessàries per a que no es doni la possibilitat de provocar la fallida d'aquest per algun element i produir la necessitat de recórrer a un manteniment correctiu, per tant així s'evitarien reparacions d'emergència. La planificació millora la productivitat fins en un 25%, redueix els costos de manteniment fins en un 30 % i allarga la vida de la maquinària fins en un 50%.

11.2.1. Programa de manteniment preventiu.

El primer pas a realitzar en un programa de manteniment preventiu es l'**anàlisi de riscos**, un diagrama de fluxos del sistema, un "**anàlisi de mode de fallides i errades**" (AMFE) de qualitat, de disseny i de màquina i un **quadre de control del sistema**. En aquests documents s'analitzen els possibles errors que poden sorgir, les causes i les conseqüències.

S'ha de comprendre que no poden existir plans que previnguin totalment les causes que provoquin avaries en els equips, ja que d'aquesta manera el cost del manteniment seria desorbitat, en termes de recursos humans, financers, logístics, etc. Per tal de complir aquest criteri i ajustar-se al màxim a la relació de la prevenció de fallades i el cost dels plans de manteniment, en tots els documents anteriors, s'inclouen els límits amb els quals es realitza el disseny del manteniment.

Alhora de realitzar-los, s'estudia des de diferents perspectives les possibles conseqüències degudes a les avaries dels equip mitjançant un equip multidisciplinari de consulta de riscos, les quals són:

- Conseqüències ambientals, on la falla pugui afectar al medi ambient o a l'entorn de treball, considerant les disposicions legals que existeixen sobre aquest tema.
- Conseqüències de seguretat, on la falla pot afectar en major o menor mesura a la seguretat del personal de fàbrica.
- Conseqüències operacionals, on la falla produeix trastorns en la producció o en la qualitat que al final es tradueixen en pèrdues en els guanys.
- Conseqüències en els costos, són les pròpies de la reparació que la falla porta i que en ocasions poden ser d'extraordinària importància.

Tenint en consideració aquests aspectes, el procés que ha realitzar-se és un pla de manteniment preventiu que divideix el treball de manteniment d'acord a les funcions que es realitzin en cadascuna i la seva relació amb les altres per detectar equips d'alt risc o de suma importància.

Cada equip serà determinat de manera general classificant la gravetat de les conseqüències que es poguessin originar, essent quantificades amb les unitats de mesura corresponents. En aquest casos els AMFE utilitzen el sistema multiplicatiu d'Ocurrencia, Severitat i Detectabilitat. La realització d'aquest pla de manteniment preventiu reduirà les possibilitats de fallades dels equips de planta i reduint així l'aparició de conseqüències més severes. També proporcionarà

el cost aproximat de l'execució del manteniment, podent ajustar les accions a emprendre segons el pressupost de l'empresa.

11.3. Manteniment predictiu.

El manteniment predictiu dels diferents equips de la planta s'efectuarà d'acord amb els manuals de manteniment i seguretat que disposen els fabricants. A continuació s'indiquen les actuacions que s'han d'emprendre en el cas de fallada de cada equip:

11.3.1.-Manteniment de canonades.

Es realitzaran dues capes preliminars de pintura epoxi-fenòlica per evitar problemes de corrosió. La primera serà de 50 [μm] d'espessor i la segona entre 100-150 [μm]. Per finalitzar es realitzarà una última capa de pintura d'acabat de poliuretà d'entre 70-100[μm].

11.3.2.Manteniment de les vàlvules manuals.

Per tal d'aconseguir un correcte funcionament de les vàlvules, es prendran una sèrie de pautes i controls. Les tiges de les vàlvules es lubricaran periòdicament, es comprovarà que les vàlvules es troben perfectament estanques i que no presenten cap tipus de pèrdua, totes les vàlvules seran sotmeses a varies inspeccions verificades pel supervisor i el cos de la vàlvula serà comprovat periòdicament i sotmès a proves hidrostàtiques.

11.3.3.Manteniment de les vàlvules automàtiques.

Posat que són equips imprescindibles, es farà un control per torn de la completa estanquitat de les vàlvules tant d'entrada com de sortida de l'RTO, ja que una fallada a alguna d'aquestes vàlvules suposaria una fallada crítica del sistema ja que deixaria de funcionar perdent molta eficiència en el procés.

11.3.4.Manteniment dels elements de control.

Es desconnectaran de la font d'alimentació de l'equip que s'hagi de reparar en qüestió i s'extraurà de l'equip en el que actuava i s'eliminarà l'acumulació de residus mediambientals en els equips per la pèrdua d'estanquitat.

11.3.5.Manteniment de equips principals.

Posat que són equips delicats, es faran inspeccions mensuals de les parts més crítiques dels equips:

- Revisió de la ceràmica del RTO en busca de possibles esquerdes a tot el sistema ceràmic.
- Revisió del sistema de turbina de l'interior del ventilador.
- Revisió de possibles fuites sistema de la xemeneia.

12. SEGURETAT INDUSTRIAL

L'objectiu de la seguretat industrial és la limitacions de riscos i la prevenció d'aquests, així com també la protecció contra accidents que puguin produir perjudicis a les persones, fauna, flora, béns, al propi medi ambient, derivats de l'activitat industrial, manteniment i funcionament de les instal·lacions o equips i del consum, producció, emmagatzematge o rebuig dels productes industrials.

Tenen una gran importància les activitats de prevenció i protecció, que a part de tenir la finalitat de limitar les causes d'origen dels riscos, han d'establir els controls que permetin detectar o tractar d'evitar totes aquelles circumstàncies que puguin donar l'aparició d'un possible risc.

Per tant, es tindran en compte com a riscos relacionats amb la seguretat industrial, les activitats que puguin produir lesions i danys a persones, fauna, bens, flora, medi ambient i sobretot els incendis, explosions i altres fets de produir intoxicacions, cremades, enverinament o asfixia, electrocució, riscos de contaminació, pertorbacions acústiques o electromagnètiques i radiació o qualsevol altre activitat que s'ha de complir segons la norma internacional aplicable sobre seguretat industrial. Per tant, serà de gran importància centrar-se en la normativa de prevenció de riscos laborals, constituïda per la present Llei 31/1995, les seves disposicions de desenvolupament o complementaries, juntament amb altres normes, legals o convencionals que tinguin mesures preventives en l'àmbit laboral. A continuació es mencionaran les obligacions que s'aplicaran en la instal·lació només on es donin les característiques del lloc o de l'activitat, les circumstàncies o qualsevol risc.

12.1. Espais de treball o zones perilloses.

Segons el R.D. 486/1997, les dimensions dels llocs de treball hauran de permetre que els treballadors realitzin la seva feina sense riscos per la seva seguretat i salut, i en condicions ergonòmiques acceptables, de tal manera que les dimensions mínimes seran de 10 metres cúbics no ocupats per treballador. Els accessoris, tals que vàlvules i aparells a manipular hauran d'estar col·locats de la manera més còmoda per a la seva manipulació.

12.2. Vies de circulació.

Segons el R.D. 486/1997, les vies de circulació dintre del lloc de treball, tant les de l'interior com les de l'exterior, incloent passadissos, portes, escales i rampes, haurien de poder utilitzar-se tal com s'ha previst el seu ús, d'una manera fàcil i amb total seguretat pel personal que treballa al seu voltant. Per tant, el número, situació, dimensions i condicions constructives

d'aquestes vies de persones o de materials hauran d'adequar-se al número potencial d'usuaris i les característiques del lloc i l'activitat en específic que es duu a terme.

Tal com menciona el Reial Decret mencionat anteriorment, que estableix les disposicions mínimes de seguretat, l'amplada mínima de les portes exteriors ha de ser de 80 centímetres i l'amplada dels passadissos d'1 metre i sempre que sigui necessari garantir la seguretat, el traçat de les vies haurà d'anar clarament senyalitzat, igual que les portes transparents.

12.3. Senyalització.

Segons el R.D. 486/1997, el traçat de les vies haurà d'anar clarament senyalitzat, igual que les portes transparents, les zones amb risc de caiguda a diferent nivell, les sortides d'evacuació, els dispositius contra incendis no automàtics i el material i locals de primers auxilis. Totes aquestes senyalitzacions hauran de complir amb l'establert pel Reial Decret 485/1997:

- Vies: senyalitzat mitjançant franges continues d'un color molt visible.
- Risc de caigudes: senyalitzat mitjançant els panells corresponents o un color de seguretat .
- Equips de protecció contra incendis: hauran de ser de color vermell.

El color mencionat són franges alternes grogues i negres amb una inclinació aproximada de 45º i de dimensions similars d'acord amb la *Figura 12.3.1.* apartat f). Els panells de senyalització, tal com es pot veure en la *Figura 12.3.1.*, poden ser d'advertència (a.), de prohibició (b.), d'obligació (c.), de salvament o ajuda (e.) o relatius als equips de lluita contra incendis (d.).

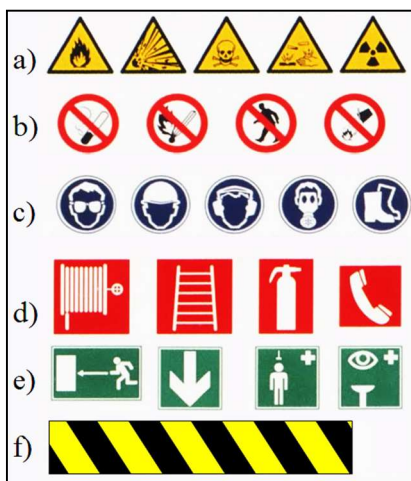


Figura 12.3.1. Diferents tipus de senyals.

12.4. Rampes, escales fixes i de servei.

Segons el R.D. 486/1997, els materials dels paviments de les escales i plataformes de treball seran de materials no lliscants o disposaran d'elements antilliscants. Si les escales o les plataformes de treball són de paviments perforats, l'obertura màxima dels intersticis serà de 8 mil·límetres. Tant les escales d'accés com les plataformes de treball seran dissenyades complint també amb les Normes OSHA referents a seguretat i salut laboral.

Les escales tindran una amplada mínima d'1 metre, excepte en les de servei, l'amplada de les quals serà de 55 centímetres i els esglaons d'aquestes tindran la mateixa amplada. Les escales de caragol estan prohibides a no ser que siguin de servei. Els esglaons de les escales que no siguin de servei tindran una petjada entre 23 i 36 centímetres i una contrapetja d'entre 13 i 20 centímetres i no serà més petita a la mitat de l'amplada d'aquesta.

12.5. Escales fixes.

Segons el R.D. 486/1997, l'amplada mínima per les escales fixes serà de 40 centímetres, la distància màxima entre esglaons serà de 30 centímetres, la distància mínima entre el front dels esglaons i les parets més pròximes al costat d'ascens serà de 75 centímetres, la distància mínima entre la part posterior dels esglaons i l'objecte fixe més pròxim serà de 16 centímetres. Hi haurà un espai llibre de 40 centímetres a cada costat de l'eix de l'escala si no està equipada amb gàbies o altres dispositius semblants. Quan el pas del tram final d'una escala fixa fins a la superfície o nivell que es vulgui accedir suposi un risc de caiguda per falta de suports, la barana o lateral de l'escala haurà de prolongar-se 1 metre per damunt de l'últim esglaó. A més a més, si tenen una altura superior als 4 metres, disposaran a partir d'aquesta altura obligatòriament de una protecció circumdant.

12.6. Sòls, obertures, desnivells i baranes.

Segons el R.D. 486/1997, els sòls del lloc de treball hauran de ser fixos, estables i no lliscants, sense irregularitats ni pendents perilloses. Les obertures i desnivells que puguin suposar una situació de risc de caiguda per els treballadors, hauran d'anar sempre protegides mitjançant baranes o altres sistemes de seguretat que poden disposar de parts mòbils quan sigui necessari disposar d'accés a la obertura. Però si l'altura de caiguda a un nivell inferior és menor que 2 metres, aquesta protecció no serà necessària.

D'altre banda, sempre serà necessari la protecció pels costats oberts de les escales de més de 60 centímetres d'altura. Els costats tancats tindran un passaman, a una altura mínima de 90

centímetres, si l'amplada de l'escalera es major de 1.2 metres, i si és menor però ambdós costats són tancats, hi ha d'haver un passamà a un dels dos costats. Els materials de les baranes seran de materials rígids, tindran una altura mínima de 90 centímetres i disposaran d'una protecció que impedeixi el pas per sota d'aquestes o caiguda d'objectes sobre persones.

12.7. Condicions de protecció contra incendis.

Segons el Reial Decret 486/1997, els llocs de treball hauran d'ajustar-se al disposat en la normativa que resulti d'aplicació sobre condicions de protecció contra incendis.

S'aplicarà la Instrucció Complementària MI BT 026 del Reglament Electrotècnic per Baixa Tensió, referent a les prescripcions particulars per les instal·lacions de locals amb risc d'incendi o explosió. Instrucció la qual ha tingut en compte també les directives 76/117/CEE, 79/196/CEE i 84/47/CEE [ref 44]. Dintre de la Instrucció, segons el punt número 1 de l'Annex 1, la instal·lació dissenyada es troba en el Camp d'Aplicació, ja que fa referència a aquells emplaçaments amb risc d'incendi o explosió on es fabriqui, processis, tracti o utilitzi substàncies sòlides, líquides o gasoses susceptibles d'inflamar-se o de causar explosió. Dintre del punt número 3 de l'Annex 1 es fa referència a la classificació d'emplaçaments en diferents classes (classe I, II i III) segons les substàncies presents seguint la norma UNE 20.32286. La instal·lació dissenyada es troba dintre de la classe del tipus 1, ja que pertany a aquells emplaçaments en el que hi ha o pot haver-hi gasos o vapors en quantitat suficient per produir atmosferes inflamables o explosives. Aquestes classes es classifiquen, segons la norma UNE 20.322-86, en diferents zones (zona 0,1 i 2). La instal·lació es troba dintre de la zona 2, ja que aquesta és aquella on una atmosfera de gas explosiva no es preveu pot estar present en funcionament normal. Aquest apartat correspon al punt 3.1.3. de l'Annex 1 de la instrucció esmentada.

S'aplicarà el Reglament d'Aparells a Pressió aprovat pel Real Decret 1244/1979 i modificat per l'actual Real Decret 2060/2008, mitjançant el qual s'aprova un nou reglament pel que es estableix els requisits per la instal·lació, posada en marxa, inspeccions periòdiques, reparacions i modificacions dels equips a pressió, amb la pressió màxima admissible superior a 0.5 [bar]. Dintre del Capítol II (Instal·lació i posada en marxa) del Reglament, el projecte es troba afectat per l'Article 4 i 5 pel que fa la instal·lació i la posada en marxa. Es tindrà en compte el Capítol III per inspeccions periòdiques, reparacions i modificacions.

A part de les disposicions especificades en les normes anteriors, aquests llocs hauran d'estar equipats amb els dispositius adequats per combatre els incendis, i si fos necessari, amb

detectors contra incendis i sistema d'alarma. Els dispositius no automàtics contra incendis hauran de ser de fàcil accés i manipulació. Aquests hauran de ser senyalitzats segons exposa el Real Decret 485/1997 tal com s'explica en l'apartat 12.3.

12.8. Soroll.

S'aplicarà el Real Decret 286/2006, de 10 de març, sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors contra riscos relacionats amb l'exposició al soroll. S'intentarà reduir al nivell més baix possible o eliminar en el seu origen tots aquells riscos derivats de la exposició al soroll, basant-se en els principis generals de prevenció establerts en l'article 15 de la Llei 31/1995, de 8 de novembre.

Els valors límit d'exposició són de 87 [dB] i pics de 140 [dB]. Al aplicar-se aquests valors en la determinació real del treballador al soroll, es tindrà en compte l'atenuació deguda a la protecció auditiva individual utilitzada pels treballadors. Per tant, conforme amb el Reial Decret 773/1997, al no haver altres medis de prevenir els riscos deguts a la exposició de soroll, es posarà a disposició dels treballadors proteccions auditives individuals apropiades i ajustades de manera correcta.

12.9. Instal·lació elèctrica.

S'aplicarà la Instrucció Complementària MI BT 026 del Reglament Electrotècnic per Baixa Tensió, referent a les prescripcions particulars per les instal·lacions de locals amb risc d'incendi o explosió, i el Reial Decret 614/2001, sobre les disposicions mínimes per la protecció de la salut i seguretat dels treballadors davant al risc elèctric.

A part de les disposicions de les normatives esmentades, la instal·lació elèctrica i els dispositius de protecció hauran de tenir en compte la tensió, els factors externs condicionants i la competència de les persones que tinguin accés a la instal·lació. Els treballadors hauran d'anar degudament protegits contra els riscos d'accidents causats per contacte directe o indirecte .

12.10. Il·luminació.

Segons el Reial Decret 486/1997, la il·luminació de cada zona o part d'un lloc de treball haurà d'adaptar-se a les característiques de l'activitat que es s'efectua en aquesta tenint en compte els riscos per la seguretat i salut dels treballadors dependents de les condicions de visibilitat i les exigències visuals de les tasques desenvolupades.

Sempre que sigui possible, els llocs de treball tindran una il·luminació natural, que haurà de complementar-se amb una il·luminació artificial quan no es garanteixi les condicions de

visibilitat adequades. Els nivells mínims d'il·luminació venen donats pel Reial Decret mencionat segons l'exigència visual de cada activitat.

12.11. Condicions ambientals.

Segons el Reial Decret 486/1997, l'exposició a les condicions ambientals dels llocs de treball no ha de suposar un risc per la seguretat i salut dels treballadors. Sempre que sigui possible, les condicions de treball no han de suposar una font d'incomoditat o molèstia. S'hauran d'evitar temperatures i humitats extremes, olors desagradables i sobretot la radiació solar. En els llocs de treball a l'aire lliure o llocs que no poden estar tancats, s'hauran de prendre mesures perquè els treballadors puguin protegir-se, sempre que sigui possible, de les inclemències del temps.

12.12. Serveis higiènics i locals de descans.

Tal com implica el Reial Decret 486/1997, els llocs de treball disposaran d'aigua potable en quantitat suficient i de fàcil accés. S'evitarà tota circumstància que pugui contaminar l'aigua potable i totes les fonts d'aigua s'indicarà si aquesta és potable o no. Els llocs de feina disposaran de vestuaris quan els treballadors necessitin portar roba especial i aquests estaran dotats de seients i armaris o guixetes individuals amb la capacitat adequada. Els llocs de treball disposaran, en les proximitats dels llocs de treball i dels vestuaris, zones de bany amb miralls, lavabos amb aigua corrent, sabó i tovalloles individuals o altres sistemes d'assecat. A més a més, quan es tracti de treballar amb productes contaminants o molts bruts, es subministraran els mitjans especials de neteja que siguin necessaris.

En els treballs a l'aire lliure, quan la seguretat dels treballadors ho exigeixi, en particular en raó del tipus d'activitat o de número de treballadors, aquests disposaran d'un local de descans de fàcil accés.

12.13. Càlcul del sistema d'enllumenament.

El sistema d'enllumenament del projecte, que consta d'un conjunt de lluminàries instal·lades sobre un pedestal, s'ha dissenyat tenint en compte els requisits del Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió i de la Guia Tècnica per l'avaluació i prevenció dels riscos relatius a la utilització dels llocs de treball, aprovada per el Real Decret 486/1997 del 14 d'abril, el qual estableix les disposicions mínimes de seguretat en els llocs de treball.

S'han realitzat càlculs en els que s'estima la disposició de lluminàries i el nombre necessari per la superfície a il·luminar. Aquests càlculs es troben desglossats en l'Annex 1, apartat 6.1.

Per tal de que les lluminàries rendeixin de manera segura i òptima, els materials dels suports i armadures que composin aquestes hauran de ser resistents a les condicions medi ambientals a les que s'exposaran com temperatures entre 0 i 40[°C], ambient salí degut a la ubicació propera al mar i humitat relatives de fins al 80%. També s'ha de tindre en compte el possible ambient explosiu degut a accidents per inflamació. Per tant, les lluminàries disposaran de tubs antiexplosius i hauran de generar poca calor.

Per realitzar els càlculs del disseny corresponent, s'ha tingut en compte el nivell d'il·luminació requerit, el tipus de il·luminària, l'àrea a il·luminar, tipus de làmpada, tipus de muntatge

Les làmpades seran de tipus fluorescents ja que generen poca calor 80% menys de calor respecte les incandescentes per exemple (tot i que estigui prohibit el seu ús) i d'aquesta manera s'assegura una major seguretat ja que es redueix el risc d'inflamació per contacte entre la làmpada i la substància volàtil. També s'inspeccionarà l'estat dels seus suports per comprovar l'estat de corrosió o oxidació.

Es comptarà amb una tensió de 220 volts, una freqüència de 50 Hz i, tal com especifica la Guia Tècnica per l'avaluació i prevenció dels riscos relatius a la utilització dels llocs de treball, el nivell d'il·luminació serà de 200 [lux] (lumen per metre quadrat). Donades aquestes condicions, la potència de les làmpades serà de 40 [watts] i els càlculs per assegurar la correcta il·luminació, tant en la zona d'equips com accessos a l'àrea de procés, venen donats en l'Annex 1, apartat 5. Els càlculs estableixen un número total de lluminàries de 11 repartides en la superfície total de l'àrea de procés de 84 metres quadrats.

13. ESTUDI ECONÒMIC

El present estudi correspon a la Estimació de Inversió del Projecte “Disseny d’una planta d’oxidació tèrmica regenerativa de COV amb capacitat de 69,300 [Nm³/h], que inclou la instal·lació d’un Oxidador tèrmic regeneratiu, (OTR-100), un ventilador (V-211), una xemeneia per a la sortida de gasos així com tots els serveis auxiliars que es necessiten.

La documentació que s’ha utilitzat en aquesta estimació es:

- Càlculs extrets dels documents de la EPA (ref.01d)
- Despatx d’arquitectura RADM.
- ITEC “Institut Tecnològic de la Construcció de Catalunya”.

13.1. Scope dels treballs a realitzar.

Tots els costos es presenten en euros (€) del tercer trimestre de 2017, on el canvi de moneda tindrà un valor de 1\$= 0.84747558 €, ja que l’EPA treballa amb dòlars americans (\$).

13.1.1.Enginyeria, compres i supervisió.

S’ha valorat l’execució de l’enginyeria de detall, així com la gestió de les compres i la supervisió de l’obra. En aquest apartat s’ha valorat el visat del projecte final, la direcció facultativa i l’estudi de seguretat.

13.1.2.Obra civil i estructures metàl·liques.

Per la valoració de la inversió necessària s’han tingut en compte que, es realitzaran les obres civils necessàries per la implantació dels nous equips a la zona assignada, com poden ser el moviment de terres, replantejaments d’aquesta, compactació del terreny, fonamentacions, paviment, etc.

13.1.3.Equips i instrumentació.

Aquesta secció tindrà en compte tota la informació necessària per calcular el valor per execució del projecte (PEM) que pertany als equips, canonades i instrumentació. El PEM també inclou el cost de l’equipament (EC), impostos càrrecs per transport, muntatge i mà d’obra en funció de la dificultat operativa dels equips. El procediment de càlcul exemple que amb el que s’han donat alguns dels valor finals del cost dels equips, es poden trobar a l’annex IV: Pressupost del projecte.

13.1.4.Sistemes elèctrics i Gas natural.

L’equip suposarà un augment considerable per a un possible canvi de la instal·lació de gas natural general de la planta, però no es contempla en aquest projecte.

Tots els equips seran exposats a terra i connectats a la malla de terra existent i a la zona assignada d'implantació s'ampliarà la instal·lació d'enllumenament.

Es considerarà a banda de tot el sistema de control, cablejat elèctric, monitorització i control del procés, l'adquisició del sistema SAD.

13.2. Suposició del valor del Pressupost d'execució material.

A l'apartat 2 de l'annex III Pressupost del projecte, es troba el càlcul del valor del pressupost d'execució material per al projecte "Disseny de una planta de tractament de COVs" en tot un seguit de taules, on a cada apartat, tindrà una taula d'unitats de parts d'equips i sistemes, juntament amb un quadre de preus descompostos.

L'apartat es trobarà subdividit en:

- Condicionament del terreny i obra civil.
- Cost i instal·lació d'equips.
- Instal·lació i muntatge del sistema de canonades.
- Instal·lació i muntatge del sistema elèctric.

Alguns dels costos presentats provenen de preus d'ofertes per algunes empreses contractades o mitjançant ofertes no formals d'empreses relacionades amb el sector dels RTO. La resta de costos s'han establert de forma aproximada, ja sigui mitjançant l'experiència pròpia dels integrants de l'equip gràcies a les hores treballades tant de pràctiques com fora de l'àmbit universitari.

En definitiva, el projecte requereix d'un pressupost d'execució material de 926,965.26 €. Atès que el projecte no té límit de pressupost, s'ha proposat una mesura el més econòmica possible per tal d'evitar el tancament de la planta en qüestió.

13.3. Pressupost total del projecte.

El pressupost d'execució material (PEM) serà de:

PEM	
UNITAT D'OBRA	PREU (€)
Condicionament del terreny i obra civil	46,574.00
Cost i instal·lació d'equips	589,033.97
Instal·lació i muntatge del sistema de canonades	105,357.00
Instal·lació i muntatge del sistema elèctric	186,000.00
TOTAL	926,965.26 €

Per la realització del projecte es calcularà el pressupost de referència on s'haurà de sumar al PEM el 13% d'aquest per despeses generals (DG) del projecte, més un 6% de benefici industrial oficial (BI) per a totes les administracions. Un cop calculat el PR s'haurà de sumar el 21 % del Impost de Valor Afegit (IVA).

Taula 13.5.1.1.1. Taula de valors per PR i IVA

PEM	926,965.26
Despeses generals (0.13*PEM)	120,505.48
Benefici industrial (0.06*PEM)	55,617.92
PR=(1+0.19)*PEM	1,103,088.66
Impost de Valor Afegit (IVA=0.21*PR)	231,648.62
PRESSUPOST DE CONTRACTE	1,334,737.28€

El Pressupost total del projecte “*Disseny d’una planta de tractament de COVs*” ascendeix a la quantitat de:

UN MILIÓ TRES-CENTS TRENTA-QUATRE MIL SET-CENTS TRENTA-SET euros amb VINT-I-VUIT cèntims
(1,334,737.28€).

13.4. Anàlisi de rendibilitat del projecte.

Donat que no és un projecte amb una finalitat de millora d’un procés, no tenim una inversió inicial fixada ni un marge comercial requerit, per tant es determinarà la necessitat d’implantació d’aquest mitjançant els requeriments legals i ambientals que l’envolten. Així evitant tota la problemàtica legal i de sancions que s’obtidria en cas de no complir amb les lleis establertes i esmentades a l’*Apartat 10.4.* d’aquest projecte.

Així doncs, a continuació es presenten els aspectes econòmics més rellevants per a la determinació dels fluxos de caixa i dels ratis de rendibilitat dels dos escenaris possibles que s’han tingut en compte.

- **Tassa d’actuació k del 12 %.** Tassa de retorn requerida per els inversors del projecte.
- **Període d’estudi de 10 anys.** Com la majoria de projectes a la actualitat de la indústria química, s’estudia la seva rendibilitat a llarg termini considerant la inestabilitat econòmica dels últims anys.
- **Amortitzacions i previsions lineals amb la vida útil mitja dels equips de 10 anys.** Els marges de vida útil venen definits i marcats pel RD 1777/2004, de 30 de juliol, per el que s’aprova l’impost de societats.

- **Multes i sancions.** Les multes i sancions a les que estaria exposat el procés s'expliquen a l'*Apartat 10.4.*, juntament amb la graduació d'aquestes.
- **Valor residual de 0€.**
- **El cost de manteniment correctiu i preventiu, serà de un 2% i de un 3% respectivament del valor final de pressupost de projecte.** Tenint en compte la normativa de la IATF sobre manteniment preventiu de la planta, el preu del manteniment total serà de 66,351.00€.
- **El cost de pressupost destinat a millora continua** no s'estima donat que les possibles millores podrien superar el pressupost destinat.

13.4.1. Cas 1 Desenvolupament industrial sense RTO.

Principalment en aquest cas, s'explicarà la situació a la que s'enfronta l'empresa si no s'apliqués un sistema per a la reducció de COVs, i es seguís emeten tots els contaminants a l'atmosfera. No es tindran en compte ni les repercussions jurídiques sobre les persones físiques que en un cas real patirien, igual que tampoc es tindran en compte les repercussions sobre la imatge empresarial respecte tots els productes a nivell mundial. A continuació es fa un petit resum sobre les lleis explicades a l'*apartat 5* aplicades a un cas hipotètic i fictici.

Es contempla l'opció de no utilitzar cap sistema per al control dels COVs del procés, i per tant, l'administració imposaria tot un seguit de multes i sancions fins arribar al tancament final de la planta. A la *Figura 13.4.1.1.* es presenta un gràfic evolutiu anual de les pèrdues tant per tancament de la línia de procés com per les multes imposades per contaminar fins arribar al tancament d'aquesta.

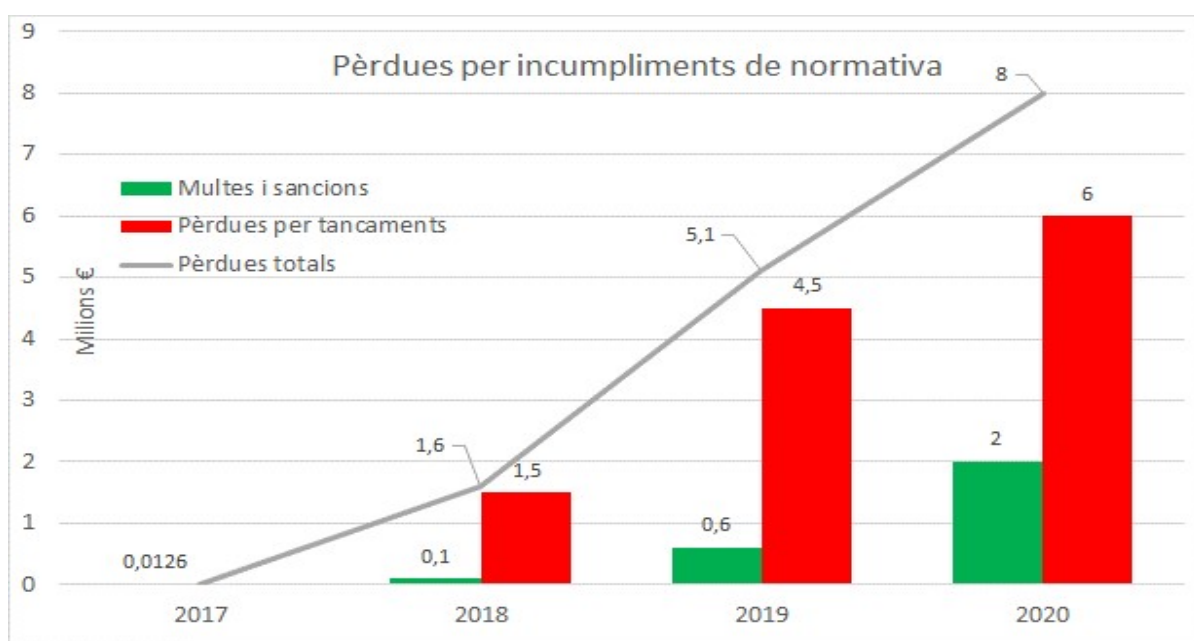


Figura 13.4.1.1. Evolució de multes i sancions imposades a causa de les emissions sense control.

13.4.1.1 Historial de multes i sancions per any.

ANY 2017:

Multes trimestrals de 200 euros a causa de indicis de emissions fora de límit. S'estudia el cas de possibilitat de multa lleu si no es reverteix la situació. 1a. multa lleu a causa de l'emissió reiterada de contaminants a l'atmosfera de 12,600 € amb possibilitat de reducció al 40% mitjançant l'acceptació de la multa.

ANY 2018:

Posat que s'han seguit trobant problemes amb les emissions de contaminants, es produeix una sanció greu a la planta de 100,000 €, amb la inhabilitació del procés per un període de 3 mesos, amb les pèrdues que això comporta per l'intent de regulació d'aquesta problemàtica.

ANY 2019:

Donat que mitjançant un seguit de proves han seguit donant valors per fora dels límits de emissions durant el primer trimestre, per tant, es proposa una multa greu de 600,000 € amb el tancament de la línia de procés des de el 2n. trimestre fins al primer de l'any següent, amb les seves respectives pèrdues per tancament de la planta.

ANY 2020:

En el cas de que després d'1 any de tancament de la línia de procés seguís produint legítimament contaminació a l'atmosfera, s'aplicarà la màxima multa al grup empresarial, amb un cost de 2,000,000 € i el tancament definitiu de tota la planta.

13.4.2. Cas 2. Desenvolupament industrial amb RTO.

Aquest cas considera la implementació des d'un inici del projecte "títol de projecte" del sistema RTO amb els pressupostos calculats a l'*Apartat 13.5*. Per realitzar el compte de resultats s'ha considerat una vida útil de la planta de 10 anys, per tant es considera una amortització anual fins a l'any de finalització, a l'any 2028.

A la taula següent es presenta el compte de resultats i l'aplicació del VAN.

Anys	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028
% Capacitat funcionament.	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ingressos/any	0	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000	6.000.000
Costos variables/a	0,0	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485	4.685.485
Costos fixes/a	0	203.351	203.351	203.351	203.351	203.351	203.351	203.351	203.351	203.351	203.351	203.351
Amortització	0	132.702	132.702	132.702	132.702	132.702	132.702	132.702	132.702	132.702	132.702	0
Benefici brut	0	978.461	978.461	978.461	978.461	978.461	978.461	978.461	978.461	978.461	978.461	1.111.164
Impostos	0	342.461	342.461	342.461	342.461	342.461	342.461	342.461	342.461	342.461	342.461	388.907
Cash d'operacions	0	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	722.256
Capital directe	-1.327.023											
Inventari	-663.512											
Cash Flow	-1.990.535	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	768.702	722.256
Cash Flow acumulat	-1.990.535	-1.221.833	-453.131	315.572	1.084.274	1.852.976	2.621.678	3.390.380	4.159.083	4.927.785	5.696.487	6.418.743
C-Flow (-2%)	-1.990.535	753.630	738.853	724.365	710.162	696.237	682.586	669.202	656.080	643.216	630.604	580.884
C-Flow (5%)	-1.990.535	732.097	697.236	664.034	632.413	602.298	573.617	546.302	520.288	495.512	471.916	422.288
C-Flow (10%)	-1.990.535	698.820	761.091	767.934	525.034	477.304	433.912	394.466	358.605	326.005	296.368	253.146
C-Flow (15%)	-1.990.535	668.437	751.787	766.117	439.508	382.181	332.331	288.984	251.290	218.513	190.011	155.244
Interès k%	1,0%	2,0%	5,0%	10,0%	11%	12%	13%	14%	15,0%	20,0%	25,0%	40,0%
VAN @i%	5.878.666 €	5.387.531 €	4.159.493 €	2.714.503 €	2.491.613 €	2.286.103 €	2.096.390 €	1.921.055 €	1.758.824 €	1.107.862 €	652.928 €	-83.844€

El primer any és el d'inversió del projecte, és a dir, l'any en què s'implementen les instal·lacions i per tant es suposa que aquest any la instal·lació només funcionarà l'últim terç de l'any. En aquest 1r càlcul de resultats s'inclou la variació d'inventari, que serveix per saber la quantitat de capital que es comprarà a banda per el manteniment de l'equip i recanvis, que anirà directament a magatzem. Per tal de fer aquests càlculs s'ha tingut en compte que des de l'any previ del 1r any d'operació.

13.4.2.1 Període de recuperació

El període de recuperació, resulta útil ja que permet determinar el temps en el que recuperes la inversió inicial realitzada com a inversió del projecte. Aquest fet acostuma a ser determinant en el moment d'escollir si realitzar una inversió o no. Pel que fa al cas d'estudi, cal fixar-se en la fila de "cash flow" acumulat de la taula anterior. Un cop aquest valor es torna positiu, vol dir que ja s'ha recuperat la inversió inicial del projecte.

Per aquest cas la recuperació de la inversió inicial es realitza al 4t. any, i com que es tracta d'una funció molt important de la planta, ja que la reacció és d'on s'obté el producte final, per tant es considera que es tracta d'un període acceptable per una inversió així de rellevant.

13.4.2.2 VAN

El mètode d'anàlisi VAN consisteix en determinar quins són els beneficis segons una taxa d'interès aplicada per a cada any. Es tracta d'un mètode dinàmic ja que considera l'actualització del valor dels diners, i per tant és el mètode més efectiu.

Aquesta taxa ha de ser fixada, i per aquest 2016 l'empresa ha fixat la taxa d'actuació en un 12%, per aquest motiu a la taula s'ha marcat en verd el valor obtingut pel VAN i la taxa anomenada anteriorment fixada. Aquest VAN és de 2,286,113 €.

13.4.2.3 TIR

El mètode d'anàlisi TIR, consisteix en determinar quina taxa fa que el VAN tingui un valor de 0. Per tant, marca el marge de beneficis que té l'empresa respecte al projecte d'estudi, ja que la diferència entre el valor obtingut amb la taxa fixada al 12% i l'obtinguda, és el marge de beneficis que té l'empresa al realitzar aquesta inversió. Pel projecte estudiat s'obté una TIR pròxim al 37.40%, cosa que si es compara amb la taxa fixada, que és del 12%, denota que hi ha un ample marge de beneficis. D'aquí s'obté que el VAN sigui tant gran i suposa que aquest fet serà beneficiós per l'empresa i podrà realitzar el projecte.

14. CONCLUSIONS FINAL DE TREBALL FINAL DE GRAU

Com a principal necessitat, del treball de "*Disseny del tractament de gasos de final de línia d'un procés de revestiment amb pintura*" era evitar les possibles emissions de compostos orgànics volàtils a l'atmosfera, per tant es considera com a assolida. No només els possibles contaminants que es generaven a les cambres de revestiment, sinó la possibilitat d'emetre contaminants formats a dins del sistema mitjançant la combustió dels productes que entren a l'RTO.

S'ha decidit que el sistema d'oxidació tèrmica regenerativa que s'ha dissenyat, s'haurà d'implementar a tots aquells processos que estiguin formats per una línia de revestiment amb pintura que produeixin una problemàtica semblant a la estudiada.

Tot i que sabem que el sistema finalment presentat, està sobredimensionat, es podria aplicar un sistema de concentració de COVs al corrent d'entrada i per tant al calcular tot un altre vegada, mitjançant els processos que s'han utilitzat, s'aconseguiria finalment un sistema millor a l'actual en tots els àmbits possibles, tant per espai que ocupa com per manipulació i manteniment dels equips com les grans quantitats de costos de gas natural i electricitat que ara mateix s'utilitzen.

Finalment, pel que fa al càlcul sobre el cost de la instal·lació i l'estudi econòmic de la planta s'han aconseguit uns resultats prou satisfactoris, tenint en compte que es tracta d'una inversió necessària pel correcte funcionament de la planta i evitar el tancament d'aquesta per no complir la llei.

Els costos de les instal·lacions finalment seran de 1,334,737.28 €. Mentre pel que fa a l'estudi econòmic es recupera la inversió inicial al quart any, el VAN serà de 2,286,103 € amb una TIR de 37.40%. Amb aquests resultats es pot considerar que resulta beneficiós fer aquesta inversió per a l'empresa.

Universitat Rovira i Virgili de Tarragona

Arnau Cortés Ortega

Cosmin Panait

Joan Albert Duch Llames

Annex I

1.	SISTEMA DE CONDUCTES.....	2
1.1.	Components del sistema de conductes.	2
1.1.1.	Colzes.	2
1.1.2.	Tes.	2
1.1.3.	Reductors.	2
1.1.4.	Comportes.	2
1.1.5.	Juntes d'expansió.	3
1.2.	Procediment de disseny dimensional.....	4
1.2.1.	Dades generals de línia.	4
1.2.2.	Càlcul de densitat i caudal volumètric.....	4
1.2.3.	Selecció del material.	5
1.2.4.	Pressió nominal, P' [bar].	5
1.2.5.	Càlcul de diàmetre nominal, D_N' (proposat).	5
1.2.6.	Càlcul espessor mínim segons la normativa DIN, e_{min} [mm].....	6
1.2.7.	Espessor de seguretat, e_{ord} [mm].	7
1.2.8.	Selecció dels tubs normalitzats segons la normativa DIN.	8
1.2.9.	Càlcul de la velocitat amb tub normalitzat.	9
1.3.	Caiguda de pressió en el sistema de conductes.	10
1.4.	Aïllament del sistema de canonades.....	11
1.4.1.	Càlcul del gruix de l'aïllant.	11
1.5.	Disseny de l'estructura de suport de canonades.....	13
2.	DISSENY DEL VENTILADOR	15
2.1.	Tipus de ventiladors i components.....	15
2.2.	Soroll.	16
2.3.	Manteniment.....	17
2.4.	Càlcul de la potencia del ventilador.	17
3.	PLOMALL	19
3.1.	Dispersió de la ploma i model de qualitat de l'aire.	19
3.1.1.	Classes d'estabilitat atmosfèrica.	19
3.1.2.	Estimacions de dispersió.....	21
3.1.3.	Estimació de la dispersió de l'emissió mitjançant programa ALOHA.	23
4.	MEDI AMBIENT	30
4.1.1.	Cinètiques i equilibri tèrmic dels NO_x	30
5.	ENLLUMENAMENT.....	31

1. SISTEMA DE CONDUCTES

1.1. Components del sistema de conductes.

Tal com s'ha mencionat anteriorment, un sistema de conductes consisteix en conductes rectes, accessoris, dispositius de control de flux i suports. El conducte recte s'explica per si mateix i és fàcil de visualitzar. La categoria "accessoris", agrupa un rang de components que realitzen una o més de les següents funcions: canvia la direcció del corrent de gas conduït, modifica la velocitat del corrent, empalma amb altres conductes, facilita la connexió de dos o més components o permet l'expansió/contracció quan sorgeixen esforços tèrmics.

1.1.1. Colzes.

Els accessoris més comuns utilitzats són els colzes, els quals serveixen per canviar la direcció del corren gasós de gas, típicament en 30º, 45º, 60º o 90º, encara que poden dissenyar-se per altres angles. El radi a la línia central del colze determina la raó de flux a la que passa el canvi direccional. El radi a la línia central estàndard "*standard centerline radius*" (Rcl), és 1.5 vegades el diàmetre de la secció transversal del colze (Dc)

1.1.2. Tes.

Les Tes són utilitzades quan dos o més corrents de gas han de connectar-se. En les tes rectes, les corrents convergeixen amb un angle de 90º i en les tes angulars la connexió es troba normalment amb un angle de 30º, 45º o 60º. Les tes poden tenir una "tapa" (connexió) o dues, i poden tenir ja sigui una secció transversal recta o cònica, en un o en els dos extrems. Les creus també són utilitzades per connectar ramals de conductes.

1.1.3. Reductors.

Els reductors (també anomenats expansions o contraccions), es requereixen sempre que s'hagin d'unir conductes de diferents diàmetres. Els reductors són de disseny ja siguin concèntrics o excèntrics. En els reductors concèntrics, el diàmetre es redueix gradualment des de la secció transversal major a la més petita. En canvi, en els reductors excèntrics, el diàmetre disminueix completament en un dels costats de la connexió.

1.1.4. Comportes.

Per controlar les raons de flux volumètric a través de sistemes de ventilació, s'utilitzen comportes. Les comportes són normalment delineades d'acord amb el mecanisme de control del flux (d'un sol full o de múltiples fulls), classificació de pressió (baixa, moderada o alta) i mitjans de control (manual o automàtic) En les comportes d'un sol full, un plat circular és

subjectat a una vareta, un dels extrems del qual sobresurt fins fora del conducte. En els tipus més utilitzats de comportes d'un sol full, (tipus papallona), aquesta vareta és utilitzada per controlar el flux de gas, girant el plat de la comporta. Totalment tancada, la cara de la comporta es troba perpendicular a la direcció de flux de gas i totalment oberta, la cara d'aquesta es troba paral·lela a la direcció de flux de gas.

Amb les comportes de guillotina, un segon tipus, el flux és controlat lliscant el full de la comporta cap en dins o cap en fora del conducte. Les guillotines són a vegades utilitzades per controlar el flux de corrents d'aire amb sòlids suspesos, tal com en els transportadors neumàtics. Les comportes de múltiples fulls (de persiana), operen mitjançant el mateix principi, però en lloc d'utilitzar un sol full o plat per controlar el flux de gas, les comportes de múltiples fulls fan servir tauletes que obren i tanquen com persianes venecianes. [15] Les comportes de persiana són típicament utilitzades en conductes molt grans on la comporta d'un sol full seria molt difícil de moure.

Les comportes controlades manualment simplement tenen una maneta unida a la vareta de control, la qual és utilitzada per ajustar el flux de gas a mà. Si es necessita de control automàtic, s'utilitza un actuador neumàtic o electrònic. L'actuador rep un senyal neumàtic (aire pressuritzat) o elèctric des d'un regulador i la converteix a energia mecànica, la qual és utilitzada al mateix moment, per obrir / tancar la comporta via la vareta de la comporta. Una comporta actuada és analògica per una vàlvula de control automàtica. [16]. Per exemple, una comporta automàtica pot utilitzar-se per controlar la raó de flux d'aire de dilució a la càmera de combustió d'un incinerador. Aquesta raó de flux, a la vegada, dependria de la concentració de combustibles (v.g., percentatge del límit inferior d'explosivitat - % LEL), en la corrent de gas residual d'entrada. Si aquesta concentració es desvia d'una quantitat predeterminada ("set-point") s'envia un senyal des del dispositiu de mesurament via el reguladora, fins a la comporta automàtica, per augmentar/disminuir la raó de flux d'aire de dilució per mantenir el %LEL desitjat.

1.1.5. Juntes d'expansió.

S'instal·len juntes d'expansió, especialment en trams llargs de conductes metàl·lics per permetre al sistema de conductes expandir-se o contraure's en resposta a esforços tèrmics. Aquestes connexions són de varis dissenys. Un tipus, la junta d'expansió de manxes, consisteix d'una peça de metall flexible (v.g., acer inoxidable 304), que es solda a cada un dels extrems dels

conductes connectats. A mesura que la temperatura del conducte augmenta, les manxes es comprimeixen i a mesura que la temperatura disminueix, les manxes s'expandeixen.

Un altre tipus de junta molt comú utilitzada consisteix de dues brides entre les quals s'instal·la una secció de tela. Com la junta d'expansió de manxes, es comprimeix a mesura que la temperatura del conducte augmenta i viceversa. La temperatura dicta el tipus de tela utilitzada. Per exemple, es pot utilitzar tela de fibra aràmida i de fibra de vidre amb silicona per temperatures de fins a 260 [°C].

1.2. Procediment de disseny dimensional.

En aquest procediment es descriu el mètode de càlcul de canonades. Consta de dos parts ben diferenciades, en primer lloc es descriuen càlculs generals, comuns per a tots els fluids i en segon lloc es descriuen els càlculs i propietats específiques d'aquests. S'observa que el mètode de càlcul en alguns punts es diferents segons es consideri la normativa europea/espanyola (UNE) o l'americana (ANSI).

Per a qualsevol fluid a pressió, el mètode de càlcul general segueix el següent ordre: Fixar valors inicial de línia, càlcul de densitat i caudal volumètric, selecció del material, càlcul de pressió nominal, càlcul de diàmetre nominal, càlcul d'espessor mínim amb la tensió admissible del material, i selecció del tub normalitzat.

1.2.1. Dades generals de línia.

Taula 1.2.1.1 Dades general del fluid.

Variables	Valors
Tipologia de fluid	Gasos d'escapament
Pressió	1 bar
Temperatura	150 [°C]
Cabal màssic	38.59 [kg/s]

Les variables primàries per el disseny de la mida del sistema de conductes són longitud, tipologia de fluid, pressió, temperatura i cabal màssic.

1.2.2. Càlcul de densitat i caudal volumètric.

La densitat al ser una propietat pròpia del fluid es calcula individualment, però en aquest cas es considerarà constant ja que les variacions de concentracions son insignificants des del punt de vista de disseny.

El cabal volumètric [m³/h] s'obté mitjançant el balanç de matèria que es pot observar a l'apartat 4.3, i la densitat s'obté mitjançant la pagina web del NIST. (ref.07)

1.2.3. Selecció del material.

La selecció del material es realitza segons la temperatura de disseny del fluid, tenint en compte que la canonada mai deurà treballar a una força que superi el límit elàstic per damunt del valor màxim acceptable del material.

S'utilitzarà S235 ja que s'obté una resistència molt fiable per a les tipologies de canonades que el procés necessita. Per les demes canonades també es podran escollir els següents materials com el S275 i S355 si és necessari materials més resistents elàsticament.

Per a la canonada de gas natural s'utilitzaran canonades negres A53, ja que són les més indicades per a la conducció de fluids poc pesats i pressions moderades.

1.2.4. Pressió nominal, P' [bar].

La pressió nominal, P', és la pressió màxima d'aigua per la qual la canonada o accessori s'ha dissenyat. Per a cada valor de P', es deu tenir en compte un coeficient de seguretat en funció de les condicions de disseny.

La pressió nominal afecta als accessoris (brides principalment) a efectes de càlcul per al dimensionament de la canonada la pressió nominal no té ninguna aplicació, es únicament informatiu. A la *Figura 1.2.4.1* es donen els valors normalitzats segons la normativa DIN.

Pressió Nominal PN	Pressió màxima de disseny				Pressió de Prueba
	I Agua t ≤ 120°C Bridas y tubos	II Agua Vapor Saturado Gases t ≤ 300°C Bridas y tubos	III Vapor recalentado Gases peligrosos t ≤ 350°C – 425°C		
			Bridas	Tubos	
1	1	1	-	-	2
2,5	2,5	2	-	-	4
4	4	3,2	-	-	-
6	6	5	-	-	10
10	10	8	-	-	16
16	16	13	13	10	25
25	25	20	20	16	40
40	40	32	32	25	60
64	64	50	40	40	96
100	100	80	64	64	150

Figura 1.2.4.1 Valors PN segons normativa DIN.

Per a la canonada exemple s'obté una pressió màxima de disseny de 1 [bar], una pressió nominal de 1 bars i una pressió de prova de 2 [bar]

1.2.5. Càlcul de diàmetre nominal, D_N' (proposat).

A partir del cabal volumètric, es proposa un diàmetre nominal que asseguri la velocitat final del fluid per a que aquest estigui dins de les practiques habituals a l'enginyeria, com l'objectiu de controlar el soroll.

Les velocitats màximes de treball habitualment son de 40 [m/s] per tant el càlcul del diàmetre per no sobrepassar aquestes velocitats és:

$$D'_N = \sqrt{\frac{4 \cdot Qv}{\pi \cdot v}} \quad (1.2.5.1)$$

$$1.06 = \sqrt{\frac{4 \cdot 35.25}{\pi \cdot 40}} \quad (1.2.5.2)$$

On obtenim un valor de 1,06 [m].

1.2.6. Càlcul espessor mínim segons la normativa DIN, e_{\min} [mm].

El càlcul de l'espessor mínim (sense marges ni toleràncies, depèn del diàmetre, la pressió de disseny i la tensió admissible del material.

Segons l'apartat 6 de la UNE-EN 13480-3, Per $Do/Di \leq 1,7$:

$$e_{\min} = \frac{P_d \cdot D_o}{2 \cdot f \cdot z + P_d} \quad (1.2.6.1)$$

Per al DN de la canonada exemple obtenim un Do de 76.1 [mm].

$$2,39 [mm] = \frac{1 \cdot 1152}{2 \cdot 240 \cdot 1 + 1} \quad (1.2.6.2)$$

Com en aquest moments, el diàmetre interior (D_i) no és un valor conegut, es suposarà que aquesta regla es compleix, ja que és el més habitual, i per tant els càlculs següents es faran amb aquesta suposició. Un cop s'hagi seleccionat la canonada normalitzada corresponent a l'espessor mínim calculat, es verificarà aquesta comprovació amb el D_i de la suposada canonada. El Do' (diàmetre exterior normalitzat), es determina directament a partir del diàmetre nominal (D'_N).

El coeficient de unió (z), es pren com a 1 ja que no tindrem en compte les soldadures. El valor d'aquest coeficient de unió s'extrau de l'apartat 4.5 de la norma UNE-EN 13480-3 que es reproduïx a la *Figura 1.2.6.1*

4.5 Coeficiente de unión

El coeficiente de unión z se debe utilizar en el cálculo de los espesores de componentes que incluyan una o varias soldaduras a tope, que no sean circunferenciales, y no deben superar los valores siguientes:

- para equipos sujetos a ensayos destructivos y no destructivos que confirmen que toda serie de uniones no presenta imperfecciones importantes: 1;
- para equipos sujetos a ensayos aleatorios no destructivos: 0,85;
- para equipos no sujetos a ensayos no destructivos distintos de la inspección visual: 0,7.

Para el cálculo de la resistencia de conjuntos soldados a tope bajo condiciones de funcionamiento excepcionales o bajo condiciones de ensayo, no debe ser necesario tener en cuenta un coeficiente de unión.

Figura 1.2.6.1: Coeficients d'unió de soldadures.

La tensió de disseny (f). Calculat segons la norma UNE-EN 13480-3 Apartat 5 mitjançant la formula:

$$f = \min \left[\frac{ReHt}{1.5} \sigma \frac{Rp0.2t}{1.5}; \frac{Rm}{2.4} \right] \quad (1.2.6.3)$$

En aquest cas el valor mínim serà del límit de fluència amb un resultat de $f = 240$.

Els valors $ReHt$ (Límit elàstic), $Rp0.2t$ (Límit de fluència) y Rm (Resistència a la tracció) són propis del material. En aquest cas, el valor que es prendrà serà el límit elàstic del material essent 360 MPa. On s'ha utilitzat la referència 04 per obtenir el valor.

1.2.7. Espressor de seguretat, e_{ord} [mm].

Un cop trobat el valor de l'espessor mínim requerit sense marges ni toleràncies (e), es deuen afegir els marges i les toleràncies necessaris per trobar l'espessor de paret per el material, que es calcula mitjançant la *Equació 1.2.7.1*, també expressada a l'apartat 4.3 de la normativa UNE-EN 13480-3, sabent que es necessari:

- Un marge de corrosió fixat en 1mm.
- El valor absolut de la tolerància negativa pres de les normes del material o facilitat per el fabricant. Per exemple, si la tolerància de fabricació es de $+0.5/-1$ mm s'haurà de prendre $C1 = 1$ mm. Es considerarà per defecte de 1mm.
- Marge d'aprimament per el possible defecte de pèrdua de material durant el procés de fabricació. En el cas de les canonades rectes es de factor 0.

Si el valor de la tolerància $C1$ s'expressa en unitats de longitud:

$$e_{ord} \geq e + C_0 + C_1 + C_2 \quad (1.2.7.1)$$

$$e_{ord} \geq 2.6 + 1 + 1 + 0 \quad (1.2.7.2)$$

S'obté un espessor mínim de 4.6 mm.

Si el valor de la tolerància $C1$ s'expressa com a percentatge x de l'espessor de seguretat e_{ord} :

$$e_{ord} \geq \frac{(e+C_0+C_2)*100}{(100-x)} \quad (1.2.7.3)$$

Per tant, és el valor absolut de la tolerància negativa presa de la norma del material, expressat com un tant per cent de l'espessor nominal. Per al material utilitzat per la construcció de l'RTO aquest valor (x) serà del 12,5%.

En alguns casos s'ha de tenir en compte si la rugositat podria ser major que els marges de seguretat per tant el valor que es prendria com a e_{ord} seria el més gran. Per obtenir valors de rugositat(\mathcal{E}), veure *Figura 1.2.7.1*.

Clase de tubo	k en mm
Acero: - Sin indicaciones expresas	0,5
- Sin costura. Nuevo	0,03 ... 0,06
- Roscado. Nuevo	0,04 ... 0,1
- Galvanizado. Nuevo	0,1 ... 0,15
- Oxidado o con incrustaciones leves	0,2 ... 0,5
- Con incrustaciones	0,5 ... 2,0
Fundición:	
- Sin indicaciones expresas	1,5
- Nuevo	0,1 ... 0,15
- Oxidado o con incrustaciones leves	0,5 ... 1,5
- Con incrustaciones	1,5 ... 4
Cobre	0,002
Plástico	0,01
Hormigón	3,0

Figura 1.2.7.1: Referencias de rugositats dels materials en mm

A la Figura 1.2.7.2 es pot veure una representació gràfica de la distribució dels espessors en una secció paral·lela a la longitud de la canonada.

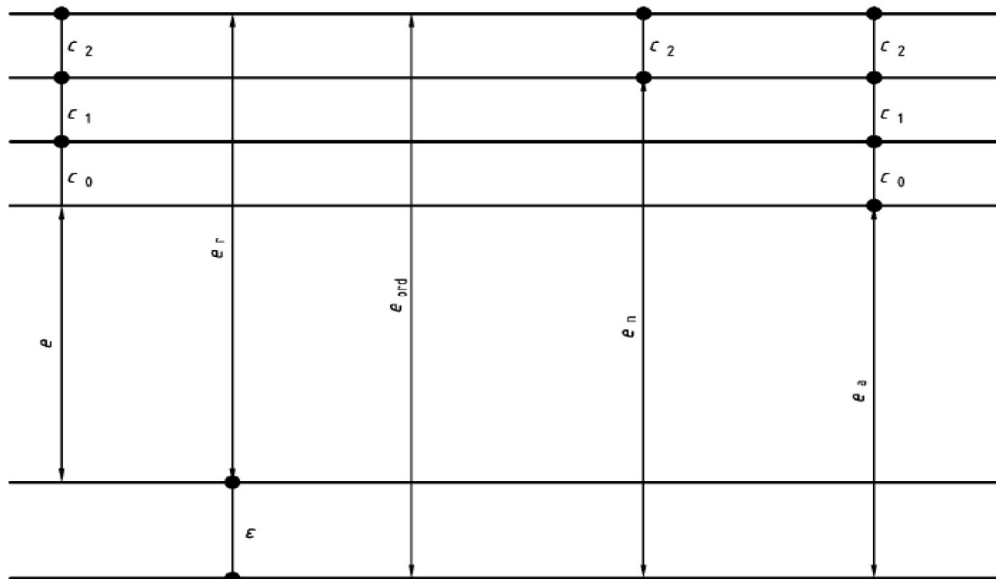


Figura 1.2.7.2: Esquema de secció longitudinal de distribució espessors a la canonada.

1.2.8. Selecció dels tubs normalitzats segons la normativa DIN.

La Figura 1.2.8.1. Indica l'espessor i el diàmetre exterior normalitzats, per consegüent es pot calcular el diàmetre interior normalitzat (D_i) [mm] de les canonades segons la UNE. (ref.05)

Diàmetre nominal	Diàmetre exterior	Espesor paretes en K9	Peso por metro	Peso total
80	98	6	12,2	87
100	118	6	15,1	107
125	144	6	18,9	135
150	170	6	22,8	163
200	222	6,3	30,6	219
250	274	6,8	40,2	286
300	326	7,2	50,8	360
350	378	7,7	63,2	476
400	429	8,1	75,5	566
450	480	8,6	89,8	669
500	532	9	104,3	775
600	635	9,9	137,3	1009
700	738	10,8	173,9	1043,4
800	842	11,7	215,2	1594
900	945	12,6	260,2	1917
1000	1048	13,5	309,3	2269
1100	1152	14,4	262,6	2651
1200	1255	15,3	420,1	3060

Figura 1.2.8.1. Espessors i diàmetres interns de diferents tubs normalitzats DIN [mm].

Mitjançant la Figura 1.2.8.1 s'obté un espessor normalitzat de 14.40mm.

Un cop seleccionat el tub normalitzat, es buscarà la P_N' i la P_d a la que respon el tub tenint en compte l'espessor normalitzat.

Per tant es calcula la nova pressió de disseny amb la equació del espessor segons la normativa mitjançant:

$$e = \frac{P_d * D_o}{2 * f * z + P_d} \rightarrow P_d = \frac{2 * f * z * e}{D_o - e} \quad (1.2.8.1)$$

$$P_d = \frac{2 * 240 * 1 * 14,4}{1150 - 14,4} = 6,07 \text{ [bar]} \quad (1.2.8.2)$$

Amb la pressió de disseny tornada a calculada amb l'espessor del tub normalitzat, es busca la pressió nominal segons l'Apartat 1.2.4.

1.2.9. Càlcul de la velocitat amb tub normalitzat.

Coneixent el diàmetre interior D_i segons la normativa, i el caudal volumètric Q_v , es calcula la velocitat v mitjançant l'equació:

$$v = \frac{4 * Q_v}{\pi * D_i^2} \quad (1.2.9.1)$$

$$v = \frac{4 * 35,6}{\pi * 1123,2^2} = 35,92 \left[\frac{m}{s} \right] \quad (1.2.9.2)$$

Aquesta velocitat no podrà ser superior a la velocitat màxima admissible per cada fluid.

1.3. Caiguda de pressió en el sistema de conductes.

A continuació es realitzarà el càlcul de les pèrdues per fricció de tots els conductes del sistema. Totes les figures que es mencionen en el càlcul fan referència a l'Apartat 5.5.2 de la memòria.

Com a exemple es mostren els càlculs del conducte que es troba a la sortida del RTO (RTO-32"-COV-1100-S235). Com aquest càlcul es realitza fins a l'entrada del ventilador, el qual es dissenyarà mes endavant, les pèrdues es tindran en compte des de el RTO, just abans de la ceràmica, pel que les pèrdues seran la suma de les degudes a la fricció de la canonada a la sortida del RTO, les de la ceràmica del RTO, les dels colzes que es troben durant tot el sistema i les de la vàlvula de papallona que es troba a la sortida del RTO. En el cas de la canonada (COV-1100) també s'ha tingut en compte l'entrada al RTO i, per tant, les pèrdues generades per la ceràmica i d'aquesta manera assegurar que la pressió es suficient per complir amb la d'operació.

A la *Taula 1.3.1.* es troben totes les dades del conducte necessàries per a poder realitzar el càlcul, el diàmetre a utilitzar s'ha calculat a l'apartat 1.2, el primer càlcul es realitzarà en funció d'aquest diàmetre i, posteriorment, si la pèrdua per fricció és molt alta es realitzaran els canvis necessaris en el disseny de la canonada per tal de regular aquesta pèrdua fins a uns valors acceptables per al procés.

Taula 1.3.1. Valors de disseny de la canonada exemple.

D_N' [ft]	v' [ft/min]	L [ft]	Q [ft ³ /min]
(44")3.78	7070.9	38.9	75088.8

Primerament es realitza el càlcul de les pèrdues per fricció en una canonada recta fent us de l'equació 1.3.1:

$$F_d = 0.136 \cdot \left(\frac{1}{D_N}\right)^{1.18} \cdot \left(\frac{v}{1000}\right)^{1.8} \cdot \left(\frac{L}{100}\right) = 0.136 \cdot \left(\frac{1}{3.78}\right)^{1.18} \cdot \left(\frac{7070.9}{1000}\right)^{1.8} \cdot \left(\frac{38.9}{100}\right) = 0.372 \text{ [in w. c.]} \quad (1.3.1)$$

A continuació es realitza el càlcul de les pèrdues per fricció degudes als colzes que troben en la canonada i el RTO. L'equació per aquest càlcul es la general per a pèrdues de fricció de l'apartat 5.5 de la memòria. El conducte presenta 4 colzes de 90° amb un radi de curvatura de 1.5 i 2 colzes de 45° amb el mateix radi de curvatura. Fent el factor de pèrdua per fricció serà de 0.33 (una mitjana del rang de valors de la *Figura 5.2.2.1*) en els colzes de 90° i, en els de 45° aquest factor es calcularà mitjançant l'Equació 1.3.2.

$$k_{45^\circ} = \left(\frac{45}{90}\right) \cdot 0.33 = 0.165 \quad (1.3.2)$$

$$VP = \left(\frac{v}{4016}\right)^2 = \left(\frac{7070.9}{4016}\right)^2 = 3100 \text{ [in w. c.]} \quad (1.3.3)$$

$$F = VP \cdot k \cdot n_{colzes} = (3100 \cdot 0.33 \cdot 4) + (3100 \cdot 0.165 \cdot 2) = 5.12 \text{ [in w. c.]} \quad (1.3.4)$$

L'últim càlcul de pèrdues degudes a la fricció en la canonada i els diferents accessoris es la que provoca el pas per la vàlvula de papallona. Per a poder realitzar aquest càlcul amb el diàmetre de la vàlvula del sistema (1100 [mm]) s'ha hagut de calcular el valor del coeficient de pèrdues extrapolant a partir dels valors de la *Figura 5.2.2.3*. Una vegada calculat aquest valor s'aplica l'*Equació 1.3.5*

$$\Delta P\alpha = \frac{1.29}{10000} \cdot 0.41 \cdot \frac{35.9}{2.9.8} = 0.0035 \text{ [bar]} = 1.41 \text{ [in w. c.]} \quad (1.3.5)$$

Per tant la pèrdua deguda a la fricció en la canonada es de:

$$F_{\text{canonada}} = 0.372 + 5.12 + 1.41 = 6.91 \text{ [in w. c]} \quad (1.3.6)$$

Per últim, tal i com ja s'ha comentat anteriorment, les pèrdues es calculen des de el RTO i, per tant, també s'han de tenir en compte les pèrdues ocasionades per la ceràmica que es troba a la sortida. Aquest valor s'extreu de la *Figura 4.1.6.1* de l'*Apartat 4.1.6* de la memòria i depèn del tipus de ceràmica i de la velocitat a la que el fluid passa per aquesta.

$$F_{\text{ceràmica}} = 14.17 \text{ [in c. w.]} \quad (1.3.7)$$

Ara, ja es pot calcular la pèrdua per fricció que hi ha des de el RTO fins a l'entrada del ventilador:

$$F_{\text{total}} = 6.91 + 14.17 = 21.08 \text{ [in c. w.]} \quad (1.3.8)$$

1.4. Aïllament del sistema de canonades.

L'aïllament de les canonades presents a la instal·lació estarà composta de una capa de pintura com mesura de protecció de recobriment no metàl·lic, l'aïllant principal de llana de roca, i a la capa més externa una xapa d'alumini per protegir l'aïllant.

1.4.1. Càlcul del gruix de l'aïllant.

Tal i com demana en els requeriments de seguretat, s'han de tenir en compte dos possibles escenaris perillosos, la protecció personal dels treballadors i la protecció contra incendis, posat que son dos problemes que s'han de tenir en compte a l'hora de dissenyar un bon aïllament.

Pel que fa a la protecció personal del treballador, una temperatura superficial de les canonades superior a 60 [°C] pot produir ferides per cremades al tocar-la i per tant hem d'assegurar que cap superfície esta per sobre d'aquest valor, i si alguna superfície ho esta, afegir proteccions (reixats, barreres, etc.).

Per que fa a la protecció contra incendis, la càrrega de foc d'un edifici o instal·lació pot augmentar considerablement quan s'utilitzen aïllants tèrmics inflamables, per contra si els aïllants són no inflamables no contribueixen sinó que la redueixen en cas d'incendi.

Un altre possible problema són les línies traçades amb olis tèrmics si que contribueixen a la càrrega de foc, i en cas de fuga fan que l'aïllant esdevingui "inflamable".

El càlcul del gruix de l'aïllant s'aplica considerant un tub i el transport de calor es donarà per conducció, convecció. El flux de calor es pot definir com a:

$$q = k_r(T_f - T_a) \quad (1.4.1.1)$$

$$k_r = \frac{2 \cdot \pi}{\left(\frac{1}{r_i h_f} + \frac{\ln\left(\frac{r_1}{r_i}\right)}{k_1} + \frac{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{k_2} + \frac{\ln\left(\frac{r_e}{r_2}\right)}{k_3} + \frac{1}{r_e h_a}\right)} \quad (1.4.1.2)$$

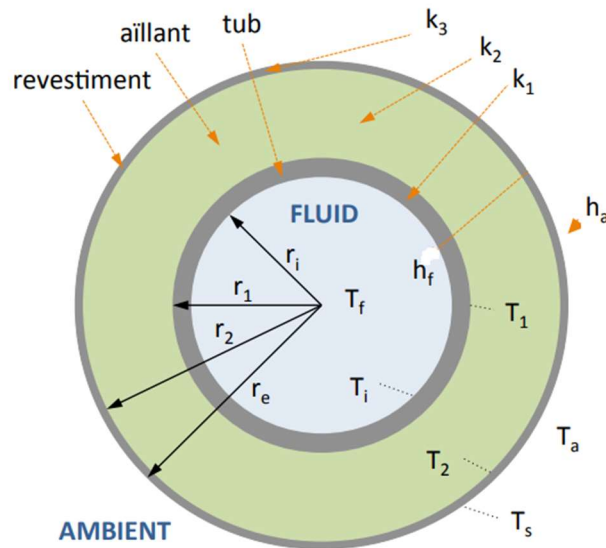


Figura 1.4.1.1: Esquema variables del càlcul de l'aïllament del tub.

Per simplificar els càlculs, es pot menysprear el coeficient de transport intern (\$h_f\$) i es considera que la temperatura de la paret interior del primer material es troba a la mateixa temperatura que el fluid ja que al ser un acer el coeficient de conductivitat tèrmica de la canonada es de un 50 [W/m²K]. També es pot menysprear el terme de conducció a través del recobriments extern d'alumini i per tant, la temperatura superficial final serà aquell que tingui l'aïllant.

El càlcul serà iteratiu, i per això s'han de suposar l'espessor de l'aïllant, prèviament fixant les temperatures externa i interna de l'equip. Per termes de seguretat, la temperatura exterior que tindrà la xapa serà igual o inferior a 60 [°C]. Seguidament s'haurà de calcular el calor que es dissiparà per la canonada amb l'Equació 1.4.1.3, tenint en compte la temperatura existents

a l'interior de la cambra, la temperatura fixada exterior de l'equip i les resistències a la transmissió de calor per cada un dels materials triats per aquesta finalitat.

Es suposa un espessor del material de 10 [cm] ja que es una mesura normalitzada tipologia de manta tèrmica per l'aïllament requerit i es busca el valor de la resistència total que trobarà el flux de calor:

$$k_{rtub} = \frac{2 \cdot \pi}{\left(\frac{\ln\left(\frac{0.5751}{0.5616}\right)}{50} + \frac{\ln\left(\frac{0.6751}{0.5751}\right)}{0.052} + \frac{1}{7.1} \right)} = 1.54 \left[\frac{W}{m K} \right] \quad (1.4.1.3)$$

Finalment, es pot comprovar si la temperatura superficial és igual a la temperatura establerta de 60 [°C] mitjançant la següent equació:

$$T_s = \frac{k_{rtub}}{2 \cdot \pi \cdot r_e \cdot h_a} (T_f - T_a) + T_a \quad (1.4.1.4)$$

$$\frac{(1.54)}{2 \cdot \pi \cdot 0.6751 \cdot 7.1} (150 - 25) + 25 = 52,28 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1.4.1.5)$$

L'aïllant de llana de roca de *Rockwool*, amb l'espessor triat, dona una eficiència molt bona per a la reducció de temperatura que volem aconseguir.

1.5. Disseny de l'estructura de suport de canonades.

Es procedeix al càlcul de càrregues que suportarà un pòrtic tipus un determinat tram de canonada segons les següents especificacions:

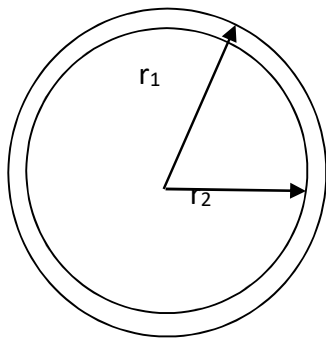


Figura 1.5.1. Esquema canonada.

Es farà el càlcul del pes de la canonada més gran amb un radi exterior (r_{ext}) 0.5751 [m] i un radi interior (r_{int}) de = 0.5616 [m]. Per tant l'àrea de la secció de la canonada i el volum lineal d'aquesta serà:

$$A_{secció} = \pi r_{ext}^2 - \pi r_{int}^2 \quad (1.5.1)$$

$$V = A_{secció} \cdot L \quad (1.5.2)$$

On es trobarà un valor d'àrea de secció de 0.0481 [m²] i per tant al ser una longitud d'1 [m], el volum lineal de la canonada serà 0.481 [m³].

La quantitat de material, massa [kg], per metre lineal de canonada depèn de la densitat ρ de l'acer, on la densitat de l'acer es considerarà de 7,850.00 [kg/m³]:

$$massa = V * \rho = 0.0481 * 7850 = 378.25 [kg] \quad (1.5.3)$$

Amb la massa calculada per metre lineal, es pot calcular el pes [kN] que haurà de suportar el sistema.

$$Pes(N) = massa(kg) * gravetat \left(\frac{m}{s^2}\right) = 378.25 * 9.81 = 3710.63 [N] \quad (1.5.4)$$

Cal afegir el pes de material auxiliar d'ancoratge, aïllament i protecció estimat en 0.2 [kN], de manera que la càrrega estimada d'un tram tipus d'un metre de canonada és de 3.91 [kN].

En el nostre cas considerem un tram estimat entre suports de canonades de 3 [m]. Per tant la càrrega entre suports és de:

$$3.91 [kN] * 3 [m] = 11.73 [kN] \quad (1.5.5)$$

Aplicat el coeficient de seguretat de majoració de càrregues del formigó (1.5) obtenim una càrrega uniformement repartida de:

$$11.73 [kN] * 1.5 = 17.59 [kN] \quad (1.5.6)$$

La càrrega que arriba a la sabata R1 tant en sentit longitudinal com transversal té un valor:

$$\frac{11.73 [kN]}{2 [sabates]} = 8.80 [kN] \quad (1.5.7)$$

2. DISSENY DEL VENTILADOR

2.1. Tipus de ventiladors i components.

Hi ha dos tipus de ventiladors: axials i centrífugs. La majoria dels ventiladors fets servits en sistemes de control d'aire contaminat són els centrífugs.

Un ventilador axial, tal com es mostra en la *Figura 2.1.1*, utilitza un conjunt d'aspes muntades en un eix giratori. L'entrada d'aire a l'aparell i la seva sortida segueixen una trajectòria segons superfícies cilíndriques coaxials.

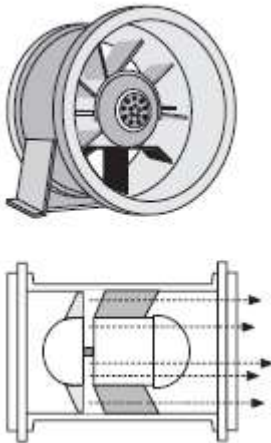


Figura 2.1.1. Ventilador axial.

La trajectòria de l'aire dintre els ventiladors centrífugs té una direcció axial a l'entrada i paral·lela a un pla radial de sortida. Entrada i sortida per tant, es troben en angle recte un respecte de l'altre. Dota d'un rodet compost d'àleps i tal com s'observa en la *Figura 2.1.2.*, poden ser cap a endavant (a), radials (b) o enrere (c).

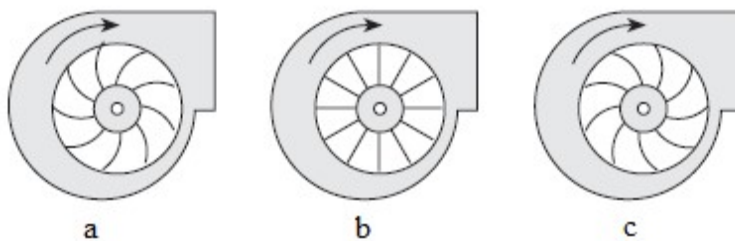


Figura 2.1.2. Tipus d'àleps del rodet dels ventiladors centrífugs.

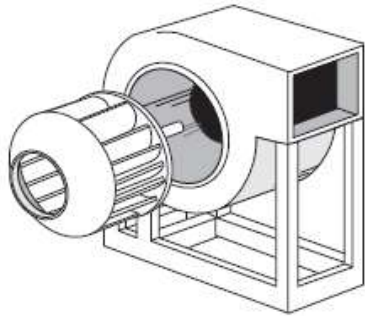


Figura 2.1.3. Ventilador centrífug.

Atenent al sistema d'accionament, els ventiladors poden ser connectats de manera directe, mitjançant l'eix comú d'un motor elèctric o amb una prolongació amb el rodets o l'hèlix del ventilador. L'altre tipus d'accionament és per transmissió, ja sigui per corretges o politges, per tal de separar el motor de la corrent de l'aire (per excés de temperatura per exemple).

2.2. **Soroll.**

El soroll és el so que, per el seu to, intensitat o duració, resulta desagradable a la oïda humana i inclòs nociu per el seu organisme. Els ventiladors són, amb freqüència, font de sorolls que atempten contra el confort del medi ambient, per tant, pel que el seu comportament acústic fa, constitueix un factor decisiu en la selecció del mateix.

És important destacar la relació entre velocitat del so, longitud d'ona i la freqüència, ja que les ones de pressió que constitueixen el so, són solo perceptibles per la oïda humana si la seva freqüència està compresa entre 30 i 10.000 [Hz]. La velocitat de propagació del so és la mateixa per totes les freqüències i depenen de la temperatura. En el aire, en condicions normals, és aproximament de 340 [m/s]. Si el soroll del ventilador excedeix al menys en 15 decibels al de l'ambient, l'assaig del ventilador en aquest ambient o habitació seria el mateix que s'obtidria en un espai aïllat acústicament.

Els àleps d'un ventilador creen al seu voltant un camp de pressió que varia d'un punt a l'altre de l'espai, originant-se ones acústiques que interaccionen entre sí, propagant-se per l'aire, les parets, el terra i en general, per les estructures adjacents. Les causes són les següents:

- La freqüència fonamental del soroll del ventilador és igual al producte de la seva velocitat de rotació pel numero de àleps del rodets.
- La intensitat del soroll produïda directament pels àleps és aproximadament proporcional a la velocitat perifèrica de la punta dels àleps i a la quinta potència del número de revolucions.

- La distància és exclusivament petita entre la vora de la sortida dels àleps del rodet i la llengua de de la caixa espiral.
- El número d'àleps directrius fixos no ha de ser igual al múltiple d'àleps mòbils.
- La corona difusora sense àleps produeix menys soroll que la corona de àleps directrius.
- Les vibracions forçades de la carcassa i dels conductes d'admissió i escapament poden ser origen dels sorolls de gran intensitat, sobre tot en condicions de ressonància.
- El desequilibri estàtic i dinàmic del motor.
- Una incorrecta alineació dels coixinets.
- El motor d'accionament i els coixinets de boles, a baix numero de revolucions, són causa del soroll, pel que utilitat coixinets lliscants es pot eliminar la causa.
- Al disminuir el rendiment del ventilador per un mateix numero de revolucions per minut, augmenta la intensitat del soroll.

2.3. **Manteniment.**

Un ventilador mai ha d'operar a una velocitat més alta que aquella per la qual el seu fabricant l'ha dissenyat. El rotor pot estar operant a la seva màxima velocitat de seguretat i pot fallar per els esforços majors que resulta d'una velocitat més alta que pot estar a prop de la velocitat crítica de la fletxa i causar una vibració excessiva. La força motriu indicada pel ventilador pot augmentar lo suficient com per sobrecarregar i cremar la font motriu.

El ventilador segueix unes lleis, així els dispositius de seguretat han de protegir al personal del contacte amb elements rotatoris i, al mateix temps, interferir al mínim en el funcionament normal de l'equip.

2.4. **Càlcul de la potencia del ventilador.**

En aquest apartat es calcularà la potència necessària per al ventilador que impulsarà el gas de la sortida del RTO fins a la xemeneia i la recirculació.

A la *Taula 2.4.1* es troben les dades necessàries per a calcular la potencia del ventilador.

Taula 2.4.1. Variables d'operació de la canonada d'entrada al ventilador.

Diàmetre [in]	Temperatura [°F]	Pressió [atm]	Velocitat [ft/min]
45.4	302	1	7184

Primerament es desenvolupa un factor per convertir "polsades d'aigua" en "peus d'aire".

$$\text{Peus d'aire} = (\text{polzades d'aigua}) \cdot \left(\frac{1\text{ft}}{12\text{in}}\right) \cdot \left(\frac{v_{a100}}{v_{w100}}\right) \quad (2.4.1)$$

Degut a que la pressió absoluta del sistema es pot considerar l'atmosfèrica, el gas residual es comporta com un *gas ideal*. Així doncs, el volum específic es pot calcular amb la llei de gasos ideals.

$$v_a = \frac{RT}{pM} = \frac{1545 \cdot 762}{2116 \cdot 28.85} = 19.29 \left[\frac{ft^3}{lb} \right] \quad (2.4.2)$$

Per últim substituint valors en l'equació anterior s'obté:

$$Peus d'aire = 99.63 \times polzada d'aigua \quad (2.4.3)$$

A continuació es calculen els canvis en termes d'energia mecànica i pèrdues per fricció entre l'entrada del ventilador i la sortida.

Pressió d'aire: En aquest cas el ventilador s'ha dissenyat per tal de superar les pèrdues per fricció des de el RTO fins a l'entrada del ventilador i les pèrdues que apareixen des de la sortida del ventilador fins a l'entrada de la recirculació per tal de que aquesta entrada es produeixi com a mínim a 1 bar. En l'A(l)1.3. apareix l'exemple de càlcul de la fricció des de el RTO fins al ventilador i a la Taula 5.5.2.1 de l'Apartat 5.5.2 de la memòria es troba la pèrdua per fricció del conducte de recirculació.

$$v\Delta p = 2.76 [in w. c.] \cdot 99.63 \left[\frac{ft \text{ aire}}{in w. c.} \right] = 275 [ft \text{ aire}] \quad (2.4.4)$$

Potencial: La sortida del ventilador es troba més amunt que l'entrada i, per tant:

$$\Delta z = 5 [ft d'aire] \quad (2.4.5)$$

Cinètica:

$$\frac{\Delta u^2}{2g_c} = \frac{119.7^2}{2 \cdot 32.174} = 222.8 [ft d'aire] \quad (2.4.6)$$

Pèrdues per fricció: El càlcul de les pèrdues degudes a la fricció es troba en l'apartat 1.3 de l'annex I.

$$F = 21.1 \cdot 99.6 = 2099.75 [ft d'aire] \quad (2.4.7)$$

Si es substitueixen els resultats anteriors en l'equació de *Bernoulli* modificada i resolent per a W , l'energia del ventilador afegida:

$$W = 275 + 5 + 222.8 + 2099.75 = 2602.5 \left[\frac{ft \cdot lb_f}{lb_m \text{ aire}} \right] = 35.6 [in w. c.] \quad (2.4.8)$$

Per a convertir la potencia del ventilador a cavalls de potència, s'ha de multiplicar la potència per la raó de flux màssic de l'aire [lb/s] i dividir el resultat entre el factor de conversió a cavalls de potència. El flux màssic es pot calcular com el flux volumètric dividit pel volum específic.

$$hp_f = W \cdot \left(\frac{Q}{v_a} \right) \cdot \left(\frac{1}{550} \right) = 2602.5 \cdot \left(\frac{1258.9}{19.3} \right) \cdot \left(\frac{1}{550} \right) = 308.9 [hp] \quad (2.4.9)$$

En els catàlegs de ventiladors la potència normalment apareix en kW:

$$W = 308.9 \cdot 0.7457 = 228.6 \text{ [kW]} \quad (2.4.10)$$

3. PLOMALL

3.1. Dispersió de la ploma i model de qualitat de l'aire.

En aquest apartat s'explicaran totes les necessitats referents a la dispersió de la ploma i del càlcul del model de qualitat de l'aire.

3.1.1. Classes d'estabilitat atmosfèrica.

L'avantatge d'aquesta classificació és per aplicar-la, només si és necessari utilitzar informació convencional subministrada pel servei meteorològic local. Pasquill va proposar sis categories d'estabilitat:

Taula 3.1.1: Categories d'estabilitat atmosfèrica.

Tipologia	Classificació d'estabilitats atmosfèriques
A	Extremadament inestable
B	Moderadament inestable
C	Lleugerament inestable
D	Neutral
E	Lleugerament estable
F	Moderadament estable

Aquest mètode permet associar a qualsevol situació atmosfèrica, a alguna de les sis categories anteriors.

Els factors determinants de les classes d'estabilitat són: la velocitat del vent, la nuvolositat i el flux net de radiació que arriba a la terra que afecta al gradient tèrmic vertical "lapse rate", a la presència o absència d'activitat convectiva i a la dinàmica de la capa de mescla.

Els primers paràmetres es mesuren de manera rutinària en qualsevol estació meteorològica, la insolació en canvi no, però pot calcular-se a partir de paràmetres astronòmics com es detallaran mes endavant.

Posteriorment, es caracteritzen les classes d'estabilitat proposades per Pasquill com alguna de les nou classes que es mostren a la *Taula 3.1.2*.

Taula 3.1.2: Variabilitat de l'atmosfera per categoria.

Vent superficial (m/s)	Insolació durant el dia			Condicions nocturnes	
	Força	Moderada	Lleugera	Nuvolositat	
				>4/8	<4/8
<2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

En conseqüència, una estratificació (formar-se estrats o capes) neutral quan el flux de radiació és zero, sota condicions de nuvolositat densa, ja sigui de dia o de nit, sense considerar la velocitat del vent, defineix una classe d'estabilitat tipus D.

Una inversió tèrmica durant la nit, donarà lloc a una pobre dispersió sota les condicions d'estabilitat E o F, d'acord amb el grau de nuvolositat i a la velocitat del vent.

Les classes d'estabilitat A, B i C representen les condicions diürnes amb quantitats variables de radiació entrant a la Terra. Amb baixes velocitats de vents i forta radiació entrant, estabilitat tipus A, es produeix una intensa activitat convectiva i gran mescla. Aquesta última genera una capa de mesclat ben desenvolupada d'altura finita coberta per una capa d'inversió elevada.

Els fluxos més baixos de radiació entrant o velocitats de vents més altes, es corresponen amb una activitat convectiva moderada, tipus B, o amb una activitat lleugerament convectiva, tipus C, o amb alguns dels tipus intermedis A-B, B-C, i C-D.

Els valors de σ_y i σ_z es determinen a partir de gràfiques subministrades originalment per Gifford. En elles es mostra, en forma separada per a cada σ , les corbes per als diferents tipus d'estabilitat.

Per a propòsits pràctics es poden calcular els coeficients de dispersió (σ_y i σ_z) per a emissions continuades de la manera següent:

$$\sigma_y = a * x^b \quad (3.1.1.1)$$

$$\sigma_z = c * x^d \quad (3.1.1.2)$$

Per valors de a, b, c i d es troben a la taula 3.1.3, on les equacions estan ajustades per distàncies compreses entre 100 i 10,000[m].

Taula 3.1.3: Taula de valors per fórmules de coeficients de dispersió.

Classes d'Estabilitat	Coeficients			
	a	b	c	d
A	0.527	0.865	0.28	0.90
B	0.371	0.866	0.23	0.85
C	0.209	0.897	0.22	0.80
D	0.128	0.905	0.20	0.76
E	0.098	0.902	0.15	0.73
F	0.065	0.902	0.12	0.67

Els valors dels coeficients de dispersió per als tipus A-B, B-C, i C-D s'obtenen fent una mitjana dels valors de σ_y i σ_z per a les dos classes d'estabilitat.

Cal destacar, que d'acord als estudis realitzats per Gifford, aquests valors de σ_y i σ_z són apropiats per processos de difusió a baixa altura i per emissions de gasos que no experimenten forces de flotació sobre terreny obert.

3.1.2. Estimacions de dispersió.

Normalment les estimacions sobre les dispersions de les xemeneies es determinen mitjançant equacions de distribució i/o models de qualitat de l'aire, on normalment són vàlides per a la capa de l'atmosfera més propera al terra, ja que la probabilitat de que es produeixin canvis freqüents de la temperatura i de la distribució dels vents és més probable.

3.1.2.1 Models de dispersió de qualitat de l'aire.

Els models de dispersió de qualitat de l'aire consisteixen en un grup d'equacions matemàtiques que serveixen per interpretar i predir les zones de concentració de contaminants causades per la dispersió i per l'impacte de les plomes.

Aquests models inclouen les estimacions de dispersió esmentades anteriorment i les diferents condicions meteorològiques, inclosos els factors relacionats amb la temperatura, la velocitat del vent, l'estabilitat i la topografia.

Hi ha quatre tipus genèrics de models: gaussià, numèric, estadístic i físic:

- Els models gaussians fan servir l'equació de distribució gaussiana (vegeu la discussió sobre distribució gaussiana a continuació) i són àmpliament usats per estimar l'impacte de contaminants no reactius.
- En el cas de fonts d'àrees urbanes que presenten contaminants reactius, els models numèrics són més apropiats que els gaussians però requereixen una informació extremadament detallada sobre la font i els contaminants, i no es fan servir molt.
- Els models estadístics s'empren quan la informació científica sobre els processos químics i físics d'una font estan incomplets.
- Finalment, tenim els models físics, que requereixen estudis de models del fluid o en túnels aerodinàmics de vent. L'adopció d'aquest model implica l'elaboració d'aquests en escala i l'observació del comportament del flux.

Aquests tipus de model són molt complexos i requereixen assessoria tècnica d'experts. No obstant la dificultat d'aplicar aquest model es sol utilitzar en casos d'àrees amb terrenys i condicions de flux complexes, fluxos descendents de la xemeneia i edificis alts.

3.1.2.2 Selecció del model de qualitat de l'aire.

La selecció d'un model de qualitat de l'aire depèn del tipus de contaminants emesos, de la complexitat de la font i del tipus de topografia que envolta la instal·lació.

Alguns contaminants es formen a partir de la combinació de contaminants precursors:

Per exemple, l'ozó en el nivell del sòl es forma quan els COVs i els NO_x actuen sota l'acció de la llum solar. Els models per predir les concentracions d'ozó en el nivell del sòl emprarien la taxa d'emissió de COV i NO_x com a dades d'entrada.

A més, alguns contaminants reaccionen fàcilment una vegada que són emesos a l'atmosfera. Aquestes reaccions redueixen les concentracions i pot ser necessari considerar-les en el model. La complexitat de la font també té un paper important en la selecció. Alguns contaminants poden ser emesos des de xemeneies baixes subjectes a fluxos descendents aerodinàmics. Si aquest és el cas, s'ha d'emprar un model que consideri el fenomen.

En la dispersió de les plomes i els contaminants, la topografia és un factor important que ha de ser considerat en seleccionar un model.

Les plomes elevades poden tenir un impacte en àrees de terrenys alts. Les altures d'aquest tipus de terrenys poden experimentar majors concentracions de contaminants a causa de que es troben més a prop de la línia central de la ploma. En el cas que hi hagi terrenys elevats, s'ha d'usar un model que consideri aquest fet.

3.1.2.3 Distribució gaussiana.

Dels quatre tipus de models de dispersió esmentats anteriorment, el gaussià, que inclou l'equació de distribució gaussiana *Equació 3.1.2.3.1* és el més utilitzat.

L'equació de distribució gaussiana realitza càlculs relativament simples, que només requereixen dos paràmetres de dispersió per identificar la variació de les concentracions de contaminants que es troben lluny del centre de la ploma, D.B. Turner, 1970.

$$X_v = \frac{Q_m}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2} \left\{ e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2} + e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2} \right\} \quad (3.1.2.3.1)$$

Aquesta equació determina les concentracions de contaminants a nivell del sòl sobre la base de les variables atmosfèriques que necessiten un temps mitjà (entre 10 i 60 minuts com per exemple, la temperatura i la velocitat del vent). Per tant, no és possible obtenir un "quadre" instantani de les concentracions de la ploma.

No obstant això, quan la fórmula s'utilitza amb rangs de temps dins dels necessaris, es pot assumir que les concentracions de contaminants a la ploma estan distribuïdes normalment, com s'assenyala a la *Figura 3.1.2.3.1*.

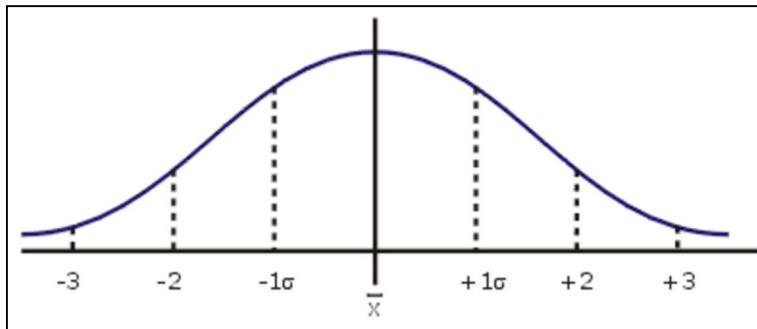


Figura 3.1.2.3.1: Representació normal de la ploma gaussiana.

Els coeficients de la dispersió horitzontal i vertical esmentats a l'*Apartat 3.1*, representen, en la distribució gaussiana, la desviació estàndard de la normal a la corba en els eixos y i z .

Per tant, per obtenir el model d'una ploma mitjançant una distribució gaussiana s'han de complir els següents punts:

La dispersió de la ploma tingui una distribució normal, és a dir, una distribució acampanada, com es mostra a la *Figura 3.1.2.3.1*:

- La taxa d'emissió (Q) sigui constant i contínua.
- La velocitat i la direcció del vent siguin uniformes.
- La reflexió total de la ploma es produeixi en la superfície (elements topogràfics).
- Tenir una classificació clara d'estabilitats atmosfèriques.

En els models gaussians, la dispersió de la ploma lluny de la línia central està representada pels coeficients de dispersió, horitzontal i vertical.

La dispersió de la ploma depèn de la classificació d'estabilitat assignada a l'escenari sota estudi. Com és de suposar, els coeficients de dispersió horitzontal augmenten a mesura que les condicions atmosfèriques es fan menys estables (van de F a A).

3.1.3. Estimació de la dispersió de l'emissió mitjançant programa ALOHA.

Per obtenir un model el més acurat possible, s'ha decidit utilitzar un programa anomenat ALOHA per fer la simulació de dispersió de gasos en diferents atmosferes.

Un dels handicaps més grans d'aquest programa és que no deix fer simulacions amb gasos compostos, per tant, s'ha estudiat la opció de fer una estimació mitjançant el comportament dels compostos majoritaris en estat pur que componen l'efluent gasós emès mitjançant la xemeneia dissenyada.

Mitjançant la *Figura 3.1.3* es poden diferenciar 5 grans grups d'informació necessaris per al programa per tal de simular les dispersions dels compostos majoritaris de l'efluent gasós, que s'utilitzaran com a pauta a seguir.

SITE DATA: Location: TARRAGONA, SPAIN Building Air Exchanges Per Hour: 1.02 (unsheltered single storied) Time: December 10, 2014 1655 hours ST (user specified)
CHEMICAL DATA: Chemical Name: NITROGEN Molecular Weight: 28.01 g/mol TEEL-1: 65000 ppm TEEL-2: 230000 ppm TEEL-3: 400000 ppm Ambient Boiling Point: -195.8° C Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%
ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA) Wind: 6 meters/second from N at 10 meters Ground Roughness: open country Cloud Cover: 3 tenths Air Temperature: 25° C Stability Class: D No Inversion Height Relative Humidity: 75%
SOURCE STRENGTH: Direct Source: 23.64 kilograms/sec Source Height: 0 Release Duration: 60 minutes Release Rate: 1,420 kilograms/min Total Amount Released: 85,104 kilograms Note: This chemical may flash boil and/or result in two phase flow. Use both dispersion modules to investigate its potential behavior.
THREAT ZONE: Model Run: Gaussian Red : 27 meters --- (400000 ppm = TEEL-3) Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness make dispersion predictions less reliable for short distances. Orange: 36 meters --- (230000 ppm = TEEL-2) Note: Threat zone was not drawn because effects of near-field patchiness make dispersion predictions less reliable for short distances. Yellow: 68 meters --- (65000 ppm = TEEL-1)

Figura 3.1.3: Distribució de variables pel càlcul de dispersió per grups.

Primerament es farà una explicació dels grups que no varien en funció del compost, que son el "Site Data" i el "Source Strenght" que, per tant, sempre tindran els mateixos valors i seran considerades com a variables fixes.

Més endavant es farà una simulació amb cadascun dels compostos que formen l'efluent gasós amb l'"atmospheric data" que també es podria considerar una font de variables estable però que un cop es proposi una simulació representativa per tots els compostos es faran variacions per tal a obtenir dades en tots els escenaris que proposin variacions atmosfèriques.

3.1.3.1 "Site Data".

Primerament es seleccionarà la localització de la planta. Donat que el programa no té localitzacions fora dels EEUU, es procedeix a crear una localització específica a la planta com es pot observar a la *Figura 3.1.3.1.1*.

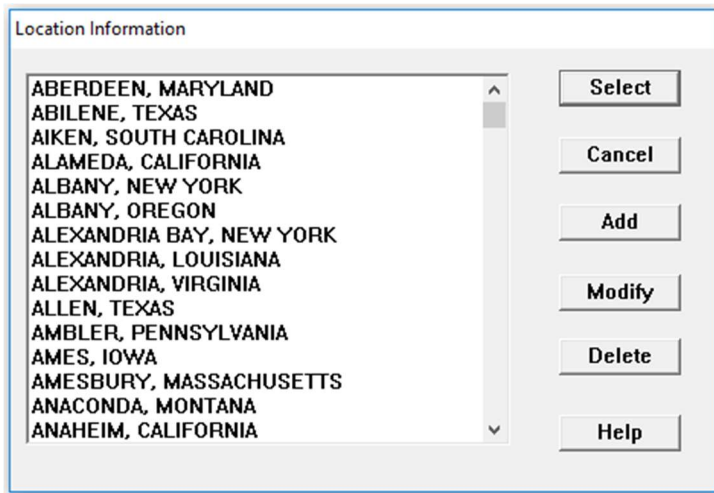


Figura 3.1.3.1.1: Informació sobre la localització

Seguidament demana el nom complet, si esta dins dels EEUU, l'elevació aproximada del terreny a nivell del mar [ft] o [m] i la latitud i longitud d'aquesta localització. Com es pot veure a Figura 3.1.3.1.2.

Figura 3.1.3.1.2: Informació sobre la localització

Un cop donats tots els valors, es procedeix a la següent finestra mostrada a la figura 3.1.3.1.3 on demana el nom del país on es simularà la dispersió, la regió horària exacte de la localització i si el model de temps que usará el model de dispersió tindrà valors temporals de l'horari PST "Pacific Standard Time" (UTC-8) o valors del Temps Universal coordinat UTC "Universal Time Coordinated" conegut anteriorment com GMT "Greenwich Mean Time" (Daylight Savings Time).

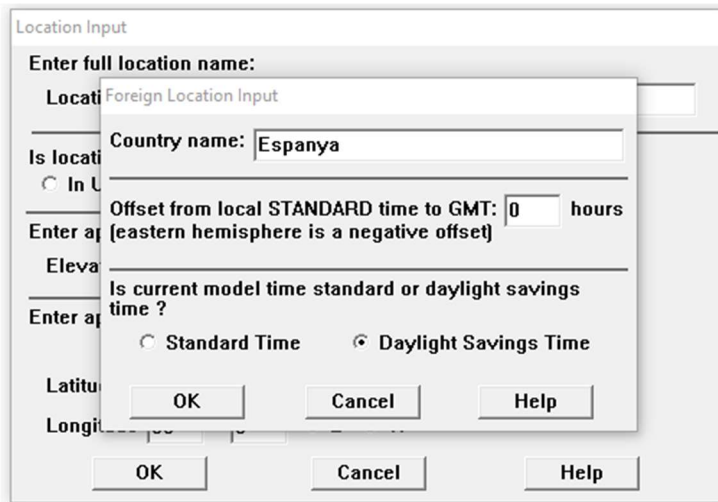


Figura 3.1.3.1.3: “foregin Location Input”.

Una vegada acabades de donar les especificacions de la localització es passa al següent ítem: la descripció genèrica dels edificis que estan als voltants del punt de dispersió, on principalment ens demanaran la tipologia d'edificis, on es suposa que al ser una canonada de gasos que provenen de una línia de pintura de cotxes, tindran una altitud de dues plantes.

Com a dada final a la *Figura 3.1.3.1.4* demana la tipologia dels voltants ja que afecta a la dispersió negativament com s'explica a la memòria.

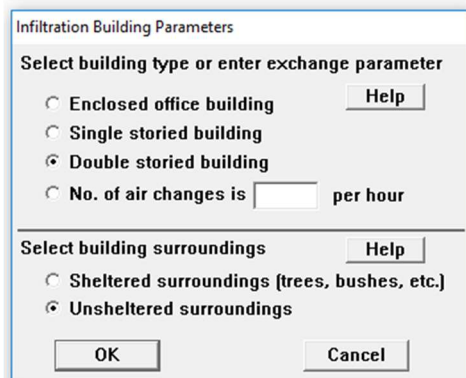


Figura 3.1.3.1.4: Tipologia dels edificis circumdants.

3.1.3.2 “Source Strenght”

En aquest apartat s'exposaran totes les variables relacionades amb la tipologia del punt de fuga de la dispersió simulada, on dels quatre tipus de font d'emissió que es poden escollir, s'ha considerat com a més viable la font directa, on es pot simular a pressió i cabal molt semblants a la situació que es vol simular.

A la *Figura 3.1.3.2.1* es pot veure les primeres variables que demana el programa, com son, la unitat de massa o volum amb el que treballarà el programa per tal de simular el cas, la tipologia

d'alimentació que té la font d'emissió, els quilograms per segon de gasos que s'emeten i entren a l'atmosfera i l'altura des del nivell del mar on es troba la boca de la font de gasos d'emissió.

Figura 3.1.3.2.1 variables de la font d'emissió.

3.1.3.3 "Atmospheric source".

Primerament es farà una breu síntesi de totes les variables atmosfèriques que demana el programa, on, seguidament, es farà una l'explicació sobre dos tipologies atmosfèriques:

- La primera, representativa de la gran majoria de l'any sota unes condicions atmosfèriques ideals en les quals normalment es troben a la situació de la planta durant l'any.
- La segona, serà un tipus d'atmosfera la qual seria la pitjor situació possible per a tenir una bona dispersió de la ploma.

Com a primers inputs a la figura 3.1.3.3.1 demanarà la velocitat del vent i la direcció en moment que s'està simulant, l'altura a la qual es prenen les mesures, on es donen 3 opcions:

- A nivell de terra (3 metres) on afecta la resistència de la fricció contra el terra
- A 10 metres on ja no es troba condicionat per aquesta fricció.
- A possibles altures superiors on, en funció de l'altura, les condicions anteriors de velocitat de vent i direcció no es condicionen per res del que hem descrit anteriorment.

Es suposarà que s'han pres mesures de les condicions del vent al punt d'emissió de la xemeneia. Seguidament et demana el tipus de terreny que tens al voltant, ja que la rugositat d'aquest afectarà a la dispersió si la font estés molt a prop.

Finalment a aquesta pantalla ens demanarà el grau de nuvolositat que pateix l'atmosfera en aquells moments, com s'ha explicat a l'*Apartat 3.1.1*, la nuvolositat afectarà a la dispersió de la ploma.

Atmospheric Options

Wind Speed is : knots mph meters/sec

Wind is from : Enter degrees true or text (e.g. ESE)

Measurement Height above ground is:

OR enter value : feet meters

Ground Roughness is :

Open Country OR Input Roughness [Z₀]:

Urban or Forest Open Water

Select Cloud Cover :

OR enter value : (0 - 10)

complete cover partly cloudy clear

Figura 3.1.3.3.1: Variables atmosfèriques 1.

A la segona pantalla de les variables atmosfèriques ens demana la temperatura ambiental, l'estabilitat atmosfèrica que s'ha explicat a l'apartat , la inversió atmosfèrica que està explicada a l'Apertat 6.2 de la memòria i el grau d'humitat.

Atmospheric Options 2

Air Temperature is : Degrees F C

Stability Class is : A B C D E F

Inversion Height Options are :

No Inversion Inversion Present, Height is : feet meters

Select Humidity :

OR enter value : % (0 - 100)

wet medium dry

Figura 3.1.3.3.2: Variables atmosfèriques 2.

A la Taula 3.1.3.3.1 es poden veure els valors que es donen al programa per a crear les dos tipologies atmosfèriques que es volen representar i simular.

No s'aplica la direcció del vent, la mesura del vent ni la tipologia de rugositat del terreny ja que per a aquest projecte no s'estudien les procedències de les corrents atmosfèriques o no varien ja que la situació de la planta no canviarà per aquestes variables.

Taula 3.1.3.3.1: Variables de les dues atmosferes a simular.

Variables	Atmosfera ideal	Atmosfera desfavorable
Velocitat del vent	>6	2
Direcció del vent	NA	NA
Mesura del vent	NA	NA

Cobertura de núvols	5	0
Temperatura de l'atmosfera	20	38
Estabilitat atmosfèrica	D	F
Inversió atmosfèrica	NA	NA
Humitat relativa	75%	100%

3.1.3.4 "Chemical data".

En aquest apartat s'explica com s'escull l'agent químic que es vol estudiar en la simulació.

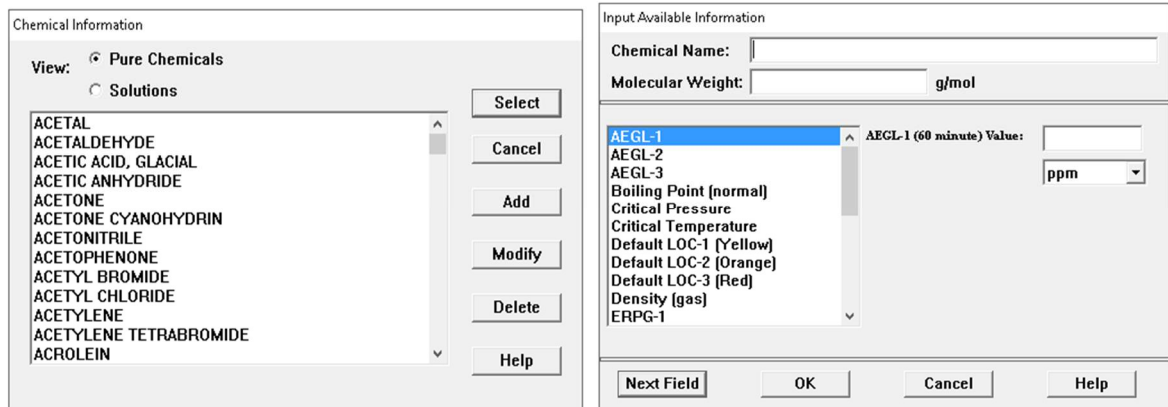


Figura 3.2.3.4.1: Llistat de químics purs a la llibreria del programa i creació de nous.

Cal dir que es poden crear reactius químics i es podria fer una estimació del flux gasós d'emissió si es creés un component amb les característiques de la barreja de gasos, però a causa de la falta d'informació de les propietats físiques i químiques de l'efluent gasós de sortida, les quals només es podrien treure mitjançant proves pràctiques.

Posat que l'efluent gasós no té una composició pura, s'ha fet primerament un estudi els compostos majoritaris per separat que surten del RTO per obtenir una primera aproximació del model de dispersió. A la Taula 3.1.3.4.1 s'observa la composició de sortida de l'efluent gasós.

Taula 3.1.3.4.1: Composició química del flux de sortida.

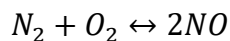
Reactius	%massa present a la ploma	Kg/s
Nitrogen	70.395%	16.641
Oxigen	6,874%	1.625
Diòxid de carboni	14.813%	3.501
Aigua	7.777%	1.838
Isopropanol	0.117%	0.027
Acetat d'etil	0.022%	0.005

4. MEDI AMBIENT

En aquest apartat s'explicarà tota la part mediambiental del projecte referida a les cinètiques de formació dels NO_x.

4.1.1. Cinètiques i equilibri tèrmic dels NO_x.

L'equilibri químic dicta els productes finals de la reacció, donat el temps suficient per a que aquests reactius arribin a l'equilibri. En aquest cas, l'equilibri químic prediu que la generació tèrmica de NO_x augmentarà exponencialment amb la temperatura. A l'equació següent es mostra la reacció i la reacció d'equilibri.



$$K_{eqnox} = (NO)^2(N_2) \times (O_2) \quad (4.1.1.1)$$

La constant d'equilibri esta en funció de la temperatura:

$$K_{eqnox} = 21.9 \times e^{-43.400/RT_{ox}} \quad (4.1.1.2)$$

Depenen de la concentració de gas, augmentant la temperatura de 2000 a 2600 [°F] por augmentar l'equilibri de les emissions de NO_x fins a 50 vegades. També s'ha de tenir en compte que l'equació d'equilibri té la concentració d'oxigen al denominador. Encara que no es tant important com l'efecte de la temperatura, però a majors concentracions d'oxigen als productes de la combustió, major és l'increment de la generació tèrmica de NO_x.

Per tant es pot saber que: la generació tèrmica de NO_x creix mitjançant funció exponencial de la temperatura i varia amb l'arrel quadrada de la concentració d'oxigen.

Mentre que les prediccions d'equilibri químic coincideixen amb les tendències observades en els sistemes de combustió reals, els valors predits solen sobreestimar les emissions de NO_x observades. Les principals raons són:

- Les emissions de NO_x provenen de una funció de cinètiques de reacció i no d'equilibri químic.
- Els temps de residència són un factor prioritari per a les cinètiques de reacció.
- La flama és de una composició heterogènia de diferents gasos a diferents temperatures a través del cos total de la flama. Ja que, no seria correcte considerar que una sola temperatura representa les condicions reals de una flama.
- Els voltants de la planta, també afecten a les emissions de NO_x.

Generalment, les emissions de NO_x estan determinades mitjançant tests de sistemes de combustió i incineració sota un gran canvi de condicions d'operacions.

5. ENLLUMENAMENT

Per els càlculs del sistema d'enllumenament, seguint en qüestions de seguretat el Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió ITC-BT-26, s'ha utilitzat l'expressió:

$$N = (E \cdot S) / (\gamma \cdot Cu \cdot Fm) \quad (5.1)$$

En la Guia Tècnica per l'avaluació i prevenció dels riscos relatius a la utilització dels llocs de treball s'exigeix un mínim de 150 [lux] , però la norma UNE, exigeix per una il·luminació moderada, 200 [lux]. Per tant, per ser més restrictius, el nivell lluminós per l'àrea de procés serà de 200 [lux]. Aquesta àrea de procés té una superfície de 84 metres quadrats.

El factor d'utilització de la lluminària escollida (ref.12.) , que és la quantitat de llum que es deposita en la zona d'interès respecte a la quantitat de llum emesa total per la lluminària, serà de 80 %. El flux lluminós que produirà també és una dada donada pel fabricant i en aquest cas serà de 3200 lúmens i una potència de 40 W (ref.12). El factor de manteniment acostuma a oscil·lar entre el 60 i el 75 %, però per àrees de procés exteriors i amb facilitat d'embrutiment és recomanable un factor de 60%. Per tant el número de lluminàries necessàries serà de:

$$\frac{200 \cdot 84}{3200 \cdot 0.8 \cdot 0.6} = 10.93 \quad (5.2)$$

S'escollirà un número arrodonit de 11 lluminàries per l'àrea de procés.

Annex II

ANNEX II: DISSENY DE LA UNITAT RTO.	2
1. ELECCIÓ de la Ceràmica.....	2
1.1.1. Embalatge d'empaquetament aleatori	2
1.1.2. Embalatges d'empaquetament estructurats	3
2. PROCEDIMENT DE DISSENY I CÀLCULS DE LA CERAMICA	6
2.1. Càlculs previs al disseny.	6
2.2. Verificar que el contingut d'oxigen del gas residuals excedeixi de 20%	6
2.2.1. Calcular el LEL i el tant per cent del LEL de la mescla de gas	7
2.3. Càlcul de la composició de fums generats.	8
2.4. Balanç d'energia.	8
2.5. Combustible auxiliar.....	10
2.5.1. Gasos de combustió.	10
2.6. Dimensionament de l'equip RTO.....	11
2.6.1. Càlcul de les dimensions de les cel·les de la ceràmica.	11
2.6.2. Càlcul de l'àrea de pas.....	11
2.6.3. Càlcul de les dimensions de la cambra de combustió.	12
2.6.4. Sostre el·líptic	13
2.7. Anàlisi de transferència de calor (mètode Lump Capacitance").....	13
2.7.1. Càlcul del coeficient de transferència de calor per convecció.....	13
2.7.2. Comprovació del mètode "Lump Capacitance"	15
2.7.3. Càlcul de la temperatura final de la ceràmica.	15
2.8. Protecció de la paret de la cambra de combustió.....	17
2.8.1. Càlcul del gruix del material refractari i del material aïllant.	17
3. INSTRUMENTACIÓ.	20
3.1.1. Dimensionament i elecció d'una vàlvula de seguretat.....	20
3.1.2. Llistat d'instrumentació utilitzat.....	22
4. SISTEMA DE CONTROL.	25

ANNEX II: DISSENY DE LA UNITAT RTO.

1. ELECCIÓ DE LA CERÀMICA.

Tots els embalatges de calor usats en aplicacions RTO són d'alguns tipus de ceràmics, típicament compostos principalment de silici (SiO_2) i alúmina o òxid d'alumini (Al_2O_3). La composició dels compostos més utilitzats en aquest sector venen donats en la *Taula 1.1.1.* (ref.20) Els metalls no són apropiats per a aquesta aplicació a causa de les seves característiques pobres de transferència de calor i perquè la part del llit de la cambra d'oxidació s'exposa a una temperatura molt alta.

Taula 1.1.1. Composició dels compostos de ceràmica.

Composició	Porcellana d'alúmina	Mul·lita	Cordierita
SiO_2 (%)	35 – 40	25 – 30	45 – 50
Al_2O_3 (%)	60 – 65	65 – 70	40 – 45
MgO (%)	≤ 3.5	≤ 0.5	5 – 9

1.1.1. Embalatge d'empaquetament aleatori

El primer tipus d'embalatge tèrmic utilitzat en aquesta aplicació va ser les anomenades "saddles" de ceràmica. Aquest nom prové per la seva forma característica de cadira de muntar. Les "saddles" s'anomenen d'empaquetament "aleatori" perquè es dipositen a la cambra del llit i formen una orientació i patrons aleatoris. Les saddles són duradores, però creen una caiguda de pressió relativament alta a través del sistema. També són susceptibles a la picadura de les vores, la qual cosa genera petites peces de ceràmica dins del llit.



Figura 1.1.1.1. Ceràmica tipus saddles.

Per tant, es van desenvolupar mitjans de dissipació de calor alternatius. Un altre tipus d'embalatge aleatori desenvolupat especialment per a les aplicacions RTO es mostra a la *Figura 1.1.1.2.* S'anomena Typak-HSM i té una caiguda de pressió de 20 a 25% més baixa que les saddles per un volum equivalent de material i grandària. La recuperació de l'energia tèrmica és bàsicament la mateixa. Les Typak-HSM poden adquirir mides de 3/4 i 1 1/2 polzades. La mida

més petita és adequada per a aplicacions que requereixen una major eficiència tèrmica amb profunditats de fons més curtes, mentre que l'altre és adequada per a aplicacions que requereixen una major capacitat i rendiment en aplicacions renovades o noves. Les mides més petites augmenten l'eficiència de recuperació d'energia tèrmica per a un determinat volum de material, però també augmenten la pèrdua de càrrega per pressió.



Figura 1.1.1.2. Ceràmica tipus Typak-HSM.

1.1.2. Embalatges d'empaquetament estructurats

Els embalatges estructurats van evolucionar per a les aplicacions del RTO a principis dels anys noranta. Aquests materials es caracteritzen per una sèrie de cèl·lules rectangulars (de vegades anomenades honeycomb) que formen un bloc molt més gran, com es mostra a la *Figura 1.1.2.1*. Aquests blocs són sovint anomenats "monòlits" ja que flux a través de cada cèl·lula individual es veu impedit de barrejar-se amb flux en cèl·lules adjacents a causa de la naturalesa contínua de les parets cel·lulars. Per tant, en comparació amb el flux turbulent a través de l'embalatge aleatori, es passa a través d'un embalatge estructurat i el flux és laminar en condicions normals d'operació d'un RTO. La caiguda de la pressió varia amb la velocitat a través de qualsevol conducte. En el règim de flux turbulent, la caiguda de pressió és una funció del quadrat de la velocitat, és a dir, si la velocitat es duplica, la caiguda de pressió és quatre vegades més gran ($2^2 = 4$). Però, en el flux laminar, la caiguda de pressió és una funció directa de la velocitat, és a dir, si la velocitat es duplica, la caiguda de pressió es duplica. Els mitjans monolítics són laminars i, per tant, la pressió que cau a través dels mitjans monolítics estructurats sol ser molt més baixos. Els monòlits estructurats estan disponibles per a aplicacions per unitats RTO en diverses densitats cel·lulars. Les densitats varien entre 16 x 16 (256 cel·les) i 50 x 50 (2.500 cel·les).

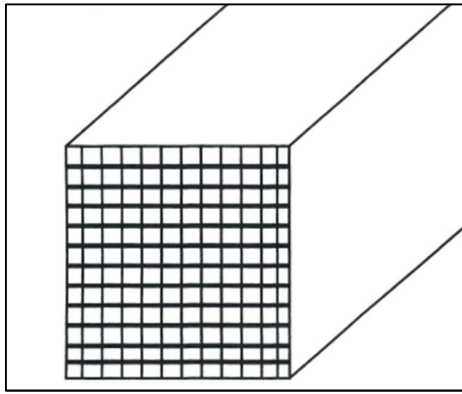


Figura 1.1.2.1. Ceràmica tipus honeycomb.

Un altre tipus de mitjans estructurats es van introduir al mercat l'any 1997. Es van anomenar com a mitjans multicapa, o MLM (multi-layer media), i es compon d'una fina quadrícula de canals interconnectats apilats un damunt de l'altre. El gas pot fluir longitudinalment i lateralment en tipus d'embalatges. Cada capa d'embalatge és d'1,5 mm de gruix i les capes s'apilen per formar mòduls de 12 x 12 x 4 polzades. En la Figura 1.1.2.2 es mostra la diferencia de com l'aire flueix entre els l'estructurat tradicional honeycomb i l'estructurat de tipus MLM.

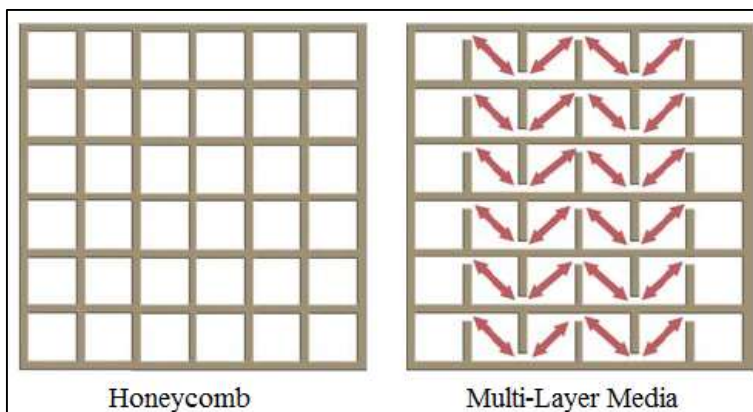


Figura 1.1.2.2. Diferències de com flueix l'aire l'estructura Honeycomb i el MLM.

Les característiques físiques d'aquest tipus d'embalatge són comparades entre una polzada de ceràmica de tipus saddles, una polzada de ceràmica de tipus Typak i un monòlit de 40 x 40 cèl·lules a la Taula 1.1.2.1 (ref. 03). El volum d'aquest tipus d'embalatge necessari per aconseguir una recuperació d'energia tèrmica específica és menor que la del mitjà monolític. No obstant això, a una determinada velocitat de flux, la caiguda de pressió és aproximadament un 50% més gran que el monòlit, tot i que encara és molt inferior a la ceràmica tipus saddles. El cost de l'embalatge de MLM és inferior al monòlit, de manera que de nou s'ha de fer una compensació entre el capital i els costos operatius per a una aplicació determinada.

Taula 1.1.2.1. Comparació de les característiques físiques de diferents tipus de ceràmica

Tipus de ceràmica:	Typak	Saddles	Monolith	MLM
Densitat (lb/ft ³)	46	42	65	72
Àrea superficial (ft ² /ft ³)	58	65	245	210
% buit	72	69	65	60

2. PROCEDIMENT DE DISSENY I CÀLCULS DE LA CERAMICA

2.1. Càlculs previs al disseny.

2.2. Verificar que el contingut d'oxigen del gas residuals excedeixi de 20%

Ha d'haver suficient oxigen en el gas residual per tal de realitzar la combustió dels orgànics volàtils residuals i del combustible addicional en el cas de que es necessiti. En el cas de que el tant per cent en aire sigui inferior al 20%, serà necessari agregar aire. A continuació es realitzen els càlculs per el gas residual a tractar.

Per a calcular la concentració d'oxigen en el corrent d'aire s'ha calculat primerament les quantitats de cada un dels orgànics en el gas. Per a realitzar aquest càlcul s'ha utilitzat la concentració massica del líquid i, tenint en compte que tant l'acetat d'etil com l'isopropanol són 100% volàtils aquests valors es poden utilitzar per a la concentració, ja coneguda, dels dos components junts en la mescla gasosa.

Utilitzant els valors de la *Taula 4.2.1* de l'*Apartat 4.2* de la memòria es calculen les concentracions que hi ha a la mescla.

$$x_{líq\text{acetat}} \cdot x_{tot} = 0.2 \cdot 1400 = 280 \left[\frac{mg}{m^3} \right] \quad (2.2.1)$$

$$x_{líq\text{isopropanol}} = 1400 - 280 = 1120 \left[\frac{mg}{m^3} \right] \quad (2.2.2)$$

Tenint en compte el cabal total de gas:

$$m_{acetat} = 280 \cdot 69300 = 19.404 [kg] \quad (2.2.3)$$

$$m_{isopropanol} = 1120 \cdot 69300 = 77.616 [kg] \quad (2.2.4)$$

En la *Taula 2.2.1* trobem les densitats relatives de l'acetat d'etil i de l'isopropanol així com la densitat de l'aire.

Taula 2.2.1: Densitats dels compostos del sistema.

Dades	Valor
densitat aire [kg/m ³]	1.29
densitat relativa acetat	3
densitat relativa isopropanol	2.1

Amb les densitats es pot calcular el volum d'isopropanol i de acetat d'etil i, restant-los al cabal total resultarà el volum d'aire.

$$Volum\ acetat\ d'etil = \frac{19.404}{3 \cdot 1.29} = 5.01 [m^3] \quad (2.2.5)$$

$$\text{Volum isopropanol} = \frac{77.616}{2.1 \cdot 1.29} = 28.65 \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.2.6)$$

$$\text{Volum aire} = 69300 - (5.01 + 28.65) = 69266.3 \text{ [m}^3\text{]} \quad (2.2.7)$$

Un cop calculat el volum d'aire es pot calcular el volum d'oxigen i de nitrogen, i comprovar que el contingut d'oxigen excedeix el 20%:

$$\text{Concentració oxigen} = \frac{69266.3 \cdot 0.21}{69300} \cdot 100 = 20.98\% \quad (2.2.8)$$

Com es pot veure la concentració d'oxigen supera el 20% requerit i, per tant no es necessària l'addició d'aire extra per tal d'assegurar la combustió.

2.2.1. Calcular el LEL i el tant per cent del LEL de la mescla de gas

Per tal de complir amb la regulació del risc contra incendi el límit inferior explosiu de la mescla ha de ser menor a un 25%.

Taula 2.2.1.1. LEL dels COVs a 25 [°C] (ref.42).

Compost	LEL [%] a 25 [°C]
Acetat d'etil	2.00%
Isopropanol	2.00%

Les dades de les taules fisicoquímiques sobre el LEL de l'isopropanol i de l'acetat d'etil han estat obtingudes en condicions ambientals de temperatura i pressió.

Amb variació de temperatura els LEL disminueixen aproximadament un 8% per cada 100 [°C]. La pressió afecta molt lleugerament al LEL. De manera general aquest és constant amb la disminució de la pressió fins als 5kPa (pressió a partir de la qual ja no es pot propagar la flama). En augments de pressió també afecten molt poc al límit inferior d'explosivitat.

En general per a una temperatura determinada es pot utilitzar l'Equació 2.2.1.1 per a ajustar el LEL.

$$LEL_t = LEL_{25} - (0.8 \cdot LEL_{25} \cdot 10^{-3}) \cdot (t - 25) \quad (2.2.1.1)$$

Per a poder calcular el LEL d'una mescla de compostos s'utilitza la regla de *Le Chatelier* (Eq. 2.2.1.2).

$$LEL_{mescla} = 100\% / \left[\left(\frac{C_1}{LEL_1} \right) + \left(\frac{C_2}{LEL_2} \right) + \dots + \left(\frac{C_n}{LEL_n} \right) \right] \quad (2.2.1.2)$$

En aquest cas concret com els LEL dels dos compostos són iguals només es necessari calcular la variació d'un amb la temperatura, ja que l'altre variarà de la mateixa manera.

La temperatura a la que es realitza el càlcul es la de l'entrada al RTO, 686 [°C].

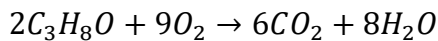
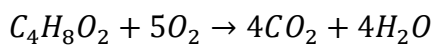
$$LEL_{isopropanol} = LEL_{acetat d'etil} = 2.00 - (0.8 \cdot 2.00 \cdot 10^{-3}) \cdot (686 - 25) = 0.94\% \quad (2.2.1.3)$$

En quant al LEL de la mescla aquest serà exactament igual al dels compostos individuals a 686 [°C].

El LEL de la barreja és per tant 0.94%. A causa de que aquest està molt per sota de 25%, no es necessita aire per dilució. Si la barreja hagués estat per sobre del 25% del LEL, hauria calgut prou aire de dilució per portar la concentració de la barreja a menys del 25% per a satisfer les regulacions de l'assegurança contra incendi.

2.3. Càlcul de la composició de fums generats.

Les reaccions de combustió de la mescla són les següents:



En aquest cas els productes formats per la combustió de la fase gasosa són: CO₂ i H₂O; també, tot i que en una quantitat molt petita, es formen NO_x. En aquest cas de càlcul no es tindran en compte els NO_x formats ja que, la quantitat és ínfima en comparació amb la resta de valors.

Tal i com s'ha indicat anteriorment en la memòria la conversió utilitzada serà d'un 98% per tal de realitzar tots els càlculs amb el pitjor escenari possible i així assegurar qualsevol imprevist que pugui ocórrer.

Primerament es realitza el càlcul dels mols que reaccionen en l'oxidador. En el cas de l'isopropanol i l'acetat d'etil, reactius limitants, es suficient amb multiplicar el número de mols per la conversió. En el cas de l'oxigen es realitza el càlcul estequiomètric amb els mols reaccionats de l'isopropanol i l'acetat d'etil. S'ha de tenir en compte que tots els càlculs estan realitzats per a 1 segon.

$$n_{C_4H_8O_2} = 6.12 \cdot 10^{-5} \cdot 0.98 = 6 \cdot 10^{-5} \text{ [kmols]} \quad (2.3.1)$$

$$n_{C_3H_8O} = 3.59 \cdot 10^{-4} \cdot 0.98 = 3.52 \cdot 10^{-4} \text{ [kmols]} \quad (2.3.2)$$

$$n_{O_2} = 5 \cdot 6 \cdot 10^{-5} + 4.5 \cdot 3.52 \cdot 10^{-4} = 1.88 \cdot 10^{-3} \text{ [kmols]} \quad (2.3.3)$$

A la sortida de l'oxidador hi haurà els mols de l'entrada menys els reaccionats que s'han calculat anteriorment. Els resultats es troben a la *Taula 4.3.1* a l'apartat 4.3 de la memòria.

2.4. Balanç d'energia.

Tal i com s'ha comentat a l'*Apartat 4.4* de la memòria per a realitzar el balanç d'energia s'ha considerat que tant a l'entrada com a la sortida només hi ha aire.

Pels càlculs s'ha utilitzat la formula següent:

$$\Delta H = m \cdot C_p \cdot \Delta T \quad (2.4.1)$$

A partir d'aquesta fórmula es calcula l'energia necessària per a escalfar els gasos fins a la temperatura d'operació del reactor i l'energia que absorbeix la ceràmica una cop s'ha produït la reacció de combustió.

Primerament s'ha tingut en compte que la capacitat calorífica, CP, no es tracta d'un valor constant si no que depèn bàsicament de la temperatura i, per tant, s'ha de calcular per a diferents variacions d'aquesta.

Per a calcular la CP en funció de la temperatura s'utilitza l'Equació 2.4.2.

$$C_p = a + b \cdot T + c \cdot T^2 + d \cdot T^3 \quad (2.4.2)$$

La solució de la integral de la fórmula anterior condueix a l'Equació 2.4.3 i, coneixent els valors de les constants a, b, c i d per a l'aire, es pot calcular la capacitat calorífica per a qualsevol variació de temperatura, sempre i quan les constants siguin vàlides en aquest interval.

$$C_p = a + \frac{b}{2} \cdot (T_2 - T_1) + \frac{c}{3} \cdot (T_2^2 + T_1 \cdot T_2 + T_1^2) + \frac{d}{4} \cdot (T_2^3 + T_2^2 \cdot T_1 + T_2 \cdot T_1^2 + T_1^3) \quad (2.4.3)$$

En la Taula 2.4.1 es troben els valors de les constants per a l'aire així com l'error mitjà.

Taula 2.4.1. Constants per al calcula de la capacitat calorífica en funció de la temperatura.

Compost	a	b	c	d	Error mitjà
Aire	6.713	0.04697	0.1147	-0.4696	0.33

Per a l'escalfament, la capacitat calorífica es calcula entre la temperatura d'entrada, 23 [°C] i la temperatura d'operació, 686 [°C].

$$C_p = 6.713 + \frac{0.04697}{2} \cdot (959 - 296) + \frac{0.1147}{3} \cdot (959^2 + 296 \cdot 959 + 296^2) + \frac{-0.4696}{4} \cdot (959^3 + 959^2 \cdot 296 + 959 \cdot 296^2 + 296^3) = 7.21 \left[\frac{J}{g \cdot K} \right] \quad (2.4.4)$$

Per la capacitat calorífica en el refredament després de la combustió es realitza el mateix càlcul canviant l'interval de temperatures entre 686 [°C] i 150 [°C].

$$C_p = 6.98 \left[\frac{J}{g \cdot K} \right] \quad (2.4.5)$$

Una vegada calculades les capacitats calorífiques fent servir l'Equació 2.4.1 es calcula l'energia per a l'escalfament inicial i per al refredament que es produeix a la ceràmica.

$$\Delta H_{\text{escalfament}} = 8.94 \cdot 10^7 \left[\frac{g}{h} \right] \cdot 7.21 \left[\frac{J}{g \cdot K} \right] \cdot (686 - 23) = 4.28 \cdot 10^{11} \left[\frac{J}{h} \right] = 118.77 [MW]$$

$$\begin{aligned} \Delta H_{\text{refredament}} &= 8.94 \cdot 10^7 \left[\frac{g}{h} \right] \cdot 6.98 \left[\frac{J}{g \cdot K} \right] \cdot (150 - 686) \cdot 0.997 = -3.34 \cdot 10^{11} \left[\frac{J}{h} \right] \\ &= -92.68 [MW] \end{aligned}$$

En el cas del refredament s'ha tingut en compte l'eficiència de la ceràmica.

Per últim l'energia per les combustions dels COV es calcula a partir de les entalpies de les reaccions i els mols de COV's que reaccionen.

$$H_{reacció} = (\Delta H_{C_4H_8O_2} \cdot n_{C_4H_8O_2} + \Delta H_{C_3H_8O} \cdot n_{C_3H_8O}) \cdot 0.98 \quad (2.4.6)$$

$$H_{reacció} = ((-2269.9) \cdot 220 + (-2003.8) \cdot 1291.4) \cdot 0.98 = 3.03 \cdot 10^6 \left[\frac{kJ}{h} \right] = -0.84 [MW] \quad (2.4.7)$$

2.5. Combustible auxiliar.

Primerament es calcula l'energia que s'ha d'aportar mitjançant la combustió del gas natural.

$$H_{combustible} = \Delta H_{escalfament} - (\Delta H_{refredament} + H_{reacció}) = 118.77 - (92.68 + 0.84) = 26.93 [MW] \quad (2.5.1)$$

A partir del calor específic del gas natural en les condicions d'operació del reactor es calcula el volum necessari de combustible.

$$V_{combustible} = \frac{26.93 [MW]}{51.04 \left[\frac{MJ}{m^3} \right]} = 0.53 \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.5.2)$$

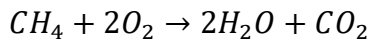
Aquest volum de gas natural és el necessari una vegada el procés ja esta en marxa i s'aprofita el calor de la ceràmica en l'entrada del gas.

Per a calcular el volum necessari per a l'arrancada s'ha de tenir en compte només l'energia necessària per escalfar el corrent d'entrada ja que, no hi ha més aportacions d'energia.

$$V_{arrancada} = \frac{118.77 [MW]}{51.04 \left[\frac{MJ}{m^3} \right]} = 2.33 [m^3/s] \quad (2.5.3)$$

2.5.1. Gasos de combustió.

A continuació es realitza el balanç de matèria per al gas natural. La reacció de combustió per al gas natural és la següent:



Per a conèixer la quantitat d'aire necessari per a la combustió del gas natural es realitzen els càlculs estequiomètrics a partir del volum de gas natural calculat anteriorment.

$$n_{CH_4} = \frac{V_{combustible} \cdot \rho_{combustible}}{PM_{combustible}} = \frac{0.53 \cdot 1.16}{16} = 0.038 [mols] \quad (2.5.1.1)$$

$$n_{O_2} = n_{CH_4} \cdot 2 = 0.076 [mols] \quad (2.5.1.2)$$

A partir dels mols de oxigen es calcula el volum d'aire necessari:

$$V_{O_2} = \frac{n_{O_2} \cdot PM_{O_2}}{\rho_{O_2}} = \frac{0.076 \cdot 32}{1.43} = 1.71 [m^3] \quad (2.5.1.3)$$

$$V_{aire} = \frac{V_{O_2}}{0.21} = 8.15 [m^3] \quad (2.5.1.4)$$

Una cop calculat el volum d'aire ja es pot calcular el volum de nitrogen i realitzar el balanç de matèria de la combustió de gas natural.

2.6. Dimensionament de l'equip RTO.

2.6.1. Càlcul de les dimensions de les cel·les de la ceràmica.

Primerament es resta la suma del gruix de la paret de les cel·les que formen un costat del mòdul i així es coneixerà la dimensió d'una cel·la sense el gruix (Eq. 2.6.1.1).

$$150 [mm] - (30 \text{ cel} \cdot \text{les} \cdot 0.8 [mm]) = 138 [mm] \quad (2.6.1.1)$$

$$\frac{138 \text{ mm}}{30 \text{ cel} \cdot \text{les}} = 4.6 \text{ mm} \quad (2.6.1.2)$$

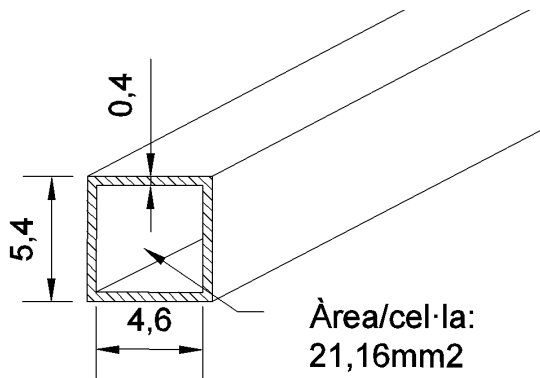


Figura 2.6.1.1. Dimensions d'una cel·la.

En la Figura 2.6.1.1. es poden veure les dimensions que tindrà cada cel·la de 150 [mm] de llargada. L'àrea de pas per cada mòdul serà doncs de:

$$(4,6^2 \cdot 900) = 19.044 [mm^2] \quad (2.6.1.3)$$

Coneixent el costat d'una cel·la i la seva profunditat es pot calcular l'àrea superficial que aportaran les 900 cel·les (30x30) per cada mòdul (Equació 2.6.1.4.).

$$((4,6^2 \cdot 150 \cdot 4) \cdot 900) / 1000000 = 2.48 [m^2] \quad (2.6.1.4)$$

2.6.2. Càlcul de l'àrea de pas.

Un cop establerta l'àrea de la base, és a dir, el diàmetre hidràulic, es pot conèixer l'àrea de pas (Equació 2.6.2.1) multiplicant l'àrea de pas d'una sola cel·la per el nombre de cel·les per mòdul i pel nombre de mòduls totals de la base.

$$0,019 \cdot 900 \cdot (16 \cdot 17) = 5.18 m^2 \quad (2.6.2.1)$$

Aleshores, amb el cabal volumètric limitant (el de sortida en tot moment ja que es troba a una temperatura superior i una pressió inferior) què es troba a la Taula 4.5.3 de l'Apartat 4.5 de la

memòria amb l'àrea de pas anterior, es pot trobar la velocitat amb la qual els gasos travessaran la ceràmica:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.6.2.2)$$

$$\frac{31.7}{5.18} = 6.03 \left[\frac{m}{s} \right] \quad (2.6.2.2)$$

2.6.3. Càlcul de les dimensions de la cambra de combustió.

L'altura es troba a partir d'una iteració de càlculs, en els quals es variarà el valor de l'altura. Tal com s'ha establert al principi, el temps de residència dels gasos dintre de l'equip interessa que sigui d'1 segon. Per què això es compleixi, el volum que de gasos que passen en un 1 segon a la pressió i temperatura de treball, ha de ser igual al volum de l'equip. Es considerarà que els gasos ocuparan el volum de la cambra de combustió més el volum de dues torres de ceràmica (entrada i sortida).

Primerament, es calcula el cabal volumètric dels gasos a dintre de l'equip. La cambra de combustió treballarà a la pressió de 1.5. [atm] i a una temperatura màxima de 686 [°C]. El cas més restrictiu és suposar la temperatura màxima que es trobarà el gas residual però també comptar amb el volum que ocuparà el gas natural un cop cremat. Es realitza una aproximació aplicant la llei dels gasos ideals (*Equació 2.6.3.1*) en aquestes condicions i es troba el cabal volumètric:

$$\frac{904 \cdot 8.2 \cdot 10^{-5} \cdot (686 + 273.15)}{1.5} = 59.29 \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (2.6.3.1.)$$

A continuació es mostra la taula amb les iteracions que s'han realitzat amb diferents valors d'altura de la cambra de combustió, fins que els volums s'aproximin per tal de aconseguir 1 segon com a temps de residència.

Taula 2.6.3.1. Iteracions realitzades.

Altura [m]	Volum cambra [m ³]	Àrea de pas [m ²]	Velocitat del gas en la cambra [m/s]	Volum RTO [m ³]	Temps de residència [s]
0,50	11,25	1,25	47,43	35,25	0,59
1,00	22,50	2,50	23,71	46,50	0,78
1,25	28,13	3,13	18,97	52,13	0,88
1,50	33,75	3,75	15,81	58,80	0,99

L'altura serà de 1.5 [m] ja que d'aquesta manera s'obté aproximadament 1 segon de residència i una velocitat acceptable a través de la cambra de 15.8 [m/s].

2.6.4. Sostre el·líptic

Es troba convenient dissenyar la cambra d'oxidació amb un sostre el·líptic en comptes de una forma totalment rectangular. A part d'una major rigidesa, la seva forma també ajuda a que el flux es desplaci amb més facilitat i per tant, generar menys pèrdues de pressió per fricció. Totes les dimensions s'han calculat simplificant els càlculs suposant que tot l'equip està format per "rectangles" (3 torres + cambra oxidació). Es suposa que els últims 30 centímetres de l'altura total seran de forma el·líptica i es calcula quina àrea ocupa realment la forma rectangular per contrarestar-ho amb la forma el·líptica (*Equació 2.6.4.1*).

$$0.30 \cdot 2.5 = 0.75 [m^2] \quad (2.6.4.1)$$

A continuació es busca l'àrea que tindria una el·lipse d'aquesta altura (*Equació 2.6.4.2*). La diferència entre les dos àrees serà compensada amb un increment de l'altura restant (0.75 [m]).

$$\frac{1.25 \cdot 0.3 \cdot \pi}{2} = 0.589 [m^2] \quad (2.6.4.2)$$

$$0.75 - 0.589 = 0.161 [m^2] \quad (2.6.4.3)$$

$$\frac{0.161}{2.50} = 0.06 [m] \quad (2.6.4.4)$$

Coneixent la diferència d'àrea, i per tant de volum, que s'ha de compensar perquè els càlculs i les iteracions fetes prèviament es segueixin complint, l'altura haurà de ser 6 centímetres més alta (*Equació 2.6.4.4*). Altura de la cambra finalment és de 1.56 [m] i l'altura total de l'equip és de 3.56 [m]

2.7. Anàlisi de transferència de calor (mètode *Lump Capacitance*)

2.7.1. Càlcul del coeficient de transferència de calor per convecció.

Els gasos provinents de la combustió és una barreja de varis components, els quals venen donat en la *Taula 2.7.1.1*. El nombre de Reynolds es calcula segons l'expressió de l'*Equació 2.7.1.2*. La qual té en compte la viscositat i la densitat del fluid, en el nostre gas, el gasos provinents de la combustió. Segons la *Taula 2.7.1.1*, el component majoritari en la corrent de sortida és el nitrogen, representant el 76% de la composició i sent el segon component majoritari l'oxigen amb un 13%. L'oxigen té unes propietats molt semblants al nitrogen en aquestes condicions. Per tant, per aproximar els càlculs, s'agafarà el nitrogen com a únic component de la corrent a una temperatura mitjana entre 686 [°C] (temperatura de la

combustió i entrada a la ceràmica) i 150 [°C] (temperatura establerta a la sortida de la ceràmica).

Taula 2.7.1.1. Composició de la corrent de sortida.

Component	Entrada (mol/s)	Sortida (mol/s)	Entrada (% mol)	Sortida (% mol)
C ₄ H ₈ O ₂	0.06	0.00	0.01	0.00
C ₃ H ₈ O	0.36	0.00	0.04	0.00
O ₂	180	90	20.93	9.96
N ₂	680	680	79.07	75.2
H ₂ O	0.00	90	0.00	9.96
CO ₂	0.00	50	0.00	5.53

$$\frac{686+150}{2} = 418 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.7.1.1)$$

Es busquen les dades sobre les propietats físiques i tèrmiques del nitrogen fent l'aproximació esmentada anteriorment. Les dades estan representades en la *Taula 2.7.1.2*. A continuació es pot buscar

Taula 2.7.1.2. Propietats físiques i tèrmiques del nitrogen a 418 °C i 4.4 bar (ref.07).

Densitat (kg/m ³)	Cp (J/g K)	Viscositat (Pa·s)	Cond. Tèrmica (W/m·K)
0.54	1.09	3.25·10 ⁻⁵	4.91·10 ⁻²

$$Re_{Dh} = \frac{V \cdot D}{(\mu/\rho)} \quad (2.7.1.2)$$

En conductes no circulars, com és el cas, el diàmetre utilitzat, és el diàmetre hidràulic, el qual s'obté mitjançant l'Equació 2.7.1.3.

$$D \text{ hidràulic} = \frac{4 \cdot \text{Àrea de pas}}{\text{Perímetre mullat}} \quad (2.7.1.3)$$

$$\frac{4 \cdot (4,6)^2}{4 \cdot 5,4} = 3.92 \text{ [mm]} \quad (2.7.1.4)$$

Es calcula el nombre de Reynolds i a continuació el nombre Prandtl mitjançant l'Equació 2.7.1.6.

$$\frac{2 \cdot (3.92 \cdot 10^{-3})}{(3.26 \cdot 10^{-5})/0.54} = 144.3 \quad (2.7.1.5)$$

$$Pr = \frac{cp \cdot \mu}{k} \quad (2.7.1.6)$$

$$\frac{3.26 \cdot 10^{-5} \cdot 1096.7}{4.91 \cdot 10^{-2}} = 0.80 \quad (2.7.1.7)$$

A l'aplicar el mètode de *Lump Capacitance*, el qual interpreta el sistema com una sola entitat, s'ha trobat apropiat aproximar els càlculs suposant que la ceràmica actua com una placa vertical. Fent aquesta suposició el nombre de *Nusselt* es calcula fent servir l'Equació 2.7.1.8. on

els paràmetres C i m són constants determinades a partir de la geometria escollida. Aquests paràmetres tenen un valor de 0.228 i 0.731 respectivament.(ref.14).

$$Nu_D = C \cdot Re_D^m \cdot Pr^{1/3} \quad (2.7.1.8)$$

$$0.228 \cdot 144.3^{0.731} \cdot 0.80^{1/3} = 8.02 \quad (2.7.1.9)$$

Coneixent tots els valors es pot calcular el valor del coeficient de transferència de calor per convecció del fluid.

$$h = \frac{Nu_D \cdot k_f}{D_h} \quad (2.7.1.10)$$

$$\frac{8.02 \cdot 3}{3.92 \cdot 10^{-2}} = 11.41 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (2.7.1.11)$$

Les aproximacions i els càlculs realitzats donen un valor que està dintre del rang de valors bibliogràfics.

2.7.2. Comprovació del mètode “Lump Capacitance”.

Per determinar si el mètode és aplicable o no, s’haurà de veure la raó entre resistències internes i externes. La transferència de calor cap a la superfície està donada per $(T_\infty - T_s)$ i dintre del sòlid, es pot aproximar a $k \cdot (T_s - T_{centre})/L$. Però, donat que durant la transferència, l’energia transferida des de l’ambient a la superfície iguala a l’energia conduïda des de la superfície s’obté:

$$\frac{T_s - T_{centre}}{T_\infty - T_s} \approx \frac{\frac{k}{L}}{\frac{1}{h}} = \frac{h L_c}{k} = Bi \quad (2.7.2.1)$$

On L_c és la longitud característica i es calcula mitjançant l’Equació 2.7.2.2.

$$\frac{V}{A_s} = L_c \quad (2.7.2.2)$$

$$\frac{12.2}{8944.8} = 1.36 \cdot 10^{-3} \quad (2.7.2.3)$$

Per tant, si aquesta raó (Equació 2.7.2.1.) és molt menor que 1, la resistència a conduir calor dintre del sòlid és molt menor que la resistència convectiva. Però per un valor de Bi inferior a 0.1, l’error introduït per aquesta tècnica és menor al 5%, el que és acceptable.

$$\frac{11.41 \cdot 1.36 \cdot 10^{-3}}{3.00} = 0.0052 \quad (2.7.2.4)$$

El resultat és 20 cops inferior al mínim, per tant l’error introduït en aquesta tècnica encara és molt més inferior que el 5%.

2.7.3. Càlcul de la temperatura final de la ceràmica.

Un cop comprovat que es pot aplicar el mètode de *Lump Capacitance*, es pot continuar amb el càlcul de la temperatura de la ceràmica al final d’un cicle. Aquesta temperatura serà la

temperatura que haurà agafat a l'escalfar-se, ja que ho estem calculant sobre la torre de "sortida" cap a la xemeneia.

Quan el mètode de *Lump Capacitance* és aplicable, la temperatura en la superfície del sòlid (T_s) iguala a la temperatura en el interior del sistema (T) en tot moment (*Equació 2.7.3.1*) Sota aquesta suposició i amb la temperatura inicial (T_0) del sistema s'obté una equació de transferència de calor en funció del temps, la qual, si s'integra s'obté com a resultat l'*Equació 2.7.3.2* on es pot aïllar la temperatura en funció del temps.

$$T_s(t) = T(t) \quad (2.7.3.1)$$

$$\frac{T(t)-T_\infty}{T_0-T_\infty} = e^{-\frac{hA}{\rho V cp}t} \quad (2.7.3.2)$$

Al no conèixer la temperatura inicial de la ceràmica, primerament s'ha suposat que es troba a temperatura ambient. El temps d'un cicle establert és de 90 segons, la temperatura de l'ambient és la del gas a la sortida de la cambra de combustió i la densitat i la capacitat calorífica són dades pròpies de la ceràmica escollida (*Taula 4.1.6.1 de l'Apartat 4.1.6 de la memòria*).

$$686 + (25 - 686) \cdot e^{-\frac{11.41 \cdot 8944.8}{840 \cdot 966 \cdot 12.18} \cdot 90} = 623.11 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.7.3.3)$$

Posteriorment s'ha realitzat el mateix càlcul pel "refredament de la ceràmica", és a dir, a l'entrada de la cambra. En aquest cas s'agafa com a calor inicial la temperatura trobada anteriorment després dels 90 segons i es busca la temperatura a la que acabarà estan la ceràmica al final de 90 segons també. Aquesta temperatura després del seu refredament seria la temperatura inicial quan es fan els càlculs per la temperatura final després de el seu "escalfament". Per tant, s'interpolava fent varis càlculs amb les temperatures "inicials" i "finals" trobades, cadascuna en funció de l'altre, fins que aquestes ja no varien significadament. Aquesta interpolació es troba reflectida en la *Taula 2.7.3.1*.

Taula 2.7.3.1. Interpolació de les temperatures de la ceràmica finals.

T_{final} al escalfar-se (sortida) [°C]	T_{final} al refredar-se (entrada) [°C]
623.111	85.943
628.909	86.563
628.968	86.569
628.969	86.569

Per tant, les temperatures són de 628.96 [°C] a la sortida després de escalfar-se absorbint la calor dels gasos i de 86.57 [°C] a l'entrada després d'haver cedit calor a la ceràmica durant 90 segons.

2.8. Protecció de la paret de la cambra de combustió.

2.8.1. Càlcul del gruix del material refractari i del material aïllant.

El càlcul del gruix de l'aïllant s'aplica considerant una paret plana i el transport de calor es donarà per conducció, convecció i radiació. El flux de calor es pot definir com a:

$$q = k_r(T_f - T_a) \quad (2.8.1.1)$$

$$k_r = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_f} + \frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{d_3}{k_3} + \frac{1}{h_a}\right)} \quad (2.8.1.2)$$

Per simplificar els càlculs, es pot menysprear el coeficient de transport intern (h_f) i es considera que la temperatura de la paret interior del primer material es troba a la mateixa temperatura que el fluid. També es pot menysprear el terme de conducció a través del recobriment extern (l'acer al carboni) i per tant, la temperatura superficial final serà aquell que tingui el recobriment de maons de diatomees a l'exterior.

El càlcul serà iteratiu, i per això s'han de suposar els espessors dels dos materials, prèviament fixant les temperatures externa i interna de l'equip. Per termes de seguretat, la temperatura exterior que tindrà la xapa serà igual o inferior a 60 [°C]. Seguidament s'haurà de calcular el calor que es dissiparà a través de la paret de la cambra mitjançant l'Equació 2.8.1.2, tenint en compte la temperatura existents a l'interior de la cambra, la temperatura fixada exterior de l'equip i les resistències a la transmissió de calor per cada un dels materials triats per aquesta finalitat.

El coeficient de transport extern (h_a) engloba la convecció (h_c) i la radiació (h_r). I per trobar aquest valor es farà servir el següent càlcul aproximat sempre que la resta entre la temperatura de la superfície externa i la temperatura sigui menor a 60 [°C]:

$$h_a = A + 0.005(T_s - T_a) \quad (2.8.1.3)$$

On A és un paràmetre que depèn de la superfície tal com es pot observar en la Figura 2.8.1.1. Per tant, el coeficient de transport és calcula finalment a l'Equació 2.8.1.3. establint com a temperatura ambient 25 [°C] i com a temperatura superficial [60°C].

Surface	A	B
Aluminium, rolled	2,5	2,7
Aluminium, oxidised	3,1	3,3
Galvanised sheet, bright	4,0	4,2
Galvanised sheet, tarnished	5,3	5,5
Austenitic steel	3,2	3,4
Alu-Zinc – sheet	3,4	3,6
Non-metallic surface	8,5	8,7

Figura 2.8.1.1. Paràmetres en funció de la superfície.

$$5.3 + 0.005(60 - 25) = 7.1 \left[\frac{W}{m^2K} \right] \quad (2.8.1.4)$$

Es suposa uns espessors dels dos materials de 10 centímetres cadascú i es busca el valor de la resistència total que trobarà el flux de calor:

$$\frac{1}{\left(\frac{0.1}{3.84} + \frac{0.1}{0.05} + \frac{1}{7.1}\right)} = 0.46 \left[\frac{W}{m K} \right] \quad (2.8.1.5)$$

Finalment, es pot comprovar si la temperatura superficial és igual a la temperatura establerta de 60 [°C] mitjançant la següent equació:

$$T_s = \frac{(T_f - T_a)}{h_a \left(\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_2}{k_2} + \frac{1}{h_a}\right)} + T_a \quad (2.8.1.6)$$

$$\frac{(686 - 25)}{7.1 \left(\frac{0.1}{3.84} + \frac{0.1}{0.05} + \frac{1}{7.1}\right)} + 25 = 68.25 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.8.1.7)$$

Els espessors triats no proporcionen suficient aïllament ja que la temperatura superficial dona 8.25 [°C] per damunt de la temperatura l'establerta. Per tant, es tornen a fer els càlculs amb un espessor del formigó refractari de 8 centímetres i un espessor dels maons de diatomees de 14 centímetres. El valor de la resistència total obtingut aquest cop és de 0.34 [W/m² · K] i el de la temperatura superficial és de 56.6 [°C]. Els maons de diatomees en canvi, aconseguixen retenir la calor de tal forma que al final de la seva paret superficial exterior només es troba a una temperatura de 56.6 [°C], la qual se dona per acceptable.

A continuació es calcula aproximadament el volum de cada material necessari per protegir correctament l'equip.

Taula 2.8.1.1. Quantitat total de cada material necessari.

Àrea total per aïllar [m ²]	Formigó refractari necessari [m ³]	Maons de diatomees necessaris [m ³]
82	65	115

3. INSTRUMENTACIÓ.

3.1.1. Dimensionament i elecció d'una vàlvula de seguretat.

3.1.1.1 Càlcul de la pressió de tara

La pressió de descarrega de la vàlvula (PSV-150) de la línia d'alimentació de gas natural (GN-1200) es pot calcular mitjançant l'Equació 3.1.1.1.1:

$$P. \text{ de tara} = \frac{P \text{ d'ajust valv.redc.} + \text{Band proporcional} + 0.1 \text{ bar}}{1 - \text{Factor de descarrega}} \quad (3.1.1.1.1)$$

Taula 3.1.1.1.1. Dades de la vàlvula reductora de pressió.

Pressió d'ajust vàlvula reductora [bar]	Banda proporcional vàlvula reductora de pressió [bar]	Pressió de disseny màxima del sistema [bar]
6.0	0.3	8

$$\frac{6 + 0.3 + 0.1}{1 - 0.1} = 7.1 \text{ [bar]} \quad (3.1.1.1.2)$$

S'agafarà com a pressió de tara de la vàlvula de seguretat (PSV-150) el valor de 7.1 [bar], ja que és una pressió per sota de la pressió màxima de disseny de 8.0 [bar].

3.1.1.2 Càlcul de la capacitat de descàrrega

Per realitzar el càlcul de la capacitat de descàrrega de la vàlvula es farà servir l'Equació 3.1.1.2.1. (ref.32) es necessiten les propietats del fluid (Taula 3.1.1.2.1.), les condicions d'operacions establertes (Taula 3.1.1.2.2.) i les condicions de descàrrega (Taula 3.1.1.2.3)

$$A = \frac{13160 W \sqrt{T Z}}{C K P_1 K_b \sqrt{M}} \quad (3.1.1.2.1)$$

Taula 3.1.1.2.1. Propietats del fluid

Fluid	Pes molecular (M)	Estat	Factor de compressibilitat (Z)
Gas natural	19	Gas	1

Taula 3.1.1.2.2. Condicions d'operació màximes

Pressió d'operació màxima	Temperatura d'operació màxima	Cabal màxim (W)
800 (kPag)	120 (°C)	4288 (kg/h)

Taula 3.1.1.2.3. Condicions de descàrrega

Pressió tarada de descàrrega	Sobrepessió permesa	Back Pressure	Factor de correcció descàrrega vàlvula (K _b)	Coefficient efectiu de descàrrega (K)
710 (kPag)	10%	Atmosfèric	1	0.975

El coeficient C és determinat a partir d'una expressió de la relació de càlculs específics del gas en condicions estàndard i és tret d'una taula bibliogràfica.(ref.32). La pressió de descàrrega, en

kilopascals absoluts, és la suma de la pressió de tara, la sobrepressió permesa i la pressió atmosfèrica.

$$\frac{13160 \cdot 4288 \cdot \sqrt{1 \cdot (50+2)}}{344 \cdot 0.975 \cdot (710+101+7,1) \cdot 1 \cdot \sqrt{19}} = 801.2 [mm^2] \quad (3.1.1.2.2)$$

3.1.2. Llistat d'instrumentació utilitzat.*Taula 3.1.2.1. Vàlvules de control/tall*

TAG	Descripció	Servei	Dimensió	Línia	Material (cos)	Fallada	Model	Fabricant
MV-100	Vàlvula de papallona automàtica controladora de pressió	Gasos de COV freds	32"	RTO-32"-COV-1100-S235-	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Standard	SAPAG
MV-101	Vàlvula de papallona automàtica de tall	Gasos de COV freds	32"	RTO-32"-COV-1110-S235-	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Standard	SAPAG
MV-102	Vàlvula de papallona automàtica de tall	Gasos de COV freds	32"	RTO-32"-COV-1120-S235-	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Standard	SAPAG
MV-103	Vàlvula de papallona automàtica de tall	Gasos de COV freds	32"	RTO-32"-COV-1130-S235-	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Standard	SAPAG
MV-121	Vàlvula de papallona automàtica de tall	Gasos tractats	32"	RTO-32"-GAST-1130-S235-I	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Fire Safe	SAPAG
MV-122	Vàlvula de papallona automàtica de tall	Gasos tractats	32"	RTO-32"-GAST-1130-S235-I	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Fire Safe	SAPAG
MV-123	Vàlvula de papallona automàtica de tall	Gasos tractats	32"	RTO-32"-GAST-1130-S235-I	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Fire Safe	SAPAG
MV-011	Vàlvula de papallona automàtica controladora de cabal	Aire combustió	20"	RTO-20"-GASC-2300-S235-I	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Fire Safe	SAPAG
MV-213	Vàlvula de papallona automàtica controladora de cabal	Gasos tractats	14"	RTO-14"-GASR-2300-A152-I	Acer 480 CP-M	Tanca	JHP Fire Safe	SAPAG
MV-100	Vàlvula de papallona automàtica controladora de cabal	Aire Combustió	20	RTO-20"-GASC-1000-S235-	Acer 480 CP-M	Obre	JHP Standard	SAPAG

ANNEX II

21-23

BV-150	Vàlvula de bola manual	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni		150 SCTDZ	Kitz
BV-147	Vàlvula de bola manual	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni		150 SCTDZ	Kitz
PSV-150	Vàlvula de seguretat per sobrepressions	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	ASME, SA-352	Obre	Style JOS	Crosby
BV-146	Vàlvula de bola manual	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni		150 SCTDZ	Kitz
BV-149	Vàlvula de bola manual	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni		150 SCTDZ	Kitz
BV-155	Vàlvula de bola manual	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni		150 SCTDZ	Kitz
PRV-150	Vàlvula automàtica reguladora de pressió de membrana	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	SG iron (fosa nodular)	Tanca	DP27G	Spirax Sarco
BV-154	Vàlvula de bola automàtica controladora de temperatura	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni	Tanca	F12	VELAN
BV-153	Vàlvula de bola automàtica de tall	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni	Tanca	150 SCTDZ	Kitz
BV-152	Vàlvula de bola automàtica de tall	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni	Obre	150 SCTDZ	Kitz
BV-151	Vàlvula de bola automàtica de tall	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	Acer al carboni	Tanca	150 SCTDZ	Kitz
BV-156	Vàlvula de bola manual	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-FG-1200-A53-	Acer al carboni		150 SCTDZ	Kitz
BV-157	Vàlvula de bola manual	Gas Natural	3/4"	RTO-3/4"-FG-1200-A53-	Acer al carboni		150 SCTDZ	Kitz

Taula 3.1.2.2. Llistat d'instrumentació.

TAG	Descripció	Servei	Línia	Rang pressió/ temperatura	Model	Fabricant	Nota
PT/PIC 100	Transmissor i controlador indicador de pressió	Gasos de COV freds	RTO-32"-COV-1100-S235-	0 - 20 bar	XMP	BDsensors	
TT/TI 100	Transmissor i indicador de temperatura	Gasos de COV freds	RTO-32"-COV-1100- S235-	(-90)- 400 °C	Tipus T	SIEMENS	
PT/PIC 101	Transmissor i controlador indicador de pressió	Cambra de combustió	Equip RTO-100	0 - 20 bar	XMP	BDsensors	Alarma alta/baixa
TT/TIC 101	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Cambra de combustió	Equip RTO-100	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 112	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Gasos tractats	RTO-44"-GAST-1310- S235-I	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 122	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Gasos tractats	RTO-44"-GAST-1320- S235-I	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 132	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Gasos tractats	RTO-44"-GAST-1330- S235-I	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 110	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Ceràmica (1)	Equip RTO-100	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 111	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Ceràmica (1)	Equip RTO-100	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 120	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Ceràmica (2)	Equip RTO-100	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 121	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Ceràmica (2)	Equip RTO-100	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 130	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Ceràmica (3)	Equip RTO-100	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
TT/TIC 131	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Ceràmica (3)	Equip RTO-100	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
PT/PIC 211	Transmissor i controlador indicador de pressió	Gasos tractats	RTO-44"-GAST-2100- S235-I	0 - 20 bar	XMP	BDsensors	Alarma alta/baixa
PT/PIC 212	Transmissor i controlador indicador de pressió	Gasos tractats	RTO-44"-GAST-2200- S235-I	0 - 20 bar	XMP	BDsensors	
TT/TIC 220	Transmissor i controlador indicador de temperatura	Gasos tractats	RTO-44"-GAST-2200- S235-I	0 - 1300 °C	Tipus K	SIEMENS	Alarma alta/baixa
PSL 051	Pressòstat de pressió baixa	Aire combustió	RTO-20"-GASC-1000- S235-	0 - 30 bar		RANCO	
FT/FIC 021	Transmissor i controlador indicador de cabal	Aire combustió	RTO-20"-GASC-1000- S235-				
PT/PIC 212	Transmissor i controlador indicador de pressió	Gas Natural	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	0 - 20 bar	XMP	BDsensors	
PSL 151	Pressòstat de pressió baixa	Gas Natural	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	0 - 30 bar		RANCO	
PSH 151	Pressòstat de pressió alta	Gas Natural	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	0 - 30 bar		RANCO	
FT/FI 150	Transmissor i indicador de cabal	Gas Natural	RTO-3/4"-GN-1200-A53-				
PI 151	Manòmetre	Gas Natural	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	0 - 20 bar		BDsensors	
PI 152	Manòmetre	Gas Natural	RTO-3/4"-GN-1200-A53-	0 - 20 bar		BDsensors	

4. SISTEMA DE CONTROL.

La planta d'oxidació regenerativa dissenyada consta de tota la instrumentació necessària per a un bon funcionament integrada en un sistema de control distribuït. L'equip principal és l'oxidador regeneratiu (RTO-100) que disposa d'un cremador i una cambra de combustió. Aquest equip porta instal·lat un quadre de control d'encès per poder efectuar el encès/apagat del pilot del cremador i per tant, procedir a l'arrancada/parada de la planta de tractament. Al disposar d'un pilot amb detector de flama integrat es rep la informació necessària per introduir el combustible auxiliar o la corrent gasosa de COV a depurar quan existeixi flama en el pilot. Aquest apartat té com a objectiu indicar aqueles variables la mesura i control de les quals són imprescindibles, és a dir, estrictament necessàries per l'òptim funcionament de la planta d'oxidació regenerativa, així com la instrumentació mínima que aquesta comporta. Per tant, no es tindran en compte variables d'escassa importància de cara al control global del procés i els valors de les variables que s'han de controlar són estrictament aplicables en el cas del funcionament amb les condicions d'aplicació per les quals es dissenyat el procés ja que amb unes altres condicions d'operació els valors que han d'adoptar pel control d'aquestes poden ser molt diferents. Serà necessari doncs dur a terme una mesura i control de les següents variables: cabal, temperatura, pressió, protecció dels dispositius de control, així com detecció de presència o absència de flama.

Annex III

1.	Càlcul dels diferents equips del projecte.....	2
1.1.1.	Canonades, colzes i comportes.	2
1.1.2.	Equips i instrumentació.....	3
2.	UNITATS D'OBRA	6
2.1.	Condicionament del terreny i obra civil.	6
2.1.1.	Quadre de unitats sobre el terreny i obra civil	6
2.1.2.	Quadre de preus descompostos.....	6
2.2.	Cost i Instal·lació d'equips.....	7
2.2.1.	Quadre d'unitats sobre equips	7
2.2.2.	Quadre de preus descompostos.....	8
2.3.	Instal·lació i muntatge del sistema de canonades.....	9
2.3.1.	Quadre d'unitats sobre sistema de canonades.	9
2.3.2.	Quadre de preus descompostos.....	10
2.4.	Instal·lació i muntatge del sistema elèctric.....	12
2.4.1.	Quadre de unitats del sistema elèctric.....	12
2.4.2.	Quadre de preus descompostos.....	12

1. CÀLCUL DELS DIFERENTS EQUIPS DEL PROJECTE.

En aquest apartat es trobaran els diferents procediments de càlcul de costos per material d'execució del projecte.

1.1.1. Canonades, colzes i comportes.

Aquesta secció presenta la informació necessària per estimar la *total capital investment* TCI (inversió de capital total) que pertany a les canonades. El TCI inclou el *equipment cost* (EC), impostos càrrecs per transport.

Els preus van ser correlacionats per regressió amb el diàmetre de la peça de l'equip. Les correlacions per regressió segueixen tres formules: funció potència, exponencial i lineal.

$$\text{Funció potència: } C_h = aA_f^b \quad (1.1.1.1)$$

$$\text{Funció exponencial: } C_i = ae^{bD} \quad (1.1.1.2)$$

$$\text{Funció lineal: } C_i = a + bD \quad (1.1.1.3)$$

1.1.1.1 Càlcul de cost d'una canonada.

Com a exemple es farà el càlcul del cost d'una canonada de 32", mitjançant els valors que es troben a la figura , es substitueixen a la equació necessària, en aquest cas, es seleccionarà un conducte circular acoblat en espiral:

$$\text{Cost del conducte recte } \left(\frac{\$}{ft} \right) = 1.55(32)^{0.936} = 39.73\$/ft \quad (1.1.1.1.1)$$

On es compren 20 metres (65.62ft) de conducte:

$$\text{Cost del conducte recte} = \frac{39.73\$}{ft} \times 65.62ft = 2,607.16\$ \quad (1.1.1.1.2)$$

Tipo de Conducto	Material del Aislante	Espesor Aislante (in.)	Tipo de Ecuación	Parámetro de Ecuación a b	Rango de la Ecuación (D, in.)
Circular-espiral ¹	Sheet-gal CS ²	Ninguno	Función Potencia	0.322 1.22	3-84
Circular-espiral	Sheet-304 SS ³	Ninguno	Función Potencia	1.56 1.00	3-84
Circular-espiral	Sheet-galv CS	1	Función Potencia	1.55 0.936	3-82
Circular-espiral	Sheet-galv CS	3	Función Potencia	2.56 0.937	3-82
Circular-longitudinal ⁴	Sheet-galv CS	Ninguno	Función Potencia	2.03 0.784	6-84
Circular-longitudinal	Sheet-304 SS	Ninguno	Función Potencia	2.98 0.930	6-84
Circular-longitudinal	Plate-coat CS ⁵	Ninguno	Función Potencia	2.49 1.15	6-84
Circular-longitudinal	Plate-304 SS ⁶	Ninguno	Función Potencia	6.29 1.23	6-84
Cuadrado	Sheet-alum CS ⁷	Ninguno	Lineal	0.254 2.21	18-48
Cuadrado	Sheet-alum CS	4	Lineal	21.1 5.81	18-48

¹ Conducto circular unido en espiral y soldado

² Hoja de acero al carbono galvanizado

³ Hoja de acero inoxidable 304

⁴ Conducto circular soldado a lo largo de la costura longitudinal

⁵ Placa de acero al carbono con una capa de "shop paint" (pintura de taller)

⁶ Placa de acero al carbono 304

⁷ Hoja de acero al carbono aluminizado

Figura 1.1.1.1.1: Paràmetres per la equació de cost de un conducte recte.

Accesorio de la Instalación de Conductos	Material	Tipo de Ecuación	Parámetro de la Ecuación		Rango de la Ecuación (D, in.)
			a	b	
Codos ¹	AC galv ²	Exponencial	30.4	0.0594	6-84
Codos	Al 304	Exponencial	74.2	0.0668	6-60
Codos-aislados ³	AC galv	Exponencial	53.4	0.0633	3-78
Codos-mariposa ⁴	AC galv	Exponencial	23.0	0.0567	4-40
Compuertas-mariposa/aisladas ⁵	AC galv	Exponencial	45.5	0.0597	4-40
Compuertas-persianas	AC alum ⁷	Función	78.4	0.860	18-48
Compuertas-persianas c/ actuadores ⁸	AC alum	Función	208.	0.791	18-48
		Potencia			
Compuertas de guillotina	Acero al Carbón	Función	17.2	0.825	3-18
		Potencia			

¹ Codos de 90° de una sola pared, "armados", sin aislante
² Hoja de acero al carbón galvanizado
³ Codos de 90° de pared doble, armados, con 1 pulgada de aislante de fibra de vidrio
⁴ Compuerta de mariposa manual de una sola pared del tipo "opposed blade" ("cuchilla opuesta")
⁵ Compuerta de mariposa manual de pared doble de "cuchilla opuesta", con 1 pulgada de aislante de fibra de vidrio
⁶ Compuertas de persianas selladas el 95-98%
⁷ Hoja de acero al carbón "aluminizada"
⁸ Compuertas de persianas con actuadores eléctricos (controles automáticos).

Figura 1.1.1.1.2: Paràmetres per la equació de costos de colzes i comportes d'acer.

1.1.2. Equips i instrumentació

Subministrament i muntatge d'un Oxidador Tèrmic (RTO-100), un ventilador industrial (V-100), i una xemeneia curta (X-100).

S'ha considerat el subministrament i muntatge dels instruments, vàlvules i cablejats de manera aproximada, on a la d'implantació s'instal·laran noves caixes de connexió.

1.1.2.1 Càlcul de cost de la totalitat dels equips.

L'incinerador regeneratiu és un equip dissenyat a mida per les necessitats i condicions d'operació desitjades. Al no ser un equip estàndard, no es pot calcular el cost d'aquest de manera exacte. Per tant, es farà servir la metodologia i les aproximacions realitzades per la EPA (ref.01d). Típicament, els costos de l'equip (EC) dels incineradors regeneratius, inclouen tots els equips de brida a brida necessaris per oxidar el gas residual, incloent els cremadors auxiliars cambres de combustió, protecció contra el clima i aïllament, bescanviador de calor primari (ceràmica), ventiladors, sistemes de control de flux i de temperatura, una xemeneia curta i els suports estructurals.

Les corbes de cost proporcionades per la EPA són regressions per mínims quadrats de dades de cost proporcionades per diferents proveïdors d'aquest equip. S'ha de tindre en compte que encara els procediments de disseny i manufactura varien de proveïdor a proveïdor. Per tant, els costos d'equip d'aquet sistema amb una recuperació del 95% estan donats com una funció lineal de la raó de flux total a tractar en el rang de 10,000 a 100,000 [scfm] per la següent equació:

$$EC = 2.204 \cdot 10^5 + 11.57 \cdot Q \quad (1.1.2.1.1)$$

El cabal és de 69,700 [Nm³/h] i equival a 41,023.8 [scfm]. El cost total de l'equip serà de:

$$2.204 \cdot 10^5 + 11.57 \cdot 69,700 = 695,045.36 \$ = 589,033.97 € \quad (1.1.2.2)$$

A més a més, també es pot contrarestar aquest preu en el gràfic que té representat aquesta funció lineal:

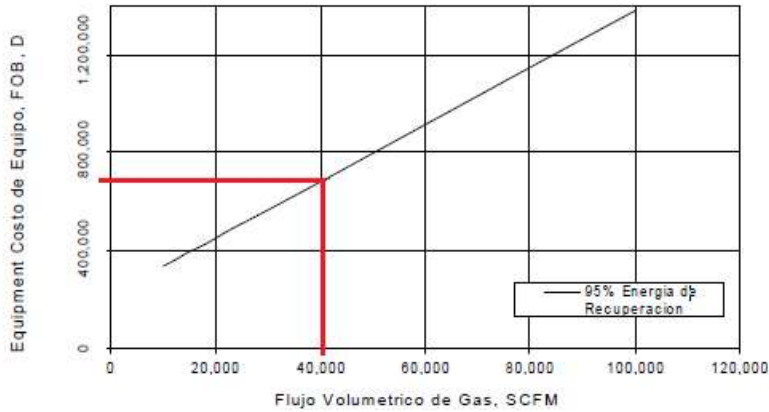


Figura 1.1.2.1.1: Costos d'equip. Incineradors Tèrmics Regeneratius.

1.1.2.1.1 Cost de la xemeneia

Per al càlcul del cost de la xemeneia s'ha seguit el manual de costos de la EPA. A la *Figura 1.1.2.1.1.1* es troba una llista de paràmetres i rangs aplicables a les correlacions de costos de les xemeneies.

Les correlacions cobreixen des de xemeneies curtes de PVC i xemeneies més altes de placa d'acer (del tipus de carboni i inoxidable 304) o de fulla d'acer (aïllada o sense aïllar). Excepte per tres dissenys de full d'acer de paret doble, aquestes xemeneies són de construcció d'una sola paret. S'ha de tenir en compte que les equacions són aplicables a varis rangs d'altura i diàmetre de la xemeneia. Com es pot veure a la llegenda en totes les equacions menys en una d'elles el cost s'expressa en [\$/ft].

Material	Parámetros de la Ecuación ¹		Rango de la Ecuación	
	a	b	D _s (in) ²	H ³ (ft) ³
PVC ⁴	0.393	1.61	12-36	≤10
Placa de AC recubierta ⁵	3.74	1.16	6-84	20-100
Placa AI 304 ⁶	12.0	1.20	6-84	20-100
Hoja AC galvanizada ⁷	2.41	1.15	8-36	≤75
Hoja AI 304 ⁸	4.90	1.18	8-36	≤75
Hoja AC aislada/DP ⁹	143.	0.402	18-48	≤15
Hoja AC no aislada/DP ¹⁰	10.0	1.03	18-48	≤15
Hoja AC aislada/DP ¹¹	142.	0.794	24-48	30-75

¹ Todos los costos son funciones potencia. (Vea la Ecuación 2.44) Excepto donde se indique, los costos se expresan en términos de \$/ft de altura de chimenea.

² Rango de diámetro de chimenea al cual se aplica cada ecuación.

³ Rango de altura de chimenea al cual se aplica cada ecuación.

⁴ Cloruro de polivinilo.

⁵ Placa de acero al carbón con una cubierta de "shop paint" ("pintura de taller")

⁶ Placa de acero inoxidable 304.

⁷ Hoja de acero al carbón, galvanizada.

⁸ Hoja de acero inoxidable 304.

⁹ Hoja de acero al carbón aluminizado cubierta con 4 pulgadas de aislante de fibra de vidrio (construcción de doble pared).

¹⁰ Hoja de acero al carbón aluminizada no aislada (construcción de doble pared).

¹¹ Los costos para estas chimeneas se expresan en \$, y se correlacionan con el área superficial de la chimenea (S_p, ft²).

Figura 1.1.2.1.1.1: Paràmetres per a les equacions del cost de la xemeneia.

A continuació es realitzarà el càlcul del cost basat en el dimensionament de la xemeneia calculat. Tenint en compte l'alçada de la xemeneia (33.5[ft]) i el seu diàmetre (59.32 [in]) seguint les dades de la figura anterior el material pot ser d'acer al carboni amb una coberta de pintura o d'acer inoxidable 304.

Seguidament es calcularà el cost per a tots dos materials i, mb aquestes dades i el tipus de compostos que sortiran de la xemeneia es podrà realitzar una tria del material mes adient.

La formula per a calcular el cost de la xemeneia és la següent:

$$C = a \cdot D^b \cdot H_s \quad (1.1.2.1.1.1)$$

Seguint la formula anterior i aplicant les dades de la Figura 1.1.2.1.1.1, el cost de la xemeneia amb els dos materials diferents es:

$$C_{AC} = 3.74 \cdot 59.32^{1.16} \cdot 33.5 = 14,282.6 [\text{\$}] = 12,027.4 [\text{€}] \quad (1.1.2.1.1.2)$$

$$C_{AI304} = 12 \cdot 59.32^{1.20} \cdot 33.5 = 53,956.5 [\text{\$}] = 45,436.8 [\text{€}] \quad (1.1.2.1.1.3)$$

Com es pot observar el cost de la xemeneia utilitzant acer inoxidable 304 es gairebé 4 vegades mes gran que si s'utilitza acer al carboni. Tenint en compte el cost i les propietats del gas residual que expulsarà la xemeneia el més adient seria utilitzar acer al carboni com a material.

2. UNITATS D'OBRA.

En aquest apartat es distribueixen

2.1. Condicionament del terreny i obra civil.

2.1.1. Quadre de unitats sobre el terreny i obra civil

Nº referència	Designació	Nº parts	Dimensions				Resultats	
			Longitud (m)	Ample (m)	Altura (m)	Diàmetre (m)	Parcial	Total
2.1.1.1	Moviment de terres							
(m³)	Excavació		20	12	0,5		120	
(m³)	Farciment amb grava		20	12	0,3		72	
(m²)	Compactació grava		20	12	0,3		72	
	Replantejament		20	12	0,3		72	
2.1.1.2	Drenatge							
	Aigües de procés	1						1
	Aigües pluvials	1						1
2.1.1.3	Protecció contra incendis							
	BIE	3						3
	Línies hidrants	2						2
2.1.1.4	Pavimentació							
	Formigó armat	1	20	12	0,2			48
	Proba d'aglomerat	2						2
2.1.1.5	Cimentació armada							
	Sabates formigó	6	0,5	0,5	0,5			6
2.1.1.6	Estructura metàl·lica							
	Rack canonades	2						2
2.1.1.7	Mà d'obra							
	Mà d'obra	1						1

2.1.2. Quadre de preus descompostos.

Nº Referència	Designació	Nº Unitats	Preu Unitari (€)	Import		
				Parcial	Total	
2.1.2.1	Moviment de terres					2,184.00
(m³)	Excavació	120	5	600		
(m³)	Farciment amb grava	72	10	720		
(m³)	Compactació grava	72	10	720		
(m²)	Replantejament	72	2	144		
2.1.2.2	Drenatge					2,410.00
	Aigües de procés	1	1,160.00	1,160.00		
	Aigües pluvials	1	1,250.00	1,250.00		
2.1.2.3	Protecció contra incendis					17,200.00
	BIE	3	400.00	1,200.00		
	Línies hidrants	2	8,000.00	16,000.00		
2.1.2.4	Pavimentació					5,880.00
(m²)	Formigó armat	48	120.00	5,760.00		
	Proba d'aglomerat	2	60.00	120.00		
2.1.2.5	Cimentació					900.00
	Sabates ciment	6	150.00	900.00		
2.1.2.6	Estructura metàl·lica					10,000.00
	Rack canonades	2	10,000.00	10,000.00		
2.1.2.7	Mà d'obra					8,000.00
	Mà d'obra	1	8,000.00	8,000.00		
TOTAL						46,574.00€

2.2. Cost i Instal·lació d'equips.**2.2.1. Quadre d'unitats sobre equips**

Nº referencia	Designació	Nº parts	Dimensions				Resultats		
			Longitud (m)	Ample (m)	Altura (m)	Diàmetre (m)	Parcial	Total	
2.2.1.1	Oxidador tèrmic								
	Equip	1					1		
	Replantejament	1							
	Transport	1					1		
	Grúa (h)	5					5		
	Mà d'Obra	1					1		
	Connexions/Accessoris								
	Connexió junta/ segellament	1					1		
	Orificis injectors	4					4		
	Accessoris cremador	1					1		
	Venteig	1					1		
	Boca d'home	3					3		
	Orifici de drenatge	3					3		
	Muntatge recolzaments	2					2		
	Brida aire combustió	3					3		
	Orifici aire combustió	1					1		
	Orifici detector de flama	1					1		
	Ceràmica								
	Ceràmica	36					36		
	Material Aïllant								
	Formigó refractari	65					65		
	Maons de diatomees	115(m3)					2		
	Juntes dilatació	8					8		
	Pintura	1					1		
	Instrumentació								
	Detector de flama	1					679		
	TT/TIC 1XX	7					7		
	Instrumentació cremador	1					1		
	Sight Glass	1					1		
	PT/PIC 101	1					1		
	Proves Hidràuliques								
	Prova hidràulica	1					1		
2.2.1.2	Ventilador								
	Equip	1					2		
	Replantejament	1					1		
	Transport	1					1		
(h)	Grua	4					2		
	Mà d'Obra	1					1		
	Connexions/Accessoris.								
	Recolzament lilit	1					1		
2.2.1.3	Xemeneia								
	Equip	1					1		
	Replantejament	1					1		
	Transport	1					1		
(h)	Grua	5					5		
	Mà d'Obra	1					1		
	Connexions/Accessoris.								
	Connexió junta/ segell	1					1		
	Boca d'home	1					1		
	Brida entrada aire combustió	1					1		
	Orifici entrada aire combustió	1					1		
	Orifici de drenatge	1					1		
	Orifici SCME	1					1		
	Material Aïllant								
	Pintura	1					1		
	Protecció interior	1					1		

2.2.2. Quadre de preus descompostos.

Nº Referència	Designació	Nº Unitats	Preu Unitari (€)	Import	
				Parcial	Total
2.2.2.1		Oxidador Tèrmic			541,366.00
	Estructura	1	390,000.00	390,000.00	
	Replanteig	1	50.00	50.00	
	Transport	1	350.00	350.00	
	Grua (h)	10	60.00	600.00	
	Mà d'Obra	1	35,000.00	35,000.00	
		Connexions /Accessoris			10,676.00
	Connexió junta/ segellament	1	600.00	600.00	
	Orificis injectors	4	100.00	400.00	
	accessoris cremador	1	285.00	285.00	
	Venteig	1	189.00	189.00	
	Boca d'home	3	360.00	1,080.00	
	Orificis drenatge	3	99.00	297.00	
	Muntatge recolzament llits	2	3,700.00	7,400.00	
	Brida aire combustió	3	75.00	225.00	
	Orifici aire combustió	1	100.00	100.00	
	Orifici detector de flama	1	100.00	100.00	
		Ceràmica			46,527.00
	Ceràmica	36	1,292.42	46,527.00	
		Material Aïllant			42,779.00
	Formigó refractari	65	181.22	11,779.00	
	Totxana diatomea	115	230.00	26,000.00	
	Juntes de dilatació	8	250.00	2,000.00	
	Pintura	1	3,000.00	3,000.00	
		Instrumentació			14,634.00
	Detector de flama	1	679.00	679.00	
	TT/TIC XXX	7	1,200.00	8,400.00	
	Instrumentació cremador	1	3,980.00	3,980.00	
	Sight glass	1	75.00	75.00	
	PT/PIC XXX	1	1,500.00	1,500.00	
		Proves hidràuliques			750.00
	Prova hidràulica	1	750.00	750.00	
2.2.2.2		Ventilador			21,694.00
	Equip	1	7,000.00	15,000.00	
	Replantejament	1	50.00	50.00	
	Transport	1	60.00	60.00	
(h)	Grua	2	6.00	84.00	
	Mà d'Obra	1		5,000.00	
		Connexions/Accessoris			1,500.00
	Recolzament llit	1	1,500.00	1,500.00	
2.2.2.3		Xemeneia			25,973.97
	Equip	1	12,027.40	12,027.40	
	Replantejament	1	50.00	50.00	
	Transport	1	250.00	250.00	
	Grua	5	60.00	300.00	
	Mà d'Obra	1	10,000.00	8,000.00	
		Conexions/Accessoris.			2,346.57
	Connexió junta/ segellament	1	666.57	666.57	
	Boca d'home	1	1,000.00	1,000.00	
	Brida acer al carboni 44"	1	380.00	380.00	
	Orifici aire combustió	1	100.00	100.00	
	Orifici de drenatge	1	100.00	100.00	
	Orifici SCME	1	100.00	100.00	
		Material Aïllant			3,000.00
	Pintura	1		1,000.00	
	Protecció interior	1		2,000.00	
TOTAL					589,033.97€

2.3. Instal·lació i muntatge del sistema de canonades.

2.3.1. Quadre d'unitats sobre sistema de canonades.

Nº referència	Designació	Nº parts	Dimensions			Resultats	
			Longitud (m)	Ample (m)	Altura (m)	Diàmetre (")	Parcial
2.3.1.1	Canonades de Procés i serveis auxiliars.						
	RTO-32"-COV-1100-S235	2	10			32"	1
	RTO-44"-GAST-2100-S235-I	2	10			44"	1
	RTO-4 1/2"-FG-1200-A53	1	10			4 1/2"	1
	RTO-20"-GASC-1000-S235	2	10			20"	1
	RTO-14"-GASR-2300-S235-I	1	10			14"	1
2.3.1.2	Connexions / Accessoris						
RTO-32"-COV-1100-S235	Colze 90º acer al carboni 32"	4				32"	1
	Te acer al carboni 32"	2				32"	2
	Brida acer al carboni 32"	21				32"	5
	Picatge per transmissors	3				32"	3
	Vàlv. papallona automàtica MV-10X 32"	5				32"	4
RTO-44"-GAST-2100-S235-I	Colze 90º acer al carboni 44"	4				44"	6
	Colze 45º acer al carboni 44"	1				44"	1
	Te acer al carboni 44"	2				44"	2
	Brida acer al carboni 44"	18				44"	12
	Picatge per transmissors	4				44"	3
	Vàlv. papallona automàtica MV-12X	3				44"	4
RTO-4 1/2"-FG-1200-A53	Colze 90º acer al carboni 4 1/2"	3				4 1/2"	3
	Brida acer al carboni 4 1/2"	25				4 1/2"	25
	Picatge per transmissors	6				4 1/2"	6
	Vàlvula de bola manual BV-15X 4 1/2"	6				4 1/2"	7
	Vàlvula de bola automat. BV-153 4 1/2"	1				4 1/2"	1
	Valvula de membrana. Auto. regula. pressió PV-150 4 1/2"	1				4 1/2"	1
	Vàlvula seguretat sobrepresions PSV-150 4 1/2"	1				4 1/2"	1
	Vàlvula de globus auto. Control. Temp GV-151 4 1/2"	1				4 1/2"	1
RTO-20"-GASC-1000-S235	Colze 90º acer al carboni 20"	3				20"	3
	Brida acer al carboni 20"	16				20"	7

	Picatge per transmissors	2		20"	2
	Vàlv. papallona automàtica MV-100	3		20"	1
RTO-14"-GASR-2300-S235-I	Colze 90º acer al carboni 14"	2		20"	3
	Colze 45º acer al carboni 14"	1		20"	1
	Brida acer al carboni 14"	6		20"	2
	Vàlv. papallona automàtica MV-100	2		14"	1
2.3.1.3	Instrumentació				
RTO-20"-COV-1100-A152	TT/TI 100	1			1
	PT/PIC 100 FT/FIC 100	1			1
RTO-24"-GAST-XXXX-A152	TT/TI XXX	4			3
	PT/PIC 21X	2			2
RTO-20"-GASC-1000-S235	FCV XXX	1			1
RTO-14"-GASR-2300-S235-I	FCV XXX	1			1
RTO-3/4"-FG-1200-A53	PT/PIC 212	1			1
	Pressòstat de pressió baixa	1			1
	Pressòstat de pressió Alta	1			1
	FT/FIC 150	1			1
	PI-15X	2			2
2.3.1.4	Aïllament				
	Manta 129 Rockwool	11	2,5	1,2	0,1
					28,72 m2
2.3.1.5	Proves Hidràuliques				
	Prova hidràulica	5			5

2.3.2. Quadre de preus descompostos.

Nº Referència	Designació	Nº Unitats	Preu Unitari (€)	Import	
				Parcial	Total
2.3.2.1	Canonades				8998,089889
	RTO-32"-COV-1100-S235	2	1303,58	2607,16	
	RTO-44"-GAST-2100-S235-I	2	1756,26	3512,52	
	RTO-4 1/2"-FG-1200-A53	1	207,84	207,84	
	RTO-20"-GASC-1000-S235	2	1034,64	2069,28	
	RTO-14"-GASR-2300-S235-I	1	601,30	601,30	
2.3.2.2	Connexions /Accessoris				76808
RTO-32"-COV-1100-S235	Colze 90º acer al carboni 32"	2	418	836	
	Te acer al carboni 32"	2	295	590	
	Brida acer al carboni 32"	17	285	4845	
	Picatge per transmissors	3	90	270	
	Vàlv. papallona automàtica MV-10X 32"	5	3700	18500	25041
RTO-44"-GAST-2100-S235-I	Colze 90º acer al carboni 44"	4	598	2392	

	Colze 45 ^a acer al carboni 44"	2	350	700	
	Te acer al carboni 44"	2	580	1160	
	Brida acer al carboni 44"	18	380	6840	
	Picatge per transmissors	4	90	360	
	Vàlv. papallona automàtica MV-12X	3	5000	15000	26452
RTO-4 1/2"-FG-1200-A53	Colze 90 ^a acer al carboni 4 1/2"	3	65	195	
	Brida acer al carboni 4 1/2"	25	60	1500	
	Picatge per transmissors	6	90	540	
	Vàlvula de bola manual BV-15X 4 1/2"	6	500	3000	
	Vàlvula de bola automat. BV-153 4 1/2"	1	1000	1000	
	Valvula de membrana. Auto. regula. pressió PV-150 4 1/2"	1	5000	5000	
	Vàlvula seguretat sobrepresions PSV-150 4 1/2"	1	5000	5000	
	Vàlvula de globus auto. Control. Temp GV-151 4 1/2"	1	950	950	17185
RTO-20"-GASC-1000-S235	Colze 90 ^a acer al carboni 20"	3	250	750	
	Brida acer al carboni 20"	16	110	1760	
	Picatge per transmissors	2	90	180	
	Vàlv. papallona automàtica MV-100	3	950	2850	5540
RTO-14"-GASR-2300-S235-I	Colze 90 ^a acer al carboni 14"	2	100	200	
	Colze 45 ^a acer al carboni 14"	1	50	50	
	Brida acer al carboni 14"	6	90	540	
	Vàlv. papallona automàtica MV-100	2	900	1800	2590
2.3.2.3			Instrumentació		15200
RTO-20"-COV-1100-A152	TT/TI 100	1	1200	1200	
	PT/PIC 100	1	1500	1500	
	FT/FIC 100	1	900	900	
RTO-24"-GAST-XXXX-A152	TT/TI XXX	4	1200	4800	
	PT/PIC 21X	2	1500	3000	
RTO-20"-GASC-1000-S235	FCV XXX	1	50	50	
RTO-14"-GASR-2300-S235-I	FCV XXX	1	900	900	
RTO-3/4"-FG-1200-A53	PT/PIC 212	1	1500	1500	
	Pressòstat de P.baixa	1	50	50	
	Pressòstat de PAlta	1	200	200	
	FT/FIC 150	1	900	900	
	PI-15X	2	100	200	
2.3.2.4			Aïllament		601,2
	Manta 129 Rockwool	30	20,04	601,2	
2.3.2.5			Proves Hidràuliques		
	Prova hidràulica	5	750	3750	3750
					105357,29

2.4. Instal·lació i muntatge del sistema elèctric.

2.4.1. Quadre de unitats del sistema elèctric.

Nº referència	Designació	Nº parts	Dimensions				Resultats		
			Longitud (m)	Ample (m)	Altura (m)	Diàmetre (m)	Parcial	Total	
2.4.1.1	Sistemes elèctrics								
	Quadre elèctric	1					1		
	Panell de control + sala ambiental	1					1		
	Sistema SMCE	1					1		
	Sistema SAD	1					1		
	Cablejat elèctric	1					1		
	Lluminària	11					11		
	Cables d'instrumentació	1					1		
2.4.1.2	Sistema PLC								
	Automatització procés	1					1		
	PLC	2					2		
	Cablejat PLC	1					1		

2.4.2. Quadre de preus descompostos.

Nº Referència	Designació	Nº Unitats	Preu Unitari (€)	Import	
				Parcial	Total
2.4.2.1	Sistemes elèctrics				177,000.00
	Quadre elèctric	1	18,000.00	18,000.00	
	Panell de control + sala ambiental	1	20,000.00	20,000.00	
	Sistema SCME	1	48,000.00	48,000.00	
	Sistema SAD	1	40,000.00	40,000.00	
	Cablejat elèctric	1	30,000.00	30,000.00	
	Lluminària	11	1,000.00	11,000.00	
	Cables d'instrumentació	1	10,000.00	10,000.00	
2.4.2.2	Sistema PLC				9,000.00
	Automatització procés	1	5,000.00	5,000.00	
	PLC	2	1,500.00	3,000.00	
	Cablejat PLC	1	1,000.00	1,000.00	
TOTAL					186,000.00€

BLOWER DATA SHEET

1	GENERAL	Item: Ventilador						
2		Manufacturer: CASALS VENTILACIÓ						
3		Type: Centrífug			Model: MTGR 1800			
4		Nº Cases:						
5	OPERATING CONDITIONS	Gas:		Aire				
6		Density		3,48	kg/m ³			
7		Avg.Mol.Mass		28,22	kg/kmol			
8		k-Value						
9		Compressibility factor						
10		<u>Suction</u>						
11		Flow:		126900	m ³ /h			
12		Mass flow		36465,52	kg/h			
13		Press		101967	mmca			
14		Temp.		150	°C			
15	<u>Discharge</u>							
16	Press		103089,6	mmca				
17	Temp.		150	°C				
18	Pressure drop		1122,6	mmca				
19								
20	DESIGN CONDIT.	Code						
21		Dis. Press		kg/cm ²				
22		Dis. Temp.		300	°C			
23		Density		kg/m ³				
24		Corrosion allow.		0,07	mm.			
25		Casing Test Pressure		kg/cm ²				
26								
27	MATERIAL			Thick. / Dia.	Mat'l Class			
28		Case:		mm	Fe360			
29		Rotor:		mm				
30		Shaft:		mm				
31								
32	DETAILS	Flanges	Service	Mark	Nº	Size	Rating	
33			Entrada gas		A			
34			Sortida gas		B			
35					C			
36					D			
37					E			
38					F			
39			G					
40	Direction of rotation CW-CCW							
41	Bearing type							
42	Coupling type:							
43	ELEC.MOTOR DRIVE	Mechanical data:						
44		Estimated power req'd:		228,6	kW			
45		Proposed Motor Size:		315	kW			
46		Rot. freq.		1200	s ⁻¹			
47		Bearings.						
48		Electrical Data:						
49		Volts:		400	V			
50		Phase						
51		Frequency		Hz				
52		Number of poles:						
53	Full load current:		A					
54								
		SKETCH						
		UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química						
REV.	DATE	PREP.	APPR.					

RELIEF VALVES

REVISION DATE

ITEM No.	1				
TAG No.	100-PSV-29				
VALVE SERVICE	GAS				
	Gas Natural				
MANUFACTURER	CROSBY				
TYPE No.	Style JOS -15 - J				
NUMBER VALVES REQ'D	1				

NORMAL SYSTEM PRESS., KG/CM2	6.0				
NORMAL SYSTEM TEMP., °C	25				
GOVERNING UPSET CONDITION					
ACCUMULATION, PERCENT	10				

VALVE SIZING CONDITIONS

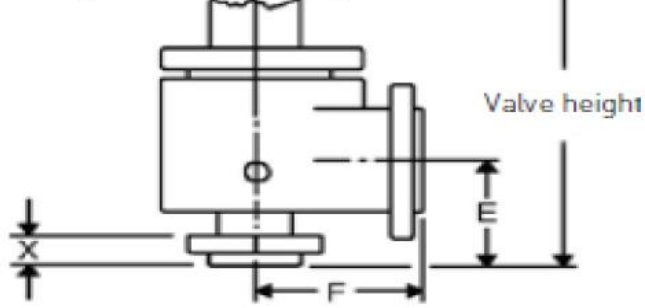
FLOWING FLUID	Gas Natural				
FLOW QUANTITY, M3/H	656.1				
FLOW SPECIFIC GRAVITY	0,851				
FLOW TEMP., °C	25				
FLOW VISCOSITY, cSt	1.10E-5				
SET PRESSURE, KG/CM2 G	7.1				
ACCUM. INLET PRESSURE, KG/CM2	1.1				
BACK PRESS., KG/CM2 G	0,00				
REQ'D ORIFICE AREA, CM2	8.0				

CONSTRUCTION

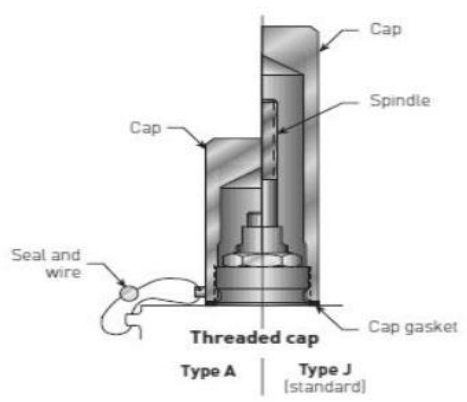
ACCESSORIES	MAT'L	SIZ/RATING	NOMINAL SIZE INS.				
			ORIFICE AREA, CM2/VALVE	8.3			
			TOTAL ACTUAL AREA, CM2	8.3			
			BODY CONN. & RATING -	INLET	1-150		
				OUTLET	2-150		
			BODY	ASME SA216			
			BONNET	ASME SA216			
			SPRING	Inconel X750			
			RADIATING BONNET	NO			
			STYLE TOP	NO			
			LIFTING GEAR - REG./PACKED	NO			
			TEST ROD	NO			

REMARKS:

- E Center to face (CM2) 13.7
- F Center to face (CM2) 12.4
- X Use to finde bolt length (CM) 4.3
- Approximate height (CM) 60.3
- Approximate weight (KG) 30.0



Screwed cap (Type J standard)



MADE BY: Cosmin Panait
 DATE: 15/8/2017
 APP. BY:
 DATE:

MADE BY: Cosmin Panait
 DATE: 15/8/2017
 APP. BY:
 DATE:

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Químic
 Departament d'Enginyeria Químic

