

PLANTA DE PRODUCCIÓ DE CATALITZADORS

**Iván Morales Pàmies
Gerard Sendra Rion**

**Universitat Rovira i Virgili
Enginyeria Química**

2012

- 112042 -

Índex

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓ | 5 |
| 1.1. Resum del projecte | 5 |
| 2. ETAPA PRELIMINAR..... | 6 |
| 2.1. Descripció del projecte | 6 |
| 2.2. Abast del projecte | 6 |
| 2.3. Antecedents històrics..... | 7 |
| 2.4. Alternatives de procés | 8 |
| 2.5. Planificació inicial del projecte | 9 |
| 3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE | 10 |
| 3.1. Bases de disseny | 10 |
| 3.1.1 Especificacions a l'alimentació | 10 |
| 3.1.2. Capacitat, Flexibilitat Operativa i Factor de Servei | 11 |
| 3.1.3. Especificacions dels productes | 12 |
| 3.1.4. Condicions de les matèries primeres i productes al L.B. | 12 |
| 3.1.5. Altres Criteris de Disseny..... | 12 |
| 3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria..... | 13 |
| 3.2.1. Energies (“Utilities”) disponibles..... | 13 |
| 3.2.2. Preus de les Energies | 16 |
| 3.2.3. Dades de l'Emplaçament (“Site”) | 16 |
| 3.2.4. Normes i codis de disseny | 20 |
| 4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA | 22 |
| 4.1. Elaboració dels diagrames | 22 |
| 4.1.1. Diagrama de blocs | 22 |
| 4.1.2.PFD..... | 23 |
| 4.1.3. P&ID | 24 |
| 4.1.4. Plot Plan | 25 |

| | |
|--|----|
| 4.2. Disseny bàsic | 26 |
| 4.2.1. Disseny de canonades..... | 26 |
| 4.2.2. Disseny de la instrumentació i control | 33 |
| 4.2.3. Disseny d'equips | 48 |
| 4.3. Descripcions | 70 |
| 4.3.1. Descripció funcional del projecte..... | 70 |
| 5. SEGURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS | 73 |
| 5.1. Seguretat de processos..... | 73 |
| 5.1.1. Anàlisi de risc preliminar | 73 |
| 5.1.2. Zones ATEX..... | 79 |
| 5.1.3. Protecció d'equips a sobrepressions..... | 81 |
| 5.1.4. Plans d'autoprotecció | 82 |
| 5.2. Seguretat laboral..... | 85 |
| 5.2.1. Avaluació de Riscos Laborals i Equips de Protecció Personal | 85 |
| 5.2.2. Incidents i accidents | 86 |
| 5.2.3. Formació en seguretat | 87 |
| 6. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS | 88 |
| 6.1. Emissió de contaminants | 88 |
| 6.1.1. Emissions atmosfèriques | 88 |
| 6.1.2. Emissions líquides..... | 89 |
| 6.2. Generació de residus sòlids | 89 |
| 6.3. Consums d'energia i recursos naturals..... | 90 |
| 6.4. Generació de gasos d'efecte hivernacle | 90 |
| 6.5. Generació de sorolls | 90 |
| 7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS | 92 |
| 7.1. Sol·licitud del permís de treball | 92 |
| 7.2. Manteniment correctiu | 92 |

| | |
|---|-----|
| 7.3. Manteniment preventiu..... | 93 |
| 7.4. Manteniment predictiu | 94 |
| 8. MANUAL D'OPERACIÓ | 95 |
| 8.1. Comprovacions prèvies a la primera posada en marxa | 95 |
| 8.2. Funcionament de la planta..... | 96 |
| 8.2.1. Posada en marxa normal..... | 96 |
| 8.2.2. Funcionament en estat estacionari..... | 96 |
| 8.3. Aturada de la planta..... | 97 |
| 8.3.1. Aturada normal..... | 97 |
| 8.3.2. Aturades d'emergència..... | 97 |
| 9. ESTUDI ECONÒMIC | 100 |
| 9.1. Pressupost d'execució del projecte..... | 100 |
| 9.2. Compte de resultats | 101 |
| 9.2.1. Despeses | 101 |
| 9.2.2. Ingressos | 102 |
| 9.3. Avaluació global de la inversió | 102 |
| 9.3.1. Cash Flow..... | 102 |
| 9.3.2. VAN | 103 |
| 9.3.3. TIR..... | 103 |
| 9.3.3. Payback | 104 |
| 10. BIBLIOGRAFIA..... | 105 |
| ANNEXES | 106 |
| Annex 1: Disseny de canonades | 109 |
| 1.1. Disseny mecànic..... | 109 |
| 1.2. Aïllament de les canonades | 111 |
| Annex 2: Dimensionat dels equips | 115 |
| 2.1 Disseny dels reactors de llit fluïditzat | 115 |

| | |
|---|-----|
| 2.1.1. Càlcul de les velocitats de fluïdització | 115 |
| 2.1.2. Pèrdua de càrrega | 116 |
| 2.1.3. Càlcul dels gruixos dels reactors | 117 |
| 2.1.3.1. Pressió interna | 118 |
| 2.1.3.2. Pressió externa..... | 118 |
| 2.2. Disseny dels ciclons | 118 |
| 2.3. Disseny de les sitges..... | 120 |
| 2.4. Disseny dels vissefins..... | 120 |
| 2.5. Transport pneumàtic..... | 121 |
| 2.5.1. Secció horitzontal | 122 |
| 2.5.2. Secció vertical | 122 |
| 2.5.3. Colzes | 123 |
| 2.5.4. Resultats | 123 |
| 2.6. Disseny de les cintes transportadores | 123 |
| 2.7. Disseny del bescanviador | 124 |
| 2.8. Disseny de les vàlvules de seguretat | 129 |
| Annex 3. Estudi econòmic..... | 130 |
| 3.1. Estimació de la inversió inicial | 130 |
| 3.2. Compte de resultats | 132 |
| 3.3. Avaluació global de la inversió | 133 |
| Annex 4. fitxes especificació productes | 134 |

1. INTRODUCCIÓ

| | |
|-------------------------------------|---|
| Títol del projecte | Planta de generació de catalitzador Ni/Al ₂ O ₃ |
| Número | 112042 |
| Data | 11/05/2012 |
| Localització | Polígon nord de Tarragona |
| Cap de processos i planta | Iván Morales Pàmies |
| Cap de projecte i enginyeria | Gerard Sendra Rion |

1.1. Resum del projecte

S'ha dissenyat una planta de producció de catalitzador de níquel en base alumina (Ni/Al₂O₃). El procés consta en realitzar una deposició química de vapor en un reactor de llit fluiditzat. El níquel es troba en estat gasós conjuntament amb un complex carbonílic. Al incrementar la temperatura es trenca la molècula de tal manera que el níquel sòlid es diposita sobre la base alumínica. Es vol aconseguir un catalitzador amb una puresa níquel del 10%. La producció que es vol obtenir és de 50 Tm/dia treballant 8000 hores anuals.

El disseny de tots els equips integrats en el procés han fet servir les normatives i els codis vigents. També s'han tingut en compte els límits marcats per la legislació ambiental pel que fa a les emissions produïdes pel procés.

En termes econòmics, la inversió inicial del projecte és de 13 M€ amb un cost d'oportunitat del 6%. El VAN correspon a 24 M€ i el TIR del 24%. Per tant el projecte és viable econòmicament i es troba sota els límits de tota la legislació aplicable.

2. ETAPA PRELIMINAR

2.1. Descripció del projecte

La finalitat del projecte és dissenyar una planta química que produeixi 50 tones diàries de catalitzador níquel en base alumina $\text{Ni}/\text{Al}_2\text{O}_3$. Aquest tipus de catalitzador és molt utilitzat en els processos de hidrocraking que es produeixen en el refinament del petroli. Per aquest motiu la planta s'ubica al polígon nord de Tarragona, on hi ha empreses del sector petroquímic que són clients potencials del nostre producte.

A banda de tenir un mercat on poder subministrar el catalitzador, el polígon industrial de la Pobla de Mafumet compta amb empreses que abasteixen totes les *utilities* que són necessàries per a la posada en marxa d'aquest projecte.

La principal motivació del desenvolupament del projecte és econòmic. Tots els paràmetres de rendibilitat que s'estudien donen resultats molt positius.

2.2. Abast del projecte

L'abast del projecte consisteix en realitzar l'enginyeria bàsica, amb el dimensionament dels equips principals, d'una planta de fabricació de catalitzadors. Comprèn des de l'arribada de les matèries primes a la planta fins a la confecció del producte final.

En el disseny es tenen en compte els següents aspectes:

- Selecció dels processos d'impregnació del metall al catalitzador.
- Càlculs dels balanços de matèria i d'energia del procés.
- Selecció i dimensionat dels principals equips del procés:
 - ✓ Reactors (R-101, R-102)
 - ✓ Sitges (S-101, S-102, S-103, S-104, S-105, S-106, S-107, S-108)
 - ✓ Bombes (P-101, P-102)
 - ✓ Canonades
 - ✓ Ciclons (C-101, C-102, C-103, C-104, C-105)
 - ✓ Bescanviadors (I-101)

- ✓ Bufadors (B-101, B-102, B-103, B-104)
 - ✓ Compressors (K-101)
 - ✓ Cintes transportadores (CT-101, CT-102)
 - ✓ Vissenfins (E-101, E102)
 - ✓ Tolves (T-101, T-102, T-103, T-104)
 - ✓ Mesclador (M-101)
- Confecció dels plànols: Diagrama de blocs, PFD, Plot plant i P&ID.
 - Realització del sistema de control.
 - Estudi de seguretat i de medi ambient.
 - Confecció de manuals d'operació.
 - Estudi econòmic i viabilitat de la planta.

Per altra banda, en el disseny no es tenen en compte els següents aspectes:

- L'arribada de les matèries primeres.
- L'empaquetament del producte final.
- L'impacte ambiental que generen les *utilities* i qualsevol element extern a la instal·lació.
- El suport dels equips.
- L'obra civil.

2.3. Antecedents històrics

Durant el darrer segle, s'han anat dissenyant tècniques que redueixen la quantitat de CO₂ produït, així com els òxids de sofre i nitrogen, que són els principals causants de la pluja àcida. Una d'aquestes tècniques és l'hydrocracking.

L'hydrocracking és un procés químic catalític que es fa servir a les refineries de petroli i que serveix per convertir els hidrocarburs d'alta densitat del petroli en productes de més baixa densitat com la gasolina, el querosè, el dièsel, i el jet fuel. Aquest procés té lloc a altes temperatures (260-425°C), a altes pressions (35-200 bar), una atmosfera rica en hidrogen i

catalitzadors com el Ni/Al₂O₃. En aquestes condicions, l'hydrocracking aconseguix reduir la concentració de sofre dels seus productes de un 3-5% a un 0.0001%.

Per altra banda, està el reformat catalític, que també serveix per produir gasolines, compostos aromàtics, LPG i hidrogen, que es pot fer servir posteriorment en altres processos com el hydrocracking, esmentats anteriorment. El reformat catalític consisteix en refinar petroli a altes temperatures (490-530°C), pressions moderades (10-25 bar) i catalitzadors sòlids de níquel o altres metalls nobles suportats en una base d'alúmina (Ni/Al₂O₃ majoritàriament).

Segons el que s'ha exposat, s'ha decidit que la planta produirà catalitzadors de Níquel en base d'alúmina arrel de la gran demanada que hi ha a l'actualitat de combustibles fòssils.

Pel que fa al tipus de procés que es farà servir, s'ha triat el CVD (*Chemical Vapour Deposition*) ja que ofereix diversos avantatges respecte a altres tècniques emprades. A mitjans de segle vint, la CVD es va establir com un mètode de formació de catalitzadors mitjançant la descomposició de hidrocarburs. La tècnica CVD permet obtenir capes molt fines i amb una distribució molt més uniforme que la resta de mètodes ja que la deposició es duu a terme de forma multidireccional. Per altra banda, al tenir una distribució uniforme no hi ha gradients de concentració en diferents partícules del substrat.

2.4. Alternatives de procés

Les alternatives de procés per confeccionar aquest tipus de catalitzador són diverses. Es poden sintetitzar amb el mateix tipus de concepte, la deposició química de vapor, però amb altres compostos volàtils. L'elecció que ha portat a l'equip a utilitzar el Ni(CO)₄ és que és un compost fàcil i econòmic de sintetitzar. A part d'això, aquest volàtil es forma i es destrueix en funció de la temperatura, fet que permet recircular els reactius.

Altres mètodes són aquells que es realitzen amb níquel líquid i es produeix una impregnació a sobre de l'alúmina. Aquesta confecció, però, no permet tenir tant de control sobre la quantitat de metall depositat sobre l'alúmina com la deposició química de vapor.

3. BASES PER AL DESENVOLUPAMENT DEL PROJECTE

3.1. Bases de disseny

Seguidament es mostren les bases de disseny del projecte, tenint en compte els paràmetres fixats pel client i els objectius que es desitgen aconseguir.

3.1.1 Especificacions a l'alimentació

Per produir el catalitzador de níquel en base alumina amb un 10% en pes són necessàries tot un seguit de matèries. Totes aquestes matèries han de tenir una sèrie d'especificacions per tal de garantir una bona qualitat del producte final. A continuació s'esmenten les diferents característiques de qualitat de les matèries primeres necessàries per a la producció del catalitzador.

3.1.1.1. Alumina

La alumina (Al_2O_3) és un material molt porós i amb una gran superfície de contacte, fet que permet que sigui àmpliament utilitzada com a base dels catalitzadors. El fet de ser un material tant porós permet accelerar les reaccions que requereixen materials cars com el níquel, fent servir molt poca quantitat de metall.

La alumina és la base del catalitzador que es fabrica. Es troba en forma de pelets, amb un diàmetre de partícula de 1.6 mm. Aquesta matèria primera es compra en sacs de 1000kg amb una composició del 99.3% en massa. A continuació es mostren la resta d'especificacions:

Taula 3.1. Especificacions de l'alúmina.

| Producte | Quantitat |
|--------------------------------|------------------|
| Al ₂ O ₃ | 99.3% min |
| SiO ₂ | 0.06% max |
| Fe ₂ O ₃ | 0.03% max |
| Na ₂ O | 0.3% max |
| Altres matèries | 100 ppm max |
| Mida de les partícules | 1.6 mm aprox. |

3.1.1.2. Nitrogen

S'utilitza nitrogen als reactors de llit fluïditzat ja que és un inert i permet obtenir la velocitat de fluïdització necessària en cada cas. Una empresa adjacent a les instal·lacions subministra aquesta *utilitie*. El nitrogen comprat té una puresa del 99.95%.

3.1.1.3. Monòxid de carboni

El CO que es fa servir a la planta es compra en bombones de 50 litres com a gas comprimit. Es compra en aquest format ja que en estat estacionari, la quantitat de monòxid necessària és molt petita. Per altra banda, també caldrà tenir-ne sempre d'emergència per si la planta entrés en parada no programada per qualsevol avaria, poder-la posar de nou en funcionament el més aviat possible. Per a aquests casos no serà suficient amb una bombona de 50 litres i sempre es disposarà de blocs de 12 botelles amb un volum total de 600 litres.

Les bombones de monòxid s'obtenen a 200 bar, amb una densitat de 2.339 kg/m³ a 25°C.

3.1.2. Capacitat, Flexibilitat Operativa i Factor de Servei

La planta té una capacitat de 50 Tm/dia de Ni/Al₂O₃. No obstant, per tal de poder fer futures ampliacions o reduir la producció si la demanda de producte baixa, la planta s'ha

dissenyat per tenir una certa flexibilitat operativa que oscil·la entre un 75 i un 125% de la producció establerta. Aquests límits garanteixen que no s'arribi a velocitats molt elevades ni una sobresaturació dels dipòsits d'emmagatzematge. El factor de servei és de 8000 hores anuals.

3.1.3. Especificacions dels productes

A continuació es mostren les especificacions que han de complir els productes fabricats:

- El catalitzador conté un 10% en pes de Níquel i el seu diàmetre és de 1.8 mm.
- Totes les partícules han de tenir una capa fina i homogènia de metall per garantir un bon funcionament del catalitzador.
- El catalitzador no ha de tenir acumulacions de partícules per garantir una bona superfície de reacció.

3.1.4. Condicions de les matèries primeres i productes al L.B.

Totes les matèries primeres sòlides es troben emmagatzemades en sitges a una temperatura de 25°C i a pressió atmosfèrica.

Tant el nitrogen com el monòxid de carboni es troben en estat gasós, a 25°C i a una pressió de 200 bar en bombones.

El producte final, NiAl_2O_3 al 10%, en el límit de bateria es troba a una temperatura de 50°C i a pressió atmosfèrica.

3.1.5. Altres Criteris de Disseny

3.1.5.1. Criteris per establir pressió i temperatura de disseny

Per garantir la integritat dels equips i de les persones que els operen s'han definit unes pressions i temperatures d'operació. Aquestes temperatures i pressions han de permetre que els equips operin sense patir estrés mecànic i que puguin aguantar sobrepressions puntuals.

Per aquestes raons, la pressió de disseny es calcula com la pressió d'operació més el 10% o 1 bar més la pressió hidràulica i la temperatura de disseny correspon a la d'operació més 20°C.

3.1.5.2. Criteris d'ús d'aïllaments tèrmics

Es faran servir aïllants tèrmics a totes les canonades i equips que tinguin una temperatura superior als 50 °C a l'estiu. Totes aquelles canonades que s'aïllin hauran de garantir que a la superfície de l'aïllant, la temperatura no superi els 45 °C.

3.2. Dades bàsiques per al desenvolupament de l'enginyeria

Per realitzar el disseny del projecte cal definir una sèrie de paràmetres i necessitats a tenir en compte en el desenvolupament del mateix. Aquest apartat recull les principals dades necessàries per tal de poder dur a terme el projecte.

3.2.1. Energies (“Utilities”) disponibles

Com tota planta química industrial, la que s'ha dissenyat requereix un seguit de serveis per poder operar correctament. Aquests serveis generats a la mateixa empresa o comprats a empreses adjacents s'anomenen *utilities*. A continuació es mostren les especificacions, nivells, quantitats i qualitats de les *utilities* que són necessàries per al correcte funcionament de la planta.

3.2.1.1. Vapor d'aigua. Nivells i quantitats

Per poder mantenir els reactors a les temperatures establertes cal fer-hi passar vapor per les camises exteriors. Dels tres tipus de vapors disponible, alta, mitja i baixa pressió, s'han triat els de alta i baixa ja que són els que més s'ajusten a les necessitats operatives.

Per mantenir el reactor R-101 a 60°C es necessita un cabal de 57.3 m³/h de vapor de baixa pressió. Aquest vapor, que entra a 3 barg i a 134°C es farà condensar per tal d'obtenir-ne el màxim profit i es retornarà a l'empresa subministradora.

Per mantenir el reactor R-102 a 250°C, s'ha de consumir un cabal de 115 m³/h de vapor d'alta pressió. Aquest vapor s'alimenta a 40 barg i 280°C i igual que en el cas anterior es farà condensar i es retornarà l'aigua a l'empresa generadora de vapor.

3.2.1.2. E. Eléctrica: Nivells de tensió i aplicacions

En funció de la potència de l'equip elèctric que es vulgui operar se li subministrarà corrent amb diferents voltatges. A continuació es mostra una relació dels diferents voltatges disponibles així com les potències a les que es recomanen fer servir cadascun d'ells.

Taula 3.2. Característiques de l'energia elèctrica

| Potència | Voltatge (V) | Fases | Freqüència (Hz) |
|-----------------|---------------------|--------------|------------------------|
| De 0 a 5 CV | 230 | 1 | 50 |
| De 5 a 10 CV | 400 | 3 | 50 |
| De 10 a 200 CV | 500 | 3 | 50 |
| Més de 200 CV | 6000 | 3 | 50 |

3.2.1.3. Aigües: Tipus, usos i qualitats

L'aigua que es fa servir a la planta es servida des de una empresa adjacent a 3 barg i una temperatura de 20°C. Aquesta aigua es fa servir al bescanviador per refredar els gasos que surten del R-102 i, posteriorment, es retorna a la torre de refrigeració de la mateixa empresa a una pressió de 2 barg i una temperatura de 40°C. Per tal de refredar el corrent 11.1 és necessari un cabal d'aigua de 22.9 kg/s d'aigua.

3.2.1.4. Aire: Especificacions i aplicacions

3.2.1.4.1. Especificacions

L'aire comprimit s'obté d'una empresa adjacent a una pressió de 7 barg i amb una composició semblant a la de l'aire però amb menys humitat.

Per altra banda, també s'obindrà aire a pressió atmosfèrica i temperatura ambient.

3.2.1.4.2. Aplicacions

L'aire comprimit es fa servir en gran mesura per als "instruments de la planta". En aquest cas, l'aire es farà servir per als diferents elevadors pneumàtics que hi ha a la planta, vàlvules pneumàtiques, tornavisos automàtics i percussors dels operadors i mecànics de la planta.

L'aire que s'obté a pressió i temperatura atmosfèriques es fa servir al bufador B-102 per tal de transportar el producte final fins a la zona d'emmagatzematge.

3.2.1.5. Nitrogen: Especificacions i aplicacions

3.2.1.5.1. Especificacions

El nitrogen comprat té una puresa del 99.95% i es rep directament d'una empresa adjacent a les instal·lacions amb una pressió de 6 barg.

3.2.1.5.2. Aplicacions

El nitrogen del que es disposa es fa servir als reactors de llit fluiditzat per tal de mantenir una bona fluidització tal i com s'ha explicat a l'apartat 3.1.1.2.

També es fa servir el nitrogen per realitzar el transport neumàtic del níquel i l'alúmina, evitant així que s'oxidin els reactius.

3.2.2. Preus de les Energies

Els preus de les energies “utilities” que es fan servir a la planta es poden contrastar a la taula 3.3.

Taula 3.3. Preu de les *utilities*.

| Energia | Unitats | Preus (€/Unitat) |
|----------------|-----------------|-------------------------|
| Electricitat | kWh | 0.006 |
| Vapor a 10 bar | tona | 13 |
| Vapor a 40 bar | tona | 29 |
| Aigua de torre | m ³ | 0.016 |
| Nitrogen | Nm ³ | 0.078 |

3.2.3. Dades de l'Emplaçament (“Site”)

El *Site* s'ubicarà al polígon Nord de Tarragona. S'ha triat aquest emplaçament ja que molt a prop hi ha grans empreses petroleres que necessiten catalitzadors com el que es produiran amb el procés dissenyat. Per altra banda, el fet d'instal·lar la planta en un complex petroquímic facilita l'accés a aire de servei i altres recursos necessaris. El terme municipal més proper és La Pobla de Mafumet amb una extensió de 6.2 km² i 2810 habitants (2011). Seguidament es presenta un mapa i les principals dades tècniques de l'emplaçament.

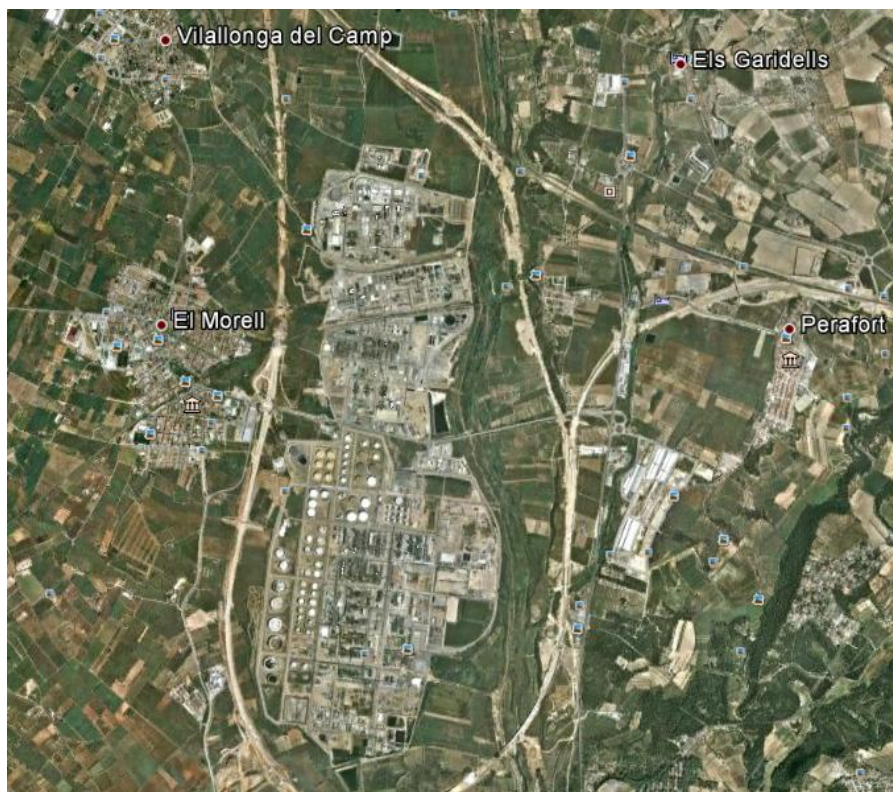


Figura 3.1. Mapa de la ubicació de la planta de producció de catalitzadors al polígon Nord.

Taula 3.4. Principals dades de La Pobla de Mafumet.

| Paràmetre | Valor | Paràmetre | Valor |
|-----------|---------------------|-------------------|-----------------|
| Longitud | 1° 13' 47.84" E | Latitud | 41° 12' 3.73" N |
| Perímetre | 15.3 km | Superfície | 613 ha |
| Província | Tarragona | Codi de província | 43 |
| Comarca | Tarragonès | Codi de comarca | 36 |
| Municipi | La Pobla de Mafumet | Codi de municipi | 431093 |

A continuació s'esmenten algunes de les principals característiques del terreny on està ubicada la planta.

3.2.3.1. Dades climàtiques, pluviomètriques i sísmiques

Gràcies a la proximitat al mar Mediterrani, aquest garanteix una certa homogeneïtat climàtica. Aquest tipus de clima es caracteritza per temperatures moderades. En aquesta zona

la temperatura mitjana anual és de 17.2°C amb una amplitud tèrmica d'aproximadament 15.1°C. El mes més calorós és l'agost amb una temperatura mitjana de 24°C, amb una mitja de màximes de 28.8°C i de mínimes de 19.3°C. Per contra, el mes en que fa més fred és el gener amb una mitjana mensual de 8.9°C, una mitja de màximes de 11.8°C i de mínimes de 4°C. Pel que fa a les precipitacions, aquestes es centren a la primavera i a la tardor amb algunes èpoques de sequera a l'estiu. La mitjana de precipitacions es situa als 500 mm., tot i que al 2010 va estar molt per sobre.

A continuació, a les figures 3.2. i 3.3. es mostren les precipitacions mitjanes mensuals i anuals així com les temperatura màximes, mínimes i mitjanes preses a l'estació meteorològica del complex educatiu de Tarragona durant l'any 2011.

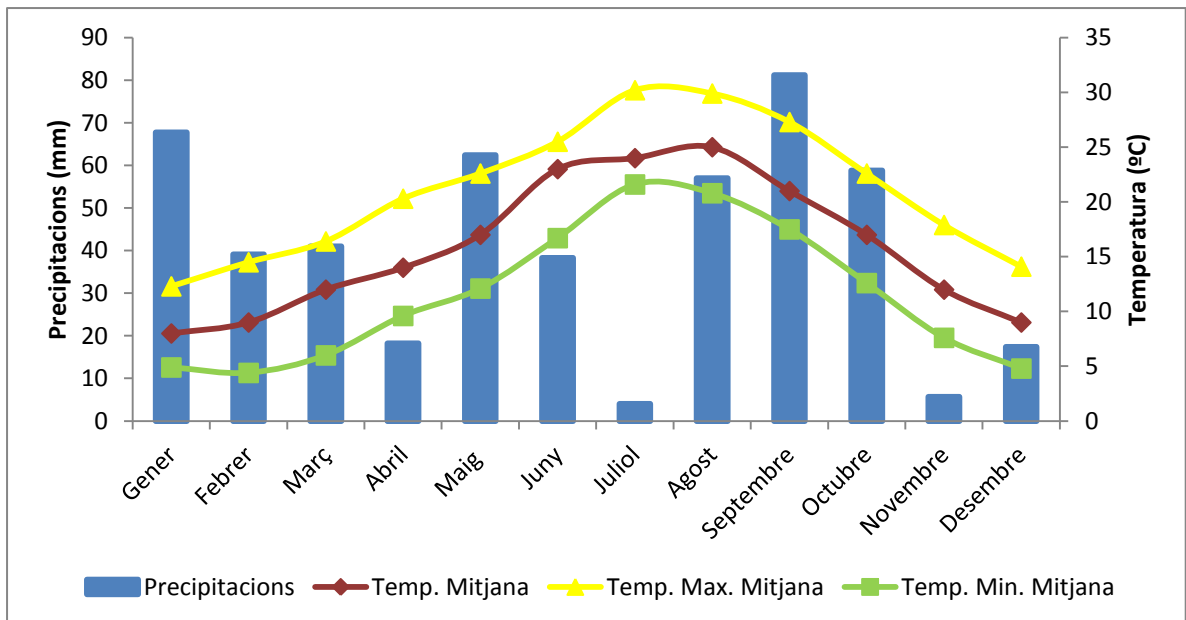


Figura 3.2. Principals dades meteorològiques de Tarragona durant l'any 2011.

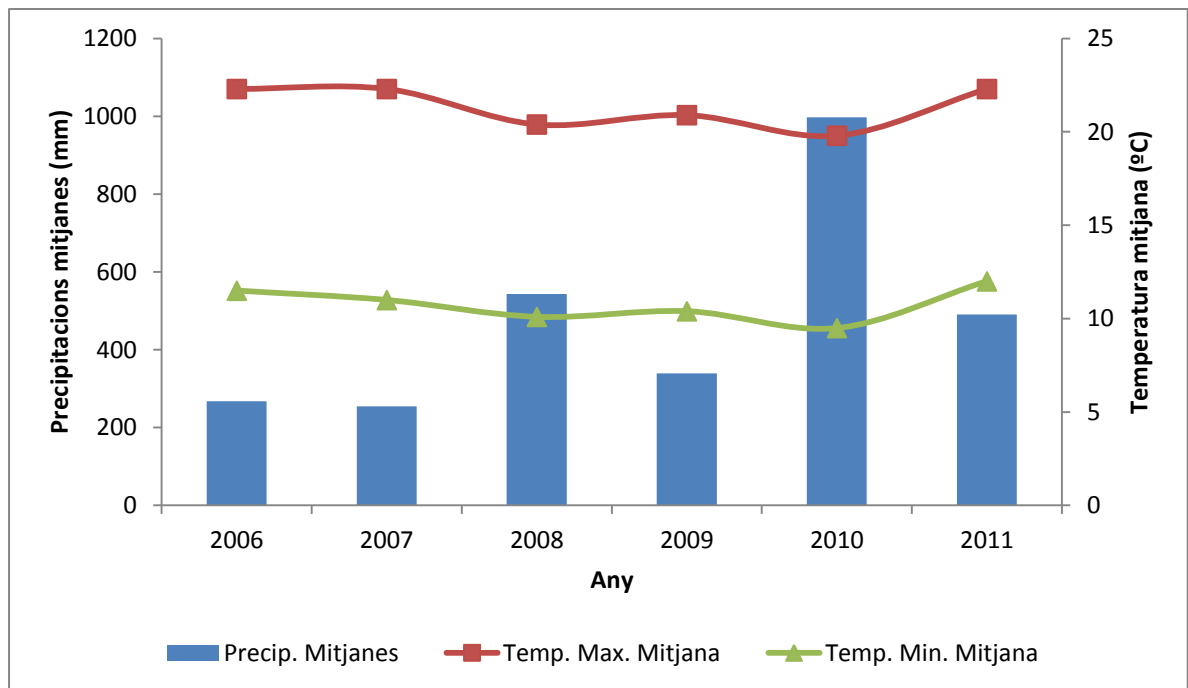


Figura 3.3. Estudi de les principals dades meteorològiques durant els últims anys.

A la següent taula es poden observar les principals dades climatològiques de Tarragona durant el passat any 2011.

Taula 3.5. Principals dades climatològiques de Tarragona.

| Dades | Valors assolits |
|-----------------------------|-----------------|
| Precipitacions totals | 490.8 mm |
| Temperatura mitjana | 16.2 °C |
| Temperatura màxima mitjana | 21.2 °C |
| Temperatura mínima mitjana | 11.6 °C |
| Temperatura màxima absoluta | 39.9 °C |
| Temperatura mínima absoluta | -2.8 °C |
| Velocitat mitjana del vent | 2.5 m/s |
| Direcció dominant del vent | N |
| Humitat relativa mitjana | 65.7 % |

La ubicació que s'ha triat per al emplaçament del "site" no sol patir terratrèmols forts, és a dir, no hi sol haver problemes sísmics. Tal i com es mostra a la figura 3.4. la zona escollida per emplaçar el "site" està situada en una zona on no s'esperen terratrèmols de gran magnitud.

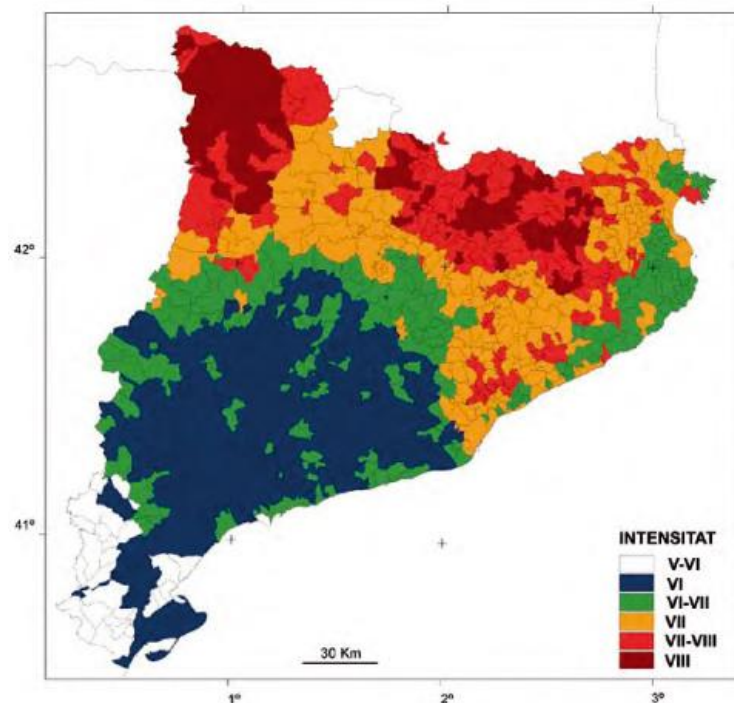


Figura 3.4. Mapa de les zones sísmiques de Catalunya.

3.2.3.2. Elevació i Estructura del Terreny

L'emplaçament escollit es troba a 76 metres sobre el nivell del mar.

A la província de Tarragona les litologies predominants són argiles, sorres, graves, calcàries i llims.

3.2.4. Normes i codis de disseny

Per realitzar el disseny dels equips s'ha tingut en compte les següents normes i codis de disseny.

3.2.4.1. Recipients

Per als recipients a pressió s'ha emprat el codi ASME secció VIII divisió I.

Per als recipients que no van a pressió com les sitges d'emmagatzematge, s'ha dissenyat segons el API.

3.2.4.2. Bescanviadors

El disseny del bescanviador I-101 s'ha realitzat seguint el mètode Kern. Aquest mètode és àmpliament utilitzat ja que dóna molt bons resultats.

3.2.4.3. Canonades

Per al disseny de canonades s'ha fet servir la norma ANSI. A continuació s'explica breument la nomenclatura emprada per anomenar les canonades. Totes les canonades s'han anomenat amb un codi que conté 4 paràmetres. El primer indica les polsades de diàmetre interior de la canonada i va acompanyat del símbol ”. El segon indica tots els elements que circulen per aquella canonada separats per una coma. El tercer és la pressió de la canonada en bars i per finalitzar, el quart numera les línies per les quals circulen components iguals.

4. DESENVOLUPAMENT DE L'ENGINYERIA BÀSICA

4.1. Elaboració dels diagrames

A continuació es mostren els diagrames realitzats per a la confecció del projecte.

4.1.1. Diagrama de blocs

Es parteix del diagrama de blocs per fer un primer disseny on hi apareixen els conceptes bàsics que posen les bases dels diagrames més avançats.

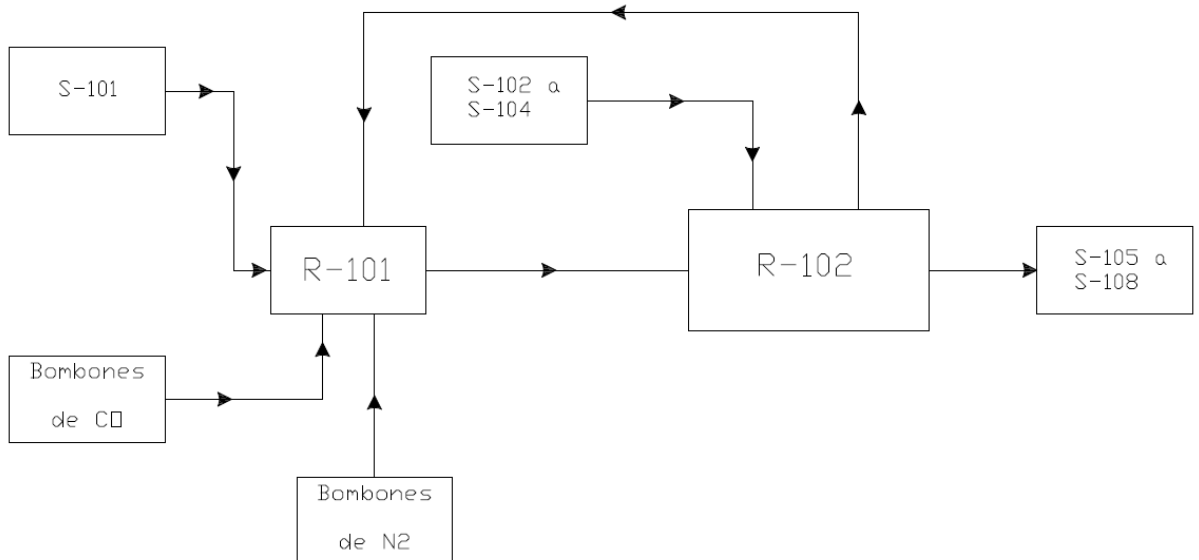
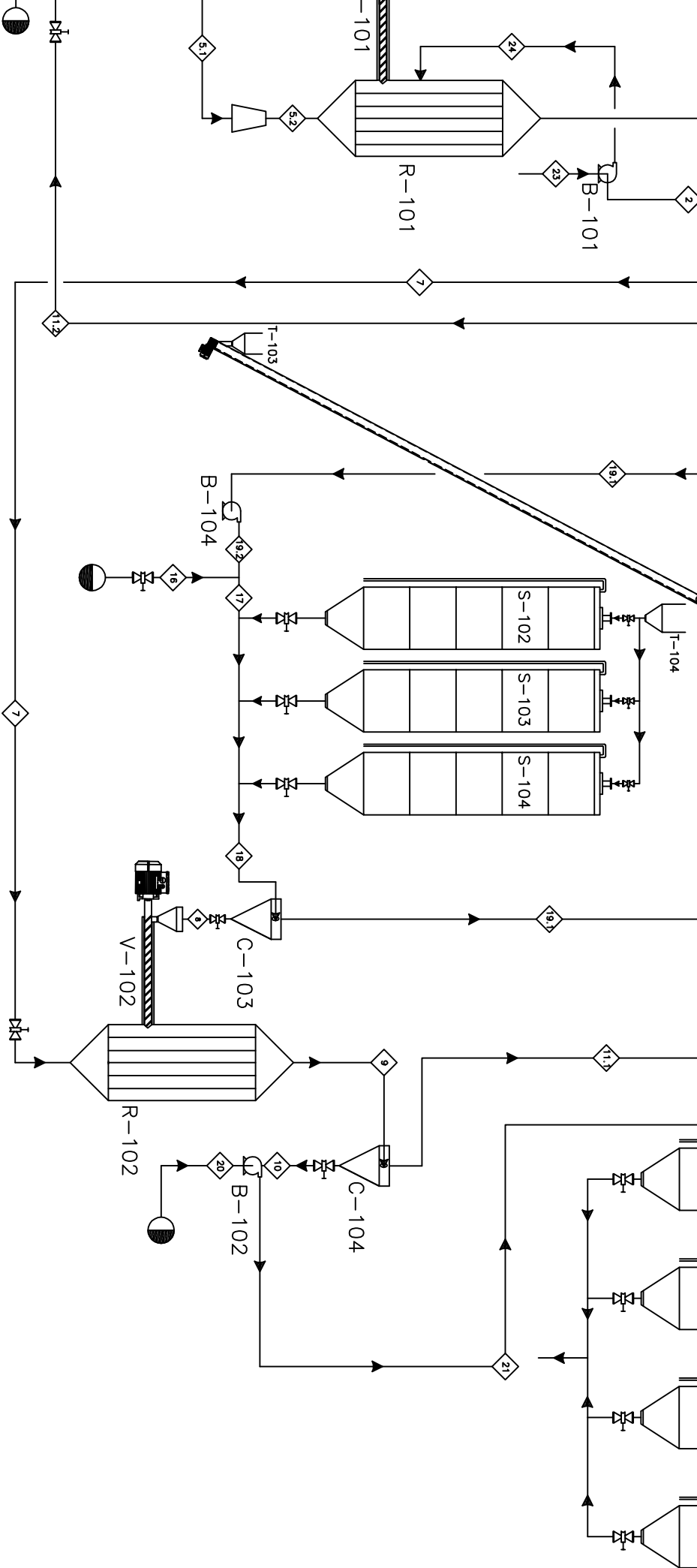
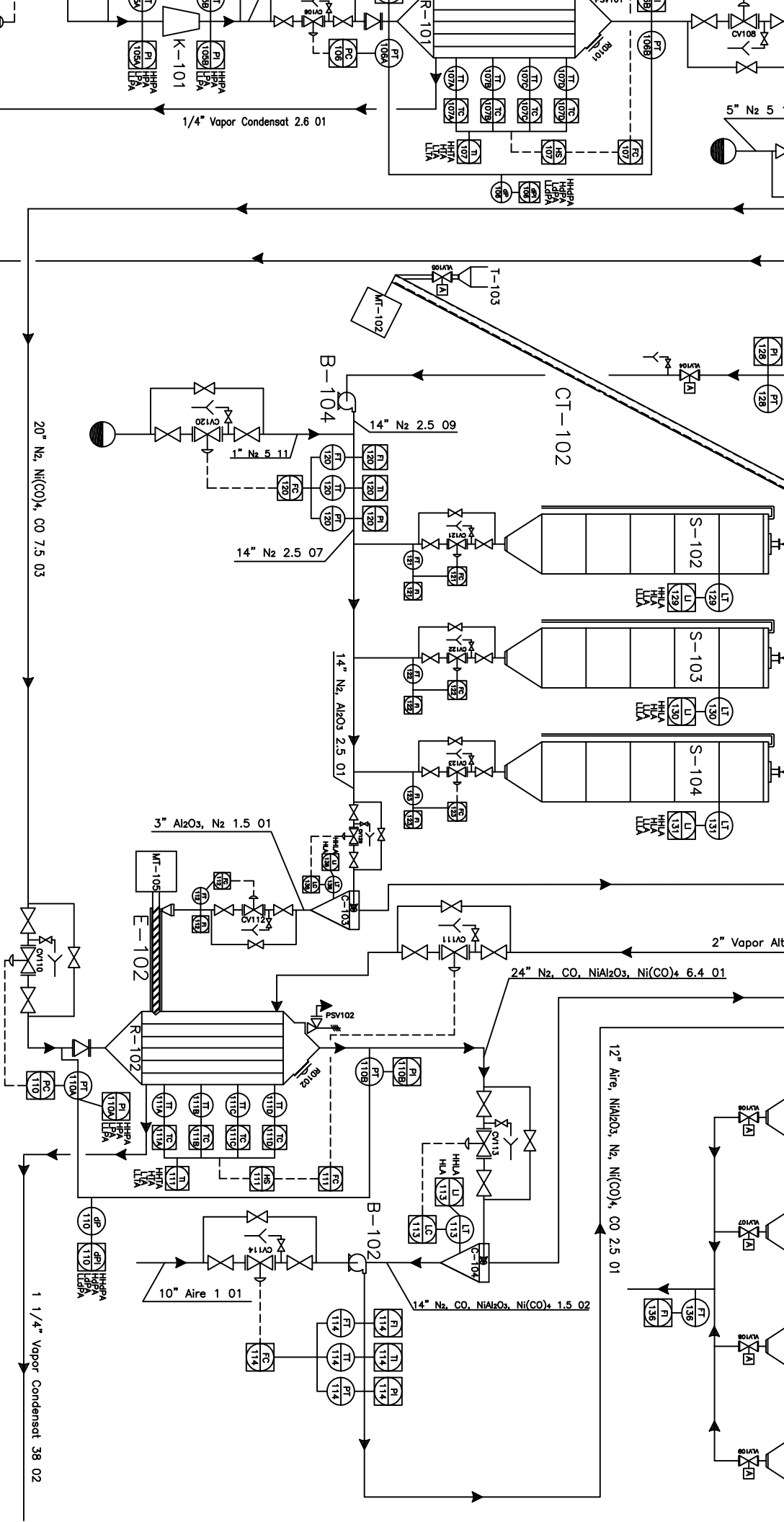


Figura 4.1. Diagrama de blocs.

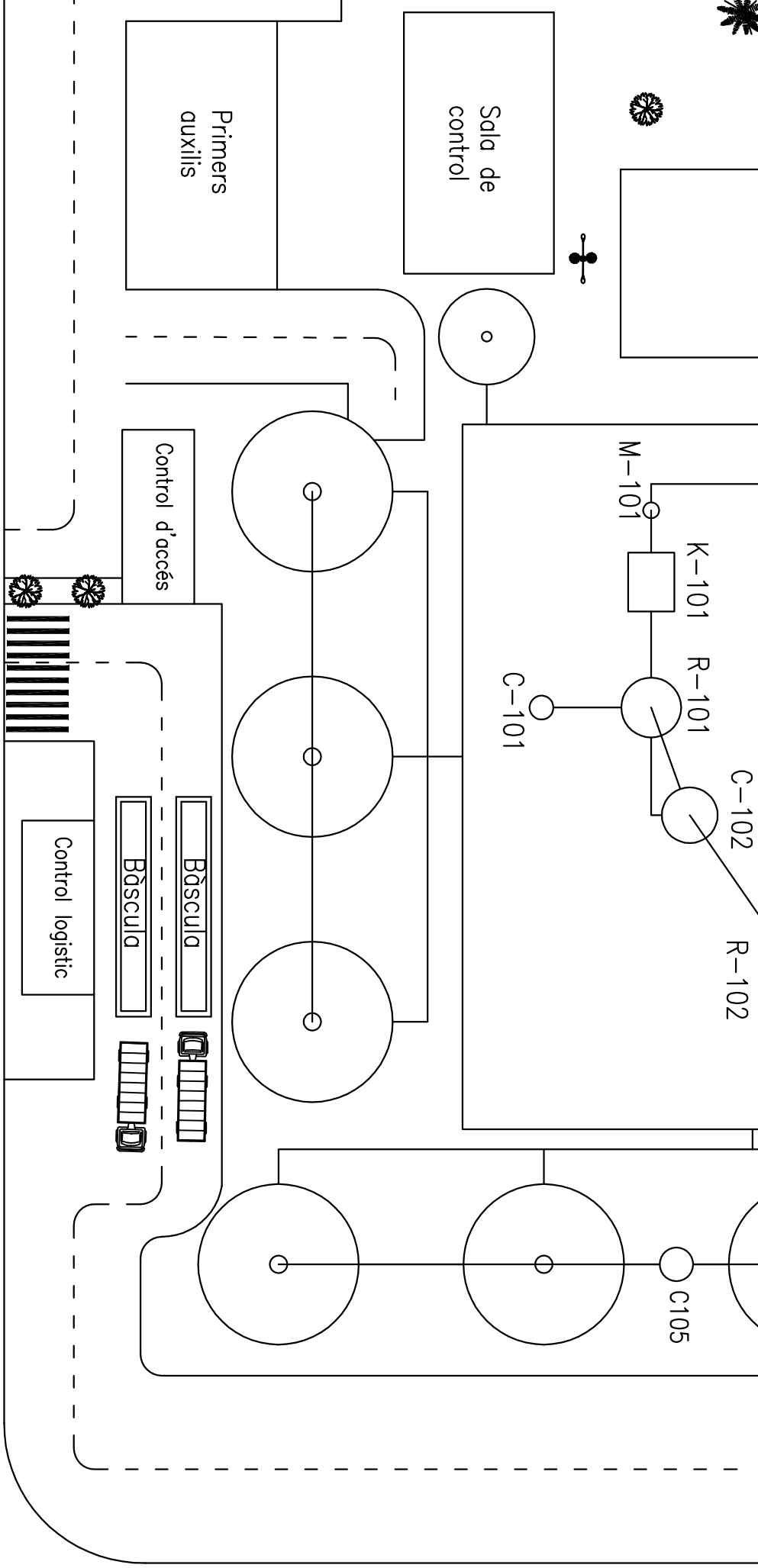


| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|
| 1.2 | 12 | 13 | 14 | 15.1 | 15.2 | 16 | 17 | 18 | 19.1 | 19.2 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
| 0 | 0 | 0 | 0.006 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.219 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0.016 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.001 | 0 | 0.001 | 0 | 0 |
| .984 | 1 | 1 | 0.94 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.781 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0.968 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.219 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0.781 | 0.999 | 0 | 0.027 | 0 |
| 44300.586 | 32355 | 3464 | 32355 | 32355 | 32355 | 0.162 | 6674 | 8548 | 6674 | 6674 | 7425 | 9509 | 7429 | 2 | 156 | 2079 |
| 5.1 | 5 | 2.5 | 2.5 | 2 | 2.5 | 5 | 2.5 | 2 | 2.5 | 1 | 2.5 | 2 | 5 | 2.5 | 1.5 | |
| 60 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 25 | 50 | 50 | 25 | 30 | 50 | |

| | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|------|--|--------|-----------------|-----|--|------------------------------|--|
| Dibuxat | | Data | | Nom | | PFC | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI | |
| Comprovat | | | | 112042 | | | | | |
| S.normes | | | | | | | | | |
| Escala | | | | | | | | | |
| FABRICACIÓ DE CATALITZADORS | | | | | Nº 1 | | | | |
| - PFD - | | | | | Substitueix a | | | | |
| | | | | | Substitueix per | | | | |



| Data | | Nom | | PFC | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI | |
|--|--|--------|--|---------------------------------|--|------------------------------|--|
| Dibuxat | | 112042 | | | | | |
| Comprovat | | | | | | | |
| S.normes | | | | | | | |
| Escala | | | | | | Nº 1 | |
| FABRICACIÓ DE CATALITZADOR Ni/Al2O3 | | | | - P&ID - | | | |
| | | | | Substitueix a Substituit per | | | |



| | | | | |
|-----------------------------------|---------------|------------|-------------------------------------|--|
| | <i>Data</i> | <i>Nom</i> | <i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> | |
| | Dibuixat | 112042 | | |
| | Comprovat | | | |
| | S.normes | | | |
| | <i>Escala</i> | | | |
| | 1:150 | | | |
| PRODUCCIO DE CATALITZADORS | | | | |
| - PLOT PLAN - | | | | |
| | | | Nº 1 | |

4.2. Disseny bàsic

4.2.1. Disseny de canonades

Tot el sistema de canonades de la planta ha estat dissenyat per garantir una bona circulació de tots els fluids que es desplacen entre els diferents equips. A l'hora de dur a terme el disseny s'han tingut en compte diversos paràmetres com l'estat dels fluids, el cabal que ha de circular, un rang de velocitats òptim per no generar excessives pèrdues de càrrega, etc.

4.2.1.1. Dimensionament de canonades i accessoris

Segons l'estat del fluid, els límits de velocitat per no generar moltes pèrdues varien. Pels líquids, el rang òptim és entre 1 i 3 m/s ja que per sota de 1 m/s no estaria desenvolupat completament el règim turbulent i per sobre de 3 m/s les pèrdues de càrrega serien molt elevades. Pels gasos en canvi el rang òptim és entre 20 i 30 m/s per les mateixes raons que s'han exposat anteriorment. Amb aquests paràmetres fixats i els cabals volumètrics de cada corrent s'han triat les canonades que millor s'ajusten a les necessitats de la planta.

Abans i després de cada vàlvula de control es col·locarà una vàlvula de papallona juntament amb una purga per tal de poder-la aïllar i drenar quan s'hagi de realitzar el manteniment.

Tots els colzes que s'instal·laran a la planta són de 90°.

4.2.1.2. Diàmetre, perfil hidràulic per trams, "rating"

A la taula 4.1 que es mostra a continuació es poden observar alguns dels paràmetres que cal tenir en compte a l'hora de dimensionar i instal·lar les canonades de la planta. Pel que fa a perfil hidràulic, s'ha indicat l'alçada d'inici de cada canonada respecte al terra on l'alçada és 0. Totes les canonades excepte les que porten el vapor de alta pressió i el condensat del mateix tenen un "rating" de 150 ja que no es treballa a alta pressió.

Taula 4.1. Diàmetre, variacions d'alçades i "rating"

| Nom canonada (P&ID) | Ø int. (m) | Alçada inici (m) | "Rating" |
|---|------------|------------------|----------|
| 2 1/2" Ni, N2 1.5 01 | 0.059 | 3 | 150 |
| 1 1/4" Ni, Ni(CO)4, CO, N2 1.5 01 | 0.033 | 7 | 150 |
| 1/8" CO 5 01 | 0.005 | 1.5 | 150 |
| 1/8" N2 5 02 | 0.005 | 1.5 | 150 |
| 24" N2, Ni(CO)4, CO 5 01 | 0.548 | 3.8 | 150 |
| 16" N2, Ni(CO)4, CO 10 02 | 0.364 | 5.5 | 150 |
| 18" N2, Ni(CO)4, Ni, CO 8.5 02 | 0.410 | 16.5 | 150 |
| 20" N2, Ni(CO)4, CO 7.5 03 | 0.456 | 17 | 150 |
| 3" Al2O3, N2 1.5 01 | 0.074 | 3 | 150 |
| 24" N2, CO, NiAl2O3, Ni(CO)4, 6.4 01 | 0.548 | 13 | 150 |
| 14" N2, CO, NiAl2O3, Ni(CO)4, 1.5 02 | 0.318 | 1.5 | 150 |
| 26" N2, Ni(CO)4, CO 6 04 | 0.595 | 13.3 | 150 |
| 24" N2, Ni(CO)4, CO 5.1 05 | 0.548 | 1.5 | 150 |
| 1" N2 5 11 | 0.024 | 1.5 | 150 |
| 12" N2, 2.5 03 | 0.289 | 1.5 | 150 |
| 12" N2, Ni 2.5 02 | 0.289 | 3 | 150 |
| 12" N2 2 04 | 0.289 | 8 | 150 |
| 12" N2 2.5 05 | 0.289 | 1.5 | 150 |
| 1/2" N2 5 12 | 0.014 | 1.5 | 150 |
| 14" N2 2.5 07 | 0.318 | 1.5 | 150 |
| 14" N2, Al2O3 2.5 01 | 0.318 | 3 | 150 |
| 14" N2 2 08 | 0.318 | 6 | 150 |
| 14" N2 2.5 09 | 0.318 | 1.5 | 150 |
| 10" Aire 1 01 | 0.243 | 1.5 | 150 |
| 12" Aire, NiAl2O3, N2, CO, Ni(CO)4 2.5 01 | 0.289 | 3 | 150 |
| 12" Aire, N2, CO, Ni(CO)4 2 02 | 0.289 | 26 | 150 |
| 5" N2 5 10 | 0.122 | 1.5 | 150 |
| 5" N2, Ni, Ni(CO)4, CO 2.5 03 | 0.122 | 3 | 150 |
| 14" NiAl2O3, N2, CO, Ni(CO)4 1.5 03 | 0.318 | 23 | 150 |
| 1 1/4" Vapor Baixa 3 01 | 0.033 | 2.5 | 150 |
| 1/4" Condensat Baixa 2.6 01 | 0.008 | 3 | 150 |
| 2" Vapor Alta 40 01 | 0.049 | 2.5 | 300 |
| 1 1/4" Condensat Alta 38 02 | 0.033 | 3 | 300 |
| 8" Aigua refrigeració 3 01 | 0.194 | 1.5 | 150 |
| 8" Aigua refrigeració 2.5 02 | 0.194 | 1.5 | 150 |

4.2.1.3. Disseny mecànic de canonades i accessoris

En el procés de producció de catalitzadors no es troben en cap moment fluids a molt alta pressió i temperatura. No obstant, el material triat per a les canonades és acer inoxidable AISI 304 de “Schedule 80” segons la norma ANSI B36, per allargar la vida de les canonades al màxim possible sense que es deteriorin. Evitant al màxim el seu deteriorament és més difícil que hi hagi fuites que podrien provocar accidents laborals greus.

A continuació es mostra una taula amb les temperatures i pressions de disseny i amb el gruix que li pertoca a cada canonada.

Taula 4.2. Dades de disseny de les canonades

| Nom canonada (P&ID) | T disseny (°C) | P disseny (bar) | Gruix (mm) |
|---|-----------------------|------------------------|-------------------|
| 2 1/2" Ni, N2 1.5 01 | 45 | 2.5 | 7.0 |
| 1 1/4" Ni, Ni(CO) ₄ , CO, N2 1.5 01 | 45 | 2.5 | 4.9 |
| 1/8" CO 5 01 | 45 | 6.0 | 2.4 |
| 1/8" N2 5 02 | 45 | 6.0 | 2.4 |
| 24" N2, Ni(CO) ₄ , CO 5 01 | 78 | 6.0 | 30.9 |
| 16" N2, Ni(CO) ₄ , CO 10 02 | 78 | 11 | 21.4 |
| 18" N2, Ni(CO) ₄ , Ni, CO 8.5 02 | 80 | 9.5 | 23.8 |
| 20" N2, Ni(CO) ₄ , CO 7.5 03 | 80 | 8.5 | 26.2 |
| 3" Al ₂ O ₃ , N2 1.5 01 | 45 | 2.5 | 7.6 |
| 24" N2, CO, NiAl ₂ O ₃ , Ni(CO) ₄ , 6.4 01 | 270 | 7.4 | 30.9 |
| 14" N2, CO, NiAl ₂ O ₃ , Ni(CO) ₄ , 1.5 02 | 270 | 2.5 | 19.1 |
| 26" N2, Ni(CO) ₄ , CO 6 04 | 270 | 7.0 | 32.8 |
| 24" N2, Ni(CO) ₄ , CO 5.1 05 | 80 | 6.1 | 30.9 |
| 1" N2 5 11 | 45 | 6.0 | 4.6 |
| 12" N2, 2.5 03 | 45 | 3.5 | 17.5 |
| 12" N2, Ni 2.5 02 | 45 | 3.5 | 17.5 |
| 12" N2 2 04 | 45 | 3.0 | 17.5 |
| 12" N2 2.5 05 | 45 | 3.5 | 17.5 |
| 1/2" N2 5 12 | 45 | 6.0 | 3.7 |
| 14" N2 2.5 07 | 45 | 3.5 | 19.1 |
| 14" N2, Al ₂ O ₃ 2.5 01 | 45 | 3.5 | 19.1 |
| 14" N2 2 08 | 45 | 3.0 | 19.1 |
| 14" N2 2.5 09 | 45 | 3.5 | 19.1 |

Taula 4.2. Dades de disseny de les canonades. (Cont.)

| Nom canonada (P&ID) | T disseny (°C) | P disseny (bar) | Gruix (mm) |
|--|-----------------------|------------------------|-------------------|
| 10" Aire 1 01 | 45 | 2.0 | 15.1 |
| 12" Aire, NiAl ₂ O ₃ , N ₂ , CO, Ni(CO) ₄ 2.5 01 | 70 | 3.5 | 17.5 |
| 12" Aire, N ₂ , CO, Ni(CO) ₄ 2 02 | 70 | 3.0 | 17.5 |
| 5" N ₂ 5 10 | 45 | 6.0 | 9.5 |
| 5" N ₂ , Ni, Ni(CO) ₄ , CO 2.5 03 | 45 | 3.5 | 9.5 |
| 14" NiAl ₂ O ₃ , N ₂ , CO, Ni(CO) ₄ 1.5 03 | 70 | 2.5 | 19.1 |
| 1 1/4" Vapor Baixa 3 01 | 154 | 4.0 | 4.9 |
| 1/4" Condensat Baixa 2.6 01 | 150 | 3.6 | 3.0 |
| 2" Vapor Alta 40 01 | 300 | 41 | 5.5 |
| 1 1/4" Condensat Alta 38 02 | 270 | 39 | 4.9 |
| 8" Aigua refrigeració 3 01 | 40 | 4.0 | 12.7 |
| 8" Aigua refrigeració 2.5 02 | 60 | 3.5 | 12.7 |

4.2.1.4. Relació de canonades, accessoris i dades d'interès

A la taula 4.3 es poden observar alguns dels paràmetres més importants tot i que el diàmetre i el gruix ja s'han especificat als punts 4.2.1.2 i 4.2.1.3. També és mostra la taula X.X. on es pot observar la relació de canonades amb els seus respectius accessoris causants de les pèrdues majors del sistema.

Taula 4.3. Relació de canonades amb el gruix d'aïllant, P i T d'operació, etc.

| Nom canonada (P&ID) | Schedule | P op (bar) | T op (°C) | Aïllant (mm) |
|--|-----------------|-------------------|------------------|---------------------|
| 2 1/2" Ni, N ₂ 1.5 01 | 80 | 1.5 | 25 | 0 |
| 1 1/4" Ni, Ni(CO) ₄ , CO, N ₂ 1.5 01 | 80 | 1.5 | 25 | 0 |
| 1/8" CO 5 01 | 80 | 5 | 25 | 0 |
| 1/8" N ₂ 5 02 | 80 | 5 | 25 | 0 |
| 24" N ₂ , Ni(CO) ₄ , CO 5 01 | 80 | 5 | 58 | 10 |
| 16" N ₂ , Ni(CO) ₄ , CO 10 02 | 80 | 10 | 58 | 12 |
| 18" N ₂ , Ni(CO) ₄ , Ni, CO 8.5 02 | 80 | 8.5 | 60 | 12 |
| 20" N ₂ , Ni(CO) ₄ , CO 7.5 03 | 80 | 7.5 | 60 | 10 |
| 3" Al ₂ O ₃ , N ₂ 1.5 01 | 80 | 1.5 | 25 | 0 |
| 24" N ₂ , CO, NiAl ₂ O ₃ , Ni(CO) ₄ , 6.4 01 | 80 | 6.4 | 250 | 75 |

Taula 4.3. Relació de canonades amb el gruix d'aïllant, P i T d'operació, etc. (Cont.)

| Nom canonada (P&ID) | Schedule | P op (bar) | T op (°C) | Aïllant (mm) |
|---|-----------------|-------------------|------------------|---------------------|
| 14" N2, CO, NiAl2O3, Ni(CO)4, 1.5 02 | 80 | 1.5 | 250 | 85 |
| 26" N2, Ni(CO)4, CO 6 04 | 80 | 6 | 250 | 75 |
| 24" N2, Ni(CO)4, CO 5.1 05 | 80 | 5.1 | 60 | 10 |
| 1" N2 5 11 | 80 | 5 | 25 | 0 |
| 12" N2, 2.5 03 | 80 | 2.5 | 25 | 0 |
| 12" N2, Ni 2.5 02 | 80 | 2.5 | 25 | 0 |
| 12" N2 2 04 | 80 | 2 | 25 | 0 |
| 12" N2 2.5 05 | 80 | 2.5 | 25 | 0 |
| 1/2" N2 5 12 | 80 | 5 | 25 | 0 |
| 14" N2 2.5 07 | 80 | 2.5 | 25 | 0 |
| 14" N2, Al2O3 2.5 01 | 80 | 2.5 | 25 | 0 |
| 14" N2 2 08 | 80 | 2 | 25 | 0 |
| 14" N2 2.5 09 | 80 | 2.5 | 25 | 0 |
| 10" Aire 1 01 | 80 | 1 | 25 | 0 |
| 12" Aire, NiAl2O3, N2, CO, Ni(CO)4 2.5 01 | 80 | 2.5 | 50 | 0 |
| 12" Aire, N2, CO, Ni(CO)4 2 02 | 80 | 2 | 50 | 0 |
| 5" N2 5 10 | 80 | 5 | 25 | 0 |
| 5" N2, Ni, Ni(CO)4, CO 2.5 03 | 80 | 2.5 | 25 | 0 |
| 14" NiAl2O3, N2, CO, Ni(CO)4 1.5 03 | 80 | 1.5 | 50 | 0 |
| 1 1/4" Vapor Baixa 3 01 | 80 | 3 | 134 | 8 |
| 1/4" Condensat Baixa 2.6 01 | 80 | 2.6 | 130 | 7 |
| 2" Vapor Alta 40 01 | 80 | 40 | 280 | 90 |
| 1 1/4" Condensat Alta 38 02 | 80 | 38 | 250 | 85 |
| 8" Aigua refrigeració 3 01 | 80 | 3 | 20 | 0 |
| 8" Aigua refrigeració 2.5 02 | 80 | 2.5 | 40 | 0 |

Taula 4.4. Relació de canonades amb la longitud i els diferents accessoris.

| Nom canonada (P&ID) | Accessoris | | | | | |
|--------------------------------------|--------------|--------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | Long. (m) | Colze 90° | Vàlvula globus | Vàlvula comporta | Entrades i sortides | Reducció amplia |
| 2 1/2" Ni, N2 1.5 01 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 1 1/4" Ni, Ni(CO)4, CO, N2 1.5 01 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 1/8" CO 5 01 | 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 1/8" N2 5 02 | 6 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 24" N2, Ni(CO)4, CO 5 01 | 2 | 1 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 16" N2, Ni(CO)4, CO 10 02 | 2 | 0 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 18" N2, Ni(CO)4, Ni, CO 8.5 02 | 4 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 20" N2, Ni(CO)4, CO 7.5 03 | 23 | 4 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 3" Al2O3, N2 1.5 01 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 24" N2, CO, NiAl2O3, Ni(CO)4, 6.4 01 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 14" N2, CO, NiAl2O3, Ni(CO)4, 1.5 02 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 26" N2, Ni(CO)4, CO 6 04 | 18 | 4 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 24" N2, Ni(CO)4, CO 5.1 05 | 11 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 1" N2 5 11 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 12" N2, 2.5 03 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12" N2, Ni 2.5 02 | 8 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 12" N2 2 04 | 12 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 12" N2 2.5 05 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1/2" N2 5 12 | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 14" N2 2.5 07 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Taula 4.4. Relació de canonades amb la longitud i els diferents accessoris. (Cont.)

| Nom canonada (P&ID) | Accessoris | | | | | |
|---|--------------|--------------|-------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| | Long. (m) | Colze 90° | Vàlvula globus | Vàlvula comporta | Entrades i sortides | Reducció amplia |
| 14" N2, Al2O3 2.5 01 | 8 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 14" N2 2 08 | 12 | 3 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 14" N2 2.5 09 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 10" Aire 1 01 | 2 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 12" Aire, NiAl2O3, N2, CO, Ni(CO)4 2.5 01 | 25 | 2 | 1 | 2 | 2 | 4 |
| 12" Aire, N2, CO, Ni(CO)4 2 02 | 25 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 5" N2 5 10 | 3 | 0 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 5" N2, Ni, Ni(CO)4, CO 2.5 03 | 3 | 2 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 14" NiAl2O3, N2, CO, Ni(CO)4 1.5 03 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 |
| 1 1/4" Vapor Baixa 3 01 | 22 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 1/4" Condensat Baixa 2.6 01 | 22 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 2" Vapor Alta 40 01 | 20 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 1 1/4" Condensat Alta 38 02 | 20 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 8" Aigua refrigeració 3 01 | 10 | 2 | 1 | 2 | 1 | 3 |
| 8" Aigua refrigeració 2.5 02 | 10 | 2 | 0 | 0 | 1 | 1 |

4.2.2. Disseny de la instrumentació i control

Per tal de que la planta pugui operar de forma automàtica i sense que els operadors estiguin constantment a planta, cal tenir un sistema de control robust i sense contradiccions ni llacunes que puguin portar a que el producte es surti d'especificació, un accident greu o un malbaratament dels equips.

A més, el fet de tenir un bon control sobre tota la planta minimitza les intervencions dels operadors, evitant així possibles accidents. Per tal de garantir el millor funcionament possible, tots els controladors de cabals gasosos estan corregits per densitat.

4.2.2.1. Caracterització de les estratègies de control

Un sistema de control generalment consisteix en un sistema que rep senyals de quelcom que es vol controlar i que es dissenya per a que a partir d'aquestes dades modifiqui determinats paràmetres del sistema a controlar per a reconduir les senyals alterades cap a un punt desitjat anomenat "Set Point".

El control del procés ha de permetre que la planta operi de forma automàtica i corregeixi les possibles variacions que es donin al procés i que el puguin fer sortir de l'estat estacionari generant un descontrol de la planta. Aquest sistema de control ha de garantir que els treballadors puguin operar de forma segura i amb els menors riscos possibles. A més, el control de la planta ha de poder protegir els equips evitant que aquests es destrueixin total o parcialment. En els processos químics normalment les variables més crítiques, i que poden provocar les situacions més desfavorables, són els nivells dels equips i les temperatures o pressions que es poden veure incrementades per reaccions descontrolades o altres successos inesperats.

Per tant, s'ha dissenyat el sistema de control per a que la planta es pugui mantenir sempre controlada i corregeixi les desviacions de les variables controlades que estiguin per sobre o per sota del "Set Point". A continuació es descriu el funcionament dels controladors de cadascun dels equips per a que el procés funcioni correctament.

- Control del cabal sortida sitja S-101

La sitja S-101 conté el níquel que entra al reactor R-101 per formar el tetracarbonil de níquel. Com que es tracta d'un procés en continu, el cabal de sortida des de la sitja cap a procés ha de ser constant i per aquesta raó es mesura constantment amb el transmissor FT117, que està connectat amb el controlador de cabal FC117. Si el cabal augmenta o disminueix, el controlador FC117 actua sobre la vàlvula CV117, i aquesta tancarà o obrirà per tal de mantenir el cabal en el "Set Point" que en aquest cas és de 0.041 m³/h.

- Control del cabal a la sortida del bufador B-103

Per moure el níquel des de la part inferior de la sitja S-101 fins al reactor R-101 s'ha de fer mitjançant transport neumàtic i per a què no es deteriori la matèria prima, s'impulsa amb nitrogen. Com que el cicló no té un rendiment del 100% i una petita part del nitrogen es perd, s'ha d'anar afegint constantment des de la xarxa. Per garantir que la línia no va perdent cabal es mesura aquest paràmetre a la impulsió del bufador. Com que es tracta d'un fluid en fase vapor s'ha de corregir amb la densitat i, per aquesta raó, el control consta de tres transmissors, un de cabal (FT116), un de temperatura (TT116) i un de pressió (PT116), connectats al controlador de cabal (FC116), que actua sobre la vàlvula CV116, i regula l'aportació de nitrogen de xarxa garantint així un bon funcionament del transport neumàtic.

- Control de nivell del cicló C-101

El cicló C-101 és l'encarregat de separar les partícules de níquel que hi ha en suspensió amb el nitrogen que el transporta. Per garantir un bon funcionament d'aquest equip, el seu nivell no pot passar del 25%. Per què no passi això, s'instal·larà un transmissor de nivell d'ultrasons connectat al controlador de nivell LC118 que actua sobre la vàlvula CV118. El Set Point d'aquest controlador s'ha fixat en el 25% de l'alçada del cicló. Cal dir que aquesta vàlvula en condicions normals d'operació estarà oberta i només es tancarà quan el cicló quedi obstruït o per alguna altra raó que faci que el seu nivell pugi. La principal raó per la que podria quedar obstruït és que l'extrusor s'espallés.

- Control de cabal del corrent de gasos que surt del cicló C-101

Per tal de garantir un cabal constant de sortida del cicló per entrar de nou al bufador B-103 i ser impulsat per realitzar de nou el transport neumàtic s'han instal·lat tres transmissors connectats a un controlador de cabal, el FC119, que s'encarrega de manipular la vàlvula CV119 per a que entri un cabal constant al bufador esmentat anteriorment. Igual que el controlador de cabal d'entrada de nitrogen (FC116), aquest també està corregit per densitat gràcies als transmissors de pressió i temperatura PT119 i TT119 respectivament. El "Set Point" d'aquest controlador és de 5153 m³/h.

- Control del cabal de níquel que entra al extrusor E-101

Igual que el controlador de cabal de sortida de níquel de la sitja S-101, aquest controlador garanteix que a entri al extrusor E-101 el cabal necessari per a que posteriorment tingui lloc la reacció de formació de tetracarbonil. Per fer-ho, el transmissor FT101 envia la lectura del cabal al FC101 per a obri o tanqui la vàlvula CV101 i així garantir el cabal de níquel desitjat. En el pitjor dels casos, que la vàlvula tanqués del tot per diverses raons, l'extrusor disposa d'un sistema que al no detectar entrada de matèria s'aturaria automàticament.

- Control del cabal de CO i N₂ que entra al mesclador M-101

Tal i com s'ha comentat en l'explicació del funcionament del controlador de cabal FC116, els ciclons de la planta no tenen una eficiència del 100% i per tant cal anar afegint constantment petites quantitats d'aquests elements. Per aquesta raó, els controladors de cabal FC103 i FC104 asseguren que constantment entri el cabal necessari de CO i N₂ respectivament manipulant les vàlvules CV103 i CV104.

- Control del compressor K-101

Per protegir el compressor K-101 contra efectes com el "surging" s'ha optat per instal·lar un reflux que connecti la impulsió amb la aspiració del mateix. Aquest fenomen es produeix quan la pressió a l'aspiració disminueix podent provocar una inversió del sentit del flux. Per això, la instal·lació d'aquest reflux permetrà enviar aire de la impulsió cap a la aspiració quan el dPT105 detecta una diferència entre la impulsió i l'aspiració, corregint així

aquesta manca de pressió a la impulsió. Aquesta vàlvula normalment romandrà tancada i serà d'obertura ràpida.

- Control de la pressió i temperatura del reactor R-101

Com tot equip, el reactor R-101 està dissenyat per treballar a una temperatura i pressió d'operació i per tant, aquestes variables no haurien de superar els valors establerts a l'hora de fer els disseny dels equips. Per aquesta raó es necessari controlar-les i actuar sobre les variables que puguin portar a una sobrepressió o a un increment inesperat de temperatura. Pel que fa a la pressió, aquesta es pot veure incrementada principalment pel tancament total o parcial de la vàlvula de control CV108. Com a mesura per evitar aquesta sobrepressió s'ha instal·lat el transmissor PT106A que envia la informació al controlador PC106 per a que actui sobre la vàlvula CV106 portant el sistema a un nou estat estacionari fent que la pressió a l'entrada no superi la pressió de disseny. Evidentment, si la vàlvula CV108 es tanqués completament, el controlador PC106 no podria portar a un nou estat estacionari ja que la sortida estaria obstruïda, situació que es contempla a l'apartat 5.1 on es pot observar el HAZOP. El "Set Point" fixat per a la pressió a l'entrada del reactor és de 10 bar.

Per altra banda per al control de la temperatura s'han instal·lat quatre transmissors de temperatura TT107A, TT107B, TT107C i TT107D connectats a els seus respectius controladors TC107A al TC107D que alhora estan connectats al HS107. El "high selector" HS107 s'encarrega de triar la temperatura més alta i enviar la senya al controlador de cabal FC107 per a que obri o tanqui la vàlvula CV107 que regula el pas del vapor de baixa pressió. En el cas que la temperatura del reactor es descontrolés i comencés a pujar sense que el tancament complet de la CV107 produís cap efecte, s'introduiria a la camisa del reactor aigua de torre per refredar-lo el més ràpid possible. El "Set Point" fixat per a la temperatura del reactor és de 65°C.

- Control de nivell del cicló C-102

Per garantir una bona separació del poc níquel que no ha reaccionat al reactor R-101, l'aire que surt del mateix es fa passar per el cicló C-102 que per seguretat no pot estar més ple del 25%. El control d'aquest equip funciona igual que el del cicló C-101 però en aquest cas el transmissor és el LT109 que envia la informació al controlador LC109 i actua sobre la vàlvula CV108. Igual que a la resta de ciclons, la vàlvula d'entrada, que en aquest cas és la CV108

normalment estarà oberta i només es tancarà per els motius exposats anteriorment. Una de les raons per les que es podria donar un nivell excessiu és que s'espallés el bufador B-101.

- Control del cabal de sortida del bufador B-101

El bufador B-101 és l'encarregat del transport neumàtic del níquel que surt del reactor R-101 i que no ha reaccionat. Per garantir un cabal de nitrogen suficient i constant per al transport neumàtic, es mesura aquest paràmetre a la sortida del bufador B-101, manipulant la vàlvula CV102 per a que entri el nitrogen suficient per moure el níquel en pols. Al tractar-se d'un corrent en estat gasós, el cabal està corregit per densitat gràcies als transmissors TT102, PT102 i FT102.

- Control del cabal sortida de les sitges S-102, S-103 i S-104

El control de cabal d'aquestes sitges funciona igual que el de la sitja S-101. Per garantir que cap de les sitges es queda buida i que l'alúmina no es vagi envellint a les altres dues, s'ha dissenyat el control per a que es vagin buidant totes tres alhora proporcionant cadascuna d'elles un terç del cabal total necessari. En aquest cas, els transmissors que mesuren el cabal són els FT121, FT122 i FT123 que envien la informació als controladors de cabal FC121, FC122 i FC123 que han de permetre un subministrament constant de alúmina al extrusor E-102. El "Set Point" d'aquests controladors s'ha fixat en $0.812 \text{ m}^3/\text{h}$.

- Control del cabal a la sortida del bufador B-104

Aquest controlador funciona de la mateixa forma que el de la sortida del bufador B-103. Aquest control garanteix un cabal constant de nitrogen per al transport neumàtic. Aquest cabal és indicat per el controlador de cabal FC120 rebent la senyal dels transmissors FT120, TT120 i PT120 per corregir el cabal amb la densitat.

- Control de nivell del cicló C-103

El controlador de nivell del cicló C-103 és el LC129 i l'estratègia que el regeix és la mateixa que per als ciclons explicats anteriorment. Per garantir que no s'obstrueixi el cicló el "Set Point" s'ha fixat en el 25% del nivell. Per fer-ho, aquest controlador manipula la vàlvula CV129.

- Control de cabal del corrent de gasos que surt del cicló C-103

En aquest cas i igual que la resta del sistema de transport neumàtic, aquest controlador funciona igual que el del transport neumàtic del níquel. Per poder controlar aquest cabal, el transmissor FT128 envia la senyal de cabal al controlador FC128 que el corregeix amb la densitat gràcies a les mesures dels transmissors TT128 i el PT128. El “Set Point” d’aquest corrent és el necessari a la aspiració del bufador B-104 i està fixat en 5905 m³/h.

- Control del cabal del corrent d’entrada al extrusor E-102

De la mateixa forma que l’extrusor E-101, l’alimentació de l’extrusor E-102 està controlada amb un controlador de cabal, el FC112, que rep la informació del transmissor de cabal FT112 i manipula la vàlvula CV112. Aquest extrusor, igual que el E-101 disposa d’un sistema que l’atura quan no detecta matèria a l’entrada.

- Control de la pressió i temperatura del reactor R-102

Per controlar la pressió i temperatura del reactor R-102 s’ha seguit la mateixa estratègia de control que per al reactor R-101. La única diferència són els noms dels transmissors i controladors. En aquest reactor el transmissor que envia la informació de la pressió és el PT110A i el controlador de pressió és el PC110 actuant sobre la vàlvula CV110. Per aquest reactor, el “Set Point” fixat per a la pressió a l’entrada del reactor és de 7.5 bar.

Per altra banda els transmissors de temperatura que s’encarreguen d’enviar la informació de la variable a controlar són els TT111A al TT111D. Aquesta informació va als controladors TC111A al TC111D que envien la senyal al HS111 per a que aquest detecti la temperatura més alta i faci que el controlador de cabal FC111 actuï sobre la CV111 que regula el pas del vapor d’alta pressió. El “Set Point” de temperatura per aquest reactor s’ha fixat en 255°C.

- Control de nivell del cicló C-104

El control del cicló C-104 funciona de la mateixa forma que el del cicló C-102 però amb el controlador LC113 actuant sobre la vàlvula CV113. El “Set Point” en aquest cas també s’ha fixat com el 25% de la alçada del cicló.

- Control cabal sortida B-102

Per impulsar el catalitzador fabricat des de la sortida del cicló C-104 fins a l’entrada del cicló C-105 per a que posteriorment es pugui emmagatzemar s’instal·larà un transport neumàtic amb el mateix principi que els esmentats anteriorment però en aquest cas, impulsarà les partícules de catalitzador amb aire en comptes de nitrogen. Per tant, el bufador B-102 agafarà l’aire de l’atmosfera que prèviament es filtrarà. Per mantenir un cabal d’aire suficient per al transport neumàtic, els transmissors FT114, TT114 i PT114 envien les respectives dades al controlador de cabal FC114 que manipula la vàlvula d’entrada d’aire CV114. El “Set Point” d’aquest controlador és de 6295 m³/h.

- Control de nivell del cicló C-105

Com la resta de ciclons de la planta, aquest equip té fixat un “Set Point del 25% del nivell controlat per el LC115 que manipula la vàlvula CV115 que és la que obre o tanca el pas al cabal d’entrada al cicló que prové del reactor R-102.

- Control del cabal d’entrada d’aigua de refrigeració al intercanviador I-101

Per tal que el corrent gasós que surt del cicló C-104 surti sempre a la temperatura desitjada cal controlar el cabal d’entrada d’aigua de refrigeració. Per fer-ho s’instal·larà un transmissor de temperatura, TT124 que envia la informació al controlador CT124 per manipular la vàlvula CV124 i garantir una temperatura de 60°C a la sortida del bescanviador.

- Control de la pressió a la sortida de la bomba P-101

Per impulsar l’aigua de refrigeració que arriba a la planta s’instal·larà la bomba P-101 i per protegir-la contra sobrepressions s’ha optat per instal·lar un transmissor de pressió a la sortida de la mateixa, PT125 que envia la senyal al controlador PC125 i actua sobre el

variador de freqüència del motor de la bomba per garantir una pressió de 3 bar constant a la sortida.

- Control del cabal d'entrada al compressor K-101

Per tal de mantenir un cabal constant a la aspiració del compressor K-101 només es pot actuar sobre la vàlvula CV127 ja que és la principal font de cabal del corrent que entra al compressor K-101 i seria impossible controlar-lo amb les que corrents que aporten constantment N₂ i CO al sistema ja que són cabals molt petits.

4.2.2.2. Disseny de la instrumentació i control

Tots els controladors que s'instal·laran a la planta són de tipus proporcional integral i derivatiu (PID) ja que són els que garanteixen el millor funcionament de la planta i tenen una resposta més ràpida. Totes les seqüències lògiques de la planta serveixen per a que el PLC governi el sistema rebent i processant les senyals de camp mitjançant un CPU per poder donar una resposta i realitzar la operació necessària segons convingui.

4.2.2.3. Relació d'instruments de control

A la següent taula es mostra una relació dels controladors de la planta amb la variable controlada, la variable manipulada i la vàlvula sobre la que actua entre d'altres.

Taula 4.5. Relació dels controladors i les variables que controlen i manipulen.

| Nom controlador | Variable controlada | Variable manipulada | Equip manipulat |
|-----------------|--|-------------------------------|-----------------|
| FC-101 | Cabal entrada níquel E-101 | Obertura vàlvula CV101 | CV101 |
| FC-102 | Cabal sortida B-101 | Cabal N2 que entra al B-101 | CV102 |
| FC-103 | Cabal entrada CO | Obertura vàlvula CV103 | CV103 |
| FC-104 | Cabal entrada N2 | Obertura vàlvula CV104 | CV104 |
| PC-105 | ΔP entre entrada i sortida K-101 | Reflux de K-101 | CV105 |
| PC-106 | Pressió entrada R-101 | Obertura vàlvula CV106 | CV106 |
| HS-107 / FC-107 | Temperatura del R-101 | Cabal entrada vapor baixa | CV107 |
| LC-109 | Nivell C-102 | Cabal sortida R-101 | CV108 |
| PC-110 | Pressió entrada R-102 | Obertura vàlvula CV110 | CV110 |
| HS-111 / FC-111 | Temperatura del R-102 | Cabal entrada vapor alta | CV111 |
| FC-112 | Cabal entrada E-102 | Obertura vàlvula CV112 | CV112 |
| LC-113 | Nivell C-104 | Cabal entrada C-104 | CV113 |
| FC-114 | Cabal sortida B-102 | Cabal N2 que entra al B-102 | CV114 |
| LC-115 | Nivell C-105 | Cabal entrada C-105 | CV115 |
| FC-116 | Cabal sortida B-103 | Cabal N2 que entra al B-103 | CV116 |
| FC-117 | Cabal sortida S-101 | Obertura vàlvula CV117 | CV117 |
| LC-118 | Nivell C-101 | Cabal entrada C-101 | CV118 |
| FC-120 | Cabal sortida B-104 | Cabal N2 que entra al B-104 | CV120 |
| FC-121 | Cabal sortida S-102 | Obertura vàlvula CV121 | CV121 |
| FC-122 | Cabal sortida S-103 | Obertura vàlvula CV122 | CV122 |
| FC-123 | Cabal sortida S-104 | Obertura vàlvula CV123 | CV123 |
| TC-124 | Temperatura sortida I-101 | Entrada aigua refrigeració | CV124 |
| PC-125 | Pressió sortida P-101 | Variador freq. motor de P-101 | MT-103 |
| FC-127 | Cabal entrada K-101 | Obertura vàlvula CV127 | CV127 |
| LC-129 | Nivell cicló C-103 | Cabal entrada C-103 | CV129 |

A continuació es mostren dues taules. A la primera s'observa una taula amb les diferents indicadors i les alarmes que tenen associades i a la segona una relació dels diferents tipus de transmissors.

Taula 4.6. Relació d'indicadors i alarmes.

| Indicador | Tipus alarma | Descripció | "Set Point" |
|-----------|--------------|---|-------------|
| PI105A | HHPA | Molt alta pressió a l'entrada de K-101 | 8 bar |
| | HPA | Alta pressió a l'entrada de K-101 | 6 bar |
| | LPA | Baixa pressió a l'entrada de K-101 | 4 bar |
| | LLPA | Molt baixa pressió a l'entrada de K-101 | 2 bar |
| PI105B | HHPA | Molt alta pressió a la sortida de K-101 | 15 bar |
| | HPA | Alta pressió a la sortida de K-101 | 12 bar |
| | LPA | Baixa pressió a la sortida de K-101 | 9 bar |
| | LLPA | Molt baixa pressió a la sortida de K-101 | 7 bar |
| dPI106 | HHdPA | Molt alt ΔP entre entrada i sortida de R-101 | 3 bar |
| | HdPA | Alt ΔP entre entrada i sortida de R-101 | 2 bar |
| | LdPA | Baix ΔP entre entrada i sortida de R-101 | 1 bar |
| | LLdPA | Molt baix ΔP entre entrada i sortida de R-101 | 0.5 bar |
| PI106A | HHPA | Molt alta pressió a l'entrada de R-101 | 15 bar |
| | HPA | Alta pressió a l'entrada de R-101 | 12 bar |
| | LPA | Baixa pressió a l'entrada de R-101 | 9 bar |
| | LLPA | Molt baixa pressió a l'entrada de R-101 | 7 bar |
| TI107 | HHTA | Molt alta temperatura a R-101 | 80 °C |
| | HTA | Alta temperatura a R-101 | 70 °C |
| | LTA | Baixa temperatura a R-101 | 50 °C |
| | LLTA | Molt baixa temperatura a R-101 | 40 °C |
| LI109 | HHLA | Molt alt nivell a C-102 | 25% |
| | HLA | Alt nivell a C-102 | 15% |
| dPI110 | HHdPA | Molt alt ΔP entre entrada i sortida de R-102 | 3 bar |
| | HdPA | Alt ΔP entre entrada i sortida de R-102 | 2 bar |
| | LdPA | Baix ΔP entre entrada i sortida de R-102 | 0.75 bar |
| | LLdPA | Molt baix ΔP entre entrada i sortida de R-102 | 0.25 bar |
| PI110A | HHPA | Molt alta pressió a l'entrada de R-102 | 12 bar |
| | HPA | Alta pressió a l'entrada de R-102 | 9 bar |
| | LPA | Baixa pressió a l'entrada de R-102 | 6 bar |
| | LLPA | Molt baixa pressió a l'entrada de R-102 | 3 bar |

Taula 4.6. Relació d'indicadors i alarmes. (Cont.)

| Indicador | Tipus alarma | Descripció | "Set Point" |
|------------------|---------------------|--|--------------------|
| TI111 | HHTA | Molt alta temperatura a R-102 | 290 °C |
| | HTA | Alta temperatura a R-102 | 275 °C |
| | LTA | Baixa temperatura a R-102 | 225 °C |
| | LLTA | Molt baixa temperatura a R-102 | 200 °C |
| LI113 | HHLA | Molt alt nivell a C-104 | 25% |
| | HLA | Alt nivell a C-104 | 15% |
| LI115 | HHLA | Molt alt nivell a C-105 | 25% |
| | HLA | Alt nivell a C-105 | 15% |
| LI118 | HHLA | Molt alt nivell a C-101 | 25% |
| | HLA | Alt nivell a C-101 | 15% |
| TI124 | HHTA | Molt alta temperatura a la sortida de I-101 | 80 °C |
| | HTA | Alta temperatura a la sortida de I-101 | 70 °C |
| | LTA | Baixa temperatura a la sortida de I-101 | 50 °C |
| | LLTA | Molt baixa temperatura a la sortida de I-101 | 40 °C |
| PI125 | HHPA | Molt alta pressió en cabal entrada refrigeració I-101 | 5 bar |
| | HPA | Alta pressió en cabal entrada refrigeració I-101 | 4 bar |
| | LPA | Baixa pressió en cabal entrada refrigeració I-101 | 2 bar |
| | LLPA | Molt baixa pressió en cabal entrada refrigeració I-101 | 1.5 bar |
| LI128 | HHLA | Molt alt nivell en S-101 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-101 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-101 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-101 | 15% |
| LI129 | HHLA | Molt alt nivell en S-102 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-102 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-102 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-102 | 15% |
| LI130 | HHLA | Molt alt nivell en S-103 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-103 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-103 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-103 | 15% |
| LI131 | HHLA | Molt alt nivell en S-104 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-104 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-104 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-104 | 15% |

Taula 4.6. Relació d'indicadors i alarmes. (Cont.)

| Indicador | Tipus alarma | Descripció | "Set Point" |
|------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------|
| LI132 | HHLA | Molt alt nivell en S-105 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-105 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-105 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-105 | 15% |
| LI133 | HHLA | Molt alt nivell en S-106 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-106 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-106 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-106 | 15% |
| LI134 | HHLA | Molt alt nivell en S-107 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-107 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-107 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-107 | 15% |
| LI135 | HHLA | Molt alt nivell en S-108 | 85% |
| | HLA | Alt nivell en S-108 | 70% |
| | LLA | Baix nivell en S-108 | 35% |
| | LLLA | Molt baix nivell en S-108 | 15% |
| PI137 | HHPA | Molt alta pressió en I-101 | 9 |
| | HPA | Alta pressió en I-101 | 7.5 |
| | LPA | Baixa pressió en I-101 | 5.5 |
| | LLPA | Molt baixa pressió en I-101 | 3 |
| LI138 | HHLA | Molt alt nivell a C-103 | 25% |
| | HLA | Alt nivell a C-103 | 15% |

Taula 4.7. Relació dels diferents tipus de transmissors

| Transmissor | Descripció | Tipus |
|--------------------|--|-----------------|
| FT101 | Transmissor de cabal de l'entrada E-101 | Placa d'orifici |
| FT102 | Transmissor de cabal de la sortida B-101 | Placa d'orifici |
| PT102 | Transmissió de pressió de sortida de B-101 | Manòmetre |
| TT102 | Transmissió de temperatura de sortida de B-101 | Termoparell |
| FT103 | Transmissor de cabal entrada de CO a M-101 | Placa d'orifici |
| PT103 | Transmissor de pressió entrada de CO a M-101 | Manòmetre |
| TT103 | Transmissor de temperatura entrada de CO a M-101 | Termoparell |
| FT104 | Transmissor de cabal entrada de N ₂ a M-101 | Placa d'orifici |
| PT104 | Transmissor de pressió entrada de N ₂ a M-101 | Manòmetre |
| TT104 | Transmissor de temperatura entrada de N ₂ a M-101 | Termoparell |

Taula 4.7. Relació dels diferents tipus de transmissors. (Cont)

| Transmissor | Descripció | Tipus |
|--------------------|---|-----------------|
| PT105A | Transmissor de pressió d'entrada K-101 | Manòmetre |
| PT105B | Transmissor de pressió de sortida K-101 | Manòmetre |
| PT106A | Transmissor de pressió d'entrada R-101 | Manòmetre |
| PT106B | Transmissor de pressió de sortida R-101 | Manòmetre |
| TT107A | Transmissor de temperatura de R-101 | Termoparell |
| TT107B | Transmissor de temperatura de R-101 | Termoparell |
| TT107C | Transmissor de temperatura de R-101 | Termoparell |
| TT107D | Transmissor de temperatura de R-101 | Termoparell |
| FT108 | Transmissor de cabal sortida de R-101 | Placa d'orifici |
| PT108 | Transmissor de pressió sortida de R-101 | Manòmetre |
| TT108 | Transmissor de temperatura sortida de R-101 | Termoparell |
| LT109 | Transmissor de nivell de C-102 | Mecànic |
| PT110A | Transmissor de pressió d'entrada R-102 | Manòmetre |
| PT110B | Transmissor de pressió de sortida R-102 | Manòmetre |
| TT111A | Transmissor de temperatura de R-102 | Termoparell |
| TT111B | Transmissor de temperatura de R-102 | Termoparell |
| TT111C | Transmissor de temperatura de R-102 | Termoparell |
| TT111D | Transmissor de temperatura de R-102 | Termoparell |
| FT112 | Transmissor de cabal d'entrada de E-102 | Placa d'orifici |
| LT113 | Transmissor de nivell de C-104 | Mecànic |
| FT114 | Transmissor de cabal sortida de B-102 | Placa d'orifici |
| PT114 | Transmissor de pressió sortida de B-102 | Manòmetre |
| TT114 | Transmissor de temperatura sortida de B-102 | Termoparell |
| LT115 | Transmissor de nivell de C-105 | Mecànic |
| FT116 | Transmissor de cabal sortida de B-103 | Placa d'orifici |
| PT116 | Transmissor de pressió sortida de B-103 | Manòmetre |
| TT116 | Transmissor de temperatura sortida de B-103 | Termoparell |
| FT117 | Transmissor de cabal sortida de S-101 | Sensor |
| LT118 | Transmissor de nivell de C-101 | Mecànic |
| FT119 | Transmissor de cabal sortida de C-101 | Placa d'orifici |
| PT119 | Transmissor de pressió sortida de C-101 | Manòmetre |
| TT119 | Transmissor de temperatura sortida de C-101 | Termoparell |
| FT120 | Transmissor de cabal sortida de B-104 | Placa d'orifici |
| PT120 | Transmissor de pressió sortida de B-104 | Manòmetre |
| TT120 | Transmissor de temperatura sortida de B-104 | Termoparell |
| FT121 | Transmissor de cabal sortida de S-102 | Sensor |
| FT122 | Transmissor de cabal sortida de S-103 | Sensor |

Taula 4.7. Relació dels diferents tipus de transmissors. (Cont)

| Transmissor | Descripció | Tipus |
|--------------------|--|-----------------|
| FT123 | Transmissor de cabal sortida de S-104 | Sensor |
| TT124 | Transmissor de temperatura d'entrada aigua I-101 | Termoparell |
| PT125 | Transmissor de pressió de sortida de P-101 | Manòmetre |
| FT126 | Transmissor de cabal entrada de I-101 | Placa d'orifici |
| PT126 | Transmissor de pressió entrada de I-101 | Manòmetre |
| TT126 | Transmissor de temperatura entrada de I-101 | Termoparell |
| FT127 | Transmissor de cabal entrada de R-101 | Placa d'orifici |
| PT127 | Transmissor de pressió entrada de R-101 | Manòmetre |
| TT127 | Transmissor de temperatura entrada de R-101 | Termoparell |
| FT128 | Transmissor de cabal entrada de B-104 | Placa d'orifici |
| PT128 | Transmissor de pressió entrada de B-104 | Manòmetre |
| TT128 | Transmissor de temperatura entrada de B-104 | Termoparell |
| LT128 | Transmissor de nivell de S-101 | Mecànic |
| LT129 | Transmissor de nivell de S-102 | Mecànic |
| LT130 | Transmissor de nivell de S-103 | Mecànic |
| LT131 | Transmissor de nivell de S-104 | Mecànic |
| LT132 | Transmissor de nivell de S-105 | Mecànic |
| TT132 | Transmissor de temperatura S-105 | Termoparell |
| LT133 | Transmissor de nivell de S-106 | Mecànic |
| TT133 | Transmissor de temperatura S-106 | Termoparell |
| LT134 | Transmissor de nivell de S-107 | Mecànic |
| TT134 | Transmissor de temperatura S-107 | Termoparell |
| LT135 | Transmissor de nivell de S-108 | Mecànic |
| TT135 | Transmissor de temperatura S-108 | Termoparell |
| FT136 | Transmissor de cabal de sortida de sitges d'emmagatzematge | Sensor |
| PT137 | Transmissor de pressió de I-101 | Manòmetre |
| LT138 | Transmissor de nivell de C-103 | Mecànic |

4.2.2.4. Sistema d'enclavaments

Per protegir els principals equips de la planta i intentar evitar que saltin les vàlvules de seguretat PSV, als controls d'aquests equips s'instal·laran diversos enclavaments. Els equips que es volen protegir són els dos reactors R-101 i R-102 i el bescanviador I-101.

- Relació d'enclavaments del reactor R-101

Quan salti la alarma HHPA de l'indicador de pressió PI106A, saltarà l'enclavament i generarà les accions necessàries per procedir a aturar la planta deixant totes les vàlvules en posició segura.

Quan salti la alarma HHTA de l'indicador de temperatura TI107, l'enclavament vinculat a aquest control farà aturar tot el procés de producció fent entrar aigua de torre per la camisa del reactor per a que baixi la temperatura el més ràpidament possible i evitant així un possible "Run Away". Igual que en el cas anterior, també s'hauran de quedar totes les vàlvules en posició segura.

- Relació d'enclavaments del reactor R-102

De la mateixa manera que al reactor R-101, quan salti la alarma HHPA de l'indicador de pressió PI116A, l'enclavament vinculat a aquest control saltarà i generarà les accions necessàries per procedir a aturar per complet la planta deixant totes les vàlvules en posició segura.

Quan salti la alarma HHTA de l'indicador de temperatura TI111, l'enclavament farà entrar aigua de torre per la camisa del reactor per a que baixi la temperatura el més ràpidament possible i iniciarà el procediment d'aturada de la planta per evitar un possible "Run Away".

- Relació d'enclavaments del bescanviador I-101

En el cas que saltés l'alarma de molt alta temperatura de l'intercanviador I-101, HHTA, l'enclavament s'hi vincularà s'encarregarà de protegir l'equip aturant el procés i deixant les vàlvules en posició segura. D'aquesta forma es garanteix que el corrent de sortida del bescanviador, no entri al mesclador M-101 i posteriorment al reactor R-101 a una temperatura molt més elevada de la que li correspon ja que podria descontrolar la reacció que hi té lloc.

Per altra banda, quan salti l'alarma de molt alta pressió HHPA de l'indicador PI137, l'enclavament d'aquest controlador reaccionarà igual que en els casos anteriors, aturant la planta i deixant les vàlvules en posició segura.

4.2.3. Disseny d'equips

4.2.3.1. Reactors de llit fluïditzat

Els reactors que s'han seleccionat per al procés són de llit fluïditzat. El primer d'ells (R-101) fluïditzava partícules de níquel per així obtenir el producte intermig $\text{Ni}(\text{CO})_4$. El segon (R-102) descomposa $\text{Ni}(\text{CO})_4$ per depositar el níquel sobre la superfície d'alúmina que és la partícula fluïditzada. La conversió que assoleixen tots dos és del 98%.

Ambdós reactors s'han dissenyat a pressió externa per la part cilíndrica, i pressió interna per la part cònica. Aquest fet és degut a que la part cilíndrica està en contacte amb la camisa que escalfa l'interior del reactor.

El càlcul de l'equip es troba en l'annex 2.1.

4.2.3.2. Cyclons

S'han dissenyat un total de 5 cyclons per al procés per separar fase sòlida de fase líquida. El C-101, C-103 i C105 serviran per separar gas i sòlid en els transports pneumàtics. El C-102 per recuperar el níquel no convertit en $\text{Ni}(\text{CO})_4$. El C-104 s'ha calculat per tal de separar el producte final dels gasos de procés. El procediment de càlcul es troba a l'annex 2.2.

4.2.3.3. Sitges

S'instal·laran 8 sitges per emmagatzemar productes sòlids. 1 per emmagatzemar níquel, 3 per l'alúmina i 4 pel catalitzador. S'han dissenyat per garantir un estoc mínim tan de matèries primeres com de producte final. Les especificacions necessàries així com el procediment de càlcul es troba detallat en l'annex 2.3.

4.2.3.4. Vissenfins

Aquests equips seran els encarregats d'introduir les partícules sòlides als reactors de llit fluïditzat. Tenen l'avantatge de que poden introduir les partícules sòlides al reactor sense que pràcticament hi hagi gas. A l'annex 2.4. s'explica el procediment de càlcul.

4.2.3.5. Mesclador

La funció del mesclador és unir els corrents 3, 4 i 11 per convertir-se en el corrent 5 i així entrar al reactor R-101.

4.2.3.6. Bufadors

Per poder realitzar el transport pneumàtic de la planta s'han instal·lat quatre bufadors. Aquests bufadors proporcionen al fluid l'energia necessària per poder moure el cabal de partícules sòlides que es necessita a la planta. Els bufador B-101 s'encarrega de moure el níquel que no reacciona al reactor R-101 ja que aquest no té una conversió del 100%. Els bufadors B-103 i B-104 s'encarreguen de impulsar les matèries primeres sòlides des de les sitges d'emmagatzematge fins a la entrada dels vissenfins. Aquests tres bufadors funcionen amb nitrogen mentre que el quart, el B-102 funciona amb aire per impulsar el producte final. Per determinar els cabals que eren necessaris s'ha realitzat els càlculs que es troben a l'annex 2.5. Finalment s'han triat els següents bufadors:

B-101: Robuschi Robox ES 65

B-102: Robuschi Robox ES 165

B-103: Robuschi Robox ES 145

B-104: Robuschi Robox ES 165

4.2.3.7. Bomba

Per impulsar el cabal d'aigua de torre cap al bescanviador I-101 per a poder refredar els gasos que surten del cicló C-104 a 250 °C fins a 60 °C és necessària una bomba. La bomba que s'ha triat és la següent.

P-101: Marelli ND 12x8x20

4.2.3.8. Bescanviador

Tal i com s'ha esmentat anteriorment, per poder refredar el corrent 26" N₂, Ni(CO)₄, CO 6 04 s'ha dissenyat el bescanviador I-101. Les principals dades d'aquest equip es troben a la fitxa d'especificació. Per altra banda tots els càlculs basats en el mètode Kern estan recollits al annex 2.7.

4.2.3.9. Cintes transportadores

Per poder omplir les sitges amb les matèries primeres, s'ha optat per fer servir cintes transportadores. Aquestes cintes s'encarreguen de elevar el níquel i l'alúmina des de la tolva on descarreguen els camions fins a la tolva situada a sobre de les sitges per caure posteriorment i quedar emmagatzemats. El dimensionament d'aquests equips es pot observar a l'annex 2.6.

4.2.3.10. Compressor

Per augmentar la pressió dels gasos d'entrada al reactor R-101, s'ha dissenyat el compressor K-101. Igual que a la resta de equips es poden consultar més dades a la seva fitxa d'especificació. En aquest cas, el compressor que més bé s'ajustava a les nostres necessitat és el següent:

K-101: Ingersoll Rand C1000.

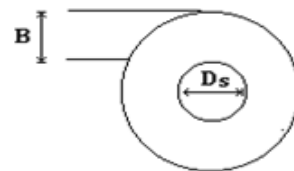
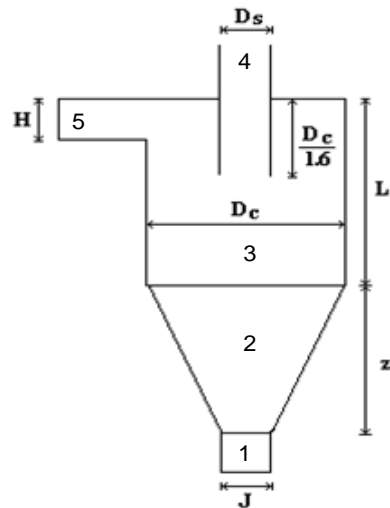
- Fitxes especificació reactors:


| | | | | | | |
|------------------|--|-------------------------|---|----------------|-----------------------|--------|
| 1 | Manufacturer: | Total Volume | 20 m ³ | R-101 SKETCH | | |
| 2 | Operating Pressure (eff.) | 10 bar | | | | |
| 3 | Operating Temperature | 60 °C | | | | |
| 4 | Gas Density | 2.5 kg/m ³ | | | | |
| 5 | Contents Lethal | No | | | | |
| 6 | D Design Pressure (eff.) | 11 bar | | | | |
| 7 | E Design Temperature | 80 °C | | | | |
| 8 | S MAWP (eff.) | bar | | | | |
| 9 | I Limited by | | | | | |
| 10 | G Hidrostatic Test (eff.) | bar | | | | |
| 11 | N Shell Heads Corr. Allow. | 1.5 mm | | | | |
| 12 | She _{II} Heads Joint Eff. | | | | | |
| 13 | Code: | Certificate: | Yes | | | |
| 14 | D Radiograph: 0.85 | Stress Relieve: PSV, RD | | | | |
| 15 | A | | | | | |
| 16 | T Type Supports: | Metallics | | | | |
| 17 | A Insulation: | Yes | | | | |
| 18 | Fireproofing: | | | | | |
| 19 | Sandblast: | Paint: No | | | | |
| 20 | Manhole: Hinged - Davited - Other: | | | | | |
| 21 | Platform Clips: | Ladder Clips: | Insul. Rings: | | | |
| 22 | Pipe Supports: | | | | | |
| 23 | Wind Load: | N/m ² | Seismic: No | | | |
| 24 | Wt. Empty: | N | Wt. Full: N | | | |
| 25 | | Item. | Thickness | Material Class | Mater-Minimum Quality | |
| 26 | M | Shell | 10 mm | SA-516 | | |
| 27 | A | Cone Roof | 9 mm | SA-516 | | |
| 28 | T | Bottom | 10 mm | SA-516 | | |
| 29 | E | Lining | mm | | | |
| 30 | R | Nozzle Necks | | | | |
| 31 | I | Flanges | | SA-516 | | |
| 32 | A | Coupling | | | | |
| 33 | L | MH Cover | | | | |
| 34 | S | Supports | | | | |
| 35 | S | Bolts/Studs | | | | |
| 36 | S | Nuts | | | | |
| 37 | S | Gaskets | | | | |
| 38 | S | | | | | |
| 39 | | Service | Mark | No. | PN | DN |
| 40 | N | NIQUEL INLET | A | | | 6" |
| 41 | O | GAS INLET | B | | | 16" |
| 42 | Z | MAN HOLE | C | | | 24" |
| 43 | Z | RECIRCULATE INLET | D | | | 1 1/4" |
| 44 | L | PRODUCT OULET | E | | | 18" |
| 45 | E | | | | | |
| 46 | | | | | | |
| 47 | | | | | | |
| 48 | S | | | | | |
| 49 | C | | | | | |
| 50 | H | | | | | |
| 51 | E | | | | | |
| 52 | D | | | | | |
| 53 | U | | | | | |
| 54 | L | | | | | |
| 55 | E | | | | | |
| 56 | | | | | | |
| 57 | VENDOR TO COMPLETE ALL APPLICABLE INFORMATION NOT GIVEN BY PURCHASER | | | | | |
| Job No. | | CHARGE No. | | | | |
| M/S No. | | P.O. No. | | | | |
| No. UNITS | | | | | | |
| DR. BY | | DATE: | | | | |
| CK. BY | | DATE: | | | | |
| REV. | BY | CK. | DATE | | | |
| 0 | | | | | | |
| | | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enguinyeria química | | | |
| Sheet Nr. 1 of 1 | | | | | | |

| | | | | | | |
|-----------|--|-------------------------|--|-----------------------|----|------------------|
| 1 | Manufacturer: | Total Volume | 20 m ³ | R-102 SKETCH | | |
| 2 | Operating Pressure (eff.) | 7 bar | | | | |
| 3 | Operating Temperature | 250 °C | | | | |
| 4 | Gas Density | 1.6 kg/m ³ | | | | |
| 5 | Contents Lethal | | No | | | |
| 6 | D Design Pressure (eff.) | 11 bar | | | | |
| 7 | E Design Temperature | 280 °C | | | | |
| 8 | S MAWP (eff.) | bar | | | | |
| 9 | I Limited by | | | | | |
| 10 | G Hidrostatic Test (eff.) | bar | | | | |
| 11 | N Shell Heads Corr. Allow. | 1.5 mm | | | | |
| 12 | She _{ll} Heads Joint Eff. | | | | | |
| 13 | Code: | Certificate: | Yes | | | |
| 14 | D Radiograph: 0.85 | Stress Relieve: PSV, RD | | | | |
| 15 | A | | | | | |
| 16 | T Type Supports: | Metallics | | | | |
| 17 | A Insulation: | Yes | | | | |
| 18 | Fireproofing: | | | | | |
| 19 | Sandblast: | Paint: No | | | | |
| 20 | Manhole: Hinged - Davited - Other: | | | | | |
| 21 | Platform Clips: | Ladder Clips: | Insul. Rings: | | | |
| 22 | Pipe Supports: | | | | | |
| 23 | Wind Load: | N/m ² | Seismic: No | | | |
| 24 | Wt. Empty: | N | Wt. Full: N | | | |
| 25 | Item. | Thickness | Material Class | Mater-Minimum Quality | | |
| 26 | M Shell | 8 mm | SA-516 | | | |
| 27 | A Cone Roof | 10 mm | SA-516 | | | |
| 28 | T Bottom | 8 mm | SA-516 | | | |
| 29 | E Lining | mm | | | | |
| 31 | R Nozzle Necks | | | | | |
| 32 | I Flanges | SA-516 | | | | |
| 33 | A Coupling | | | | | |
| 34 | L MH Cover | | | | | |
| 35 | S Supports | | | | | |
| 36 | Bolts/Studs | | | | | |
| 37 | Nuts | | | | | |
| 38 | Gaskets | | | | | |
| 39 | | Service | Mark | No. | PN | DN |
| 40 | N | ALUMINA INLET | A | | | 6" |
| 41 | O | GAS INLET | B | | | 20" |
| 42 | Z | MAN HOLE | C | | | 24" |
| 43 | Z | PRODUCT OULET | D | | | 24" |
| 44 | L | | | | | |
| 45 | E | | | | | |
| 46 | | | | | | |
| 47 | | | | | | |
| 48 | S | | | | | |
| 49 | C | | | | | |
| 50 | H | | | | | |
| 51 | E | | | | | |
| 52 | D | | | | | |
| 53 | U | | | | | |
| 54 | L | | | | | |
| 55 | E | | | | | |
| 56 | | | | | | |
| 57 | VENDOR TO COMPLETE ALL APPLICABLE INFORMATION NOT GIVEN BY PURCHASER | | | | | |
| Job No. | | CHARGE No. | | | | |
| M/S No. | | P.O. No. | | | | |
| No. UNITS | | | | | | |
| DR. BY | | DATE: | | | | |
| CK. BY | | DATE: | | | | |
| REV. | BY | CK. | DATE | | | |
| 0 | | | | | | |
| | | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria química | | | |
| | | | | | | Sheet Nr. 1 of 1 |

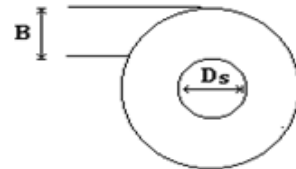
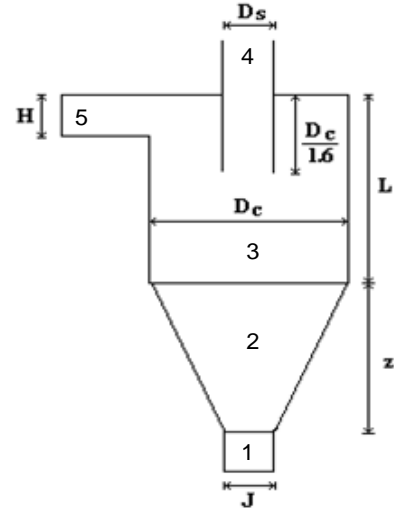
- Fitxes especificació ciclons:


| | | | | |
|----|-------------|-----------------------------|---|-------------------|
| 1 | GENERAL | Item: | C-101 | |
| 2 | | Capacity: | 0.8 | m ³ /s |
| 3 | | | | |
| 4 | | Content: | solid + gas | |
| 5 | OPER. COND. | Operating Pressure | 2.5 | bar |
| 6 | | | | |
| 7 | | Operating Temperature | 25 | °C |
| 8 | | | | |
| 9 | | Solid density | 5060 | kg/m ³ |
| 10 | DESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | 3.5 | bar |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar |
| 12 | | Design Temperature | 45 | °C |
| 13 | | | | mm |
| 14 | | Efficiency: | 99.90 | % |
| 15 | | | | |
| 16 | | Code: | | |
| 17 | | Radiograph: | 0.85 | % |
| 18 | DESIGN DATA | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: |
| 19 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | |
| 20 | | Insulation: | <input type="checkbox"/> Yes | thick mm. |
| 21 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | |
| 22 | | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> Yes | |
| 23 | | <input type="checkbox"/> No | | |
| 24 | | Paint: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: |
| 25 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | |
| 26 | | Hidrostatic Test (eff.) | - | bar |
| 27 | MATERIALS | Part | Thick. (mm.) | Mat'l Class |
| 28 | | | | |
| 29 | | 1 | 4 | SA-516 |
| 30 | | | | |
| 31 | | 2 | 4 | SA-516 |
| 32 | | | | |
| 33 | 3 | 4 | SA-516 | |
| 34 | | | | |
| 35 | 4 | 4 | SA-516 | |
| 36 | | | | |
| 37 | 5 | 4 | SA-516 | |
| 38 | | | | |
| 39 | | Perimetral ring | No | |
| 40 | DIMENSIONS | Part | Diameter | |
| 41 | | | | |
| 42 | | Dc | 0.65 | |
| 43 | | | | |
| 44 | | Ds | 0.33 | |
| 45 | | | | |
| 46 | | H | 0.33 | |
| 47 | | | | |
| 48 | L | 1.3 | | |
| 49 | | | | |
| 50 | Z | 1.3 | | |
| 51 | | | | |
| 52 | J | 0.16 | | |
| 53 | | | | |
| 54 | | B | 0.16 | |



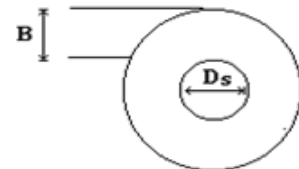
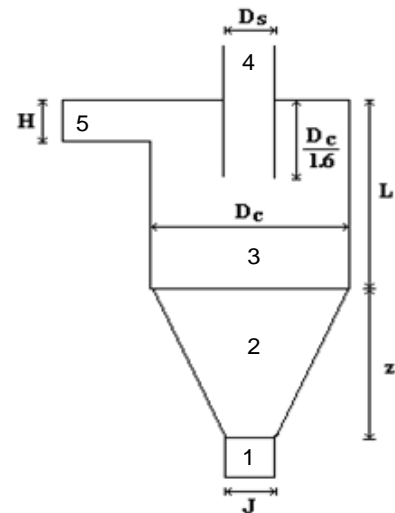
| | | | | | |
|------|--|------|-------|-------|---|
| 0 | | | | |  UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria |
| REV. | | DATE | PREP. | APPR. | |

| | | | | | | |
|----|---------------|---|--|-------------------|--|--|
| 1 | GENERAL | Item: | C-102 | | | |
| 2 | | Capacity: | 3.8 | m3/s | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | Content: | solid + gas | | | |
| 5 | OPER. COND. | Operating Pressure | 8.5 | bar | | |
| 6 | | | | | | |
| 7 | | Operating Temperature | 60 | °C | | |
| 8 | | | | | | |
| 9 | | Solid density | 5060 | kg/m ³ | | |
| 10 | DESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | 9.5 | bar | | |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar | | |
| 12 | | Design Temperature | 80 | °C | | |
| 13 | | | | mm | | |
| 14 | | Efficiency: | 99.90 | % | | |
| 15 | | | | | | |
| 16 | | Code: | | | | |
| 17 | | Radiograph: | 0.85 | % | | |
| 18 | | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: | | |
| 19 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | | |
| 19 | Insulation: | <input type="checkbox"/> Yes | thick mm. | | | |
| 20 | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | | | |
| 20 | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> Yes | | | | |
| 21 | | <input type="checkbox"/> No | | | | |
| 22 | Paint: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: | | | |
| 23 | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | | | |
| 24 | | | | | | |
| 25 | | | | | | |
| 26 | | Hydrostatic Test (eff.) | - | bar | | |
| 27 | MATERIALS | Part | Thick. (mm.) | Mat'l Class | | |
| 28 | | | | | | |
| 29 | | 1 | 6 | SA-516 | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | 2 | 8 | SA-516 | | |
| 32 | | | | | | |
| 33 | 3 | 8 | SA-516 | | | |
| 34 | | | | | | |
| 35 | 4 | 5 | SA-516 | | | |
| 36 | | | | | | |
| 37 | 5 | 5 | SA-516 | | | |
| 38 | | | | | | |
| 39 | | Perimetral ring | No | | | |
| 40 | DIMENSIONS | Part | Diameter | | | |
| 41 | | | | | | |
| 42 | | Dc | 1.4 | | | |
| 43 | | | | | | |
| 44 | | Ds | 0.7 | | | |
| 45 | | | | | | |
| 46 | | H | 0.7 | | | |
| 47 | | | | | | |
| 48 | L | 2.8 | | | | |
| 49 | | | | | | |
| 50 | Z | 2.8 | | | | |
| 51 | | | | | | |
| 52 | J | 0.36 | | | | |
| 53 | | | | | | |
| 54 | | B | 0.36 | | | |



| | | | | | |
|------|--|------|-------|-------|--|
| 0 | | | | |  UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria |
| REV. | | DATE | PREP. | APPR. | |

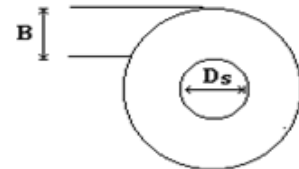
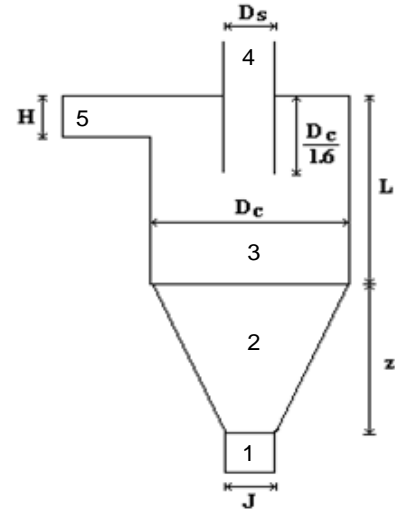
| | | | | |
|----|-----------------|---|--|-------------------|
| 1 | GENERAL | Item: | C-103 | |
| 2 | | Capacity: | 1.64 | m3/s |
| 3 | | | | |
| 4 | | Content: | solid + gas | |
| 5 | OPER. COND. | Operating Pressure | 2.5 | bar |
| 6 | | | | |
| 7 | | Operating Temperature | 25 | °C |
| 8 | | | | |
| 9 | | Solid density | 770 | kg/m ³ |
| 10 | DESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | 3.5 | bar |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar |
| 12 | | Design Temperature | 45 | °C |
| 13 | | | | mm |
| 14 | | Efficiency: | 99.90 | % |
| 15 | | | | |
| 16 | | Code: | | |
| 17 | | Radiograph: | 0.85 | % |
| 18 | | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: |
| 19 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | |
| 20 | | Insulation: | <input type="checkbox"/> Yes | thick mm. |
| 21 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | |
| 22 | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> Yes | | |
| 23 | | <input type="checkbox"/> No | | |
| 24 | Paint: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: | |
| 25 | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | |
| 26 | | | | |
| 26 | | Hydrostatic Test (eff.) | - | bar |
| 27 | MATERIALS | Part | Thick. (mm.) | Mat'l Class |
| 28 | | | | |
| 29 | | 1 | 4 | SA-516 |
| 30 | | | | |
| 31 | | 2 | 5 | SA-516 |
| 32 | | | | |
| 33 | 3 | 5 | SA-516 | |
| 34 | | | | |
| 35 | 4 | 4 | SA-516 | |
| 36 | | | | |
| 37 | 5 | 4 | SA-516 | |
| 38 | | | | |
| 39 | Perimetral ring | No | | |
| 40 | DIMENSIONS | Part | Diameter | |
| 41 | | | | |
| 42 | | Dc | 0.93 | |
| 43 | | | | |
| 44 | | Ds | 0.47 | |
| 45 | | | | |
| 46 | | H | 0.47 | |
| 47 | | | | |
| 48 | L | 1.8 | | |
| 49 | | | | |
| 50 | Z | 1.8 | | |
| 51 | | | | |
| 52 | J | 0.23 | | |
| 53 | | | | |
| 54 | B | 0.23 | | |



| | | | | |
|------|--|------|-------|-------|
| 0 | | | | |
| REV. | | DATE | PREP. | APPR. |


 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
 Departament d'Enginyeria

| | | | | |
|----|-----------------|---|--|-------------------|
| 1 | GENERAL | Item: | C-104 | |
| 2 | | Capacity: | 5.9 | m ³ /s |
| 3 | | | | |
| 4 | | Content: | solid + gas | |
| 5 | OPER. COND. | Operating Pressure | 6.4 | bar |
| 6 | | | | |
| 7 | | Operating Temperature | 250 | °C |
| 8 | | | | |
| 9 | | Solid density | 1199 | kg/m ³ |
| 10 | DESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | 7.4 | bar |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar |
| 12 | | Design Temperature | 270 | °C |
| 13 | | | | mm |
| 14 | | Efficiency: | 99.90 | % |
| 15 | | | | |
| 16 | | Code: | | |
| 17 | | Radiograph: | 0.85 | % |
| 18 | | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: |
| 19 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | |
| 20 | | Insulation: | <input type="checkbox"/> Yes | thick mm. |
| 21 | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | |
| 22 | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> Yes | | |
| 23 | | <input type="checkbox"/> No | | |
| 24 | Paint: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: | |
| 25 | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | |
| 26 | | | | |
| 26 | | Hydrostatic Test (eff.) | - | bar |
| 27 | MATERIALS | Part | Thick. (mm.) | Mat'l Class |
| 28 | | | | |
| 29 | | 1 | 4 | SA-516 |
| 30 | | | | |
| 31 | | 2 | 6 | SA-516 |
| 32 | | | | |
| 33 | 3 | 6 | SA-516 | |
| 34 | | | | |
| 35 | 4 | 5 | SA-516 | |
| 36 | | | | |
| 37 | 5 | 4 | SA-516 | |
| 38 | | | | |
| 39 | Perimetral ring | No | | |
| 40 | DIMENSIONS | Part | Diameter | |
| 41 | | | | |
| 42 | | Dc | 1.8 | |
| 43 | | | | |
| 44 | | Ds | 0.89 | |
| 45 | | | | |
| 46 | | H | 0.89 | |
| 47 | | | | |
| 48 | L | 3.6 | | |
| 49 | | | | |
| 50 | Z | 3.6 | | |
| 51 | | | | |
| 52 | J | 0.44 | | |
| 53 | | | | |
| 54 | B | 0.44 | | |

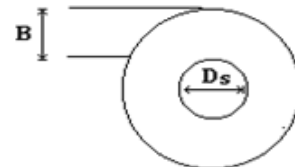
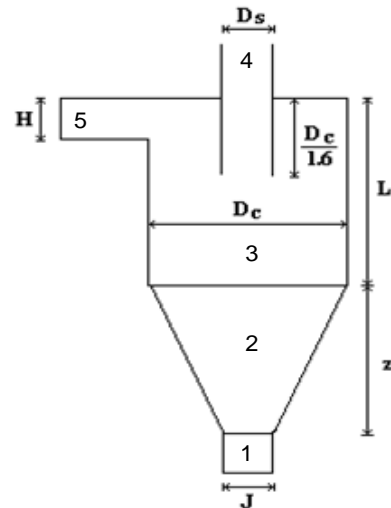


| | | | | |
|------|--|------|-------|-------|
| 0 | | | | |
| REV. | | DATE | PREP. | APPR. |



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
 Departament d'Enginyeria

| | | | | | |
|----|---------------|---|--|-------------------|---|
| 1 | GENERAL | Item: | C-105 | | |
| 2 | | Capacity: | 1.7 | m ³ /s | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | Content: | solid + gas | | |
| 5 | OPER. COND. | Operating Pressure | 2.5 | bar | |
| 6 | | | | | |
| 7 | | Operating Temperature | 60 | °C | |
| 8 | | | | | |
| 9 | | Solid density | 1199 | kg/m ³ | |
| 10 | DESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | 3.5 | bar | |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar | |
| 12 | | Design Temperature | 80 | °C | |
| 13 | | | | mm | |
| 14 | | Efficiency: | 99.90 | % | |
| 15 | | | | | |
| 16 | | Code: | | | |
| 17 | | Radiograph: | | 0.85 | % |
| 18 | | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: | |
| 19 | | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | |
| 20 | Insulation: | <input type="checkbox"/> Yes | thick mm. | | |
| 21 | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | | |
| 22 | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> Yes | | | |
| 23 | | <input type="checkbox"/> No | | | |
| 24 | Paint: | <input type="checkbox"/> Yes | Parts: | | |
| 25 | | <input checked="" type="checkbox"/> No | | | |
| 26 | | | | | |
| 26 | | Hydrostatic Test (eff.) | - | bar | |
| 27 | MATERIALS | Part | Thick. (mm.) | Mat'l Class | |
| 28 | | | | | |
| 29 | | 1 | 4 | SA-516 | |
| 30 | | | | | |
| 31 | | 2 | 5 | SA-516 | |
| 32 | | | | | |
| 33 | 3 | 5 | SA-516 | | |
| 34 | | | | | |
| 35 | 4 | 4 | SA-516 | | |
| 36 | | | | | |
| 37 | 5 | 4 | SA-516 | | |
| 38 | | | | | |
| 39 | | Perimetral ring | No | | |
| 40 | DIMENSIONS | Part | Diameter | | |
| 41 | | | | | |
| 42 | | Dc | 0.96 | | |
| 43 | | | | | |
| 44 | | Ds | 0.48 | | |
| 45 | | | | | |
| 46 | | H | 0.48 | | |
| 47 | | | | | |
| 48 | L | 1.9 | | | |
| 49 | | | | | |
| 50 | Z | 1.9 | | | |
| 51 | | | | | |
| 52 | J | 0.24 | | | |
| 53 | | | | | |
| 54 | | B | 0.24 | | |



| | | | | | |
|------|--|------|-------|-------|--|
| | | | | | |
| 0 | | | | | |
| REV. | | DATE | PREP. | APPR. | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria |

- Fitxes especificació de les sitges:

| | | | | | | |
|----|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|--------|--------|
| 1 | GENERAL | Item: | S-101 | | | |
| 2 | | Service: | Storage | | | |
| 3 | | Type of roof: | Fixed roof | | | |
| 4 | | Capacity | 18.5 | m3 | | |
| 5 | OPER. COND. | Operating Pressure | atm. | bar | | |
| 6 | | Operating Temperature | 25 | °C | | |
| 7 | | Density | 5060 | kg/m ³ | | |
| 8 | | Inlet flow | - | m3/h | | |
| 9 | | Outlet flow | 209 | kg/h | | |
| 10 | DESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | - | bar | | |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar | | |
| 12 | | Design Temperature | 60 | °C | | |
| 13 | | Corr. Allow. | | mm | | |
| 14 | | Courses: | | Nº | | |
| 15 | | Joint Eff. | | | | |
| 16 | | Code: | | | | |
| 17 | | Radiograph: | | 100 | % | |
| 18 | | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> | Yes | Parts: | |
| | | | <input checked="" type="checkbox"/> | No | | |
| 19 | Insulation: | <input type="checkbox"/> | Yes | thick mm. | | |
| | | <input checked="" type="checkbox"/> | No | | | |
| 20 | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> | Yes | | | |
| | | <input type="checkbox"/> | No | | | |
| 22 | Paint: | <input checked="" type="checkbox"/> | Yes | Parts: All | | |
| | | <input type="checkbox"/> | No | | | |
| 23 | Wt. Empty: | | 1400 | kg | | |
| 24 | Wt. Full of product: | | 96000 | kg | | |
| 25 | Wt. Full of water: | | 20000 | kg | | |
| 26 | Hidrostatic Test (eff.) | | - | bar | | |
| 27 | MATERIALS | | Thick. (mm.) | Mat'l Class | | |
| 28 | | Roof | 2 | SA-285 | | |
| 29 | | Shell course | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 32 | | | | | | |
| 33 | | 2 | 6 | SA-285 | | |
| 34 | | | | | | |
| 35 | | 1 | 8 | SA-285 | | |
| 36 | | | | | | |
| 37 | | | | | | |
| 38 | Bottom | | | | | |
| 39 | Perimetral ring | | No | | | |
| 40 | NOZZLES | Service | Mark | No. | Dia. | Rating |
| 41 | | Solid Inlet | A | | 6" | |
| 42 | | Man Hole | B | | 6" | |
| 43 | | Product Outlet | C | | 2 1/2" | 150 |
| 44 | | | D | | | |
| 45 | | | E | | | |
| 46 | | | F | | | |
| 47 | | | G | | | |
| 48 | | | H | | | |
| 49 | | | I | | | |
| 50 | | | J | | | |
| 51 | | | K | | | |
| 52 | | | L | | | |
| 53 | | | M | | | |
| 54 | | N | | | | |

SKETCH

| | | | | | | | | | |
|------|--|------|-------|-------|--|--|--|--|--|
| | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | | | | |
| REV. | | DATE | PREP. | APPR. | | | | | |

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
Departament d'Enginyeria

| | | | | | | |
|------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|--------|
| 1 | GENERAL | Item: | S-102, S-103 i S-104 | | | |
| 2 | | Service: | Storage | | | |
| 3 | | Type of roof: | Fixed roof | | | |
| 4 | | Capacity | 300 | m3 | | |
| 5 | OPER. COND. | Operating Pressure | atm. | bar | | |
| 6 | | Operating Temperature | 25 | °C | | |
| 7 | | Density | 770 | kg/m ³ | | |
| 8 | | Inlet flow | - | m3/h | | |
| 9 | | Outlet flow | 1875 | kg/h | | |
| 10 | DESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | - | bar | | |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar | | |
| 12 | | Design Temperature | 60 | °C | | |
| 13 | | Corr. Allow. | | mm | | |
| 14 | | Courses: | | Nº | | |
| 15 | | Joint Eff. | | | | |
| 16 | | Code: | | | | |
| 17 | | Radiograph: | 100 | % | | |
| 18 | | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> | Yes | Parts: | |
| | | | <input checked="" type="checkbox"/> | No | | |
| 19 | | Insulation: | <input type="checkbox"/> | Yes | thick mm. | |
| | | | <input checked="" type="checkbox"/> | No | | |
| 20 | | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> | Yes | | |
| | | | <input type="checkbox"/> | No | | |
| 22 | Paint: | <input checked="" type="checkbox"/> | Yes | Parts: | All | |
| | | <input type="checkbox"/> | No | | | |
| 23 | Wt. Empty: | 81000 | kg | | | |
| 24 | Wt. Full of product: | 313000 | kg | | | |
| 25 | Wt. Full of water: | 382000 | kg | | | |
| 26 | Hidrostatic Test (eff.) | - | bar | | | |
| 27 | MATERIALS | | Thick. (mm.) | Mat'l Class | | |
| 28 | | Roof | 2 | SA-285 | | |
| 29 | | Shell course | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 33 | | 2 | 8 | SA-285 | | |
| 34 | | 1 | 10 | SA-285 | | |
| 35 | | | | | | |
| 36 | | | | | | |
| 37 | | | | | | |
| 38 | Bottom | | | | | |
| 39 | Perimetral ring | No | | | | |
| 40 | NOZZLES | Service | Mark | No. | Dia. | Rating |
| 41 | | Solid Inlet | A | | 6" | |
| 42 | | Man Hole | B | | 24" | |
| 43 | | Product Outlet | C | | 2 1/2" | 150 |
| 44 | | | D | | | |
| 45 | | | E | | | |
| 46 | | | F | | | |
| 47 | | | G | | | |
| 48 | | | H | | | |
| 49 | | | I | | | |
| 50 | | | J | | | |
| 51 | | | K | | | |
| 52 | | | L | | | |
| 53 | | | M | | | |
| 54 | | N | | | | |
| | | | | | | |
| 0 | | | | | | |
| REV. | | DATE | | PREP. | | APPR. |

SKETCH

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
 Departament d'Enginyeria

| | | | | | | |
|------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-----------|--------|
| 1 | GENERAL | Item: | S-105, S-106, S-107 i S-108 | | | |
| 2 | | Service: | Storage | | | |
| 3 | | Type of roof: | Fixed roof | | | |
| 4 | | Capacity | 300 | m3 | | |
| 5 | OPER. CONDI | Operating Pressure | atm. | bar | | |
| 6 | | Operating Temperature | 25 | °C | | |
| 7 | | Density | 1120 | kg/m ³ | | |
| 8 | | Inlet flow | 21900 | kg/h | | |
| 9 | Outlet flow | - | kg/h | | | |
| 10 | DDESIGN DATA | Design Pressure (eff.) | - | bar | | |
| 11 | | Vacuum (abs.) | - | bar | | |
| 12 | | Design Temperature | 60 | °C | | |
| 13 | | Corr. Allow. | | mm | | |
| 14 | | Courses: | | Nº | | |
| 15 | | Joint Eff. | | | | |
| 16 | | Code: | | | | |
| 17 | | Radiograph: | 100 | % | | |
| 18 | | Stress Rel.: | <input type="checkbox"/> | Yes | Parts: | |
| | | | <input checked="" type="checkbox"/> | No | | |
| 19 | | Insulation: | <input type="checkbox"/> | Yes | thick mm. | |
| | | | <input checked="" type="checkbox"/> | No | | |
| 20 | | Fireproofing: | <input checked="" type="checkbox"/> | Yes | | |
| | | | <input type="checkbox"/> | No | | |
| 22 | Paint: | <input checked="" type="checkbox"/> | Yes | Parts: All | | |
| | | <input type="checkbox"/> | No | | | |
| 23 | Wt. Empty: | 81000 | kg | | | |
| 24 | Wt. Full of product: | 442000 | kg | | | |
| 25 | Wt. Full of water: | 382000 | kg | | | |
| 26 | Hidrostatic Test (eff.) | - | bar | | | |
| 27 | MATERIALS | | Thick. (mm.) | Mat'l Class | | |
| 28 | | Roof | 2 | SA-285 | | |
| 29 | | Shell course | | | | |
| 30 | | | | | | |
| 31 | | | | | | |
| 32 | | | | | | |
| 33 | | 2 | 10 | SA-285 | | |
| 34 | | | | | | |
| 35 | | 1 | 12 | SA-285 | | |
| 36 | | | | | | |
| 37 | | | | | | |
| 38 | Bottom | | | | | |
| 39 | Perimetral ring | No | | | | |
| 40 | NOZZLES | Service | Mark | No. | Dia. | Rating |
| 41 | | Solid Inlet | A | | 6" | |
| 42 | | Man Hole | B | | 24" | |
| 43 | | Product Outlet | C | | 2 1/2" | 150 |
| 44 | | | D | | | |
| 45 | | | E | | | |
| 46 | | | F | | | |
| 47 | | | G | | | |
| 48 | | | H | | | |
| 49 | | | I | | | |
| 50 | | | J | | | |
| 51 | | | K | | | |
| 52 | | | L | | | |
| 53 | | | M | | | |
| 54 | | N | | | | |
| | | | | | | |
| 0 | | | | | | |
| REV. | | | DATE | PREP. | APPR. | |

SKETCH

UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI
 Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química
 Departament d'Enginyeria


- Fitxes especificació vissenfins

| SPECIFICATIONS FOR CONVEYOR BELT | | | |
|----------------------------------|------------------|------|-------|
| Cinta transportadora | | | |
| Item | V-101 | | |
| Quantity | 1 | | |
| Service | Nickel transport | | |
| Type | | | |
| GENERAL OPERATION DATA | | | |
| Composition | | | % |
| Suport | | | |
| Density | | 5060 | kg/m3 |
| OPERATION CONDITIONS | | | |
| Temperature | | 20 | °C |
| Pressure | | 0 | bar |
| Operation capacity | | 208 | kg/h |
| EQUIPMENT DATA | | | |
| Bowl volume | | | m3 |
| Height | | | m |
| Efficiency | | 85 | % |
| Power | | 10 | kW |
| MATERIAL | | | |
| Structure material | Carboon steel | | |
| Tape material | | | |
| NOTES: | | | |


| SPECIFICATIONS FOR CONVEYOR BELT | | | |
|----------------------------------|-------------------|------|-------|
| Cinta transportadora | | | |
| Item | V-102 | | |
| Quantity | 1 | | |
| Service | Alumina transport | | |
| Type | | | |
| GENERAL OPERATION DATA | | | |
| Composition | | | % |
| Suport | | | |
| Density | | 770 | kg/m3 |
| OPERATION CONDITIONS | | | |
| Temperature | | 20 | °C |
| Pressure | | 0 | bar |
| Operation capacity | | 1875 | kg/h |
| EQUIPMENT DATA | | | |
| Bowl volume | | | m3 |
| Height | | | m |
| Efficiency | | 85 | % |
| Power | | 80 | kW |
| MATERIAL | | | |
| Structure material | Carboon steel | | |
| Tape material | | | |
| NOTES: | | | |

- Fitxes especificació bufadors:


| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|----------|-------------------|--------------------|--|------------------------------|------------------------|-------------|----|-------|------|--|
| GENERAL | Item: | B-101 | | | MATERIAL | Thick. / Dia. | | Mat'l Class | | | | |
| | Manufacturer: | ROBUSCHI | | | | Case: | mm | | | | | |
| | Type: | ROBOX | Model: | ES 65 | | Rotor: | mm | | | | | |
| | Nº Cases: | | | | | Shaft: | mm | | | | | |
| OPERATING CONDITIONS | Gas: | | | | DETAILS | Flanges | Service | Mark | Nº | Size | Rat. | |
| | Density | 3.39 | kg/m ³ | | | | Intake | A | | | | |
| | Avg.Mol.Mass | 28 | kg/kmol | | | | Disch. | B | | | | |
| | k-Value | | | | | | | C | | | | |
| | Compressibility factor | | | | | | | D | | | | |
| | <u>Suction</u> | | | | | | | E | | | | |
| | Flow: | 1370 | m ³ /h | | | | | F | | | | |
| | Mass flow | 4650 | kg/h | | | | | G | | | | |
| | Press | 2 | bar | | | Direction of rotation CW-CCW | | | | | | |
| | Temp. | 25 | °C | | | Bearing type | | | | | | |
| | <u>Discharge</u> | | | | | Coupling type: | | | | | | |
| | Press | 2.5 | bar | | | ELEC.MOTOR DRIVE | Mechanical data: | | | | | |
| | Temp. | 25 | °C | | | | Estimated power req'd: | | | 55 kW | | |
| | Pressure drop | | | bar | | | Proposed Motor Size: | | | kW | | |
| | | | | Rot. freq. | | | s ⁻¹ | | | | | |
| | | | | Bearings. | | | | | | | | |
| | | | | Electrical Data: | | | | | | | | |
| DESIGN CONDIT. | Code | | | | Volts: | | | | | | V | |
| | Dis. Press | 4 | bar | | Phase | | | | | | | |
| | Dis. Temp. | 50 | °C | | Frequency | | | | | | Hz | |
| | Density | 3.41 | kg/m ³ | | Number of poles: | | | | | | | |
| | Corrosion allow. | | | | Full load current: | | | | | | A | |
| | Casing Test Pressure | | | kg/cm ² | | | | | | | | |
| NOTES: | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DATE | PREP. | APPR. | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------|----------|-------------------|---|--|------------------------------|---------|-------------|-----------------|------|------|--|
| GENERAL | Item: | B-102 | | | MATERIAL | Thick. / Dia. | | Mat'l Class | | | | |
| | Manufacturer: | ROBUSCHI | | | | Case: | mm | | | | | |
| | Type: | ROBOX | Model: | ES 165 | | Rotor: | mm | | | | | |
| | Nº Cases: | | | | | Shaft: | mm | | | | | |
| OPERATING CONDITIONS | Gas: | | | | DETAILS | Flanges | Service | Mark | Nº | Size | Rat. | |
| | Density | 3.39 | kg/m ³ | | | | Intake | A | | | | |
| | Avg. Mol. Mass | 28 | kg/kmol | | | | Disch. | B | | | | |
| | k-Value | | | | | | | C | | | | |
| | Compressibility factor | | | | | | | D | | | | |
| | Suction | | | | | | | E | | | | |
| | Flow: | | 10400 | m ³ /h | | | | F | | | | |
| | Mass flow | | 35250 | kg/h | | | | G | | | | |
| | Press | | 2 | bar | | Direction of rotation CW-CCW | | | | | | |
| | Temp. | | 200 | °C | | Bearing type | | | | | | |
| | Discharge | | | | | Coupling type: | | | | | | |
| | Press | | 2.5 | bar | | ELEC. MOTOR DRIVE | | | | | | |
| | Temp. | | 25 | °C | | | | | | | | |
| | Pressure drop | | | bar | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DESIGN CONDIT. | Code | | | | Mechanical data: | | | | | | | |
| | Dis. Press | | 4 | bar | Estimated power req'd: | | 400 | | kW | | | |
| | Dis. Temp. | | 220 | °C | Proposed Motor Size: | | | | kW | | | |
| | Density | | 3.45 | kg/m ³ | Rot. freq. | | | | s ⁻¹ | | | |
| | Corrosion allow. | | | | Bearings. | | | | | | | |
| | Casing Test Pressure | | | kg/cm ² | Electrical Data: | | | | | | | |
| NOTES: | | | | | Volts: | | | | V | | | |
| | | | | | Phase | | | | | | | |
| | | | | | Frequency | | | | Hz | | | |
| | | | | | Number of poles: | | | | | | | |
| | | | | | Full load current: | | | | A | | | |
| | | | | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química | | | | | | | |
| DATE | | PREP. | APPR. |  | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |


| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|--------------------|-------------------|--------|--|------------------------------|---------|-------------|----|-----------------|------|--|
| GENERAL | Item: | B-103 | | | MATERIAL | Thick. / Dia. | | Mat'l Class | | | | |
| | Manufacturer: | ROBUSCHI | | | | Case: | mm | | | | | |
| | Type: | ROBOX | Model: | ES 145 | | Rotor: | mm | | | | | |
| | Nº Cases: | | | | | Shaft: | mm | | | | | |
| OPERATING CONDITIONS | Gas: | | | | DETAILS | Flanges | Service | Mark | Nº | Size | Rat. | |
| | Density | 3.39 | kg/m ³ | | | | Intake | A | | | | |
| | Avg. Mol. Mass | 28 | kg/kmol | | | | Disch. | B | | | | |
| | k-Value | | | | | | | C | | | | |
| | Compressibility factor | | | | | | | D | | | | |
| | Suction | | | | | | | E | | | | |
| | Flow: | 8000 | m ³ /h | | | | | F | | | | |
| | Mass flow | 27000 | kg/h | | | | | G | | | | |
| | Press | 2 | bar | | | Direction of rotation CW-CCW | | | | | | |
| | Temp. | 25 | °C | | | Bearing type | | | | | | |
| | Discharge | | | | | Coupling type: | | | | | | |
| | Press | 2.5 | bar | | | Mechanical data: | | | | | | |
| | Temp. | 25 | °C | | | Estimated power req'd: | | 315 | | kW | | |
| | Pressure drop | bar | | | | Proposed Motor Size: | | | | kW | | |
| DESIGN CONDIT. | Code | | | | ELEC. MOTOR DRIVE | Rot. freq. | | | | s ⁻¹ | | |
| | Dis. Press | 4 | bar | | | Bearings. | | | | | | |
| | Dis. Temp. | 50 | °C | | | Electrical Data: | | | | | | |
| | Density | 3.42 | kg/m ³ | | | Volts: | | | | V | | |
| | Corrosion allow. | mm. | | | | Phase | | | | | | |
| | Casing Test Pressure | kg/cm ² | | | | Frequency | | | | Hz | | |
| | | | | | | Number of poles: | | | | | | |
| NOTES: | | | | | Full load current: | | | | | | A | |
| | | | | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DATE | PREP. | APPR. | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------------|----------|---|-------------------|--|--|------------------------------|---------|-------------|-----------------|------|------|
| GENERAL | Item: | B-104 | | | | MATERIAL | Thick. / Dia. | | Mat'l Class | | | |
| | Manufacturer: | ROBUSCHI | | | | | Case: | mm | | | | |
| | Type: | ROBOX | Model: | ES 165 | | | Rotor: | mm | | | | |
| | Nº Cases: | | | | | | Shaft: | mm | | | | |
| OPERATING CONDITIONS | Gas: | | | | | DETAILS | Flanges | Service | Mark | Nº | Size | Rat. |
| | Density | 3.39 | | kg/m ³ | | | | Intake | A | | | |
| | Avg. Mol. Mass | 28 | | kg/kmol | | | | Disch. | B | | | |
| | k-Value | | | | | | | | C | | | |
| | Compressibility factor | | | | | | | | D | | | |
| | <u>Suction</u> | | | | | | | | E | | | |
| | Flow: | 10400 | | m ³ /h | | | | | F | | | |
| | Mass flow | 35250 | | kg/h | | | | | G | | | |
| | Press | 2 | | bar | | | Direction of rotation CW-CCW | | | | | |
| | Temp. | 200 | | °C | | | Bearing type | | | | | |
| | <u>Discharge</u> | | | | | | Coupling type: | | | | | |
| | Press | 2.5 | | bar | | | Mechanical data: | | | | | |
| | Temp. | 25 | | °C | | | Estimated power req'd: | | 400 | | kW | |
| | Pressure drop | | | | | | Proposed Motor Size: | | | | kW | |
| DESIGN CONDIT. | Code | | | | | Rot. freq. | | | | s ⁻¹ | | |
| | Dis. Press | 4 | | bar | | Bearings. | | | | | | |
| | Dis. Temp. | 50 | | °C | | Electrical Data: | | | | | | |
| | Density | 3.45 | | kg/m ³ | | Volts: | | | | V | | |
| | Corrosion allow. | | | | | Phase | | | | | | |
| | Casing Test Pressure | | | | | Frequency | | | | Hz | | |
| NOTES: | | | | | | Number of poles: | | | | | | |
| | | | | | | Full load current: | | | | A | | |
| | | | | | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| DATE | PREP. | APPR. |  | | | | | | | | | |

- Fitxa especificació bomba:

| | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|----------------|------|---|------------------------------|---|-------------------|--|--------|--|
| GENERAL | Manufacturer : Marelli | | | | SHAFT SEALING | Mechanical Seal | | | | |
| | Type: ND | Model: 12x8x20 | | | | Manufr. | | | | |
| | Item No.: P-101 | | | | | Type N° | | | | |
| | No. of pumps required: 1 | | | | | Classification code acc. API: | | | | |
| | Code: | | | | | Stuffing box packing | | | | |
| OPERATING CONDITIONS | Liquid pumped: Tower water | | | | MATERIALS | Stuffing box pressure(ef.) | | | | |
| | Pumping Temp.(P.T) : 20 °C | | | | | Lip Seal | | | | |
| | Density at P.T. : 998 kg/m3 | | | | | Casing and Covers AISI904L | | | | |
| | Vapor Press. at P.T.: 3141 Pa | | | | Shaft AISI420 | | | | | |
| | Viscosity at P.T. : 6.5-10-4 Pa·s | | | | Impeller AISI904L | | | | | |
| | Capacity | | | | Shaft sleeves AISI904L | | | | | |
| | Normal 84 m ³ /h | | | | Impeller Wear Rings AISI904L | | | | | |
| | Max. 120 m ³ /h | | | | DRIVER | E-motor Electrical | | | | |
| | Suction Pressure (eff.) : 2 bar | | | | | Installed Power 30 kW | | | | |
| | Discharge Pressure(ef.) 3.5 bar | | | | | Rot.freq. 3000 rpm | | | | |
| Differential Pressure 1.5 bar | | | | Turbine | | | | | | |
| Differential Head 9 m.l.c. | | | | Connection | | | | | | |
| DESIGN DATA | N.P.S.H.Avail. 11 m.w.c | | | | TESTS | Hidrostatic test 24 kg/cm ² g | | | | |
| | Design Temperature 50 °C | | | | | NPSH test NA m.w.c | | | | |
| | Max.Allow.working press.(eff) 10 bar | | | | MISC. | Weight of Pump kg | | | | |
| | N.P.S.H Req.(water) 4 m.w.c | | | | | Driver weight kg | | | | |
| | Rot.freq. 50 s ⁻¹ | | | | | NOTES: | | | | |
| | Power at Shaft 22.5 kW | | | | | | | | | |
| | Efficiency 75 % | | | | | | | | | |
| Min.Cont.flow m ³ /h | | | | | | | | | | |
| CONSTRUCCION DETAILS | Arrangement | | | | Horiz. | | Vert | | | |
| | Impeller diameter | | | | 80 | | mm | | | |
| | Number of Stages | | | | 0 | | | | | |
| | Cooling consumption: | | | | 0 | | m ³ /s | | | |
| | Bearings | | | | | | | | | |
| | Type | | | | Balls | | | | | |
| | Lubrication | | | | Oil | | | | | |
| | Coupl. | | | | | | | | | |
| | Type | | | | | | | | | |
| | Lubr.: | | | | | | | | | |
| | Nozzles | | Mark | | N° | | Dia. | | Rating | |
| | Suction | | | | | | | | | |
| | Discharge | | | | | | | | | |
| | Vents/Drains | | | | | | | | | |
| | Water Cooling | | | | | | | | | |
| | | | |  | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Químic Químic Departament d'Enginyeria Químic | | | | |
| DATE | | | | | | | | | | |
| PREP. | | | | | | | | | | |
| APPR. | | | | | | | | | | |

- Fitxa d'especificació bescanviador:


| | | | | | |
|--|-----------------|--------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ITEM No.: I-101 | | | | | |
| Service: | | Cooling | | | |
| Type: | Shell and tubes | Position: | Horizontal | Total surface / unit: | 131 (m ²) |
| No. Shell: | | | | | |
| PERFORMANCE OF UNIT | | | | | |
| | | Shell side | | Tube side | |
| | | Inlet | Outlet | Inlet | Outlet |
| Fluid name | | N2, CO, Ni(CO)4 | | Water | |
| Fluid total flow | | 34500 | | 82500 | |
| Vapour | | kg/h | 34500 | kg/h | 0 |
| Liquid | | kg/h | 0 | kg/h | 0 |
| Steam | | kg/h | 0 | kg/h | 0 |
| Water | | kg/h | 0 | kg/h | 82500 |
| Temperature | | °C | 250 | °C | 40 |
| Density (L/V) | | kg/m ³ | 3.28 | kg/m ³ | 998 |
| Viscosity (L/V) | | Pa·s | 2.5·10 ⁻⁵ | Pa·s | 1·10 ⁻³ |
| Vapour molecular weight | | | | | |
| Specific heat (L/V) | | J/kg·K | 1045 | J/kg·K | 4179 |
| Thermal conductivity (L/V) | | W/m·K | 0.039 | W/m·K | 0.63 |
| Latent heat | | kcal/kg | | kcal/kg | |
| Inlet pressure | | bar | 6 | bar | 3 |
| Velocity (allowable / calculated) | | m/s | | m/s | 1.1 |
| Pressure drop (allowable / calculated) | | bar | | bar | 0.4 |
| Fouling resistance | | m ² /K·W | 0.0006 | m ² /K·W | 0.000175 |
| Heat exchanged: | | kJ/h 6887000 | | | |
| Heat transfer rate (kcal/h.m².°C) | | Fouled: | | Clean: | |
| CONSTRUCTION PER SHELL | | | | | |
| Codes: | | Shell side | Tube side | | |
| Design pressure | | bar | 7 | bar | 7 |
| Design temperature | | °C | 270 | °C | 270 |
| No. of passes | | | | | 4 |
| Stress relief | | | | | |
| Radiograph. | | | | | |
| Corrosion allowance | | mm | | mm | |
| Nozzles | Service | Mark | Dia. | Rating | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| MATERIALS | | | | | |
| | Dia. | Thick. (mm.) | Spec. Mat | | |
| Shell: | 33 in | | AISI 304 | | |
| Channel: | | | | | |
| Tubesheets: | | | | | |
| Baffles: n° / mat. | 14 | | AISI 304 | | |
| Baffles spacing: | 0.42 | | m | | |
| Tubes: | | | | | |
| N° | 480 | | AISI 304 | | |
| OD | 3/4 | inches | | | |
| BWG | | | | | |
| Length | 20 | ft | | | |
| Pitch: | 1 1/4 in | <input type="checkbox"/> | | | |
| SKETCH | | | | | |
|  | | | | | |
| UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química Departament d'Enginyeria Química | | | | | |
| | DATE | PREP. | APPR. | | |

- Fitxes d'especificació de les cintes transportadores:

| SPECIFICATIONS FOR CONVEYOR BELT | | | |
|----------------------------------|------------------|------------|--|
| Cinta transportadora | | | |
| Item | CT-101 | | |
| Quantity | 1 | | |
| Service | Nickel transport | | |
| Type | | | |
| GENERAL OPERATION DATA | | | |
| Composition | Níquel | 100 % | |
| | | | |
| Density | | 5070 kg/m3 | |
| OPERATION CONDITIONS | | | |
| Temperature | | 25 °C | |
| Pressure | | 1.01 bar | |
| Operation capacity | | 30 kg/min | |
| EQUIPMENT DATA | | | |
| Bowl volume | | m3 | |
| Height | | 8 m | |
| Efficiency | | 80 % | |
| Power | | 45 kW | |
| MATERIAL | | | |
| Structure material | Carboon steel | | |
| Tape material | Poliester | | |
| NOTES: | | | |

| SPECIFICATIONS FOR CONVEYOR BELT | | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------|--|
| Cinta transportadora | | | |
| Item | CT-102 | | |
| Quantity | 1 | | |
| Service | Alumina transport | | |
| Type | | | |
| GENERAL OPERATION DATA | | | |
| Composition | Alúmina | % | |
| | | | |
| Density | | kg/m3 | |
| OPERATION CONDITIONS | | | |
| Temperature | | 25 °C | |
| Pressure | | 1.01 bar | |
| Operation capacity | | 40 kg/min | |
| EQUIPMENT DATA | | | |
| Bowl volume | | m3 | |
| Height | | 8 m | |
| Efficiency | | 80 % | |
| Power | | 55 kW | |
| MATERIAL | | | |
| Structure material | Carboon steel | | |
| Tape material | Poliester | | |
| NOTES: | | | |

- Fitxa d'especificació compressor:

| | | | | | | |
|------|----------------------------------|-----------------------------|--|---|---|--|
| 1 | GENERAL | Item: | K-101 | | | |
| 2 | | Service: | Compress line 24" N2, Ni(CO)4, CO 5 01 | | | |
| 3 | | Manufacturer: | Ingersoll Rand | | | |
| 4 | | Quantity | 1 | | | |
| 5 | | Type: | Model: | C-1000 | | |
| 6 | SERVICE | Vapor or Gas Handled | Drawing | | | |
| 7 | | Nitrogen | 0.977 | % | | |
| 8 | | Carbon monoxide | 0.005 | % | | |
| 9 | | Nickel tetracarbonyl | 0.018 | % | | |
| 10 | | | | | | |
| 11 | | Molecular wt. | 28 | kg/km | | |
| 12 | | Density | 4 | kg/m ³ | | |
| 13 | | Viscosity | 1.94·10 ⁻⁵ | Pa·s | | |
| 14 | | Critical Press. (eff.) | 34 | bar | | |
| 15 | | Critical Temp. | -147 | °C | | |
| 16 | | Cp/Cv | | | | |
| 17 | | Compressibility | | | | |
| 18 | | Suction Conditions | | | | |
| 19 | | Weight Flow | 574 | kg/min | | |
| 20 | | Volume Flow | 145 | m ³ /min | | |
| 21 | | Pressure | 5 | bar | | |
| 22 | | Temperature | 60 | °C | | |
| 24 | | Discharge Conditions | | | | |
| 25 | | Pressure | 10 | bar | | |
| 26 | | Dif. Pressure | 5 | bar | | |
| 27 | | Estim.Mechanical Efficiency | | % | | |
| 28 | | Power (including Gear Loss) | 1100 | kW | | |
| 25 | | Rot. freq. | | s ⁻¹ | | |
| 28 | | DESIGN DATA | Surge at capacity | | % | |
| 29 | | | Number of Stages | | | |
| 30 | Code | | | | | |
| 31 | Case Design Pressure | | | kg/cm ² | | |
| 33 | Impeller Diameter | | | mm | | |
| 34 | Seal Type | | | | | |
| 35 | Lubrication System: | | | | | |
| 36 | Cooling Water Req.on: | | <input checked="" type="checkbox"/> Casing; <input type="checkbox"/> Stuffing Box; <input type="checkbox"/> Bearin | | | |
| 37 | Hydrostatic Test Pressure (eff.) | | | kg/cm ² | | |
| 38 | | | Thick. / Dia. | Mat'l Class | | |
| 39 | MATERIALS | Casing & Covers: | mm | | | |
| 40 | | Shaft: | mm | | | |
| 41 | | Shaft Sleeves: | mm | | | |
| 42 | | Impeller Hubs & Covers: | mm | | | |
| 43 | | Impeller Vanes | mm | | | |
| 44 | | Intercooler: | | | | |
| 45 | | Aftercooler | | | | |
| | | | | Notes: | | |
| | | | | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGLI | | |
| | | | | Escola Tècnica Superior d'Enginyeria | | |
| | | | | Química | | |
| | | | | Departament d'Enginyeria Química | | |
| 0 | | | |  | | |
| REV. | DATE | PREP. | APPR. | | | |

4.3. Descripcions

4.3.1. Descripció funcional del projecte

En aquest apartat s'explica el funcionament i les descripció dels processos que ocorren al procés en estat estacionari.

4.3.1.1. Zona d'emmagatzematge de matèries primeres

El procés compta amb dos tipus de matèries primeres, partícules sòlides (níquel i alumina) i gasos. Quan els camions arriben a la planta, aboquen el níquel a la tolva T-101. A continuació el Níquel en pols s'eleva amb la cinta transportadora CT-101 a tolva T-102 que fa entrar el producte a la sitja S-101. que té una capacitat de 18,5 m³. L'alumina s'emmagatzema amb el mateix procediment. De la tolva d'entrada T-103 passa a la cinta transportadora CT-102 que subministra el material a través de la tolva T-104 a una de les tres sitges disponibles per a tal efecte, S-102, S-103 i S-104. Totes elles amb una capacitat de 300 m³. El CO s'emmagatzema en bombones a 200 bars.

4.3.1.2. Transport pneumàtic

Per tal de transportar les partícules sòlides des de les sitges als reactors corresponents s'instal·len sistemes de transport pneumàtic impulsats per nitrogen en fase diluïda. El níquel s'envia a través del corrent 14 de la sitja S-101 al cicló C-101 impulsat pel bufador B-103. El N₂ que surt del cicló es reaprofita per seguir enviant producte per constituir així un circuit tancat. Aquesta recirculació es produeix per la línia 15. Les pèrdues de N₂ que es generen al cicló es recuperen introduint N₂ pel corrent 12.

El transport de l'alumina parteix dels mateixos principis que en el cas del níquel. Les línies de sortida de les sitges envien producte a la línia 17 que impulsa els *pellets* a partir del sistema de transport pneumàtic. L'alumina arriba al cicló C-103 impulsat pel bufador B-104. El N₂ de sortida del cicló circula per la línia 20 fins arribar de nou al bufador. Les pèrdues de N₂ generades pel cicló es recuperen pel corrent 17.

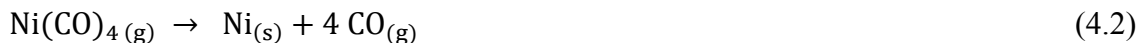
4.3.1.3. Zona de reacció

El procés comença amb l'entrada de les matèries primeres al reactor de llit fluïditzat R-101. El níquel de sortida del cicló C-101 entra a la part lateral del reactor a través del vissefí V-101. Pel corrent 5 hi entra una mescla de gasos per produir la fluïdització del níquel i formar Ni(CO)₄ (4.1) a 60 °C. El CO intervé en la reacció i el N₂ fluïditza el níquel.



A la sortida del reactor s'instal·la el cicló C-102 per recol·lectar el níquel no reaccionat i tornar-lo a introduir al reactor R-101 pel corrent 2 impulsat pel bufador B-101.

La mescla de gasos de sortida del cicló es trasllada a l'entrada del segon reactor de llit fluïditzat R-102 a través de la línia 7. Per la part lateral de R-102 hi entra alúmina impulsada pel vissefí V-102. S'hi produeix la reacció de descomposició del Ni(CO)₄ (4.2) a 250 °C.



En aquesta reacció el níquel queda lliure per depositar-se sobre l'alúmina.

Per la línia 9 surt una mescla gasosa amb el catalitzador produït que va a parar al cicló C-104. La part sòlida es considera ja el producte final.

La mescla gasosa es reaprofitja per al reactor R-101, a través de la línia 11, ja que conté la major part dels cabals necessaris per obtenir la reacció (4.1). El corrent 11 va a parar al mesclador M-101. En aquest equip també hi entren els corrents 3 i 4 que contenen CO i N₂ per arribar al cabal necessari total d'alimentació en el reactor R-101.

4.3.1.4. Intercanvi de calor

La reacció formació de Ni(CO)₄ (4.1) requereix una temperatura d'operació de 60 °C. Per aquest motiu entra a la camisa del reactor R-101 el corrent 26 que conté vapor d'aigua de

baixa pressió. També és necessari l'aport d'energia en el reactor R-102 ja que la reacció (4.2) es produeix a 250 °C. Mitjançant la línia 28 entra vapor d'aigua d'alta pressió per tal de dissipar-se per la camisa del reactor.

Per tal de fer baixar la temperatura del corrent 11, ja que es troba a 250 °C i es necessita a 60°C s'instal·la un bescanviador de carcassa i tubs I-101. El corrent d'aigua de refrigeració entra pel corrent 30.

4.3.1.5. Zona d'emmagatzematge del producte final

A la sortida del cicló C-104 hi ha el bufador B-102 que mitjançant aire atmosfèric transporta el catalitzador al cicló C-105, que separa els gasos del producte final. A continuació es distribueix el producte a les quatre sitges d'emmagatzematge S-105, S-106, S-107 i S-108. Els gasos de sortida del cicló C-105 van a parar a una tovera que els emet a l'ambient.

5. SEURETAT EN EL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

Per aconseguir una pràctica segura en les activitats realitzades a la planta s'ha d'emprendre un seguit d'accions de correcció i de prevenció per minimitzar els riscos potencials associats a la nostra activitat en concret tot complint la normativa 96/2003/CE. S'ha d'assegurar la seguretat del procés així com de les persones.

5.1. Seguretat de processos

En aquest apartat s'ha estudiat la seguretat del procés. Tots els equips disposen d'una presa al terra per evitar que l'electricitat estàtica que es generi, ocasioni una guspira que pugui desencadenar amb una explosió o un incendi.

5.1.1. Anàlisi de risc preliminar

Dins la instal·lació es poden diferenciar diferents tipus de perill en funció de les substàncies utilitzades, els equips a pressió i les sitges d'emmagatzemat.

5.1.1.1. Substàncies utilitzades

La substància més perillosa és el $\text{Ni}(\text{CO})_4$ que és un producte intermedi. El seu risc rau en un escapament a l'atmosfera ja que té un punt d'auto-ignició de 60°C i la temperatura de procés sempre és superior a aquesta xifra. Si es produís una fuga s'inflamaria i provocaria un incendi i una possible explosió depenent d'on es produís l'incident.

5.1.1.2. Equips a pressió

La planta compta amb tres equips a pressió que poden sofrir una explosió en determinades condicions. Aquests són els reactors R-101 i R-102 i el bescanviador I-101. A

tots ells se'ls ha realitzat una avaluació de riscos de procés HAZOP mostrat en l'apartat 5.1.1.4.

5.1.1.3. Sitges d'emmagatzemat

Les sitges d'emmagatzemat contenen un risc associat perquè en el moment en què s'omplen es generen núvols de pols que són fàcilment inflamables.

5.1.1.4. Estudi qualitatiu HAZOP

El HAZOP és una tècnica d'identificació de riscos basada amb la premissa que tots els accidents que es produeixen són conseqüència de desviacions en les variables del procés. La tècnica consisteix en analitzar sistemàticament les causes i les conseqüències de les variables de procés plantejades a partir d'unes paraules guia.

Els nusos que s'han estudiat han estat els dels equips que es consideren crítics; els reactors R-101 i R-102 i el bescanviador I-101.

Taula 5.1. HAZOP reactors R-101 i R102.

| Nus | Paraula Guia | Desviació | Possibles causes | Conseqüències | Ac |
|----------------|--------------|-------------|---|--|--|
| R-101 R-102 | Més | Temperatura | Increment del cabal de vapor de la camisa. Increment de la temperatura del vapor de la camisa. Cabal d'entrada a més temperatura. Foc extern. Obstrucció sortida. | Augment de la pressió en el reactor. Esclat del reactor amb dany a les persones i a la propietat. | Ins ten enc Ins rup |
| | | Pressió | Increment del cabal de vapor de la camisa. Increment de la temperatura del vapor de la camisa. Augment del cabal d'entrada. Cabal d'entrada a més temperatura. Foc extern. Obstrucció sortida. | Augment de la pressió en el reactor. Esclat del reactor amb dany a les persones i a la propietat. | Ins pre Ins rup Re líni |
| | | Cabal | Augment de flux del compressor. | Augment de la pressió en el reactor. | Ins rup |

| Nus | Paraula Guia | Desviació | Possibles causes | Conseqüències | Accions |
|----------------|--------------|-------------|---|---|---|
| R-101 R-102 | Menys | Temperatura | Disminució del cabal de vapor de la camisa. Disminució de la temperatura del vapor de la camisa. Cabal d'entrada a menys temperatura. | Disminució de la conversió de la reacció. | Ins tem enc |
| | | Pressió | Disminució del cabal d'entrada. Disminució del cabal de vapor de la camisa. Fuita en el reactor. | Disminució de la conversió de la reacció. Emissió de gasos tòxics. | Ins pre Ins gas |
| | | Cabal | Obstrucció corrent de l'entrada. Fallo del compressor. Fuita. | Disminució de la fluïdització. Emissió de gasos tòxics. | Re líni Ins gas |
| | No | Cabal | Obstrucció línia d'entrada. Fallo del compressor. | Inversió en el sentit del flux. Emissió de gasos tòxics. Esclat del reactor amb dany a les persones i a la propietat. | Ins ant rea Re i ec Ins gas |

Taula 5.2. HAZOP bescanviador I-101.

| Nus | Paraula Guia | Desviació | Possibles causes | Conseqüències | Ac |
|-------|--------------|-------------|--|--|--|
| I-101 | Més | Temperatura | Disminució del cabal de refrigeració. Augment de la temperatura del cabal de refrigeració. Cabal d'entrada a més temperatura. Augment del cabal d'entrada per carcassa. Foc extern. | Augment de la pressió en el bescanviador. Esclat del bescanviador amb dany a les persones i a la propietat. | Ins ten enc Ins rup |
| | | Pressió | Disminució del cabal de refrigeració. Augment de la temperatura del cabal de refrigeració. Augment del cabal d'entrada per carcassa. Cabal d'entrada a més temperatura. Obstrucció sortida. Foc extern. | Augment de la pressió en el bescanviador. Esclat del bescanviador amb dany a les persones i a la propietat. | Ins pre Ins rup Re líni |
| | | Cabal | Augment de flux del compressor. | Augment de la pressió en el bescanviador. | Ins rup |

| Nus | Paraula Guia | Desviació | Possibles causes | Conseqüències | Ac |
|-------|--------------|-------------|---|---|--------------------------|
| I-101 | Menys | Temperatura | Augment del cabal de refrigeració. Disminució de la temperatura del refrigerant. Cabal d'entrada a menys temperatura. | No assolir la temperatura d'operació del reactor R-101. | Ins ten enc |
| | | Pressió | Disminució del cabal d'entrada Augment del cabal de refrigeració. Fuita en el bescanviador. | Emissió de gasos tòxics. | Ins pre Ins gas |
| | | Cabal | Obstrucció corrent de l'entrada. Disminució en la conversió del reactor R-102. Fuita. | Disminució de la temperatura. Emissió de gasos tòxics. | Re líni Ins gas |
| | No | Cabal | Obstrucció línia d'entrada. | Trencament compressor per falta de cabal. | Re líni |

Del HAZOP se'n han extret conclusions per tal de millorar la seguretat dels equips crítics. Les mesures a emprendre són les següents:

- Instal·lar alarmes de temperatura i pressió amb un enclavament.
- Revisió periòdica de les línies del procés.
- Instal·lar detectors de gasos per donar l'alarma quan hi hagi una fuga.
- Protegir els equips amb vàlvules de seguretat PSV i discos de ruptura.

5.1.2. Zones ATEX

S'ha seguit el Real Decret 681/2003, de 12 de Juny, sobre la protecció de la salut i la seguretat dels treballadors exposats als riscos derivats d'atmosfera explosives en el lloc de treball. Les zones es divideixen en funció de la presència d'una atmosfera explosiva.

Presència de líquids o gasos:

Zona 0: Presència permanent o durant llargs períodes de temps.

Zona 1: Susceptible de formar-se en condicions normals d'operació.

Zona 2: Presència poc probable i per períodes curts.

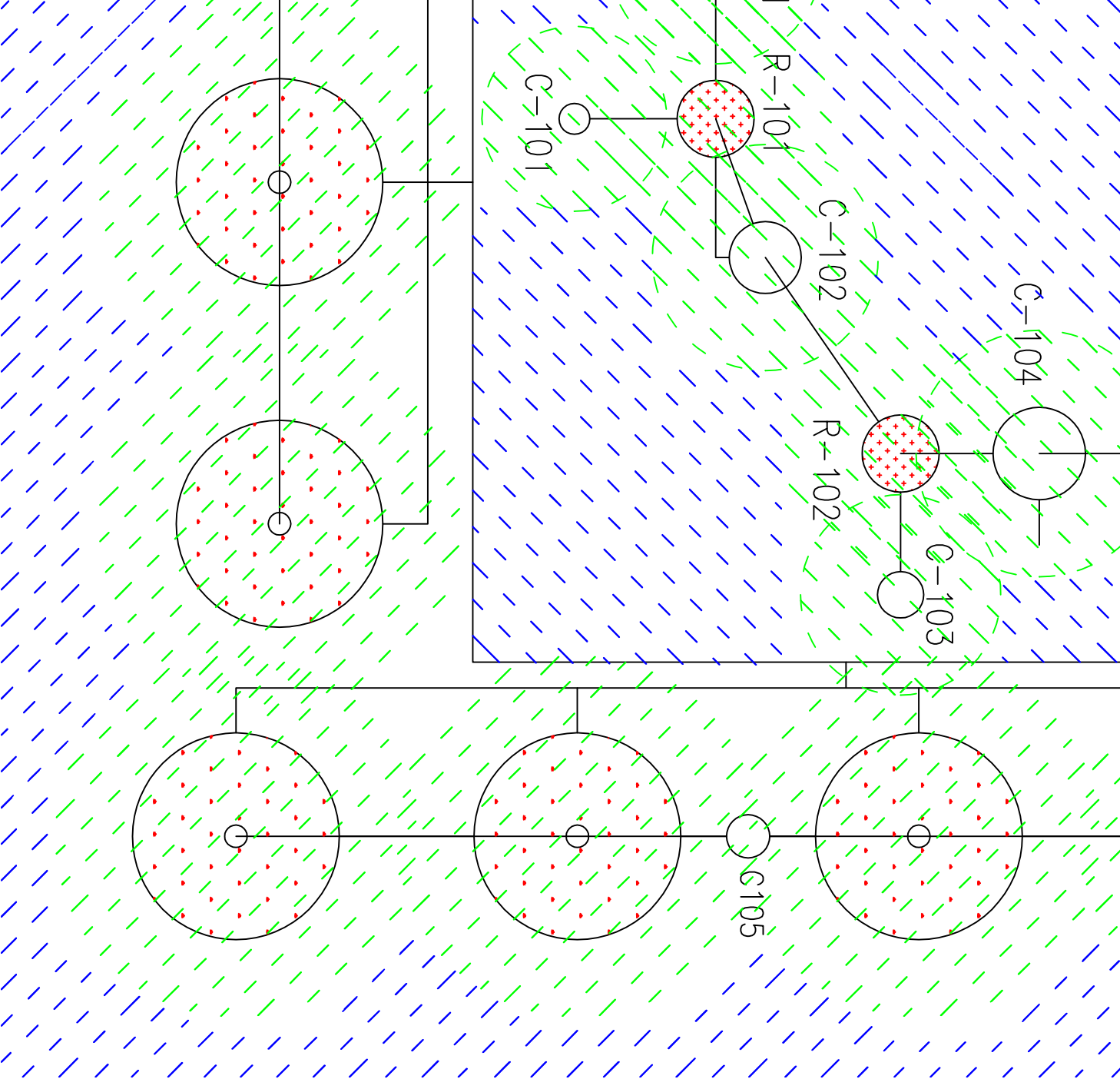
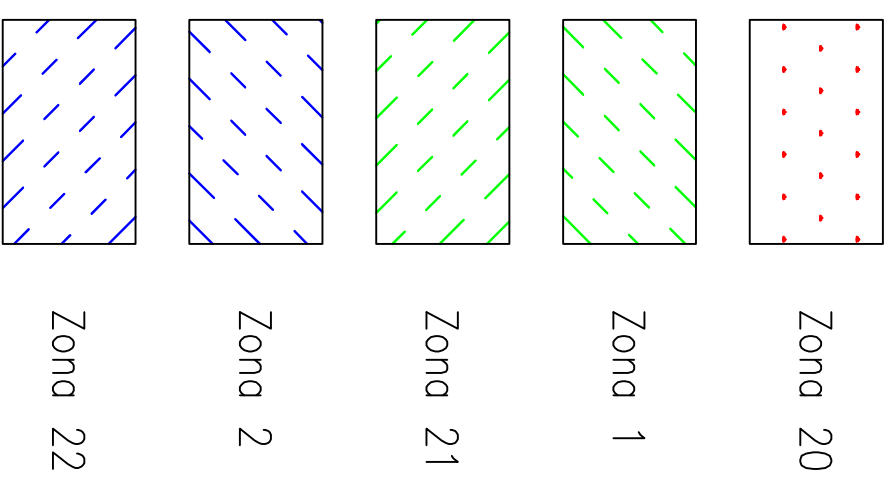
Presència de pols:

Zona 20: Es aquella en la que hi ha o es pot formar pols combustible durant les operacions normals d'operació.

Zona 21: Susceptible a formar-se el núvol o la capa de pols en condicions normals d'operació.

Zona 22: Presència poc probable i per períodes curts.

En el plànol dibuixat a continuació es mostren les zones ATEX.



5.1.3. Protecció d'equips a sobrepressions

S'han dissenyat vàlvules de seguretat per protegir tots aquells equips amb més risc de patir sobrepressions. Aquests són els reactors R-101 i R-102 i el bescanviador I-101. Els riscos que poden provocar una sobrepressió són els següents:

- Incendi provocat per causes externes.
- Fallo de l'aigua de refrigeració en els reactors i bescanviador.
- Fallo del cabal de vapor en els reactors.
- Pèrdua de flux en les entrades dels equips.
- Funcionament inadequat d'una vàlvula.
- Fallo en el sistema de control
- Error humà.

S'instal·laran dos tipus de vàlvules de seguretat per cada equip de risc. Una PSV per aliviar sobrepressions puntuals, tarades a 0.3 bars per sota de la pressió de disseny. I un disc de ruptura per sobrepressions que arribin a 0.1 bars de la pressió de disseny. Tots els escapaments de les vàlvules es canalitzen fins a un condensador per liquar el $\text{Ni}(\text{CO})_4$. Això es deu al fet que el $\text{Ni}(\text{CO})_4$ té un punt d'auto-ignició a 60°C i un punt d'ebullició a 43°C. Si es posa en contacte amb l'aire a les temperatures de procés s'inflamaria. A continuació la part gasosa s'expulsaria per una tovera i el líquid quedaria confinat en un tanc.

Taula 5.3. Vàlvules de seguretat.

| Equip | Reactor R-101 | | Reactor R-102 | | Bescanviador I-101 | |
|------------------------------------|---------------|--------|---------------|--------|--------------------|--------|
| Vàlvula | PSV-101 | RD-101 | PSV-102 | RD-102 | PSV-103 | RD-103 |
| P. disseny (bar) | 11 | | 8 | | 7 | |
| P. de tara (bar) | 10.7 | 10.9 | 7.7 | 7.9 | 6.7 | 6.9 |
| A. orifici (cm²) | 47.5 | 431 | 64.5 | 587 | 66.5 | 605 |
| Tipus | 6" Q 8" | - | 6" Q 8" | - | 6" Q 8" | - |

5.1.4. Plans d'autoprotecció

Per tal de complir amb el Decret 82/2010, de 29 de Juny, pel qual s'aprova el catàleg d'activitats i centre obligats a adoptar mesures d'autoprotecció i es fixa el contingut d'aquestes mesures s'ha realitzat un pla d'autoprotecció de la planta en el que es descriu l'estructura organitzativa d'actuació en cas d'emergència, juntament amb les hipòtesis de risc d'accident greu que poden tenir lloc a les instal·lacions. Es contemplen tres escenaris creïbles que poden succeir a la planta. Un incendi/explosió, un escapament de gas o una emergència procedent d'una empresa veïna.

El pla s'ha realitzat partint del cas més desfavorable que és en el ton de nit, quan hi ha menys personal a la planta. En aquest moment hi haurà un operari auxiliar, 2 operaris especialistes i 1 cap de torn. A partir del moment que un d'ells o el sistema accioni automàticament l'alarma, s'activarà el Pla d'autoprotecció i es constituirà l'Equip d'Actuació Immediata per afrontar l'emergència.

5.1.4.1. Rols de l'equip

Cap de l'emergència: El cap de torn serà l'encarregat de prendre el lideratge en l'incident. Serà format per actuar de la forma més ràpida i eficient possible. El seu pla d'actuació serà el següent:

- Trucar al servei extern d'emergències (112) per avisar de l'incident.
- Posar-se en contacte amb el director de l'emergència, que serà l'enginyer que estigui de guàrdia.
- Assegurar-se que no hi ha ningú del personal de la planta ni cap contractista que no estigui en el punt de reunió. Sempre i quan no formin part de l'emergència.
- Coordinar l'emergència amb l'equip de propagació, la sala de control, el director de l'emergència, el servei extern de bombers i/o una empresa veïna.
- Prendre les decisions adequades depenent de com evolucioni l'incident.

Encarregat de la sala de control: La persona que estarà al càrrec de la sala de control serà un operari especialista. Les actuacions que haurà de seguir són les següents:

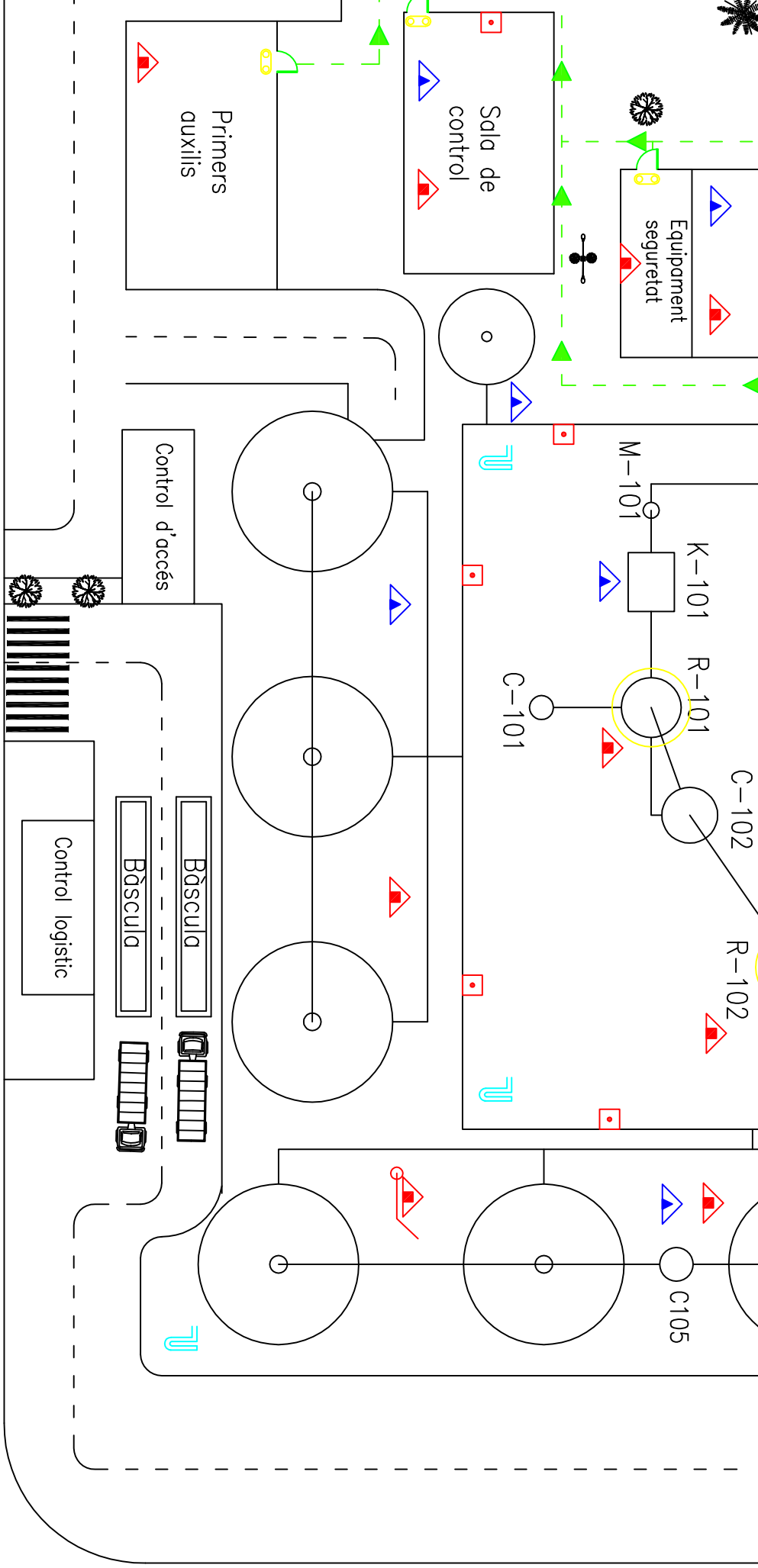
- Aturar el subministrament de les utilitats serveis externes. A no ser que sigui contraproduent per la propagació de l'incident.
- Deixar el procés en posició segura. És a dir, realitzar les variacions en el control necessàries per minimitzar el risc i evitar en la mesura del possible que es propagui per la resta del procés.
- Proporcionar informació al cap d'emergències de les accions preses.

Equip d'Actuació Immediata: Aquest equip serà el format per un operari especialista i un operari auxiliar. En el moment que s'activa el pla d'emergència interior hauran de realitzar els següents passos:

- Anar cap a la zona on es troben els equips de protecció personal contra incendis o equips autònoms de respiració en cas de fuites.
- Un cop equipats dirigir-se al punt de l'incident.
- Emprendre les accions segons el tipus d'incident. En cas d'incendi fer les connexions de les mànegues als sortidors d'aigua i començar a propagar l'incendi.
- Si no s'aconsegueix controlar la situació hauran d'abandonar la zona i dirigir-se el punt de reunió.

A continuació es mostra el plànol d'emergència on es mostra:

- Punt de trobada.
- Recorregut per arribar al punt de trobada.
- Diferents tipus d'extintors.
- Portes de sortida d'emergència.
- Polsadors d'alarmes.
- Hidrants.
- Ruixadors.
- Sala d'equipament d'emergències.



portàtil
portàtil
gència
cia

| | Data | Nom | PFC | UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI |
|-----------|-----------------------------------|--------|-----|----------------------------------|
| Dibuixat | | 112042 | | EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA |
| Comprovat | | | | |
| S.normes | | | | |
| Escola | PRODUCCIO DE CATALITZADORS | | | Nº 1 |
| | - PLOT PLAN - | | | |

5.2. Seguretat laboral

S'han realitzat estudis de seguretat laboral per tal de complir la llei 54/2003.

5.2.1. Avaluació de Riscos Laborals i Equips de Protecció Personal

Els equips de protecció seran obligatoris per qualsevol treballador que accedeixi a la nau o a la zona de sitges del procés, ja sigui un operari auxiliar o un enginyer que surt a camp. Els E.P.I.'s marcats amb un (*) seran obligatoris sempre. Depenent però del tipus de treball que si realitzi caldran unes proteccions o unes altres. Es proporcionaran els E.P.I.'s obligatoris a tots els treballadors i els específics es donaran als especialistes que els necessitin. A continuació es mostra una taula on s'identifiquen els riscos potencials que poden succeir així com els equips de protecció necessaris i les precaucions ha emprendre.

Taula 5.4. Riscos laborals.

| Riscos | E.P.I. | Precaucions |
|--|--------------------------------|--|
| Atrapaments de les extremitats en les unitats mecàniques | - | Instal·lar reixes on puguin succeir els atrapaments. |
| Cremades | Guants anti-tèrmics. | Aïllar els equips amb altes temperatures |
| Despreniment de part d'alguna instal·lació | Casc* | - |
| Caigudes al mateix nivell | - | Mantenir les zones de pas seques |
| Caigudes a diferent nivell | Arnes | Zones senyalitzades |
| Ferides provocades per objectes tallants | Guants de resistència mecànica | - |
| Projecció de partícules | Ulleres de seguretat* | - |

Taula 5.4. Riscos laborals.

| Riscos | E.P.I. | Precaucions |
|--------|--------------|-------------------------------------|
| | Orelleres de | Zones senyalitzades. Protecció dels |

| | | |
|-----------------------------|----------------------|---------------------------------|
| Excés de soroll (85 dBA) | seguretat | equips. |
| Caiguda d'un objecte pesant | Calçat de seguretat* | - |
| Fuita de gas tòxic | - | Seguir el pla d'autoprotecció |
| Incendi/Explosió | - | Seguir el pla d'autoprotecció |
| Cops contra objectes | - | Mantenir zones ben il·luminades |

Als operadors que treballin habitualment a la planta hauran d'anar amb roba específica amb resistència al foc.

5.2.2. Incidents i accidents

En el moment que es produeixi un accident s'actuarà amb immediatesa i s'activarà el protocol per a la investigació d'accidents. Aquest protocol tindrà com a objectiu final establir la relació de causalitat que ha produït l'accident. La persona encarregada de realitzar la investigació serà l'enginyer de qualitat, medi ambient i seguretat. Les accions que emprendreà seran les següents:

1. Omplir una fitxa homologada amb les dades del treballador o treballadors accidentats.
2. Identificació del lloc on ha ocorregut l'accident.
3. Prendre declaració al cap immediat de l'afectat i als testimonis de l'incident.
4. Realitzar la reconstrucció de l'accident.
5. Desenvolupar el mètode d'arbre de causes. Aquest mètode es basa en establir relacions entre les diferents informacions recollides. L'arbre es construeix partint de l'últim succés, l'accident, i es realitza una retrospecció delimitant els antecedents immediats. Amb aquest sistema es pot arribar als problemes de fons que han desencadenat l'accident.
6. Estudi de l'arbre de causes i presentar un informe amb les mesures preventives o correctives a implementar.

5.2.3. Formació en seguretat

Hi haurà dos tipus de plans de formació laboral. El primer serà un pla d'acollida per als nous treballadors. Aquest inclourà una formació en termes de seguretat com ara els riscos de les instal·lacions, normes de seguretat, etc. A continuació se li entregaran els equips de protecció individual necessaris per ocupar el seu lloc de treball i es realitzarà una visita per la planta.

L'altre tipus de formació serà anual per a tots els treballadors: Pla d'Autoprotecció, Pràctiques Contra Incendis, Avaluacions de Riscos, Soroll, Il·luminació, Coordinació d'Activitats Empresariales, etc. i sobre totes les necessitats formatives que es vagin requerint durant l'any. Periòdicament es realitzaran simulacres d'emergència per entrenar-se en el cas de que succeís una contingència real.

6. MEDIAMBIENT AL DISSENY DE LES INSTAL·LACIONS

6.1. Emissió de contaminants

6.1.1. Emissions atmosfèriques

Les emissions a l'atmosfera del procés, en condicions normals d'operació, es canalitzaran en un sol focus. Aquestes emissions es produiran al treballar amb ciclons que no són ideals i deixen escapar una petita fracció de gasos. Les emissions es posaran en contacte a l'atmosfera a través d'una tovera la qual rep els gasos del cicló C-105. Aquests gasos són en la seva majoria aire atmosfèric, que és utilitzat en el transport pneumàtic del corrent 21, i petites fraccions de N₂, CO i Ni(CO)₄ que surten per la línia 10. En la taula 6.1. s'especifiquen les emissions produïdes. No es tenen en compte les emissions difuses ja que totes les línies i els equips auxiliars es consideren perfectament estancs. Les emissions que podrien ocórrer en casos d'emergència es troben especificades i tractades a l'apartat 5 d'aquest projecte.

Taula 6.1. Composicions de la emissió atmosfèrica.

| | Unitats | Valor |
|---------------------------|--------------------|-------|
| Cabal total | Nm ³ /h | 6300 |
| Ni(CO)₄ | mg/Nm ³ | 0.05 |
| CO | mg/Nm ³ | 2 |
| N₂ | mg/Nm ³ | 130 |

No hi ha un límit fixat de CO per la legislació Espanyola per al nostre tipus d'activitat. Per tant s'ha agafat com a referència el límit de 100 mg/Nm³ que proposa el document de regulació de contaminació de l'aire atmosfèric TA Luft del govern Alemany. En qualsevol cas d'excepcionalitat les emissions de CO no superaran aquest límit.

Els gasos s'alliberaran a través d'una canalització a certa altura per tal que no puguin afectar als treballadors de la planta. Els organismes pertinents realitzaran controls periòdics de control de les emissions.

6.1.2. Emissions líquides

Els corrents que contenen líquid de la planta són únicament els encarregats de refrigerar o escalfar camises de reactors i bescanviadors. Aquests corrents es retornen a l'empresa que els subministra. En cas d'un vessament de líquid es canalitzaria i s'enviaria a un emissari marí. Totes aquelles aigües utilitzades per netejar les sitges d'emmagatzemat, reactors, intercanviadors i qualsevol equip o línia que sigui susceptible a ser netejada periòdicament s'envien a unes instal·lacions EDAR de tractament d'aigua.

6.2. Generació de residus sòlids

Els residus sòlids generats seran etiquetats i emmagatzemats tal i com indica el Decret 34/1996. A continuació seran enviats amb camions a les instal·lacions de tractament de residus competents i específiques per a cada producte.

Els residus es produiran seran els següents: el catalitzador de Ni/Al₂O₃ que es trobi fora de l'especificació i residus generals (paper, cartró, plàstics...). A continuació es mostra la classificació dels residus més significatius de la planta:

Taula 6.2. Classificació de residus sòlids¹.

| Residu | Inclou | Tipus residu | Codi |
|-----------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| Catalitzador | Metalls pesants | Especial | 0604990 |
| Paper i cartró | - | No especial | 200301 |
| Plàstic | - | Inert | 200302 |

¹ <http://www.arc-cat.net/ca/aplicatiu/ccr/jr-42000.asp>

6.3. Consums d'energia i recursos naturals

Els recursos naturals que s'empraran seran aigua de torre en un circuit tancat, vapor d'alta i baixa pressió i electricitat. Els consums dels recursos per unitat de producte final es mostren en la següent taula:

Taula 6.3. Consums d'energia i de recursos naturals.

| Vapor alta | Vapor baixa.) | Aigua de torre | Electricitat |
|-------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| | kg vapor / kg producte | | kWh / kg producte |
| 2.5 | 0.04 | 36 | 1100 |

6.4. Generació de gasos d'efecte hivernacle

La generació de gasos d'efecte hivernacle de la planta prové exclusivament del mix elèctric consumit. S'utilitza electricitat de xarxa per fer funcionar equips, il·luminació etc... Per tal de fer els càlculs de la producció de CO₂ equivalent associat a la producció d'energia elèctrica s'ha utilitzat com a referència el mix elèctric Espanyol. No s'ha tingut en compte per aquest anàlisi el cicle de vida complet del producte. Només l'energia consumida per les instal·lacions del recinte.

Així doncs la planta genera 0.35 kg de CO₂ equivalent per cada kg de producte final.

Per tal de reduir aquest valor l'empresa durà a terme polítiques d'aplicació de les tecnologies més efectives disponibles, així com la implementació d'un sistema de Gestió Ambiental.

6.5. Generació de sorolls

Com que la planta està ubicada en un polígon industrial s'han tingut en compte uns límits d'immissió sonora de classe C. Els límits que li corresponen, segons la llei 16/2002, són de 60 dBA durant el període nocturn, i de 70 dB durant el dia. Suposant que el polígon industrial ja es troba en el límit, la immissió de la nostra fàbrica no superarà els 49 dBA durant la nit ni els 59 dBA durant el dia. En el cas que es superin aquests límits previstos

s'aplicaran aïllaments acústics a aquells equips que ho necessitin. Així s'aconseguirà que l'aportació de soroll al polígon sigui nul·la.

7. MANTENIMENT DE LES INSTAL·LACIONS

En qualsevol empresa, aplicar un bon sistema de manteniment suposa germanitzar la qualitat de la producció i afavorir la seguretat de les instal·lacions. Per tant, és bàsic disposar de bons mètodes de manteniment correctiu, preventiu i predictiu dels principals equips instal·lats.

7.1. Sol·licitud del permís de treball

Quan s'hagin de realitzar operacions de manteniment en la pròpia planta, s'hauran de sol·licitar els pertinents permisos de treball a la sala de control de la planta. Una vegada obtinguts, tots els operaris hauran de complir amb la normativa de seguretat de l'empresa. Abans d'actuar el cap de torn haurà d'omplir un formulari que certifiqui que les condicions són segures i els operaris porten tots els equips de protecció personal necessaris per dur a terme la operació.

7.2. Manteniment correctiu

Aquest tipus de manteniment es realitzarà quan l'equip ja hagi fallat. És pot aplicar en equips de baix cost que puguin tenir recanvis al magatzem. També seran elements que la seva substitució no afecti gaire la productivitat de la planta. En aquests casos serà més rentable aquest manteniment. Els equips que s'han previst mantenir amb aquest mètode són els següents:

- Vàlvules que hagin perdut estanqueïtat.
- Reparació d'algun element de les bombes (duplicades) d'impulsió de l'aigua de refrigeració.
- Canviar instrumentació que pateixi un mal funcionament.
- Possibles esquerdes produïdes en equips estàtics.
- Substitució de l'aïllament d'algun equip o canonada.
- Canvi d'elements estructurals de les línies o dels equips.

Tot i tenir un manteniment correctiu, aquest equips no estaran exempts de ser sotmesos a manteniments quotidians com lubricacions, substitució de components etc...

7.3. Manteniment preventiu

El manteniment preventiu té com a finalitat disminuir o evitar les reparacions dels equips en un futur realitzant inspeccions i reparacions periòdiques. En molts dels casos aquest manteniment el realitzaran empreses especialitzades externes. Cada cert temps es realitzarà aquest tipus de manteniment exhaustiu que implica una parada de la planta. A continuació es mostra la planificació dels principals equips:

Taula 7.1. Manteniment preventiu.

| Equip | Temps | Accions |
|---------------------|--------------|--|
| Reactors | 1 any | - Neteja. - Inspecció de corrosió, de soldadures i de vàlvules de seguretat. |
| Sitges | 1 any | - Neteja. - Inspecció de corrosió, de pintura i de soldadures. |
| Compressor | 1 any | - Manteniment detallat pel fabricant. |
| Cicló | 1 any | - Neteja - Inspecció de corrosió. |
| Bescanviador | 1 any | - Neteja de carcassa i tubs. - Inspecció de corrosió, de soldadures i de vàlvules de seguretat. |
| Bufadors | 6 mesos | - Verificar alineacions i lubricacions. |
| Bombes | 6 mesos | - Verificar alineacions i lubricacions. |
| Vissenfins | 1 any | - Neteja. - Verificar que el motor funciona correctament. |

Taula 7.1. Manteniment preventiu.

| Equip | Temps | Accions |
|------------------|--------------|--|
| Cintes | 6 mesos | - Neteja. - Verificar que el motor funciona correctament. |
| Canonades | 1 any | - Neteja - Inspecció de corrosió i de unions. |

7.4. Manteniment predictiu

Aquest tipus de manteniment es basa en la realització d'un seguiment de l'estat de l'equip mitjançant instruments de mesura que detecten diferents variables. En el moment en que es detecta una imperfecció o una baixada de rendiment en l'equip, es programa el procés de reparació i s'adquireixen els recanvis necessaris. A la següent taula es mostren les diferents mesures que es realitzen als equips:

Taula 7.2. Manteniment predictiu.

| | |
|-----------------|---|
| Equips dinàmics | - Monitorització de temperatures i pressions. - Mesura de vibracions. - Revisar la temperatura en els rodaments. |
| Equips estàtics | - Busca d'imperfecions amb líquids penetrants. - Inspeccionar fissures amb sistemes d'ultrasons. - Monitorització de temperatures i pressions. - Revisar visualment tots els equips. |

8. MANUAL D'OPERACIÓ

En aquest manual es descriu la posada en marxa de la planta, el funcionament en estat estacionari i les diverses aturades.

8.1. Comprovacions prèvies a la primera posada en marxa

Aquest pas consisteix en comprovar que tots els equips i instrumentació assegurin una primera posta en marxa amb garanties per a un correcte funcionament.

1. Familiarització: El personal que opera dins la planta haurà de conèixer els manuals d'operació i les fitxes d'especificació dels productes. La finalitat és que coneguin el procés per estar preparats per l'arrancada.
2. Prova a pressió dels equips: En el cas dels equips que treballaran a pressió durant el procés, se'ls ha de realitzar una prova hidràulica per comprovar que aguanten la pressió d'operació i que són estancs. Es col·locaran discs cecs en les brides de connexió a les canonades, vàlvules de seguretat i instruments de mesura.
3. Neteja: Per tal d'eliminar qualsevol residu o pols que hi hagi en els equips es netejaran amb N₂. Com en el cas del test hidràulic els equips s'aïllaran.
4. Inspecció visual de les instal·lacions:
 - a. Comprovar que els motors dels bufadors, vissenfins i compressor funcionen correctament.
 - b. Verificar que tots els sistemes de seguretat estan preparats per treballar.
 - c. Comprovar el funcionament de totes les alarmes de procés.
 - d. Verificar el perfecte estat dels controladors, indicadors i vàlvules de procés.
 - e. Comprovar les senyals d'arribada dels instruments.

- f. Revisar el traçat elèctric.
- g. Verificar les alineacions i lubricacions de tots els equips rotatius.
- h. Verificar la correcta connexió de totes les brides de les canonades.
- i. Comprovar que les canonades estan ben fixades als equips.
- j. Revisar el correcte aïllament dels equips.
- k. Verificar la posta terra dels equips.
- l. Verificar que els serveis auxiliars de la planta arriben en les condicions necessàries per ser utilitzats.

8.2. Funcionament de la planta

8.2.1. Posada en marxa normal

Per engegar la planta en condicions normals caldrà seguir els següents passos.

- Començar a injectar nitrogen per tal d'eliminar tot el que hi pugui haver a les canonades.
- Obrir vàlvules d'entrada de vapor dels reactors per anar escalfant el nitrogen.
- Un cop s'assoleixi la quantitat de nitrogen desitjada per a la fluïdització, començar a afegir la quantitat de CO necessari.
- Mentre el nitrogen i el monòxid de carboni arriben a la temperatura d'operació, engegar bufadors B-103 i B-104, i els vissenfins E-101 i E-102.
- Començar a injectar el níquel i l'alúmina.
- Eliminar el producte inicial fins a que s'assoleixin les especificacions.
- Un cop arrencada la planta cal comprovar que s'assoleix l'estat estacionari i que tots els controladors funcionen correctament.

8.2.2. Funcionament en estat estacionari

En considerarà que la planta està operant en estat estacionari quan el producte compleixi amb les especificacions fixades i tots els controladors estan funcionant correctament, corregint les petites pertorbacions que pugui tenir el sistema.

8.3. Aturada de la planta

8.3.1. Aturada normal

Per realitzar les revisions i manteniments periòdics, així com la substitució de peces o equips no crítics, caldrà aturar la planta. En aquests casos, el procediment d'aturada serà el següent:

- Iniciar el tancament de la vàlvula CV117 per parar el subministrament de níquel al procés.

- Parar bufador B-103.

- Mantenir els cabal de alumina per tal d'eliminar la major part de $\text{Ni}(\text{CO})_4$. S'ha de tenir en compte que en aquest moment gran part de producte es sortirà d'especificació però es necessari per precipitar el níquel.

- Tancar vàlvula CV103 per tancar el subministrament de CO al procés.

- Tancar vàlvules CV121, CV122 i CV123.

- Parar bufador B-104.

- A continuació es farà passar el cabal de sortida del intercanviador I-101 per un condensador amb l'objectiu de liquar el $\text{Ni}(\text{CO})_4$ i enviar la resta de gasos a la tovera de sortida.

- Incrementar el cabal de nitrogen per deixar tot el sistema net i sense CO ni $\text{Ni}(\text{CO})_4$.

- Tancar el subministrament de vapor als reactors.

- Quan el sistema estigui net, tancar entrada de nitrogen.

- Quan el circuit s'hagi refredat, parar el motors de la bomba P-101.

8.3.2. Aturades d'emergència

A la planta es poden donar diverses situacions que portin a una aturada d'emergència i per aquesta raó la planta ha d'estar preparada per poder quedar en posició segura i que la fallada o imprevist no desencadeni un accident greu. No obstant, aquesta és una situació no

desitjada i per aquesta raó els equips i el sistema de control s'ha dissenyat per a que això passi només quan realment sigui necessari.

8.3.2.1. Fallada de subministrament elèctric

Com és d'esperar, a la planta hi ha diversos motors elèctrics per poder accionar els diferents equips dinàmics com els bufadors, el compressor, les bombes, els vissefins i les cintes transportadores, entre d'altres. Per aquesta raó, una fallada del subministrament elèctric provocaria una parada immediata del procés i, per tant, cal que els equips estiguin preparats per poder entrar en posició segura. Per això totes les plantes contenen amb un sistema auxiliar de reserva per generar electricitat per poder fer anar els elements bàsics de la planta.

En general, es poden contemplar dos situacions de fallada de corrent elèctric, fallada breu o desconexió total amb entrada del grup d'emergència.

Si la fallada que es produeix es breu, no caldrà que entri el grup d'emergència i es posaran novament en servei tots els motors desconnectats. Aquesta operació s'haurà de realitzar el més ràpidament possible per evitar perturbacions greus al sistema.

En el cas que es produeixi una desconexió total, tots els equips i vàlvules hauran de posar-se en posició segura fins que el grup d'emergència arrenqui i pugui subministrar corrent a tots els equips de la planta. Si no es pogués engegar el grup d'emergència o bé no subministrés energia suficient per mantenir tota la planta en funcionament s'hauria de introduir nitrogen al sistema per i condensar el $\text{Ni}(\text{CO})_4$ per tal d'emetre la menor quantitat possible.

8.3.2.2. Fallada d'aire d'instruments

Si fallés el subministrament d'aire d'instruments, es perdria per complet el control de la planta, fet que podria provocar un "Run Away" als reactors, fet que podria ocasionar greus danys a les persones i a la propietat. En aquest cas, s'haurien de posar en posició segura totes les vàlvules del sistema excepte la d'aigua de refrigeració. Les que haurien de tancar primer són les vàlvules CV107 i CV111 que són les que porten el vapor necessari per a que la reacció tingui lloc.

La resta de vàlvules, tal i com s'ha esmentat, s'haurien de posar en posició de fallada, és a dir, o obertes o tancades. A més, com hi ha el risc de perdre el control dels reactors R-101 i R-102, es farà circular aigua del sistema contra incendis per les canonades on normalment hi circula vapor per tal d'intentar aturar la reacció baixant la temperatura dels reactius.

8.3.2.3. Fallada en l'aigua de refrigeració

Si es tallés completament el subministrament de l'aigua de refrigeració, caldria aturar la planta ja que la temperatura de sortida del bescanviador I-101 cada vegada seria més alta i podria provocar una reacció descontrolada en el procés. Per evitar-ho es podria injectar aigua des del sistema contra incendis al bescanviador I-101 i, fins i tot, a les camises dels reactors si la cosa empitjorés.

8.3.2.4. Fallada del proveïment de nitrogen

Si es tallés el subministrament de nitrogen durant un període curt no caldria entrar en parada, ja que la gran majoria del nitrogen que es fa servir forma part de circuits tancats on les entrades només han de reemplaçar el que es perd pels ciclons. Per aquesta raó podria baixar el rendiment dels transports neumàtics i dels reactors, però seria necessària una parada de planta. Si no entrés nitrogen a la planta durant un període llarg, s'hauria d'aturar el procés ja que els bufadors no podrien moure les partícules sòlides de níquel i alumina que circulen per la planta i no podrien entrar als respectius reactors. A més, cada vegada hi hauria menys cabal de nitrogen per fluiditzar els reactors baixant la conversió dels reactius.

9. ESTUDI ECONÒMIC

A continuació es mostra el balanç econòmic que s'ha realitzat per conèixer si es viable econòmicament i conèixer quina és la seva rendibilitat.

9.1. Pressupost d'execució del projecte

Per tal de conèixer la inversió inicial del projecte s'han tingut en compte els costos directes i indirectes. Els resultats obtinguts d'acord amb el procediment utilitzat que recull l'annex 3 són els següents:

Taula 9.1. Costos directes de la inversió d'equips i terreny

| Concepte | Cost (*000€) |
|------------------------|--------------|
| Cost total dels equips | 4,000 |
| Cost del terreny | 3,200 |
| Total | 7,200 |

A partir del cost total dels equips s'han estimat els costos directes associats de la inversió mitjançant uns factors que multipliquen el cost inicial dels equips.

Taula 9.2. Costos directes associats.

| Concepte | Factor | Cost (*000€) |
|------------------------------|--------|--------------|
| Muntatge | 11.0% | 440 |
| Fonaments i suports | 3.5% | 140 |
| Canonades | 35.0% | 1,400 |
| Aïllament i pintura | 7.5% | 300 |
| Electricitat | 4.5% | 180 |
| Instrumentació | 7.0% | 280 |
| Nau industrial | 5.0% | 200 |
| Despeses no comptabilitzades | 11.0% | 440 |
| Serveis | 4% | 176 |
| Total | | 3,560 |

Cost directe total = 7.2 + 3.6 = **10.8 M€**

Els costos indirectes representen un percentatge sobre el total del cost directe previst, deixant de banda el cost del terreny.

Taula 9.3. Costos indirectes.

| | Factor | Cost ('000€) |
|----------------|---------------|---------------------|
| Cost indirecte | 29% | 2,200 |

Per tant, el cost total d'execució del projecte correspon a **13 M€**.

9.2. Compte de resultats

Per tal d'avaluar les pèrdues i els guanys que generarà la planta en el temps de vida estimat, s'han tingut en compte les despeses i els ingressos anuals que es produiran. Tant les despeses com els ingressos estan calculats per una operativitat de la planta de 8000 hores anuals.

9.2.1. Despeses

Les despeses anuals s'han dividit en quatre grups. Les matèries primes necessàries en el procés, els serveis contractats on es tenen en compte els costos fixos i variables, els recursos humans i el manteniment de les instal·lacions. En el compte de resultats dels dos primers anys s'ha tingut en compte el capital circulant com una despesa, ja que l'estoc anirà augmentant progressivament fins obtenir la producció del 100%. Els comptes es troben més detallats a l'annex 3.

Taula 9.4. Despeses anuals previstes amb una producció del 100%.

| Tipus | Concepte | Cost anual ('000€/any) |
|-----------------|--------------------|-------------------------------|
| Matèries primes | Níquel | 15,100 |
| | Alúmina | 4,200 |
| | Monòxid de carboni | 0.1 |
| | Subtotal | 19,300 |
| Serveis | Vapor d'alta | 1,332 |
| | Vapor de baixa | 12 |
| | Aigua de torre | 45 |
| | Energia elèctrica | 1,139 |
| | Subtotal | 2,530 |
| Recursos humans | - | 863 |
| Manteniment | - | 97 |
| Total | | 22,900 |

9.2.2. Ingressos

Els ingressos vénen donats per la venda del catalitzador produït a raó de 1,700 €/Tm.

Taula 9.5. Ingressos anuals previstos amb una producció del 100%.

| Catalitzador | Producció (Tm/dia) | Ingressos (M€/any) |
|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Ni/Al ₂ O ₃ | 50 | 28.3 |

9.3. Avaluació global de la inversió

La viabilitat d'aquest projecte s'ha avaluat mitjançant el Cash Flow, el Payback i els mètodes financers VAN i TIR per un període de 20 anys.

9.3.1. Cash Flow

L'amortització s'ha considerat lineal amb un valor residual de les instal·lacions d'un 10% sobre el cost inicial. El flux de caixa s'ha estimat constant, a excepció dels dos primers

anys, on hi ha la despesa afegida del capital circulant a causa de l'augment de la capacitat operativa.

Taula 9.6. Cash Flow.

| Concepte | Valor | | | |
|----------------|------------|------------|----------------|----------|
| | 85% | 95% | 100% | - |
| Any | 2013 | 2014 | de 2015 a 2032 | - |
| Ingressos | 24.1 | 26.9 | 28.3 | |
| Despeses | 22.5 | 22.0 | 23.2 | |
| BAI | 1.6 | 4.9 | 5.1 | |
| Amortització | 0.6 | 0.6 | 0.6 | (M€/any) |
| Impostos (35%) | 0.6 | 1.7 | 1.8 | |
| BDI | 1.2 | 3.4 | 3.5 | |

Es preveu un Cash Flow acumulat al cap de 20 anys de **57 M€**.

9.3.2. VAN

S'ha avaluat el VAN per una taxa d'interès (i) d'un 6%.

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n \left(\frac{CF_i}{(1+k)^i} \right) = 24 \text{ M€}$$

9.3.3. TIR

El TIR és la taxa de rendibilitat que fa el VAN 0, en aquest cas del **24 %**.

9.3.3. Payback

El Payback determina el temps en que es recuperarà la inversió inicial.

$$\text{Payback} = \frac{I_0}{CF} = \mathbf{4 \text{ anys}}$$

Com el VAN ha estat major que 0 s'aconsella invertir en aquest projecte, ja que es recuperarà la inversió realitzada i, a més, s'obtindran beneficis. A més, s'obté una taxa d'interès superior a la que ens pot donar qualsevol entitat financera.

Per altra banda, cal esmentar que el retorn de la inversió inicial serà superior als 4 anys ja que aquest mètode no contempla la devaluació del diner.

10. BIBLIOGRAFIA

- Turton, R, Analysis, synthesis, and design of chemical processes. Prentice Hall, 1998.
- Kern, D. Procesos de transferència de calor. CECSA, 1965.
- Mott, R. Applied fluid mechanics. McMillan, 1994.
- Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Fundamentos de Transferencia de Calor. 4a edició. Ed. Prentice Hall.
- Catàleg general de vàlvules de seguretat: Válvulas Nacional S.A.
- Frank P. Incropera, David P. De Witt; Fundamentos de transferència de calor. Pearson.
- Pierson, H. Handbook of chemical vapour deposition. Sandia Park, New Mexico.
- Fogler, H.S. Elements of chemical reaction engineering, 3a ED, 1999, Prentice-Hall.
- Froment, G.F. Chemical reactor analysis and design. 2a ED, 1990, John Wiley & Sons.
- Robert H. Perry, Don W. Green. Perry's chemical engineer's handbook, 1997
- Juan Rabenet. Silos, 1992.
- http://www.astecinc.com/images/file/literature/HMA_Storage_Silos_Spanish.pdf
- <http://webbook.nist.gov/chemistry/>
- <http://www.grundfos.es/>
- www.vriventilacion.com
- <http://www.ingersollrandproducts.com/>

ANNEXES

| Símbol | Descripció | Unitats |
|---------------|---|-------------------|
| A | Àrea d'orifici | mm ² |
| aPT | Àrea de pas per tubs | m ² |
| C | Capacitat vissefí | m ³ /h |
| c | Coefficient de descàrrega | |
| D | Diàmetre | m |
| Dh | Diàmetre hidràulic | m |
| E | Eficiència de la junta | |
| F | Classe del material a transportar | |
| f | Coefficient de fricció | |
| Ffw | Força fricció entre fluid i canonada | |
| Fpw | Força fricció entre partícules i canonada | |
| g | Acceleració de la gravetat | |
| h | Alçada | m |
| hi | coeficient de convecció | W/K |
| K | Coefficient de descàrrega | |
| k | Conductivitat | W/m·K |
| K1 | Coefficient de descàrrega | |
| K2 | Coefficient de descàrrega | |
| L | Longitud | m |
| LT | Longitud dels tubs | m |
| M | Pes molecular | g/mol |
| N | Voltes donades de la partícula pel cicló | |
| n | nombre de passos per tubs | |
| Nu | Nusselt | |
| P | Pressió | barg |
| Pa | Pressió màxima d'alivi | |
| Pr | Prandtl | |
| Pt | Potència | kW |
| Q | Cabal màssic | kg/s |
| R | Radi | m |
| Re | Reynolds | |
| S | Valor esforç material | Mpa |

| | | |
|------------------|---|-------------------|
| t | Gruix | mm |
| T | Temperatura | K |
| T _∞ | Temperatura ambient | K |
| U | coeficient global de transferència | |
| v | Velocitat | m/s |
| W | Capacitat d'alivi | kg/h |
| x | Diàmetre de la partícula | m |
| Z | Factor compressibilitat | |
| ΔP | Caiguda de pressió | bar |
| ΔT _{lm} | Temperatura logarítmica mitjana | |
| ε | tant per 1 d'espai lliure de partícules | |
| μ | Viscositat | Pa·s |
| ρ _f | Densitat fluid | kg/m ³ |
| ρ _g | Densitat gas | kg/m ³ |
| ρ _p | Densitat partícula | kg/m ³ |
| ρ _s | Densitat sòlid | kg/m ³ |

ANNEX 1: DISSENY DE CANONADES

1.1. Disseny mecànic

En aquest apartat s'ha realitzat un estudi de les pèrdues de càrrega de cada línia i equip del procés. Per fer-ho, s'han determinat les densitats i viscositats de cada corrent, i s'han convertit els cabals màssics en volumètrics. Arribat aquest punt, s'ha assignat a cada corrent un diàmetre estandarditzat i una longitud. També s'ha calculat el seu *Reynolds* per poder determinar el factor de fricció corresponent.

Per tal de començar l'estudi, s'han suposat les velocitats dels líquids i gasos, a partir de les quals s'han calculat els diàmetres de les canonades. En el cas dels gasos les velocitats oscil·len entre 20 i 30 m/s, i en els líquids entre 1 i 3 m/s.

El material de construcció de les canonades de la planta és acer inoxidable, ja que aquest és resistent. A la planta s'utilitza canonades de calibre "schedule" 80.

Tot seguit, s'ha calculat l'àrea de secció mínima que permeti el pas del fluid a través de la següent expressió:

$$\text{Àrea} = \frac{Q}{V_{\text{fluid}}} \quad (1.1)$$

Un cop trobada l'àrea de secció mínima, s'obté un diàmetre, que cal estandarditzar degut a que al mercat no es troben canonades de les mateixes característiques. Mitjançant una sèrie estandarditzada de calibre 80 es troba el diàmetre real de cada canonada del procés. Amb els diàmetres obtinguts es calcula el nombre de Reynolds:

$$\text{Re} = \frac{\rho v \phi}{\mu} \quad (1.2)$$

El nombre de *Reynolds* és un paràmetre adimensional que proporciona informació del comportament del flux. Si:

$Re < 2000 \rightarrow$ flux laminar, caracteritzat per la seva uniformitat.

$2000 < Re < 4000 \rightarrow$ flux de transició.

$Re > 4000 \rightarrow$ flux turbulent, amb un comportament caòtic i grans oscil·lacions.

Per tal de determinar la fricció produïda per la canonada, cal calcular-ne la rugositat, i això es fa mitjançant el diàmetre i l'alçada mitjana de la rugositat (ε) que en aquest cas és de 0.002.

També és necessari conèixer el coeficient de fricció de la canonada, (f), el qual s'obté mitjançant l'equació de Swanee i Jain.

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (1.3)$$

Per calcular les pèrdues majors ($h_{L \text{ fricció}}$), és a dir, les provocades a la fricció fluid-fluid i fluid-paret cal aplicar la equació de *Darcy-Weisbach*:

$$h_{L \text{ fricció}} = f \cdot \frac{L}{\phi} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1.4)$$

Pel que fa a les pèrdues menors ($h_{L \text{ menor}}$), s'han de tenir en compte les pèrdues provocades pels accessoris de cada canonada (colzes, vàlvules, T's,...), que es determinen a partir d'una constant K pròpia de cada element; i les pèrdues dels equips del procés (bescanviadors, el reactor, el forn,...). Per falta de recursos, només es considera les produïdes a les entrades i sortides dels equips, que varien en funció d'una constant K fixada segons la forma de cada entrada i sortida. La fórmula aplicada és la següent:

$$h_{L \text{ menor}} = \sum K \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (1.5)$$

1.2. Aïllament de les canonades

Per cada canonada del procés es segueix el procediment que s'explica a continuació. Els càlculs s'han de realitzar per cada corrent ja que en el seu interior hi circulen fluids a diferent temperatura i amb propietats diferents.

- Càlcul de la primera resistència tèrmica

Inicialment es calcula el coeficient de transferència de calor per convecció del fluid (h_{fluid}) (1.7) que circula per l'interior de la canonada.

$$h_{\text{fluid}} = \frac{\text{Nu}_{D_{\text{fluid}}} \cdot k_{\text{fluid}}}{D_{\text{int.acer}}} \quad (1.6)$$

Prèviament però, s'ha de calcular el *Nusselt* per mitjà de la correlació *Dittus-Boelter* (1.7).

$$\text{Nu}_{D_{\text{fluid}}} = 0,023 \text{Re}_{D_{\text{fluid}}}^{\frac{4}{5}} \text{Pr}_{\text{fluid}}^n \quad (1.7)$$

On "n" pren el valor de 0,3 ja que el fluid es refreda. En el cas que s'escalfés, prendria el valor de 0,4.

Per obtenir el nombre de *Nusselt*, abans es necessita calcular el nombre de *Reynolds* (1.8) i el *Prandtl* (1.9).

$$\text{Re}_{D_{\text{fluid}}} = \frac{\rho_{\text{fluid}} \cdot v_{\text{fluid}} \cdot D_{\text{int.acer}}}{\mu_{\text{fluid}}} \quad (1.8)$$

$$\text{Pr}_{\text{fluid}} = \frac{Cp_{\text{fluid}} \cdot \mu_{\text{fluid}}}{k_{\text{fluid}}} \quad (1.9)$$

Quan ja s'ha obtingut el coeficient de convecció del fluid, es pot calcular la primera resistència tèrmica (1.10).

$$R1 = \frac{1}{h_{\text{fluid}} \cdot 2\pi \cdot r_{\text{int.acer}} \cdot L} \quad (1.10)$$

- Càlcul de la segona resistència tèrmic

Seguidament es calcula la resistència per conducció a través de l'acer.

$$R2 = \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{ext.acer}}}{D_{\text{int.acer}}}\right)}{2\pi \cdot L \cdot k_{\text{acer}}} \quad (1.11)$$

- Càlcul de la tercera resistència tèrmica

Es calcula la resistència de conducció a través de l'aïllant.

$$R3 = \frac{\ln\left(\frac{D_{\text{ext.aïllant}}}{D_{\text{int.aïllant}}}\right)}{2\pi \cdot L \cdot k_{\text{aïllant}}} \quad (1.12)$$

On el diàmetre exterior de l'aïllant, $D_{\text{ext.aïllant}}$, correspon a la suma del diàmetre exterior de l'acer més el gruix de l'aïllant que es suposa inicialment per tal de poder calcular la calor necessària.

- Càlcul de la quarta resistència tèrmica

Es calcula el coeficient de convecció de l'aire exterior (1.13). Abans però, es necessita el número de *Nusselt*, que en el cas de convecció natural s'obté per mitjà de la correlació de *Churchill and Chu* (1.14). En canvi, en convecció forçada es calcula utilitzant la correlació de *Churchill and Bernstein* (1.15).

$$h_{\text{aire}} = \frac{\text{Nu}_{\text{Daire}} \cdot k_{\text{aire}}}{D_{\text{ext.aïllant}}} \quad (1.13)$$

$$\text{Nu}_{\text{Daire}} = \left\{ 0,60 + \frac{0,378 \text{ Ra}_{\text{Daire}}^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \frac{0,55916}{\text{Pr}_{\text{aire}}}\right]^{\frac{9}{27}}}\right\}^2 \quad (1.14)$$

$$\text{Nu}_{\text{Daire}} = 0,3 \cdot \frac{0,62 \cdot (\text{Re}_{\text{Daire}})^{1/2} \cdot (\text{Pr}_{\text{aire}})^{1/3}}{\left(1 + \left(\frac{0,4}{\text{Pr}_{\text{aire}}}\right)^{2/3}\right)^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{\text{Re}_{\text{Daire}}}{282000}\right)^{5/8}\right]^{4/5} \quad (1.15)$$

On el nombres adimensionals Ra_D , Pr , i Re_D són els següents.

$$\text{Ra}_{\text{Daire}} = \frac{g \beta (T_{\text{superfície acer}} - T_{\infty})}{\nu_{\text{aire}} \cdot \alpha_{\text{aire}}} \quad (1.16)$$

$$\text{Pr}_{\text{aire}} = \frac{C_{p\text{aire}} \mu_{\text{aire}}}{k_{\text{aire}}} \quad (1.17)$$

$$\text{Re}_{\text{Daire}} = \frac{\rho_{\text{aire}} \nu_{\text{aire}} D_{\text{ext.aïllant}}}{\mu_{\text{aire}}} \quad (1.18)$$

D'aquesta manera, un cop obtingut el coeficient de convecció de l'aire, es pot calcular la quarta resistència tèrmica (1.19).

$$R4 = \frac{1}{h_{\text{aire}} 2\pi r_{\text{ext.aïllant}} L} \quad (1.19)$$

- Càlcul de la calor transferida

A continuació, es calcula la calor total que es transfereix a través de la canonada (1.20).

$$q = \frac{T_f - T_{\infty}}{R1 + R2 + R3 + R4} \quad (1.20)$$

- Càlcul de la temperatura de la superfície de la canonada

Com que les quatre resistències es troben connectades en sèrie, la calor que passa per cadascuna d'elles és la mateixa. Per tant, s'obté la següent expressió (1.21), de la calor transferida fins a la superfície exterior de l'aïllant. A partir d'aquesta expressió es troba la temperatura de la superfície exterior de la canonada.

$$q = \frac{T_f - T_{\text{superfície aïllant}}}{R1 + R2 + R3} \quad (1.21)$$

En aquesta expressió totes les variables que hi intervenen són conegudes, excepte el gruix de l'aïllant que apareix en la tercera i quarta resistència. Així doncs, la temperatura de la superfície de la canonada varia en funció de l'espessor d'aïllant que s'afegeix.

Per obtenir la temperatura de la superfície es suposa un gruix d'aïllant i es segueixen els passos explicats anteriorment fins a arribar a una temperatura de la superfície adequada.

Cal tenir en compte que en el cas de convecció natural, en calcular el nombre adimensional *Rayleigh* apareix la variable $T_{\text{superfície acer}}$. Aquesta variable no es coneix i per tant s'ha de seguir un procés iteratiu. Per calcular-la, inicialment es suposa aquesta temperatura, que ha d'estar compresa entre la temperatura del fluid i la de l'ambient, i es realitzen tots els càlculs amb aquesta temperatura i finalment es torna a calcular (1.22) i quan aquestes siguin iguals, s'obindrà el valor de la calor total transferida.

$$q = \frac{T_f - T_{\text{superfície acer}}}{R1 + R2} \quad (1.22)$$

ANNEX 2: DIMENSIONAT DELS EQUIPS

2.1 Disseny dels reactors de llit fluïditzat

El principal criteri pel disseny dels reactors ha sigut obtenir una velocitat de fluïdització òptima per la conversió. La variable utilitzada per optimitzar aquest paràmetre ha estat el cabal de N₂.

2.1.1. Càlcul de les velocitats de fluïdització

Per conèixer la velocitat d'operació dels reactors s'han dut a terme un seguit de càlculs a partir dels resultats obtinguts en el balanç de matèria i les especificacions del producte.

2.1.1.1. Velocitat mínima de fluïdització

S'obté la velocitat mínima de fluïdització dels reactor mitjançant la següent equació:

$$u_{mf} = \frac{1}{180} \cdot \frac{e_{mf}^3}{1-e_{mf}} \frac{d_p (\rho_s - \rho_g)g}{\mu} \quad (2.1)$$

On:

- $e_{mf} = 0.4$
- U_{mf} = Velocitat mínima de fluïdització.

2.1.1.2. Velocitat d'arrossegament

Per conèixer la velocitat a la qual les partícules són arrossegades es realitza el següent càlcul:

Depenent del Reynolds s'utilitza una equació o una altra:

$$Re = \frac{\rho_g \cdot u_{mf} \cdot d_p}{\mu} \quad (2.2)$$

$$I. \quad Re < 0.2 \quad u_0 = \frac{d_p^2 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_g)}{18\mu} \quad (2.3)$$

$$II. \quad 0.2 < Re < 1000 \quad u_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot d_p \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_g)}{6 \cdot \left(\frac{12}{Re} + 0.22\right) \cdot \rho_g}} \quad (2.4)$$

$$III. \quad 1000 < Re < 200000 \quad u_0 = 1.74 \cdot \sqrt{\frac{d_p \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_g)}{\rho_g}} \quad (2.5)$$

$$IV. \quad Re > 200000 \quad u_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot d_p \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_g)}{6 \cdot 0.05 \rho_g}} \quad (2.6)$$

On:

- u_0 = Velocitat d'arrossegament.

2.1.1.3. Velocitat de treball

La velocitat de treball escollida ha estat la de 20 vegades la velocitat mínima de fluïdització, tal i com recomana la bibliografia.

$$u = 20 \cdot u_{mf} \quad (2.7)$$

2.1.2. Pèrdua de càrrega

Primer de tot es calcula el nou Reynolds amb la velocitat de treball:

$$Re = \frac{\rho_g \cdot u \cdot d_p}{\mu} \quad (2.8)$$

Segons el nombre de Reynolds obtingut es fa servir l'equació adient per trobar la e_{mf} real.

$$\text{I. } Re \leq 0.3 \quad e_{mf} = \left(\frac{u}{u_0}\right)^{4.65} \quad (2.9)$$

$$\text{II. } Re \geq 500 \quad e_{mf} = \left(\frac{u}{u_0}\right)^{2.4} \quad (2.10)$$

$$\text{III. } 0.3 < Re < 500 \quad e_{mf} = \left(\frac{u}{u_0}\right)^N \quad (2.11)$$

On:

$$N = \frac{[4.8 + 2.4 \cdot (0.043 \cdot Ar^{0.57}) \cdot (1 - 2.4 \cdot (d_p/D)^{0.27})]}{1 + 0.043 \cdot Ar^{0.57} \cdot (1 - 2.4 \cdot (d_p/D)^{0.27})}$$

$$Ar = \frac{[\rho_s \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g \cdot d_p^3]}{\mu^2}$$

Finalment s'obté la pèrdua de càrrega:

$$\Delta P = L \cdot (1 - e_{mf}) \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot g \quad (2.12)$$

On:

- L = Longitud del reactor.

2.1.3. Càlcul dels gruixos dels reactors

S'han dissenyat els gruixos dels equips tal com indica el codi ASME secció VIII divisió 1 ja que es tracta de recipients a pressió.

Els reactors s'han dividit en tres zones; les parts troncocòniques superior i inferior i la part cilíndrica. Les dos primeres s'han dissenyat a pressió interna. En el cas de la part cilíndrica

s'ha dissenyat a interna i externa ja que està continguda en una camisa de vapor a pressió. A partir d'aquest càlcul s'ha agafat el valor de gruix més alt.

2.1.3.1. Pressió interna

Part cilíndrica:

$$t = \frac{P \cdot R}{S \cdot E - 0.6 \cdot P} \quad (2.13)$$

Part troncocònica:

$$t = \frac{P \cdot D}{2\cos\alpha(S \cdot E - 0.6 \cdot P)} \quad (2.14)$$

2.1.3.2. Pressió externa

Es realitza el procediment de càlcul tal com indica el codi ASME per recipients calculats a pressió externa.

2.2. Disseny dels ciclons

S'han calculat les dimensions dels 5 ciclons resolent les equacions que es presenten a continuació:

Primer es calcula el diàmetre de tall de partícula:

$$D' = \sqrt{\frac{9 \cdot \mu \cdot B}{2\pi \cdot N \cdot v \cdot (\rho_s - \rho_g)}} \quad (2.15)$$

A continuació es calcula el diàmetre del cicló:

$$D_c = 13.96 \cdot \frac{v \cdot (\rho_s - \rho_g) \cdot D'^2}{\mu} \quad (2.16)$$

Altura del cicló:

$$H = \frac{Q}{B \cdot v} \quad (2.17)$$

Si el resultat de l'altura no és el doble que la del diàmetre del cicló, es varia el valor de B en la relació 2.15.

El rendiment de cicló s'obté mitjançant la següent equació:

$$\eta = \frac{\left(\frac{D_p}{D'}\right)^2}{1 + \left(\frac{D_p}{D'}\right)^2} \quad (2.18)$$

Tot seguit es calculen totes les dimensions restants dels ciclons de la figura 2.1.

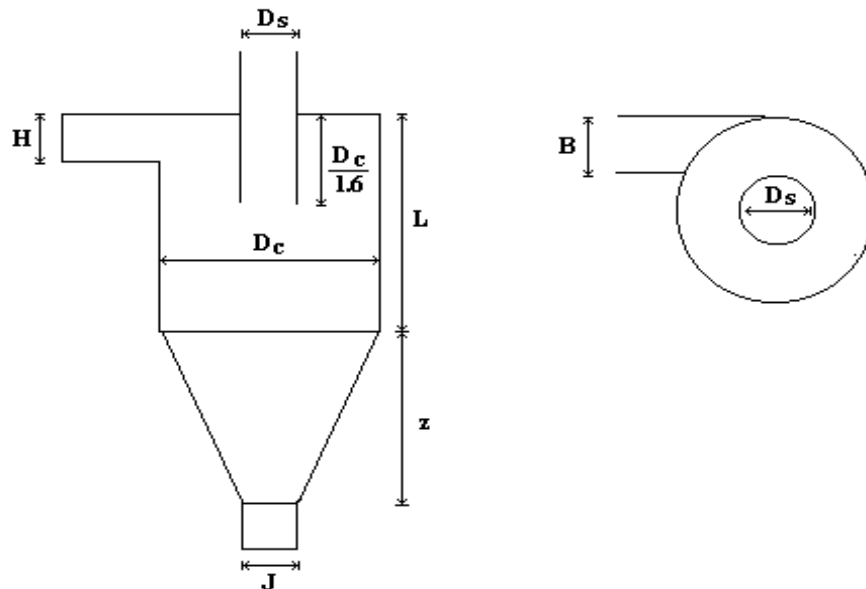


Figura 2.1. Croquis cicló

$$L = 2 \cdot D_c \quad (2.19)$$

$$Z = 2 \cdot D_c \quad (2.20)$$

$$D_s = D_c/2 \quad (2.21)$$

$$J = D_c/4 \quad (2.22)$$

$$B = D_c/4 \quad (2.23)$$

$$H = D_c/2 \quad (2.24)$$

Els gruixos dels ciclons s'han calculat a pressió interna seguint el procediment explicat anteriorment el punt 2.1.3.1.

2.3. Disseny de les sitges

S'han dimensionat sitges d'emmagatzematge per suportar el níquel, l'alúmina i el catalitzador produït. Pel que fa a les sitges de matèries primeres s'han dimensionat per tal de poder subministrar partícules durant dues setmanes sense que vingui cap camió a descarregar. En canvi, en les sitges d'emmagatzemat de producte final, s'ha tingut en compte un factor d'estoc d'un 20% per sobre la previsió de vendes mensuals.

Els gruixos de les parets s'han calculat seguint el procediment per tancs A.P.I. ja que es troben a pressió atmosfèrica.

2.4. Disseny dels vissefins

Una de les característiques més importants alhora de dimensionar els vissefins és la potència. Per calcular-la s'ha realitzat mitjançant la fórmula següent:

$$P = \frac{C \cdot L \cdot \rho_s \cdot F}{3000} \quad (2.25)$$

2.5. Transport pneumàtic

Per dissenyar tots els bufadors, es necessari conèixer els cabal de vapor que cal impulsar per arrossegat les partícules sòlides. Per determinar aquest cabal s'ha seguit el procediment descrit a continuació. El transport pneumàtic des de les sitges fins a les tolves dels vissefins es realitza amb nitrogen. El sistema de canonades està compost només per trams rectes i colzes a 90°.

Primer cal seleccionar el diàmetre de les canonades. En cas que amb el diàmetre seleccionat s'obtingués una velocitat de transport molt lenta, s'hauria de reduir. Si per contra fos molt ràpida, s'hauria d'ampliar. En aquest cas, els bufadors B-102, B-103 i B-104 tenen un diàmetre de 0.32 metres (14") i el bufador B-101 el té de 0.1 metre (4").

Un cop determinats els diàmetres, es calcula la velocitat mínima a la que ha de circular el vapor per prevenir la deposició de les partícules.

$$V_{\text{salt}} = \left[\frac{4 \cdot M_p \cdot 10^\alpha \cdot g^{\beta/2} \cdot D^{(\beta/2)-2}}{\pi \cdot \rho_f} \right] \quad (2.26)$$

On:

$$\alpha = 1440 \cdot x + 1.96$$

$$\beta = 1100 \cdot x + 2.5$$

Aquest valor s'ha de sobre dimensionar un 50% per tenir un marge de seguretat considerable, ja que com s'ha esmentat anteriorment, la U_{salt} és la velocitat mínima. Per tant:

$$V = V_{\text{salt}} \cdot 1.5 \quad (2.27)$$

Un cop determinats el diàmetre i la velocitat de pas de les canonades, es pot procedir a calcular les pèrdues de càrrega entre els dos punts de referència. Cal tenir en compte que l'equació per determinar les pèrdues de càrrega és diferent per la secció vertical que per la horitzontal. Les pèrdues totals seran la suma de les dues.

2.5.1. Secció horitzontal

En les línies horitzontal és on té lloc tota la acceleració de les partícules i del gas, per tant l'equació que s'ha d'aplicar és la següent:

$$\Delta P_H = \frac{1}{2} \cdot \varepsilon_H \cdot \rho_f \cdot V_{fH}^2 + \frac{1}{2} \cdot (1 - \varepsilon_H) \cdot \rho_P \cdot V_{PH}^2 + \frac{2 \cdot f_f \cdot \rho_f \cdot V_{fH}^2 \cdot L_H}{D} + \frac{2 \cdot f_P \cdot \rho_P \cdot (1 - \varepsilon_H) \cdot V_{fH}^2 \cdot L_H}{D} \quad (2.28)$$

Per resoldre les pèrdues de la secció horitzontal és necessària l'equació de Hinkle's.

$$V_{PH} = V \cdot (1 - 0.0638 \cdot x^{0.3} \cdot \rho_P^{0.5}) \quad (2.29)$$

2.5.2. Secció vertical

Per avaluar les pèrdues energètiques degudes a la fricció entre les partícules i les canonades al tram vertical s'ha fet servir l'equació de Konno i Saito:

$$F_{PW} \cdot L = 0.057 \cdot G \cdot L \cdot \sqrt{\frac{g}{D}} \quad (2.30)$$

$$\Delta P_V = \frac{2 \cdot f_f \cdot \rho_f \cdot V^2 \cdot L_V}{D} + 0.057 \cdot G \cdot L \cdot \sqrt{\frac{g}{D}} + \rho_P \cdot (1 - \varepsilon_V) \cdot L_V + \varepsilon_V \cdot \rho_f \cdot g \cdot L_V \quad (2.31)$$

Si s'assumeix que les partícules es comporten com si estessin soles, llavors la velocitat relativa entre les partícules i el gas és:

$$V_{PV} = \frac{V}{\varepsilon_V} - U_T \quad (2.32)$$

I per últim:

$$G = \rho_P \cdot (1 - \varepsilon_V) \cdot V_{PV} \quad (2.33)$$

Combinant aquestes equacions s'aconsegueix la següent equació, que té una sola arrel possible:

$$\varepsilon_V^2 \cdot V_T - \left(V_T + V + \frac{G}{\rho_P} \right) \cdot \varepsilon_V + V = 0 \quad (2.34)$$

2.5.3. Colzes

Pel que fa a l'avaluació de les pèrdues de pressió als colzes, donat que tots ells formen un angle de 90°, s'ha suposat una longitud equivalent de 7.5 metres de canonada recta.

Per tant, per calcular les pèrdues globals, només s'han de sumar les pèrdues de carrega produïdes a la secció horitzontal, a la secció vertical i als colzes.

2.5.4. Resultats

Finalment s'han determinat els cabals necessaris per al transport de les partícules sòlides per a cada bufador.

B-101: 729 m³/h

B-102: 6300 m³/h

B-103: 5160 m³/h

B-104: 5900 m³/h

2.6. Disseny de les cintes transportadores

Per determinar la potència necessària d'una cinta transportadora només cal conèixer alguns dels paràmetres de la mateixa, tal com el pes de la cinta, el pes a transporta i la distància que ha de recórrer entre d'altres. L'equació que els relaciona es mostra a continuació.

$$P_t = \frac{C_4 \cdot f \cdot L \cdot (3.6 \cdot (K_1 + K_2 + K_3) \cdot V + K_4)}{367} + K_4 \cdot \frac{h}{367} + Rec \quad (2.35)$$

On:

K1 és el pes de la cinta en kg/m

K2 és el pes dels rodets de càrrega en kg/m

K3 és el pes dels rodets de retorn en kg/m

K4 és el pes a transportar en T/h

2.7. Disseny del bescanviador

El dimensionament dels bescanviadors de la planta s'ha fet amb el mètode de Kern. Els nostres bescanviadors, són de carcassa i tubs.

Primerament, s'han d'obtenir les propietats dels fluids que passen pel nostre bescanviador, és a dir, del fluid calent i fred, i també les condicions de disseny del bescanviador.

Seguidament, s'ha de decidir quin fluid passarà pels tubs i quin per la carcassa.

1. Quan ja s'hagi fet l'elecció, s'ha de calcular la calor intercanviada entre el fluid calent i el fluid fred amb la següent equació, que és el balanç d'energia.

$$q = \dot{m}_c C_{p,c} (T_{i,c} - T_{o,c}) = \dot{m}_f C_{p,f} (T_{o,f} - T_{i,f}) \quad (2.36)$$

A partir d'aquest balanç, es calcula el cabal màssic d'aigua necessari per poder refredar el fluid de la planta.

2. A continuació es calcula el valor de la diferència de temperatura logarítmica mitjana amb els valors de les temperatures d'entrada i de sortida dels dos fluids.

$$\Delta T_{LM} = \frac{(T_{i,h} - T_{o,c}) - (T_{o,h} - T_{i,c})}{\ln \left(\frac{T_{i,h} - T_{o,c}}{T_{o,h} - T_{i,c}} \right)} \quad (2.37)$$

$$R = \frac{T_i - T_o}{t_o - t_i} \quad (2.38)$$

$$P = \frac{t_o - t_i}{T_i - t_i} \quad (2.39)$$

3. A partir del ΔT_{LM} , es pot calcular la temperatura corregida amb el factor de correcció F_T que és un valor tabulat a partir de P i R amb la següent equació.

$$\Delta T = \Delta T_{LM} \cdot F_T \quad (2.40)$$

4. A continuació, es suposa el valor inicial del coeficients de convecció, pel fluid fred i pel calent per obtenir un valor inicial de coeficient global de servei, aquests coeficients varien segons els fluids que es facin servir. Després, es calcula l'àrea d'intercanvi necessària amb la següent equació.

$$A = \frac{q}{U_i \cdot \Delta T} \quad (2.41)$$

5. Quan s'hagi calculat l'àrea necessària, s'ha de fixar el tipus de tubs que s'utilitzaran per aquest bescanviador. Per això es necessita el diàmetre exterior del tub (D), el diàmetre interior (D_i) i per últim la longitud dels tubs (L_T). Tan el diàmetre interior com l'exterior els podem trobar tabulats.

Amb aquestes dades del tub, es pot calcular el nombre de tubs que ha de tenir el bescanviador per obtenir l'àrea d'intercanvi necessària amb la següent equació:

$$N_T = \frac{A}{L_T \cdot a'} \quad ; \quad \text{on } a' = \pi \cdot D \quad (2.42)$$

6. Després de calcular el nombre tubs, s'ha de fixar el nombre de passos i la disposició que ha de tenir el feix tubular (quadrada o triangular). En el nostre cas és disposició quadrada ja que alhora de netejar els tubs per fora, es pot fer més fàcilment, treien la carcassa i injectant aigua a alta pressió i velocitat. Després, a partir del diàmetre exterior els tubs i del nombre de tubs calculat anteriorment com a guia, es selecciona a la taula la carcassa estàndard amb el nombre de tubs més pròxims al del nostre cas, tenint en compte que es compleixi amb l'àrea d'intercanvi necessària. Amb això, es pot calcular l'àrea d'intercanvi del bescanviador amb el nombre de tubs estàndard amb la següent equació.

$$A = N_T \cdot L_T \cdot a \quad (2.43)$$

7. Un cop calculada l'àrea d'intercanvi del bescanviador, es pot calcular el coeficient de convecció del costat dels tubs. Per realitzar aquest càlcul, es necessari calcular prèviament l'àrea de pas dels tubs.

$$a_{pT} = \frac{N_T \cdot a''}{n} \quad ; \quad a'' = \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} \quad (2.44)$$

8. Després, es calcula la velocitat del fluid que passa pels tubs.

$$V = \frac{m}{\rho \cdot a_{pT}} \quad (2.45)$$

9. Amb aquesta velocitat, es pot trobar el nombre de Reynolds.

$$Re = \frac{V \cdot D_i \cdot \rho}{\mu} \quad (2.46)$$

10. També es calcula el nombre de Prandtl que ens permet, juntament amb el nombre de Reynolds calculat anteriorment, trobar el nombre de Nusselt amb la correlació de Sieder-Tate.

$$Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (2.47)$$

$$Nu = 0,027 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad \text{Per a } Re > 10.000 \quad (2.48)$$

$$Nu = 1,86 \cdot \left(\frac{Re \cdot Pr}{L/D}\right)^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0,14} \quad \text{Per a } Re < 2300 \quad (2.49)$$

11. A partir d'aquests paràmetres, podem saber el coeficient de convecció i el coeficient de convecció corregit del fluid que passa pels tubs a partir de la següent equació.

$$h_i = \frac{Nu \cdot k}{D_i} \quad h_{io} = h_i \cdot \frac{D_i}{D_o} \quad (2.50)$$

12. A continuació, es calculen les pèrdues de càrrega del costat del tubs. S'han de tenir en compte 2 tipus de pèrdues per trobar la pèrdua total: la pèrdua de carga en els tubs i en els canvis de pas dels tubs. Aquests dos tipus es calculen amb les següents equacions.

$$\Delta P_T = f \cdot \frac{L_T \cdot n}{D_i \cdot (\mu/\mu_w)^{0,14}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (2.51)$$

13. Per aquest cas, la f , coeficient de fricció, pot tindre 2 valors pel tipus del nombre de Reynolds que tingui el fluid.

$$f = \frac{64}{Re} \quad \text{Per a } Re < 2300 \quad (2.52)$$

$$f = (0,79 \cdot \ln Re - 1,64)^{-2} \quad \text{Per a } 3000 < Re < 5 \cdot 10^6 \quad (2.53)$$

14. A continuació, es calcula el altre tipus de pèrdues de càrrega amb la següent equació.

$$\Delta P_r = 4n \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad (2.54)$$

15. Amb el sumatori de les pèrdues per fricció de les pèrdues per els canvis de passos trobem les pèrdues de càrrega totals.

$$\Delta P = \Delta P_T + \Delta P_r \quad (2.55)$$

Anteriorment, s'ha calculat el coeficient de convecció pels tubs, ara fem el mateix però per la carcassa. Per trobar aquest coeficient hem de fer uns passos previs. A continuació es mostren les equacions dels diferents paràmetres que hem de calcular per arribar al coeficient de convecció.

16. Primer hem de fixar la separació dels deflectors o “baffles” per a que després puguem calcular l'àrea de pas per la carcassa.

$$B = \frac{D \cdot I}{Z} \quad ; \quad \text{On } Z = 2 - 5 \quad (2.56)$$

$$a_{pC} = \frac{D \cdot I \cdot c' \cdot B}{P_T} \quad ; \quad c' = P_T \cdot D \quad (2.57)$$

17. Seguidament, es calcula el diàmetre hidràulic tenint en compte la distribució dels tubs dins del nostre bescanviador, en aquest cas es de distribució quadrada.

$$D_H = \frac{4 \cdot \left(P_T^2 - \frac{\pi \cdot D^2}{4} \right)}{\pi \cdot D} \quad (2.58)$$

18. A continuació, es calculen una sèrie de paràmetres per calcular el coeficient de convecció de la carcassa.

$$\text{Velocitat: } V = \frac{m}{\rho \cdot a_{pC}} \quad (2.59)$$

$$\text{Reynolds: } Re = \frac{V \cdot D_H \cdot \rho}{\mu} \quad (2.60)$$

$$\text{Prandtl: } Pr = \frac{C_p \cdot \mu}{k} \quad (2.61)$$

$$\text{Nusselt: } Nu = 0,36 \cdot Re^{0,55} \cdot Pr^{1/3} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad \text{Per a } 2000 < Re < 10^6 \quad (2.62)$$

On $\left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14}$ és la viscositat del fluid dividit per la viscositat a la superfície dels tubs i inicialment se suposa 1 i quan ja es té el bescanviador gairebé dimensionat, es pot ajustar correctament.

$$h_0 = \frac{Nu \cdot k}{D_H} \quad (2.63)$$

19. Ara amb els dos coeficients de convecció, es calcula la temperatura de la paret del bescanviador amb les següents equacions.

$$T_w = \bar{t} + \frac{h_o}{h_{io} + h_o} \cdot (\bar{T} - \bar{t}) \quad (2.64)$$

20. A continuació es calculen les pèrdues de càrrega del fluid que passa per carcassa amb la següent equació.

$$\Delta P_C = 4 \cdot f \cdot \frac{D \cdot I \cdot (N + 1)}{D_H \cdot \left(\mu / \mu_w \right)^{0,14}} \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} \quad \text{On } (N + 1) = \frac{L_T}{B} \quad (2.65)$$

Per aquest cas, el coeficient de fricció es calcula de la següent manera.

$$f = \frac{0,5}{Re^{0,2}} \quad \text{On } Re > 2000 \quad (2.66)$$

21. Per últim, es fa la comprovació tèrmica del bescanviador amb el coeficient global net, el coeficient global de servei i es calcula l'àrea d'intercanvi requerida l'àrea necessària de l'intercanvi. Aquests tres paràmetres es calculen amb les següents equacions.

$$\frac{1}{U_L} = \frac{1}{h_{i0}} + \frac{1}{h_o} \quad U_L = \frac{h_{i0} \cdot h_o}{h_{i0} + h_o} \quad (2.67)$$

$$\frac{1}{U_S} = \frac{1}{U_L} + R_{fh} + R_{fc} \quad (2.68)$$

$$A_r = \frac{q}{U_S \cdot \Delta T} \quad (2.69)$$

2.8. Disseny de les vàlvules de seguretat

La distribució de les vàlvules de seguretat s'ha establert en funció de la necessitat de protegir els equips davant de certs perills que es poden produir durant el funcionament de la planta. Se n'instal·laran de dos tipus, PSV i discos de ruptura.

Per tal de dissenyar les vàlvules de seguretat és necessari determinar quina és la pitjor situació que podria succeir. Aquest escenari a de ser però creïble, és a dir, o un únic succés, o bé dues successos independents que passin de forma seqüencial.

El disseny de les vàlvules de seguretat s'ha dut a terme segons la normativa NFPA-30 i es descriu a continuació:

PSV:

$$A = \frac{W \cdot \sqrt{TZ}}{387.2 \cdot c \cdot K \cdot P_a \cdot K_1 \cdot K_2 \sqrt{M}} \quad (2.70)$$

A continuació amb el cabal de descàrrega i l'àrea d'orifici s'ha triat la vàlvula més adient.

RD:

$$A = \frac{W}{(K_b \cdot K \cdot P)} \cdot \sqrt{\frac{T \cdot Z}{M}} \quad (2.71)$$

ANNEX 3. ESTUDI ECONÒMIC

Per comprovar que el projecte és viable econòmicament, s'han realitzat un seguit de càlculs que es presenten en aquest annex.

3.1. Estimació de la inversió inicial

Per tal de calcular l'estimació inicial del projecte s'han buscat els costos d'adquisició dels equips a una base de dades². A continuació el preu de cada equip s'ha multiplicat per un factor anomenat *Bare factor*³ que té en compte el cost d'instal·lació. Per actualitzar el preu de compra dels equips s'han utilitzats els índexs d'inflació de 2007 i de 2012 que són 525.4 i 592.8 respectivament. A la taula que es mostra a continuació apareixen els costos d'inversió dels equips.

Taula 3.1. Costos dels equips.

| Equip | Referència | Quantitat | Cost ('000€) |
|---------|------------|-----------|--------------|
| Reactor | R-101 | 2 | 217 |
| | R-102 | | |
| Sitja | S-101 | 1 | 32 |
| | S-102 | | |
| | S-103 | | |
| | S-104 | | |
| | S-105 | 7 | 940 |
| | S-106 | | |
| | S-107 | | |
| | S-108 | | |

Taula 3.1. Costos dels equips (Cont.)

² <http://www.matche.com/EquipCost/>

³ Turton, R, Analysis, synthesis, and design of chemical processes. Prentice Hall, 1998.

| Equip | Referència | Quantitat | Cost ('000€) |
|----------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| | C-101 | 1 | 25 |
| | C-102 | 1 | 44 |
| Cicló | C-103 | 1 | 33 |
| | C-104 | 1 | 53 |
| | C-105 | 1 | 33 |
| Bescanviador | I-101 | 1 | 356 |
| | B-101 | 1 | 27 |
| Bufador | B-102 | 1 | 141 |
| | B-103 | 1 | 121 |
| | B-104 | 1 | 47 |
| Compressor | K-101 | 1 | 701 |
| Bomba | P-101 A | 2 | 85 |
| | P-101 B | | |
| Vissenfi | E-101 | 1 | 32 |
| | E-102 | 1 | 44 |
| Cinta transportadora | CT-101 | 1 | 11 |
| | CT-102 | 1 | 36 |
| Tolva | T-101 | 4 | 47 |
| | T-102 | | |
| | T-103 | | |
| | T-104 | | |
| Mesclador | M-101 | 1 | 9 |
| Condensador | CD-101 | 1 | 384 |

S'estima que un 15% dels equips que constituïran la planta final no s'han tingut en compte en el càlcul. Per tant s'aplica aquest percentatge sobre els costos dels equips calculats obtenint una inversió inicial d'equips de 4 M€.

A continuació es calculen els costos directes i indirectes associats al projecte.

Costos directes:

- Cost compra equips.
- Cost compra terrenys. (3.2 M€)
- Materials per a la instal·lació mostrats a la taula 9.2 del projecte.

Costos indirectes (un 29 % sobre els directes):

- Transport, assegurança i impostos.

S'ha aplicat un coeficient d'imprevistos del 14%. Aquests poden ser deguts al retard en l'entrega dels equips.

3.2. Compte de resultats

En les despeses del punt 9 de l'informe s'han tingut en compte uns costos de recursos humans que es detallen a continuació:

Taula 3.2. Recursos humans

| Tipus | Nº Persones | Nº Torns | Cost* | Cost total* |
|--------------|------------------------|-----------------|--------------|------------------------|
|--------------|------------------------|-----------------|--------------|------------------------|

| | | | | |
|--|---|---|----|------------|
| Operari auxiliar | 1 | 5 | 20 | 20 |
| Operari especialista | 2 | 5 | 24 | 48 |
| Enginyer de Processos, Manteniment i Projectes | 1 | 1 | 40 | 40 |
| Enginyer de Qualitat, Medi Ambient i Seguretat | 1 | 1 | 40 | 40 |
| Cap de torn | 1 | 5 | 35 | 70 |
| Logística | 1 | 1 | 24 | 24 |
| Director de la planta | 1 | 1 | 45 | 45 |
| Total | | | | 863 |

(*) En milers d'euros.

Per al càlcul del manteniment de la planta s'ha aplicat un 1% sobre el cost total d'inversió.

3.3. Avaluació global de la inversió

Per l'anàlisi dels paràmetres l'avaluació global de la inversió s'han tingut en compte les següents condicions:

- Amortització dels edificis en 30 anys.
- Amortització de les instal·lacions principals en 20 anys.
- Amortització dels equips de vida curta de 10 anys.
- Valor residual d'un 10% sobre el cost inicial.
- Estudi sobre 20 anys de vida útil.
- Cost d'inversió de capital en el novè any per substituir els equips de vida curta.

ANNEX 4. FITXES ESPECIFICACIÓ PRODUCTES

| FULL D'ESPECIFICACIÓ PRODUCTE | | NOM | Monòxid de carboni |
|-------------------------------|--|-------------------------|--------------------|
| Identificació | | | |
| Nom anglès | Carbon oxide | Sinònim | Òxid carbònic |
| CAS | 630-08-0 | Fórmula | CO |
| DOT | | Pes molecular | 28 |
| Propietats físiques | | | |
| Estat en C.N. | Vapor | Pes específic (líquid) | 0.97 |
| P. de ebullició a 1 atm (°C) | -191 | Sol. aigua (ml/100ml) | 2.3 |
| Punt fusió 1 atm (°C) | -205 | Densitat relativa vapor | 0.97 |
| T crítica (°C) | -140 | Punt inflamació | Gas inflamable |
| P crítica (bar) | 35 | Temp. auto ignició (°C) | 605 |
| Propietats químiques | | | |
| Descripció general | Gas comprimit, incolor, inodor i insípid | | |
| Salut laboral | | | |
| En estat vapor produeix: | Intoxicació | | |
| En estat líquid produeix: | | | |
| Altres observacions | | | |
| Seguretat: | | | |
| Risc: | | | |

| FULL D'ESPECIFICACIÓ PRODUCTE | | NOM | Nitrogen | |
|-------------------------------|--|-------------------------|----------|--|
| Identificació | | | | |
| Nom anglès | Nitrogen | Sinònim | | |
| CAS | 7727-37-9 | Fórmula | N2 | |
| DOT | | Pes molecular | 28 | |
| Propietats físiques | | | | |
| Estat en C.N. | Vapor | Pes específic (líquid) | | |
| P. de ebullició a 1 atm (°C) | -195 | Sol. aigua (ml/100ml) | 0.0234 | |
| Punt fusió 1 atm (°C) | -218 | Densitat relativa vapor | 0.97 | |
| T crítica (°C) | -147 | Punt inflamació | | |
| P crítica (bar) | 34 | Temp. auto ignició (°C) | | |
| Propietats químiques | | | | |
| Descripció general | Gas comprimit, incolor, inodor i insípid | | | |
| Salut laboral | | | | |
| En estat vapor produeix: | Asfíxia en altes concentracions | | | |
| En estat líquid produeix: | | | | |
| Altres observacions | | | | |
| Seguretat: | | | | |
| Risc: | | | | |

| FULL D'ESPECIFICACIÓ PRODUCTE | | NOM | Níquel |
|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------|
| Identificació | | | |
| Nom anglès | Nickel | Sinònim | |
| CAS | 7440-02-0 | Fórmula | Ni |
| DOT | | Pes molecular | 58.7 |
| Propietats físiques | | | |
| Estat en C.N. | Sòlid | Pes específic (líquid) | |
| P. de ebullició a 1 atm (°C) | 2730 | Sol. aigua (ml/100ml) | No |
| Punt fusió 1 atm (°C) | 1455 | Densitat (kg/m ³) | 5060 |
| T crítica (°C) | | Punt inflamació | |
| P crítica (bar) | | Temp. auto ignició (°C) | |
| Propietats químiques | | | |
| Descripció general | Sòlid metàl·lic en diverses formes | | |
| Salut laboral | | | |
| En estat vapor produeix: | | | |
| En estat líquid produeix: | | | |
| Altres observacions | | | |
| Seguretat: | | | |
| Risc: | Inflamable en forma de pols | | |

| FULL D'ESPECIFICACIÓ PRODUCTE | | NOM | Tetracarbonil de níquel | |
|-------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|--|
| Identificació | | | | |
| Nom anglès | Nickel tetracarbonyl | Sinònim | Níquel carbonil | |
| CAS | 13463-39-3 | Fórmula | Ni(CO) ₄ | |
| DOT | | Pes molecular | 170.7 | |
| Propietats físiques | | | | |
| Estat en C.N. | Líquid | Pes específic (líquid) | | |
| P. de ebullició a 1 atm (°C) | 43 | Sol. aigua (ml/100ml) | No | |
| Punt fusió 1 atm (°C) | -19 | Densitat relativa | 1.3 | |
| T crítica (°C) | | Punt inflamació | | |
| P crítica (bar) | | Temp. auto ignició (°C) | 60 | |
| Propietats químiques | | | | |
| Descripció general | Líquids, incolor i volàtil. | | | |
| Salut laboral | | | | |
| En estat vapor produeix: | | | | |
| En estat líquid produeix: | | | | |
| Altres observacions | | | | |
| Seguretat: | | | | |
| Risc: | | | | |



Planta de producció de catalitzadors by [Morales Pàmies, Iván; Sendra Rion, Gerard Teixidó, Xavier](#) is licensed under a [Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional License](#).

Puede hallar permisos más allá de los concedidos con esta licencia en <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.ca>