

## Treball final de grau

**Estudi:** Grau d'Enginyeria en Tecnologies Industrials

**Títol:** Instal·lació i acoblament d'un túnel de vent obert per a assaigs d'aerogeneradors de baixa potència

**Document:** 1. Memòria i Annexos

**Alumne:** Ferran Serra Felip

**Tutor:** Josep Ramón González Castro

**Departament:** Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

**Àrea:** Mecànica de fluids

**Convocatòria (mes/any):** Juny 2016

*M'agradaria agrair a Metall-lògic S.L el fet d'haver-me cedit les instal·lacions, equipaments i material necessari per desenvolupar la part constructiva d'aquest projecte.*

*A l'Eduard i l'Albert Massaguer, membres del grup de recerca GREFEMA, per haver participat de manera activa en la posada en marxa de la instal·lació.*

*A en Xavier Orri, company amb qui he cooperat en el muntatge i assaigs del banc de proves, i que s'encarregarà de contrastar resultats experimentals amb resultats fruit de simulacions en el seu treball de fi de grau.*

*Al meu tutor, Josep Ramón González, per haver-me ofert la possibilitat de realitzar aquest treball.*

*A tots els professors que he tingut durant la meva estada a l'Escola Politècnica Superior, per haver-me donat els coneixements necessaris per desenvolupar aquest repte.*

## ÍNDIX

1	INTRODUCCIÓ .....	1
1.1	Antecedents .....	1
1.2	Objecte .....	2
1.3	Especificacions .....	3
1.4	Abast .....	4
2	PRESENTACIÓ DEL BANC INICIAL .....	5
2.1	Descripció dels elements .....	5
2.2	Dimensions principals .....	10
2.3	Descripció dels problemes .....	10
3	MODIFICACIONS NECESSÀRIES .....	13
3.1	Proposta per evitar les vorticitats .....	13
3.2	Proposta per augmentar el cabal d'aire .....	13
3.3	Proposta per adaptar la instal·lació .....	13
3.4	Canvis previstos en el banc de proves .....	14
4	DISSENY DE LES SOLUCIONS ADOPTADES .....	15
4.1	Disseny del direccionador/condicionador de flux .....	15
4.2	Descripció del ventilador seleccionat .....	18
4.3	Disseny del nou suport .....	19
4.3.1	Especificacions .....	19
4.3.2	Metodologia .....	20
4.3.3	Descripció general de l'estructura .....	20
4.3.4	Dimensions principals .....	28
4.3.5	Simulacions per elements finits .....	28
4.3.6	Resultat de les simulacions .....	30
5	FABRICACIÓ .....	31

5.1	Fabricació del condicionador de flux .....	31
5.2	Fabricació del suport.....	32
6	MUNTATGE.....	34
6.1	Fixació del condicionador de flux .....	34
6.2	Fixació del ventilador .....	35
6.3	Configuració elèctrica.....	36
6.4	Configuració del circuit de generació .....	37
6.5	Dimensions totals del banc de proves nou.....	37
7	POSADA EN MARXA .....	38
7.1	Realització de les proves .....	38
7.2	Resultat de les proves.....	38
8	CONCLUSIONS .....	39
9	RESUM DEL PRESSUPOST .....	40
10	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	41
11	BIBLIOGRAFIA .....	42
12	GLOSSARI .....	43
	ANNEX A: HONEYCOMB.....	45
	ANNEX B: DADES DEL VENTILADOR ANTIC (TBT/2-450) .....	57
	ANNEX C: DADES DEL VENTILADOR NOU (TGT/2-630-18.5kW).....	59
	ANNEX D: COMPLEMENTS DE MUNTATGE .....	62
	D.1 Protecció aspiració .....	62
	D.2 Protecció impulsió.....	62
	D.3 Brida connexió “Acopel”.....	62
	D.4 Junta “Acopel”.....	63
	D.5 Rodes giratòries.....	63
	D.6 Peus anivelladors .....	64
	D.7 Variador de freqüència .....	65



ANNEX E: DADES DE L'AEROGENERADOR.....	66
ANNEX F: CÀRREGUES A SUPORTAR .....	70
ANNEX G: DESENVOLUPAMENT DEL DISSENY .....	72
ANNEX H: SIMULACIÓ PER ELEMENTS FINITS .....	77
H.1 Introducció al paquet <i>Simulation</i> de <i>SolidWorks</i> .....	77
H.2 Condicions de contorn .....	78
H.3 Càrregues aplicades.....	80
H.4 Mallat .....	82
H.5 Resultats de la simulació estàtica (en cas hiperestàtic).....	83
H.6 Resultats de la simulació estàtica (en cas isostàtic) .....	87
ANNEX I: PREPARACIÓ DE LES DIFERENTS PECES .....	91
ANNEX J: SOLDADURA DEL SUPORT .....	107
ANNEX K: PINTURA DEL SUPORT.....	117
ANNEX L: TRANSPORT .....	122
ANNEX M: FIXACIÓ DEL VENTILADOR .....	124
ANNEX N: MUNTATGE DEL VARIADOR DE FREQUÈNCIA .....	127
ANNEX O: ACOBLAMENT DEL TÚNEL .....	130
ANNEX P: GENERACIÓ I ADQUISICÓ DE DADES .....	132
ANNEX Q: BANC DE PROVES DEFINITIU .....	136
ANNEX R: ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT .....	137
R.1 Preparació de les peces del suport.....	137
R.1.1 Identificació dels riscos: .....	137
R 1.2 Normes i mesures preventives.....	137
R 1.3 Equips de protecció individual.....	138
R 2 Soldadura de peces.....	138
R.2.2 Normes i mesures preventives.....	139
R.2.3 Equips de protecció individual.....	140

R 3 Pintura .....	140
R 3.1 Identificació dels riscos.....	140
R 3.2 Normes i mesures preventives .....	141
R 3.3 Equips de protecció individual .....	142
ANNEX S: ASSAJOS.....	143
S1 Material complementari.....	143
S 2 Metodologia .....	143
S 3 Fulla de càlcul .....	146
S 4 Resultats.....	147
S 5 Anàlisi dels resultats .....	151
S 6 Conclusions .....	154

# 1 INTRODUCCIÓ

## 1.1 Antecedents

Al llarg dels últims vint anys les energies alternatives han agafat un protagonisme creixent. I no és un fet anecdòtic, ja que la crisi econòmica ha sensibilitzat, d'alguna manera, l'esperit crític de la societat i ens ha fet replantejar si els models de gestió i govern actuals són els més adequats.

La crisi energètica és una realitat i es consolida de manera silenciosa, ja que els recursos, desafortunadament, no són il·limitats i això obliga a prevenir i a solidaritzar-se amb les generacions futures. Un clar exemple n'és l'esgotament del petroli (Hubbert), un element que defineix l'economia global i que es consumeix a una velocitat de vertigen.

Davant d'aquesta imminència, camps mediambientals i tecnològics han unit forces per fer-hi front, innovant i reconsiderant els models tradicionals de generació per iniciar, d'aquesta manera, un canvi que desvinculi l'activitat humana de l'abocament constant de residus, esgotament de recursos fòssils i de la pol·lució massiva que té, a dia d'avui, ja repercussions visibles.

L'energia minieòlica aprofita els recursos renovables mitjançant la utilització d'aerogeneradors de potencia inferior a los 100 kW. Recentment, aquest tipus de tecnologia està essent impulsada a nivell europeu, perquè facilita la microgeneració distribuïda reduint les pèrdues de transport i distribució. Disposar de dades experimentals fiables dels dissenys d'aquest tipus d'aerogeneradors és un factor important per millorar els rendiments aerodinàmics. Al Laboratori d'Energies de l'EPS es vol posar en marxa un túnel de vent obert per assaig d'aerogeneradors de baixa potència. Per aquesta raó, ha adquirit un nou ventilador pel seu banc de proves de generació eòlica.

## 1.2 Objecte

Aquest treball parteix dels resultats i conclusions d'un primer treball de grau, on es detallen les modificacions que s'han d'adoptar per millorar l'eficiència i el funcionament del túnel de vent obert de l'aerogenerador. Entre d'elles, argumentades i sostingudes a partir de simulacions CFD, la incorporació d'un "honeycomb" (matriu de cel·les hexagonals) com a difusor per a estabilitzar el flux d'aire procedent del ventilador, la substitució del ventilador actual per la nova versió i la posada en marxa de tot el conjunt amb les càrregues resistents adients. També es contempla la generació d'un manual de funcionament de tot el sistema.

Així doncs l'objecte d'aquest projecte consta de tres parts clarament diferenciades.

- La primera part consisteix a reconstruir un condicionador de flux circular a partir d'un retall de *honeycomb* irregular procedent d'anteriors projectes i incorporar-lo a l'interior del túnel de vent.
- La segona part, i la més complexa, consisteix en dissenyar, analitzar i construir un suport pel nou ventilador que el departament ha adquirit recentment (gener 2016).
- Finalment, la tercera part consisteix en instal·lar una càrrega resistiva regulable i un variador de freqüència per a poder treballar amb diferents règims de gir i analitzar la corba de potència de l'aerogenerador.

### 1.3 Especificacions

- Peticionari: aquest projecte ha estat encarregat pel grup de recerca GREFEMA de la Universitat de Girona.
- Funció: la funció del túnel de vent obert és obtenir la corba de potència de l'aerogenerador en funció de la velocitat vent (que és funció de la freqüència de gir del ventilador).
- Emplaçament: el conjunt estarà situat en el "Laboratori d'Energies (T17)" del PII de l'Escola Politècnica Superior (UdG). Tanmateix les diferents parts seran mòbils i desmuntables per facilitar-ne el transport i optimitzar l'espai en cas que no s'utilitzi.
- Dimensions: les dimensions del conjunt muntat seran aproximadament de 4 metres de llargada, per 1.5 metres d'amplada i 2 metres d'alçada. El laboratori compta amb l'espai necessari per allotjar el conjunt.
- Condicions de treball: la instal·lació comptarà amb equips electrònics (com variadors de freqüència i captadors de senyal) i elèctrics (alimentació, motor i alternador). Així doncs, el seu ús queda limitat en espais tancats.
- Materials per a la fabricació del suport: el suport del ventilador es construirà amb perfil·laria d'acer al carboni S235JR i es recobrirà amb pintura d'imprimació per evitar que aquest s'oxidi.
- Impacte acústic: l'impacte acústic del conjunt serà notable i es preveu que calgui protecció auditiva en cas de exposicions prolongades.
- Vida útil: la part mecànica del sistema estarà dimensionada de tal manera que suporti els efectes de la fatiga i de les vibracions durant un període superior als 30 anys.

## **1.4 Abast**

L'abast del treball ve determinat pel conjunt de modificacions, adquisicions i muntatges que s'han de realitzar a fi d'obtenir un resultat satisfactori i proper a les simulacions CFD ja executades.

Una vegada el conjunt final estigui muntat es faran les proves necessàries per determinar el seu bon funcionament. Si apareixen problemes associats amb la mala alineació de l'eix del ventilador es solucionaran a posteriori, deixant-ne constància en aquest document.

## 2 PRESENTACIÓ DEL BANC INICIAL

### 2.1 Descripció dels elements

El laboratori d'energies (T017) de l'Escola Politècnica Superior, situat al mòdul annex de l'edifici PII, compta amb un banc de proves per assajar un aerogenerador de baixes prestacions (90W) que recentment ha adquirit el departament de mecànica. Aquest banc, inicialment, consta de diferents parts clarament diferenciades:

- Aerogenerador
- Virola de xapa d'acer galvanitzat i bordonada
- Con de xapa d'acer galvanitzat i bordonat
- Suport de fusta aglomerada per sostenir la virola
- Abraçadora tipus *Jacob* de diàmetre ajustable
- Ventilador

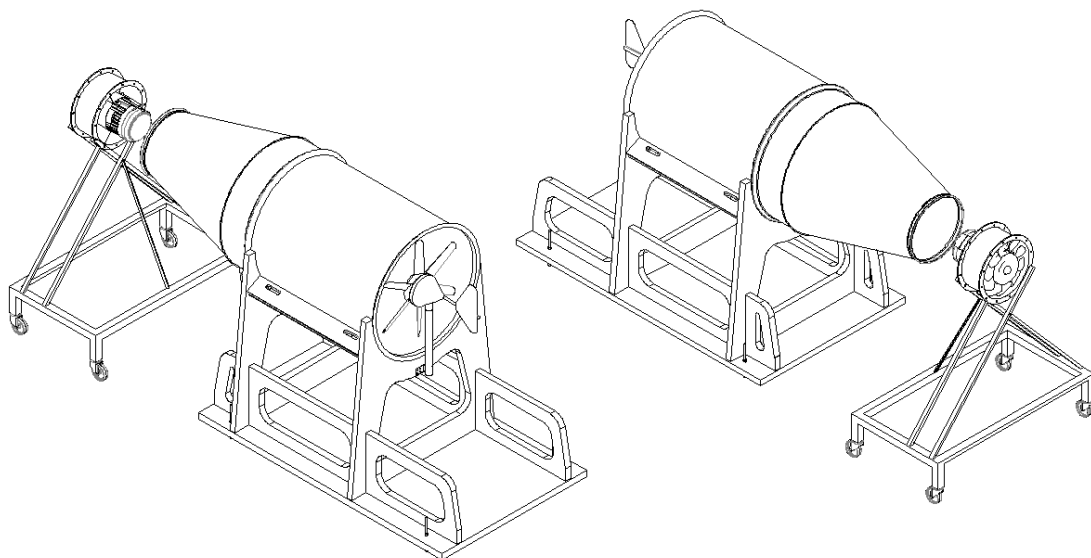


Figura 1: Vistes isomètriques del muntatge anterior a 2016

El funcionament d'aquesta instal·lació és senzill. Un ventilador axial de 4 CV de potència genera un flux d'aire que viatja per l'interior del túnel d'un extrem a l'altra, fins a trobar els àleps d'un aerogenerador. Aquest, en girar, genera una diferència de potencial que varia en funció de la càrrega resistiva (variable

gràcies a un reòstat) aplicada en un circuit extern. Aquest circuit ens permet adquirir les dades per mitjà d'un voltímetre i un amperímetre o realitzar el seu seguiment per mitjà de *Labview*. Tanmateix, aquest circuit, no s'ha de veure necessàriament afectat pels canvis en el banc d'assaigs.

Bàsicament podem diferenciar tres parts en aquesta instal·lació:

- Generació del flux d'aire (ventilador, suport i variador)
- Conducció del flux d'aire (con, abraçadora, virola i el seu suport)
- Generació d'electricitat (aerogenerador i circuit)

Generador del flux d'aire:

El ventilador és la màquina capaç de convertir energia elèctrica en energia mecànica per mitjà d'un motor, i seguidament a energia de pressió per mitjà d'un hèlix. Disposar d'un ventilador a dins del laboratori ens permet treballar en condicions controlades en tot moment i variar el cabal d'aire quan es cregui oportú.

L'elecció d'un ventilador axial enfront a un ventilador centrífug és la necessitat d'un gran cabal. Regular la freqüència de gir del nostre ventilador ens permetrà controlar el cabal, i consegüentment regular la velocitat del vent. En el nostre cas, el ventilador és del model TBT/2-450 de S&P (de diàmetre interior 450 mm, potència 4 CV i pes 69 kg), que permet generar un cabal de fins a 13200 m<sup>3</sup>/h.

Per sostenir aquest ventilador a 1500 mm del terra és necessari un suport. El ventilador, ja esmentat, disposa d'un suport d'acer amb rodes de bloqueig capaç d'absorbir les vibracions i de suportar tant el pes com les forces dinàmiques associades al funcionament de l'equip.

Les característiques del ventilador són subministrades pel seu proveïdor i són presents en l'annex B d'aquest document.

S'utilitza un variador de freqüència per regular la velocitat de gir.



El problema que presenta aquest ventilador és que no genera el cabal necessari per fer treballar l'aerogenerador en tots els seus rangs de velocitat.

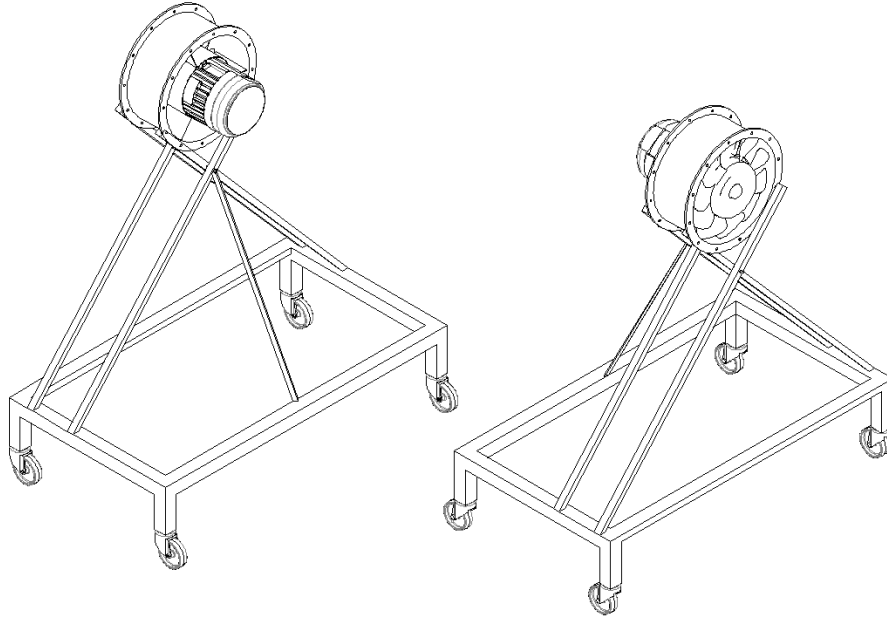


Figura 2: Ventilador TBT/2-450 i el seu suport

#### Conducció del flux d'aire:

A diferència del ventilador, no existeix cap proveïdor que ens doni les prestacions d'un túnel de vent. La finalitat d'aquest element és conduir el corrent d'aire des del ventilador fins a les pales de l'aerogenerador minimitzant les pèrdues de càrrega i optimitzant la seva eficiència. El diàmetre del túnel cilíndric (virola) coincideix amb el diàmetre de l'aerogenerador. Així doncs, per tal de tancar el túnel completament és estrictament necessari la presència d'un con o una transformació de secció en el cas que la sortida del ventilador fos rectangular (en el cas d'un ventilador centrífug).

La virola està suportada per una bancada de fusta amb rodes giratòries i peus d'alçada graduable, i el con està en voladís unit a la virola per mitjà

d'una abraçadora de tipus *Jacob*. Aquesta està unida al suport gràcies a unes bragues de tela de seguretat.

Cal tenir en compte que la velocitat a la sortida del túnel no serà la mateixa que la de la sortida del ventilador, ja que la secció del conducte varia i s'ha de complir l'equació de continuïtat.

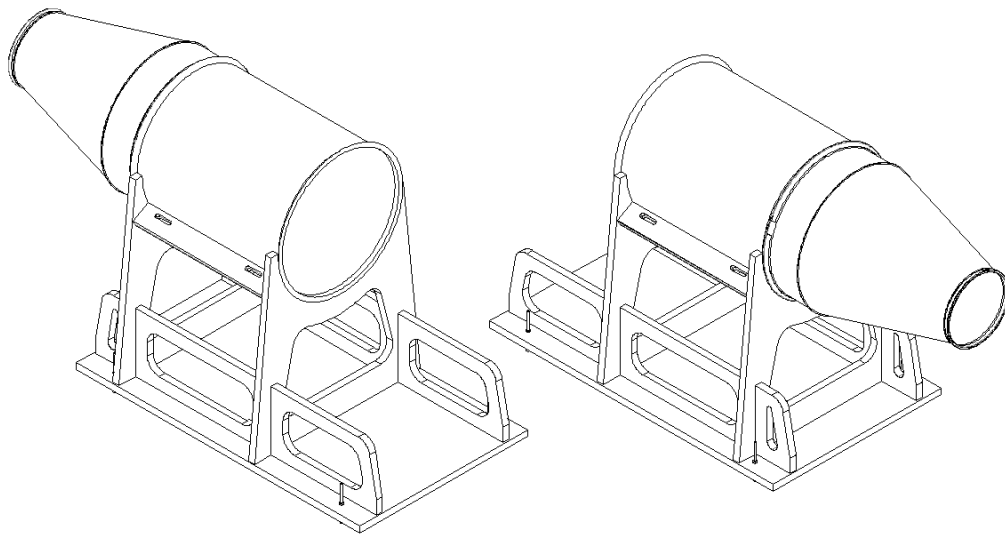


Figura 3: Túnel de vent sense difusor

#### Generació d'electricitat:

El flux d'aire impacta amb els àleps de l'aerogenerador i el seu perfil aerodinàmic permet generar un parell i un regim de gir determinat. És necessari connectar una càrrega resistiva variable per analitzar el punt de treball òptim i aconseguir la màxima potència. Això és possible gràcies a l'acció d'un reòstat o resistència regulable, que ajustant-lo detingudament es pot trobar la potència pic per una velocitat de vent determinada. Així doncs existeix una transformació d'energia cinètica a energia mecànica, on el vent perd pressió en detriment d'un parell generat pel generador eòlic, que no és res més que un alternador monofàsic, dotat amb varis imants permanents i un bobinat, encarregat d'induir un voltatge altern (passar l'energia mecànica a energia elèctrica).

El voltatge i la intensitat que tindrà el circuit extern dependrà exclusivament de la càrrega aplicada. Tanmateix, s'utilitza un filtre de condensador (3300 mF) per rectificar la senyal alterna i aconseguir-ne una de menys oscil·lant.

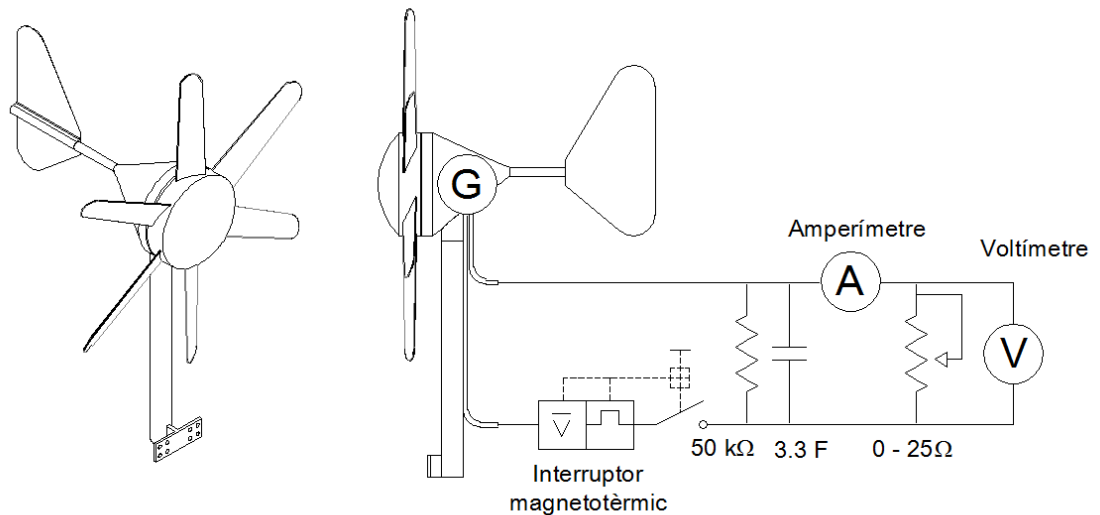


Figura 4: Aerogenerador i circuit elèctric annex per variar la càrrega resistiva

L'aerogenerador que ha adquirit la Universitat de Girona per assajar en aquest banc és de sis pales (desmuntables) i pot oferir una potència útil nominal de 90 W. Regulant la càrrega resistiva amb el reòstat (0 - 25Ω) i multiplicant els valors procedents del voltímetre i de l'amperímetre es pot determinar la potència màxima per a cada velocitat de vent.

Aquesta potència és funció de la freqüència de gir de l'aerogenerador i del parell que aquest és capaç de transmetre gràcies a la força distribuïda que aplica el vent sobre cada un dels àleps.

Així doncs, la geometria de l'aerogenerador és un factor determinant a la hora de generar potència. No només les seves dimensions totals (diàmetre i bobinats) sinó també el perfil aerodinàmic de les pales.

No es disposa de cap informació sobre aquest perfil a priori. Es tracte d'un model de petites dimensions, de baix cost econòmic i baix amperatge,

desenvolupat per una empresa xinesa amb la finalitat de recarregar bateries de dispositius electrònics de baixa potència i d'ús domèstic (12 V).

No disposa de sistema de control, ja que l'angle de les pales és fix, això permet obtenir un rang de potències molt divers. El seu diàmetre és de 880 mil·límetres, cosa que li permet introduir-se a dins del túnel (990 mm). Està fixat a la paret posterior del suport de fusta del túnel de vent per mitjà de quatre cargols situats al seu peu.

## 2.2 Dimensions principals

Les dimensions principals\* del muntatge són (SP 01-BANCANTIC):

- Alçada: 2107 mm (mínim regulable gràcies a tacs roscats)
- Amplada: 1535 mm
- Llargada: 3737mm

\*Aquestes mesures no tenen en compte la taula amb el reòstat, els mòduls d'adquisició de dades, el variador de freqüència o el portàtil de què es disposa per a realitzar les pràctiques.

## 2.3 Descripció dels problemes

La finalitat d'aquest banc de proves és assajar un aerogenerador de baixa potència i, d'aquesta manera, poder fer pràctiques, ja sigui a nivell docent o de recerca. Tanmateix, com podem veure a la imatge inferior (figura 1), no s'està realitzant el muntatge correctament. En primer lloc veiem que falta el con davanter, que uneix el túnel (cilindre) amb el ventilador. Seguidament el suport del cilindre està girat i l'aerogenerador està al començament del túnel i no al final.



Figura 5: Banc de proves anterior a 2016 durant una pràctica docent

Això es deu, principalment, perquè el ventilador no té prou potència per a generar el flux d'aire necessari per fer moure l'aerogenerador si aquest estigués a més de tres metres de distància (com és el cas del muntatge real). El con no es pot fixar perquè el peu de l'aerogenerador impedeix el seu acoblament al cilindre. Així doncs, no s'està aprofitant la presència del túnel obert i el cas d'estudi s'allunya de la realitat.

Els problemes de ofereix el banc de proves limiten la seva eficiència i impedeixen obtenir uns resultats experimentals que complementin i corroborin els resultats procedents de les simulacions CFD (Dinàmica de Fluids Computacional).

Problemes per corregir:

- El ventilador axial genera un flux d'aire rotatiu (figura 2). Això significa que les línies de corrent tenen una trajectòria helicoïdal fins a impactar amb la pala. Aquest moviment no interessa, ja que en primera instància,

no s'assembla al flux de vent que podria rebre un aerogenerador real. Haurem d'idear un difusor que ens permeti obtenir un flux de corrent anàleg al vent, és a dir, estratificat i sense vorticitats.

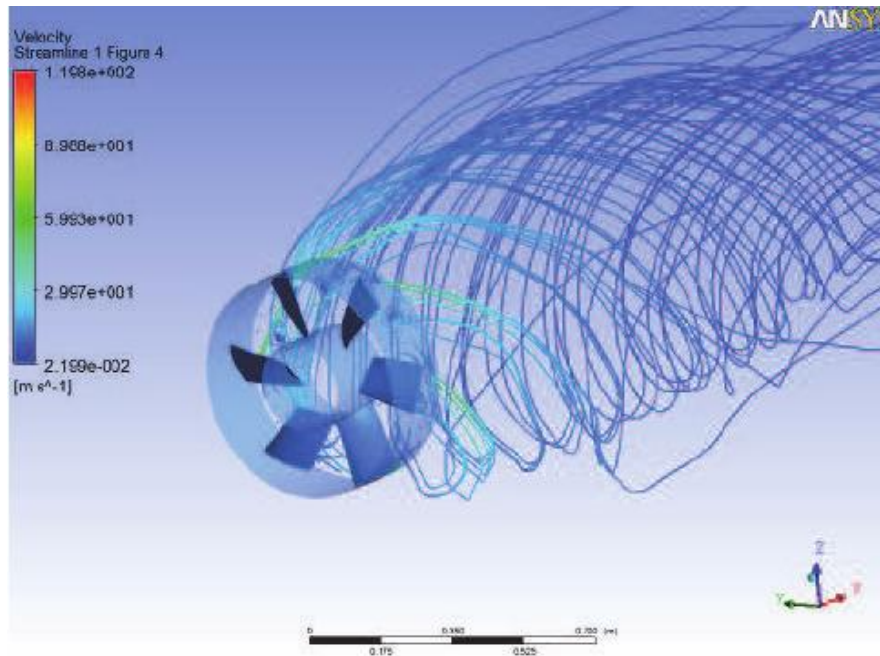


Figura 6: Simulació de les línies de corrent generades per un ventilador axial

- El ventilador axial no té prou potència per generar un flux d'aire adequat per estudiar correctament el comportament de l'aerogenerador. Les dades nominals i les seves corbes característiques estan detallades a l'annex B.
- Per tal de generar la corba de potència de l'aerogenerador és necessari variar la freqüència de gir del ventilador (analogia a la variació de la velocitat del vent) i variar la càrrega resistiva de l'aerogenerador.

Gràcies a la possibilitat de solucionar-los, se m'ha ofert la possibilitat de redactar i fer possible l'execució del projecte present.

### 3 MODIFICACIONS NECESSÀRIES

#### 3.1 Proposta per evitar les vorticitats

Les vorticitats, més vulgarment conegudes com remolins d'aire, són un fet característic dels ventiladors axials. Sembla lògic que estudis científics associïn el moviment rotatiu dels seus àleps inclinats amb un moviment consegüentment rotatiu del flux d'aire que se'n deriva. Així doncs, una dels poques solucions aplicables és, després d'estudiar i simular el cas concret, col·locar a la seva sortida una malla capaç de reconduir les línies de corrent. No obstant, el cost d'aquests panells condicionadors és realment elevat i, per tant, cal veure per mitjà de simulacions CFD, fins a quin punt és capaç de redreçar aquestes *streamlines*.

#### 3.2 Proposta per augmentar el cabal d'aire

Generar més cabal d'aire implica més velocitat de gir i més parell. Els requeriments del departament no deixen cap altre opció que la de canviar de ventilador. Es necessitarà un ventilador més potent i, consegüentment, més gran i pesat. Així doncs, no serà necessari només adquirir un ventilador nou, sinó que també ho serà fabricar un suport que el sostingui a l'alçada requerida i determinar si el sistema elèctric de la sala s'hi podrà adaptar.

#### 3.3 Proposta per adaptar la instal·lació

Una vegada construït i instal·lat, tant el condicionador de corrent com el conjunt del ventilador nou, farà falta ajuntar i acoblar tots els elements necessaris per certificar el bon funcionament del nou banc de proves. Això significa, configurar el nou variador de freqüència, realitzar els canvis necessaris entre la connexió elèctrica de l'aerogenerador i dels mòduls d'adquisició de dades que permetran extreure automàticament valors de potència generada en funció de la càrrega resistiva del sistema.

### 3.4 Canvis previstos en el banc de proves

La premissa principal d'aquest projecte és aprofitar el màxim de material per tal d'abaratir el procés de muntatge del nou banc de generació eòlica. Si bé és veritat que el laboratori d'energies compta amb un aerogenerador més gran que l'esmentat (amb un perfil aerodinàmic diferent) suposarem que les proves d'aerogeneració es feien, anteriorment, amb el molí de 6 pales de 820 mm de diàmetre.

S'aprofitarà:

- Aerogenerador de 90W i la càrrega resistiva (circuit elèctric)
- La virola bordonada de Ø1000 mm i el seu suport mòbil de fusta
- El con bordonat de Ø1000/490 mm i la junta *Jacob* que la uneix a la virola.
- Retall de panell de cel·les hexagonals d'alumini com a difusor

No s'aprofitarà (per aquest muntatge):

- Ventilador de 4CV TBT/2-450 de S&P
- Suport metàl·lic per TBT/2-450 de S&P
- Variador de freqüència pel ventilador TBT/2-450 de S&P

Adquisició / Requeriments:

- Ventilador TGT/2-630-6/30-LP-18.5kW de S&P i complements
- Suport metàl·lic per TGT/2-630-6/30-LP-18.5kW
- Variador de freqüència ATV630D22N4 de Schneider-Electric.
- Junta de tela ACOPEL F400-630/160 N de S&P

La funció de la junta ACOPEL és unir el con (Ø490mm) amb el ventilador TGT/2-630-6/30-LP-18.5kW (Ø630mm) i evitar, d'aquesta manera, les pèrdues de càrrega que aquest desajust suposaria.



## 4 DISSENY DE LES SOLUCIONS ADOPTADES

### 4.1 Disseny del direccionador/condicionador de flux

L'origen d'aquest problema recau en el tipus de ventilador emprat. Els ventiladors axials, a diferència dels centrífugs (o de cargol), permeten aconseguir altes velocitats. Això és un fet que ens interessa, ja que la finalitat d'aquest projecte és poder assajar un aerogenerador en tots els seus rangs. No obstant, el moviment rotatiu d'un ventilador axial genera, com a efecte secundari, una variació contínua i imprevisible de la velocitat de flux a la sortida del túnel. Així doncs, serà d'esperar que tinguem problemes a la hora de mesurar la velocitat i extreure'n un valor exacte. Així ho corroboren les simulacions fetes amb el programa *Fluent* d'*ANSYS Workbench* (fig. 3).

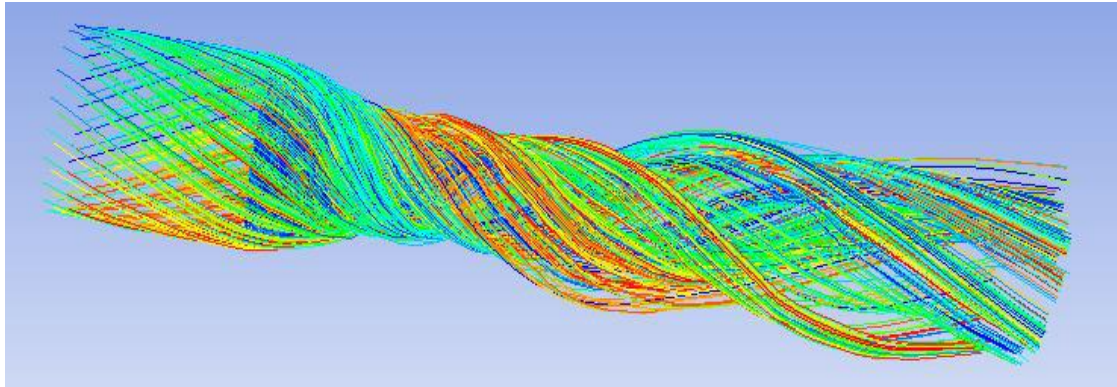


Figura 7: Moviment del fluid al llarg del túnel cilíndric sense con

Per tal d'acoblar el ventilador amb el túnel cilíndric s'utilitza un con (i, com veurem a continuació, una junta flexible).

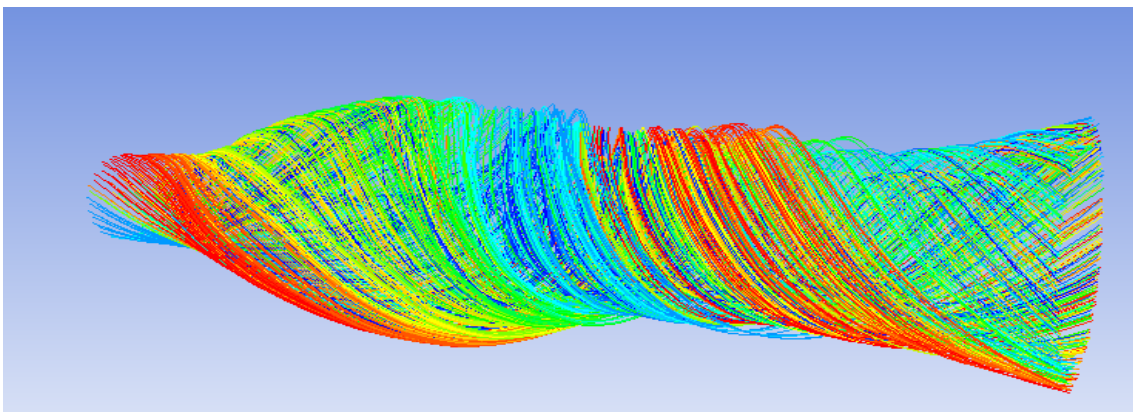


Figura 8: Moviment del fluid al llarg del túnel amb con

D'entre les possibles solucions de redirigir el flux d'aire s'ha optat per la incorporació d'un panell d'alumini de cel·les hexagonals entre el ventilador i l'aerogenerador. Aquest panell és conegut amb el nom de *honeycomb* (bresca, en català).

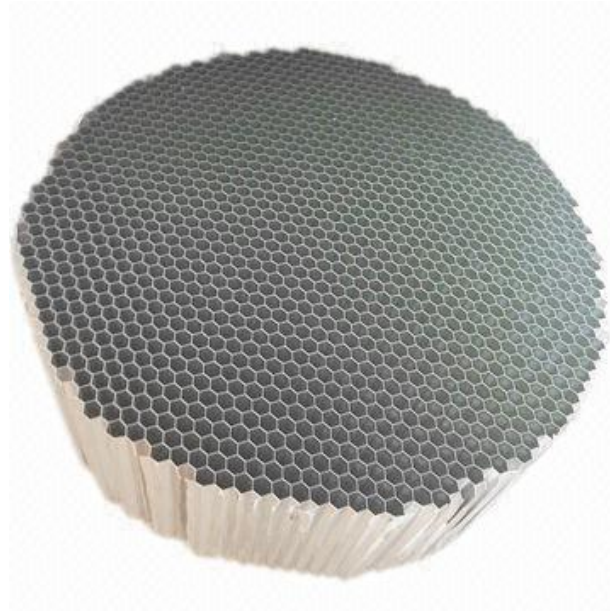


Figura 9: *Honeycomb* o panell de nius d'abella

L'aplicació d'aquests panells és comuna en els túnels de vent per la mateixa propietat, ja que interessa en tot moment que el flux sigui laminar i, les seves línies de corrent, tant rectes com sigui possible.

En el nostre cas no és necessari dimensionar-lo, ja que la Universitat de Girona disposa de diferents retalls de *honeycomb* procedents d'anteriors projectes. Les dimensions de cel·la són les següents: 1 cm de costat.

La geometria d'aquest redireccionador de flux, així com la del túnel del vent, s'han modelitzat i s'ha analitzat el comportament de les línies de flux al llarg de la instal·lació. Per contrastar la validesa de la simulació amb el cas d'estudi real s'han utilitzat paràmetres nominals com: una diferència de pressió generada pel ventilador de 350 Pa, una distància d'1 metre entre la seva sortida i el *honeycomb*, i un mallat de nou milions d'elements.

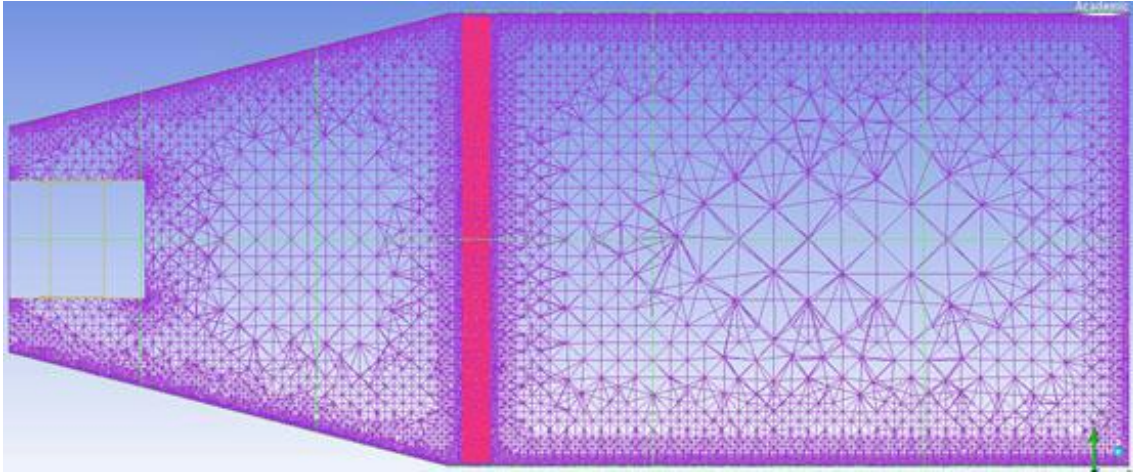


Figura 10: Mallat del túnel amb el *honeycomb* a la part central

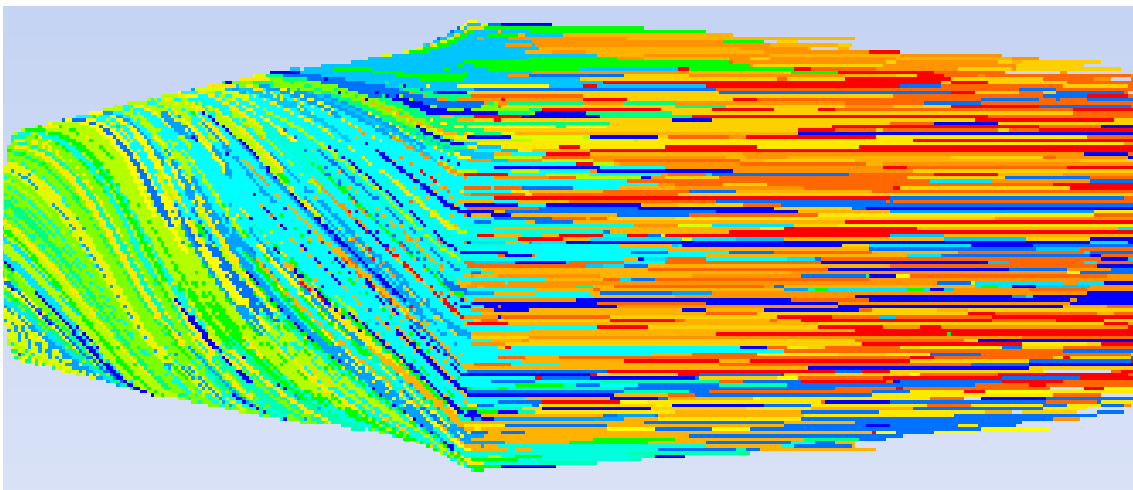


Figura 11: La simulació ens mostra la redirecció del flux de corrent

Una vegada acceptada la teoria del difusor per dirigir les línies de corrent de tal manera que maximitzin l'eficiència de l'aerogenerador s'ha procedit al muntatge del *honeycomb*. Davant de la necessitat d'obtenir una secció de malla circular, de diàmetre igual que l'interior del túnel cilíndric s'ha d'optimitzar un retall de dimensions irregulars i insuficients.

La geometria inicial d'aquest retall és la mostrada a la figura 12. El tipus de mallat (cel·les hexagonals) en fa difícil la unió entre parts i la fixació amb la paret interior del túnel. L'alt cost econòmic d'aquest element fa descartar la possibilitat d'adquirir una bresca de dimensions suficients per evitar el muntatge en trencaclosques. Per aquest motiu s'ha de buscar una solució per la fixació

interna i una correcta optimització del retall per afavorir tant les condicions de muntatge com la seva seguretat de funcionament a posteriori.

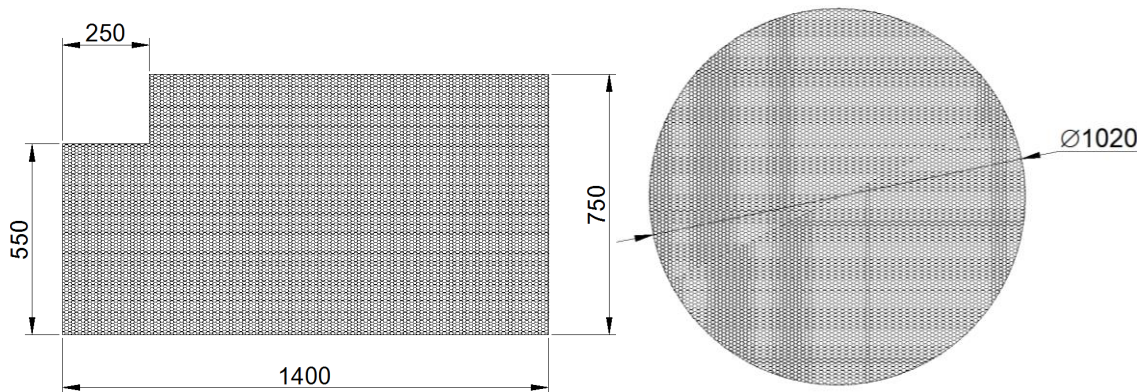


Figura 12: Retall existent i retall desitjat.

#### 4.2 Descripció del ventilador seleccionat

Per assajar a tots els rangs de l'aerogenerador del laboratori és necessari un ventilador capaç de subministrar un cabal suficientment gran i que les seves dimensions siguin tant petites com sigui possible. Un projecte anterior, *Mise au point d'un banc d'essais de mini-éoliennes* – Sébastien Bonné (2016), es va encarregar d'elegir un ventilador que complís aquestes especificacions: TGT/2-630-6/30-LP-18.5kW de Soler & Palau.



Figura 13: TGT/2-630-6/30-LP-18.5kW de S&P



Es tracta d'un ventilador helicoïdal tubular galvanitzat en calent, àleps d'alumini tipus "aerofoil", amb casquet d'arrossegament d'acer i motor trifàsic. El seu cabal de treball operant a 50 Hz és de 34.200 m<sup>3</sup>/h i la seva potència és de 18.5 kW. Negligint els efectes del fregament, el valor de velocitat nominal a la sortida del túnel de vent, a efectes de continuïtat, hauria de ser de 12.1 m/s (43.5 km/h).

El diàmetre i l'amplada són 630 mm i 600 mm respectivament, i el seu pes és de 187 kg.

La intensitat desenvolupada per aquest motor de dos pols és de 33.7 A / 19.5 A, així doncs, utilitzant un variador de freqüència de commutació automàticament d'estrella a triangle, no hi ha d'haver problemes de dimensionament elèctric per treballar en una presa de corrent de 32 ampers (actualment el laboratori en disposa d'una).

## **4.3 Disseny del nou suport**

### **4.3.1 Especificacions**

Una vegada adquirit el nou ventilador cal dissenyar un suport que el sostingui a un metre i mig d'alçada tenint en compte, no només la càrrega estàtica, sinó també les forces dinàmiques, com l'empenta o les vibracions.

És important assegurar, no només la seguretat física o mecànica, sinó una estètica reforçada que doni sensació de seguretat a l'usuari. Les condicions que haurà de complir aquest suport hauran de ser les següents:

- Aguantar el pes del ventilador sense deformar-se
- No bolcar en cap condició
- No entrar en ressonància amb el ventilador (vibracions)
- Ser fàcil de moure, traslladar i fixar
- No tenir arestes vives que puguin causar accidents

### 4.3.2 Metodologia

- Es calcularan les càrregues a les quals es sotmet el suport (Annex H.3)
- Es dissenyarà un model pla del suport (Annex G)
- Es dissenyarà un model tridimensional del suport (Annex G)
- S'afegiran els elements de reforç que es creguin oportuns (Annex G)
- Es realitzaran els canvis necessaris a fi de millorar la seva resistència (Annex G)

### 4.3.3 Descripció general de l'estructura

El disseny final del suport ha estat fruit de nombroses revisions i modificacions d'una versió original molt més simple. La seva geometria ha estat calculada tenint en compte les càrregues estàtiques i dinàmiques del ventilador. El croquis inicial parteix d'una selecció entre diferents opcions vàlides en funció de la seva estètica i de la valoració de professionals industrials.

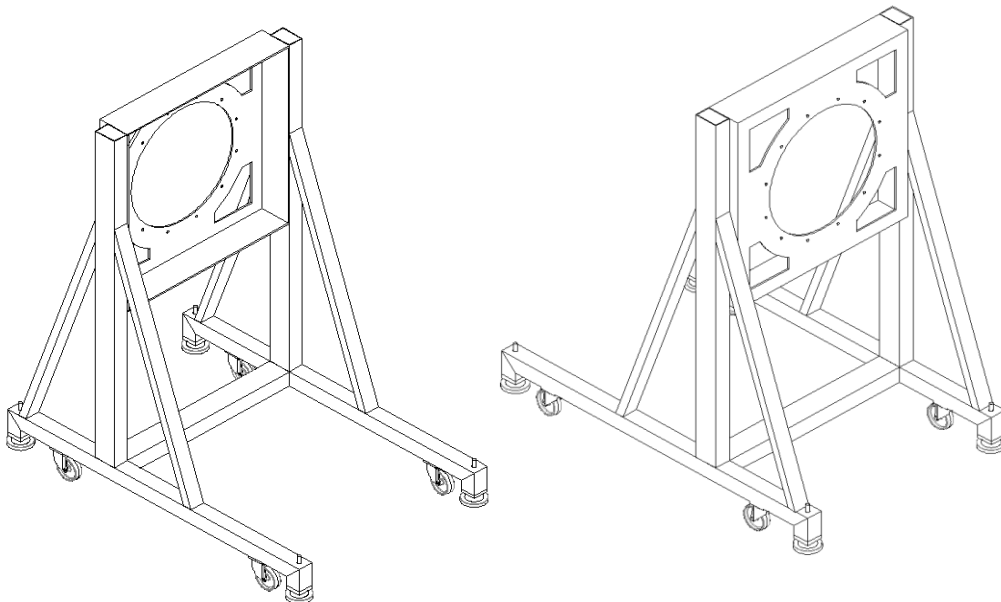


Figura 14: Croquis del suport definitiu

L'estructura aguantarà el ventilador en voladís per mitjà de dotze cargols situats concèntricament al llarg de la seva cara frontal. Es podrà moure

gràcies a la presència de quatre rodes giratòries i es fixarà al sòl utilitzant peus articulats d'altura regulable.

L'estructura és tubular a excepció de la caixa de reforç a on es connecta el ventilador. El material és acer al carboni ST-37.2 laminat en calent i l'acabat és pintat amb color blau RAL 5012 setinat (el mateix que el suport de fusta del túnel i de l'anterior suport TBT/2-450). Els perfils emprats, soldats entre si, són varis i els veurem a continuació pintats de color negre:

- Tub rectangular de 120x60x3 mm: Dos tubs verticals actuen com a pilars per aguantar la caixa. L'estructura és simètrica respecte el pla que els separada i les dues parts estan unides a la part inferior per un travesser de la mateixa secció. Es tracte del perfil més gran de què està construït el suport i té la funció d'aguantar la major part de la càrrega sense vinclar ni cedir a fatiga, degut als esforços fluctuants fruit de les càrregues centrífugues. L'altura dels pilars bé determinada per l'alçada a la que s'ha d'ubicar el ventilador respecte el terra i la llargada del travesser per l'amplada del túnel de vent. Es tapen els tubs verticals amb una xapa de 120x60x3 mm del mateix material apuntant-ne els extrems (amb la finalitat de millorar l'estètica del suport).

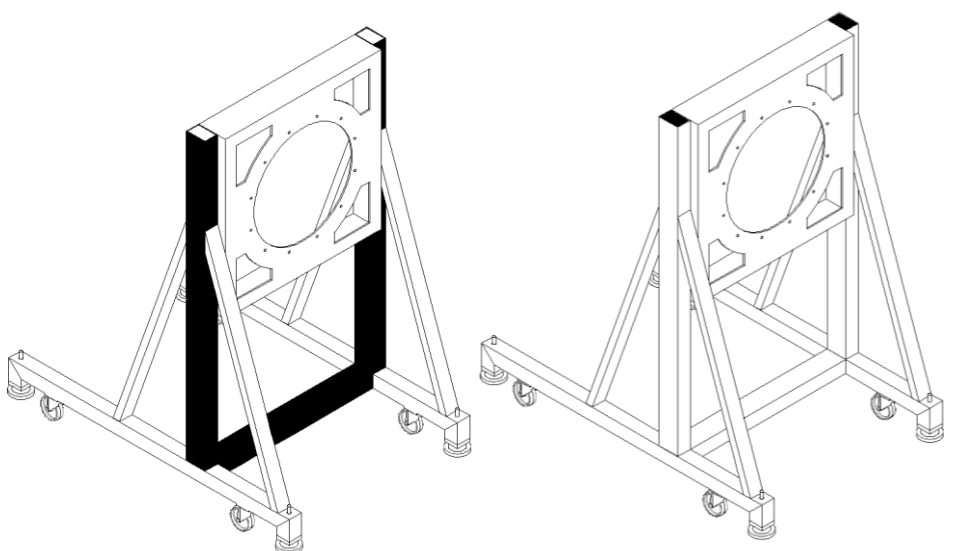


Figura 15: Tubs de secció 120x60x3 mm i taps de xapa 120x60x3 mm

- Tub quadrat de 80x80x4 mm: Dos tubs horitzontals i quatre tubs verticals que conformen la base sobre la qual reposa el pes del suport. El seu gruix de 4mm i la inèrcia de la seva secció tenen la funció de minimitzar la seva fletxa. Els extrems es tallen a 45° per facilitar-ne la soldadura i la guanyar resistència. La seva longitud ve determinada per la posició del ventilador i, per tant, pel centre de gravetat total de l'estructura, així com la força de l'empenta per prevenir-ne la bolcada.

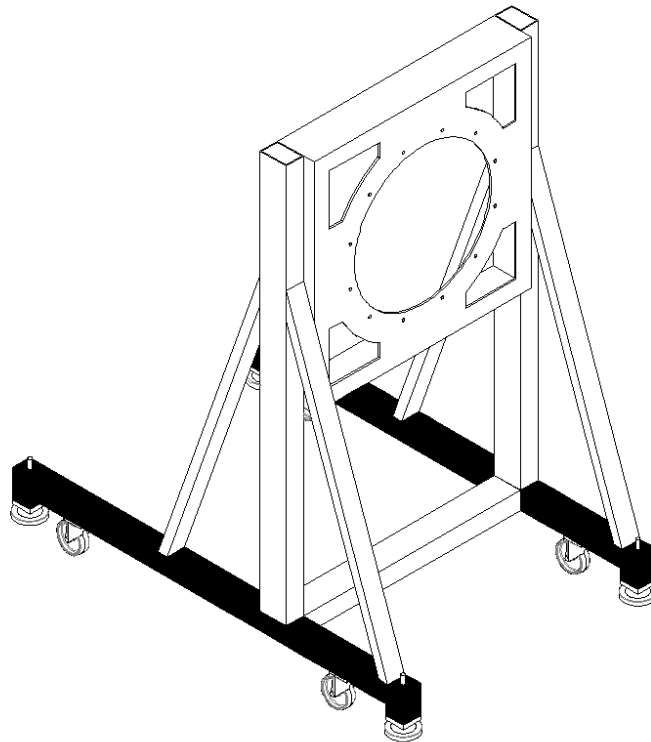


Figura 16: Tubs de secció 80x80x4 mm

- Tub rectangular de 80x40x2 mm: Aquests quatre tubs recolzats entre els pilars i els tubs (base) horitzontals actuen com a tornapunts. La seva funció és similar a la d'una cartel·la: reforçar els pilars davant d'esforços perpendiculars i evitar que flectin i donar consistència a la geometria del suport davant de la fatiga causada per vibracions. L'espessor d'aquests tubs és de dos mil·límetres perquè l'esforç que han de suportar és molt menor que els altres, recordem que es tracte d'un complement de reforç.



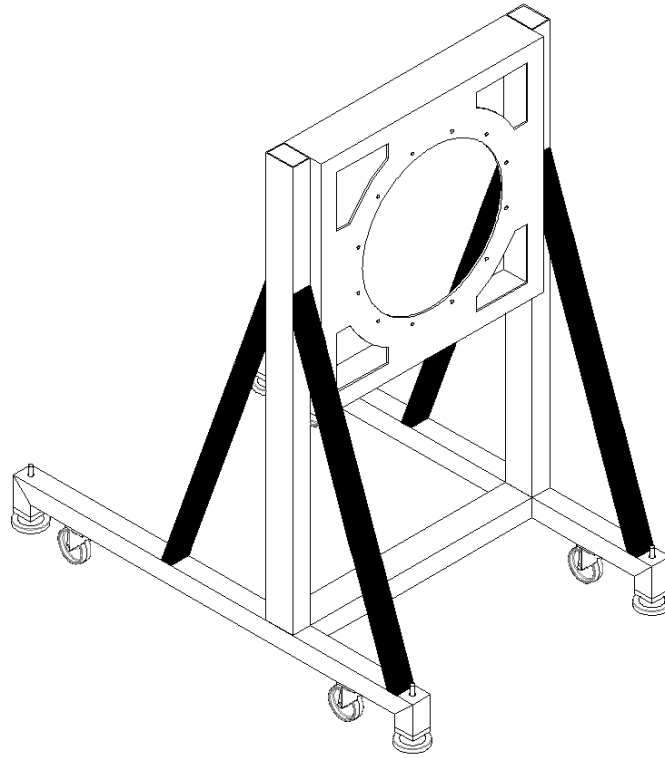


Figura 17: Tubs de secció 80x40x2 mm

- Xapa de 8 mm de gruix: És l'element de suport central i l'únic que està en contacte amb la brida frontal del ventilador. Aquesta "caixa" està formada per tres peces: una peça tallada a làser amb els forats d'unió amb el ventilador, el diàmetre del ventilador i el buidatge corresponent a l'eliminació de material sobrant per alleugerir el seu pes, i dos tapes laterals, també del mateix gruix.

La peça tallada a làser, es plegarà per l'extrem superior i pel l'extrem inferior aconseguint un perfil en forma de "U", i finalment se li soldaran dos tapes laterals de forma rectangular.

La geometria en forma de caixa té la finalitat de donar més consistència i resistència a l'estructura, ja que el ventilador està situat en voladís i interessa que el cordó de soldadura sigui paral·lel a l'eix del ventilador per aguantar el moment generat per aquest.

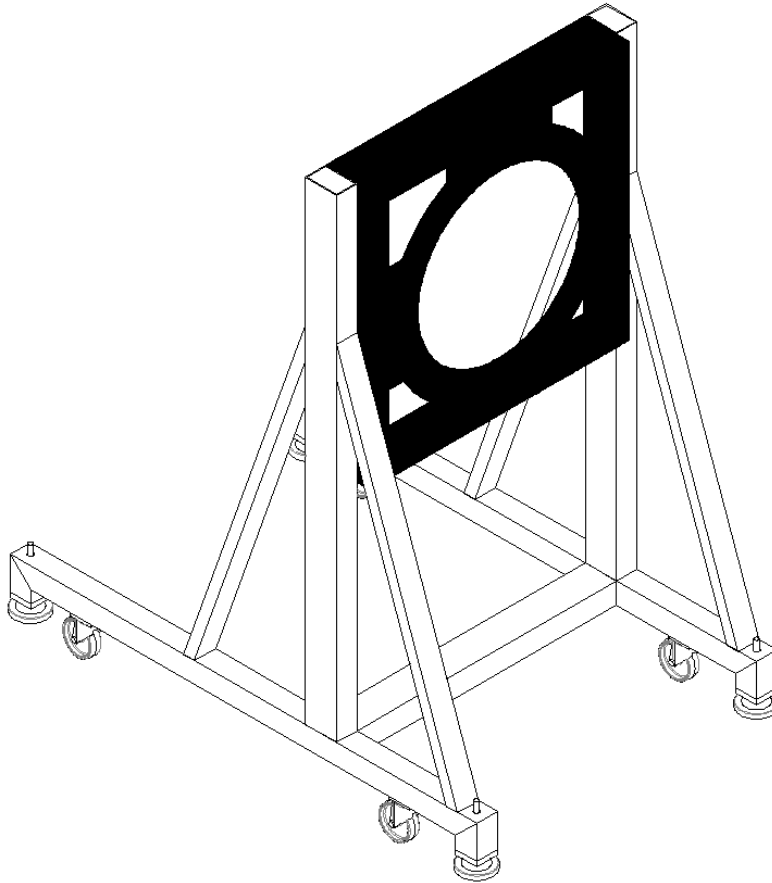


Figura 18: Caixa de xapa de 8 mm

- Platines de 15 i 8 mm: Tant les rodes com els peus d'alçada graduable es fixen amb un cargol o una tija roscada. Així doncs, és necessari roscar un cert gruix de material suficient per aguantar tot el pes de l'estructura: del suport i del ventilador. Per tal d'aconseguir aquest gruix a la base (recordem que els tubs horitzontals longitudinals són de 80x80x4 mm) necessitem soldar-hi unes platines quadrades i seguidament foradar-les amb un diàmetre lleugerament inferior a la mètrica desitjada i roscar-les, ja sigui manualment, o amb una màquina de roscar automàtica. S'ha considerat un gruix de 11 mm per les rodes (3 del tub + 8 de la platina) i un gruix de 15 mm per cada peu regulable, ja que no hi ha cap més topall que una femella i, per tant, cal reforçar la quantitat de passos per evitar trencar algun fil de rosca i debilitar l'estructura.

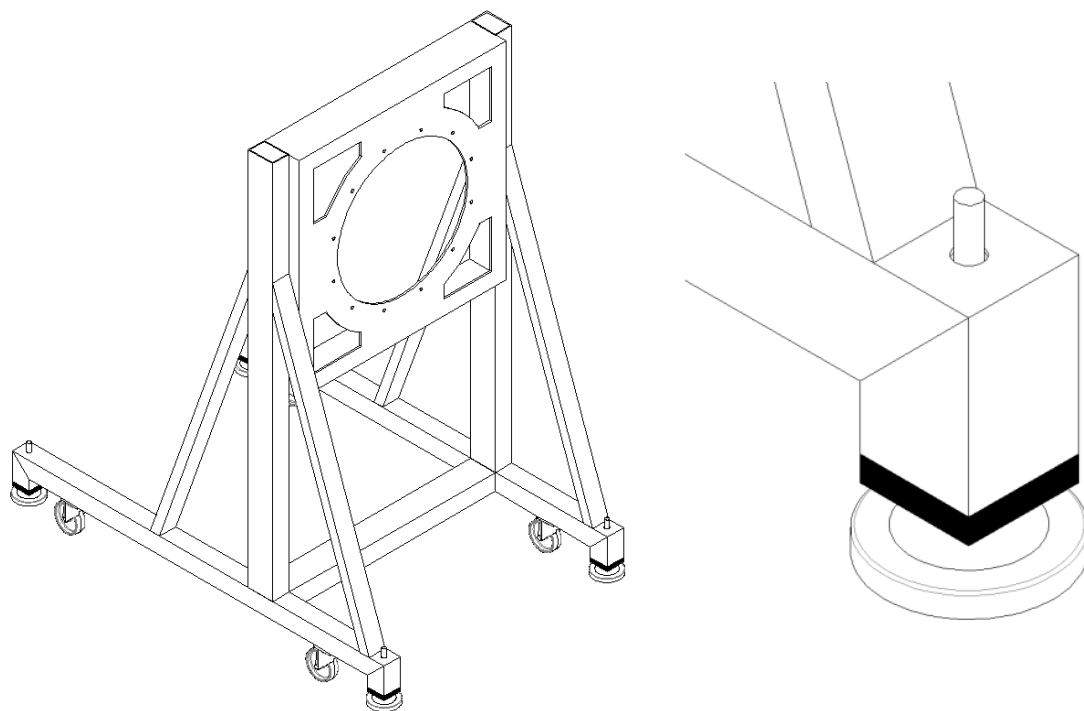


Figura 20: Posició i detall de les platines de 15 mm

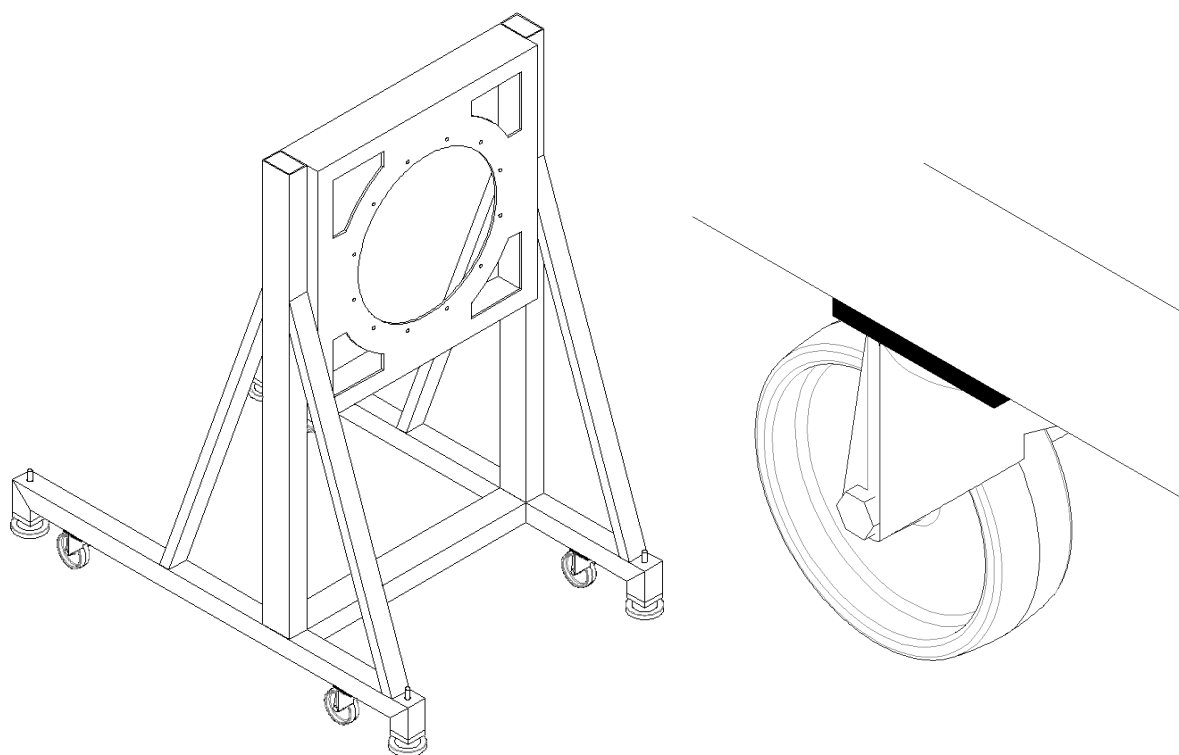


Figura 19: Posició i detall de les platines de 8 mm

- Peus regulables: La incorporació de peus regulables comporta tres grans avantatges:
  - La rosca de la seva tija permet aixecar o baixar tota l'estructura amb una clau fixa o anglesa independentment del pes total.
  - La ròtula de què disposa el peu regulable permet adaptar-se a terrenys irregulars o amb pendent.
  - Aquests peus tenen uns tacs d'elastòmer com a base que funcionen com a *silentblock*, aïllat l'estructura del terra i evitant problemes com a conseqüència de les vibracions.

Els peus adquirits són del model D.120 17395 de Presso Line. La seva base és de Ø123 mm, l'alçada és de 225 mm i la rosca és M16.

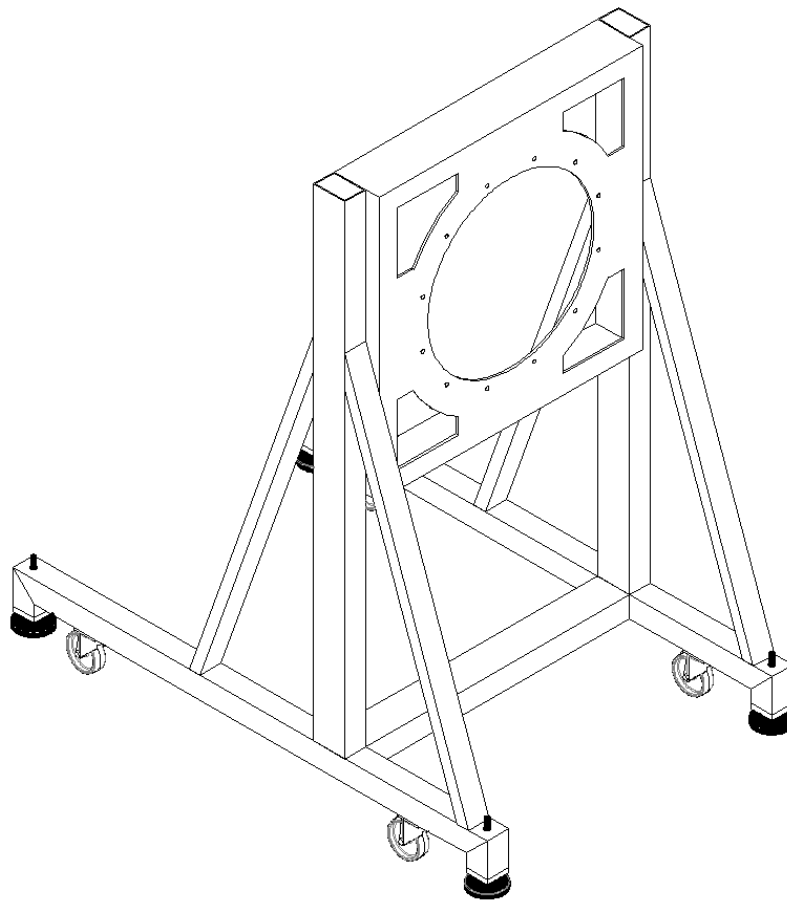


Figura 21: Peus de goma vulcanitzada amb ròtula i alçada regulable

- Rodes giratòries: Aquestes rodes van unides a la base del suport amb un únic cargol M12 i poden girar lliurement gràcies a un rodament de boles situat a l'extrem superior. Les rodes seleccionades pertanyen al model BETA+ M22 12612 FB de LAG, la roda és de Ø125 i el seu material és goma elàstica. L'alçada total és de 154 mm i cada una pot suportar un pes de 120 kg. El material gomós i el petit diàmetre fan que es necessiti força per desplaçar-lo, per tant, que es mantingui estable en un lloc encara que existeixi una petita pendent. Tanmateix, és una solució còmode perquè una única persona l'acomodi lliurement. Cal dir que el model escollit no té fre, ja que interessa que s'utilitzin els peus articulats per davant de tot.

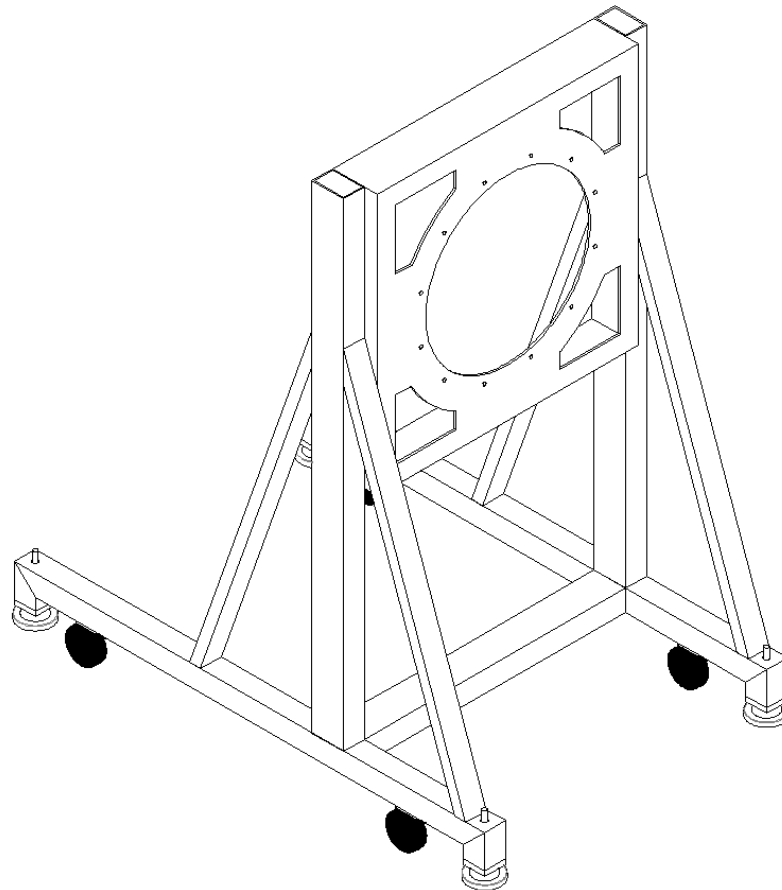


Figura 22: Rodes de goma giratòries Ø125

#### 4.3.4 Dimensions principals

Les dimensions totals del suport són les següents (SP: 00-12-SUPPORT):

- Llargada: 1800 mm
- Amplada: 1160 mm
- Alçada\*: 2140 mm

\*Valor mínim de l'alçada (quan les rodes estan en contacte amb el terra).  
Cargolant els peus regulables s'assolirà una alçada màxima de 2270 mm.

El seu pes és de 170 kg.

#### 4.3.5 Simulacions per elements finits

Per a realitzar les simulacions és convenient simplificar parts complexes del conjunt, difícils de mallar i que allarguin el temps de càlcul de manera innecessària.

El software utilitzat per portar-les a terme serà el paquet *Simulation* de SolidWorks, ja que és el mateix programa de CAD que s'ha fet servir per a dibuixar-lo.

La finalitat d'aquest anàlisi és garantir el correcte dimensionament de l'estructura i prevenir-lo de qualsevol accident, reforçant-ne les zones crítiques. Els informes extrets d'aquest estudi seran en concepte de tensions, deformacions i coeficients de seguretat.

##### 4.3.5.1 Geometria

S'aprofitarà el model generat en la fase de disseny, considerant dos únics conjunts: el suport (sense peus regulables ni rodes) i la carcassa cilíndrica, sense el motor ni la hèlix.

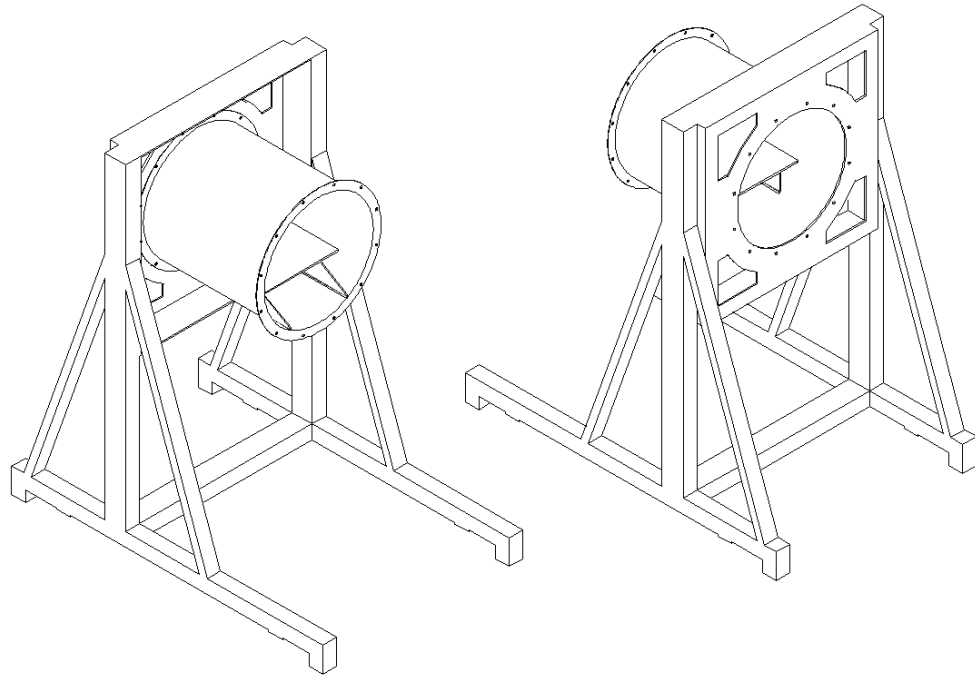


Figura 23: Vista isomètrica de la geometria a mellar

#### 4.3.5.2 Subjecció amb el terra

El suport es recolza al sòl gràcies a quatre peus regulables que actuen, al mateix temps, com a *silentblocks*. La seva finalitat és alleugerir l'efecte de les vibracions actuant com un ressort. No obstant, han aparegut problemes de definició en el transcurs de les simulacions i no s'ha pogut considerar aquest fet (poc rellevant a estàtica, ja que el coeficient d'elasticitat de la seva goma és deforma mínimament).

Per tant s'ha considerat una unió de frontissa i recolzament puntual (Simplificant d'aquesta manera el sistema).

#### 4.3.5.3 Unió entre elements

El suport és format per un conjunt de tubs i una peça de xapa plegada situada entre els pilars de l'estructura. El sistema d'unió entre aquests perfils és la soldadura, no obstant, per a simplificar els càlculs s'ha considerat una única peça o bloc.

Per altra banda, el ventilador sí que és un element adjunt i cal parametritzar-ne el tipus d'unió. Les dues peces es fixen gràcies a 12 cargols i 12 femelles (obviant la presència de volanderes) i el paquet de simulació ens permet configurar-ho de manera senzilla.

#### **4.3.5.4 Carregues**

Les càrregues que necessiten ser definides per a la simulació són les següents:

- Pes del suport: el càlcul és automàtic després de definir la geometria i el material (considerant el valor de la gravetat,  $9.81 \text{ m/s}^2$ ), el seu valor és de 1650 N.
- Pes del ventilador: es considera una càrrega distribuïda perpendicular al mateix pla on reposa. La seva massa és de 187 kg (1835 N, veure Annex C).
- Empenta del ventilador: el valor de l'empenta varia segons la freqüència de gir de la hèlix i és directament proporcional a la diferència de pressió total entre l'aspiració i la impulsió. El seu valor a règim nominal (50Hz) és de 325 N (veure Annex C).

#### **4.3.6 Resultat de les simulacions**

Les simulacions apunten que el coeficient de seguretat de l'estructura, a estàtica, és de 20. El resultat és satisfactori i garanteix la seva funcionalitat i resistència tant a nivell de fatiga com a nivell de vibracions. Als annexos H.5 i H.6 es poden diferenciar, gràcies a les escales de colors, les regions més sol·licitades. Tanmateix, l'estructura s'ha sobredimensionat no només per qüestions de seguretat sinó també per raons estètiques. Les simulacions de fatiga i vibracions han estat també satisfactòries: la vida de l'estructura pot ser considerada com a infinita i la màxima deformació causada per les vibracions és de l'ordre de la dècima de mil·límetre.



## 5 FABRICACIÓ

### 5.1 Fabricació del condicionador de flux

Maquinària necessària:

- Serra de vaivé

Eines complementàries:

- Cinta mètrica
- Guants
- Estisores de xapa
- Ulleres de protecció
- Guix
- Un cordill (mínim 510 mm)
- Un tornavís
- Gomets (4)

Material necessari:

- Panell *honeycomb* de 700x1400x60mm

Fabricació del condicionador:

La fabricació de condicionador de flux es realitzarà a partir d'un retall de geometria irregular de què disposa el departament. No obstant caldrà retallar-lo en diferents parts i ajuntar-les per acabar formant un perfil circular de 1 metre de diàmetre. El full de ruta, tant del procés d'optimització del retall, com el seguit per retallar-ne les part estan detallats a l'Annex A.

## 5.2 Fabricació del suport

Maquinària necessària:

- Serra de cinta
- Cisalla
- Plegadora
- Trepant
- Màquina de roscar forats
- Equip de soldadura MIG/MAG
- Màquina de tall amb làser CNC

Eines complementàries:

- Peu de rei
- Cinta mètrica
- Nivell
- Guants
- Ulleres de protecció
- Pantalla o màscara de soldar
- Llapis de ferrer
- Punxó de marcar
- Massa gran
- Martell
- Mola portàtil
- Disc de tallar 1 mm
- Disc de làmines 115 mm
- Disc de desbast 115 mm
- Broca de Ø10.5 mm
- Broca de Ø14 mm
- Broca de Ø20 mm
- Broca avellanadora cònica
- Mordassa portable
- Taula de treball

- Mascle M16
- Mascle M12
- Taladrina o oli de tall (0.5 L)
- Drap
- Cavallets metàl·lics
- Fil continu per soldar (MIG/MAG) 1mm
- Bombona de gas (Ar, CO<sub>2</sub>) per soldar
- 2 serjants estàndard
- Pinzell
- Rodet per pintar
- Clau anglesa
- Escarpa

Material necessari:

- Perfil S235JR tubular rectangular de 120x80x3 mm, 4662 mm
- Perfil S235JR tubular rectangular de 80x80x4 mm, 4120 mm
- Perfil S235JR tubular rectangular de 80x40x2 mm, 5652 mm
- Passamà S235JR 80x15 mm, 320 mm
- Passamà S235JR 80x8 mm, 320 mm
- Xapa S235JR 8 mm, 984x324x8 mm
- Xapa S235JR 3 mm, 240x80x3 mm
- Dissolvent universal 1 L
- Pintura imprimació gris 0.5 L
- Pintura RAL 5012 0.5 L
- Esprai antiadherent per soldar

Fabricació del suport:

El suport es fabricarà segons les especificacions dels annexos i el document de plànols, on hi figuren el conjunt i l'especejament per peces.

## 6 MUNTATGE

### 6.1 Fixació del condicionador de flux

S'enganxarà una junta adhesiva en el perímetre interior de la part cilíndrica del con (a 200mm de l'inici). Seguidament s'introduiran, peça a peça, les diferents parts que conformaran el perfil circular final.

S'haurà d'exercir gran pressió per tal d'acomodar totes les peces amb la major resistència possible. És recomanable deformar la geometria de les parts una vegada introduïdes per aconseguir un bon enclavament.

És de gran importància que el condicionador quedi ben fixat, ja que si es desprengués una part degut a règims alts de gir, la gran velocitat de sortida podria causar accidents.

Una vegada fixat el suport assegurar-ne la seva resistència i rigidesa per mitjà d'un dinamòmetre o una càrrega aplicada coneguda per garantir-ne la seguretat.

Eines complementàries:

- Estisores de xapa
- Guants
- Tornavís o un objecte llarg que ens permeti fer palanca

Material necessari:

- Junta de goma adhesiva de perfil "D" (3.2 metres)
- Parts de *honeycomb* (SP:)

Procés de muntatge:

El procés de muntatge i la descripció de material està detallat a l'annex A.

## 6.2 Fixació del ventilador

El ventilador es fixarà al suport juntament amb la protecció d'aspiració tal i com es veu a la figura inferior, amb 12 cargols concèntrics.

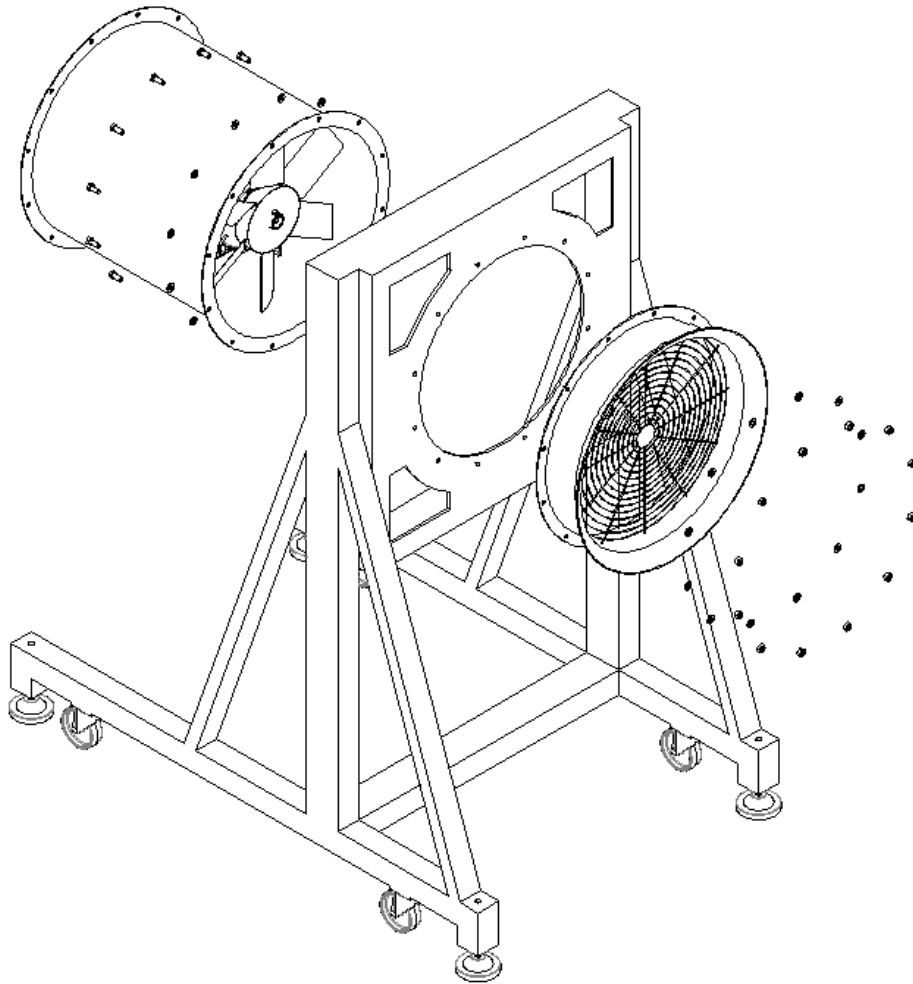


Figura 24: Vista isomètrica de l'explosió del muntatge del suport

Eines complementàries:

- Ploma lleugera portàtil (min 200 kg)
- 2 bragues de més de 630mm de diàmetre
- 2 claus angleses
- Guants
- Lima rodona de desbast inferior Ø12mm
- Guants

Material necessari:

- Suport del ventilador
- Ventilador TGT/2-630-18.5kW S&P
- Complement protecció S&P pel model de ventilador
- 12 cargols zincats DIN933 M12x30mm
- 12 femelles zincades DIN934 M12
- 12 volanderes zincades DIN433 Ø12mm
- 12 volanderes zincades tipus grower DIN127 Ø12mm

### 6.3 Configuració elèctrica

La instal·lació d'un quadre elèctric està contemplada en el programada d'adaptació del túnel de vent, però degut a la manca de temps s'ha connectat el variador de freqüència ATV630D22N4 directament al motor a la presa de corrent (400V, línia trifàsica).

Per a realitzar les connexions detallades a l'annex O es necessitaran els elements llistats a continuació.

Eines:

- Pela-cables
- Alicates
- Multímetre
- Tornavís

Material:

- Cinta aïllant
- Terminals elèctrics
- Cable trifàsic 4x16
- Endoll per a presa trifàsica de 400V

## 6.4 Configuració del circuit de generació

La única modificació que rebrà el circuit alimentat per l'aerogenerador serà el canvi de reòstat. Anteriorment, el banc disposava d'un reòstat de 0-100 $\Omega$  per assajar l'anterior aerogenerador, de dimensions i potència majors.

D'aquesta manera, s'haurà de modificar lleugerament, la connexió entre components.

## 6.5 Dimensions totals del banc de proves nou

- Llargada: 4755mm
- Amplada: 1420mm
- Alçada: 2110mm

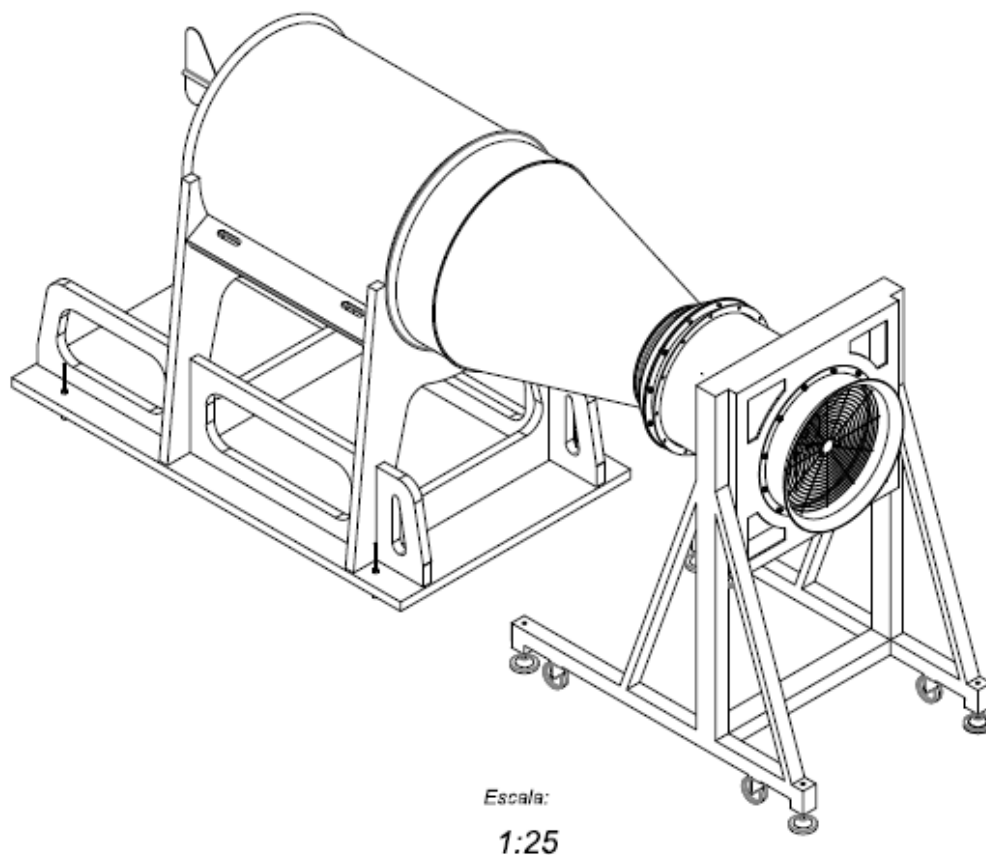


Figura 25: Perspectiva isomètrica del banc de proves nou

## 7 POSADA EN MARXA

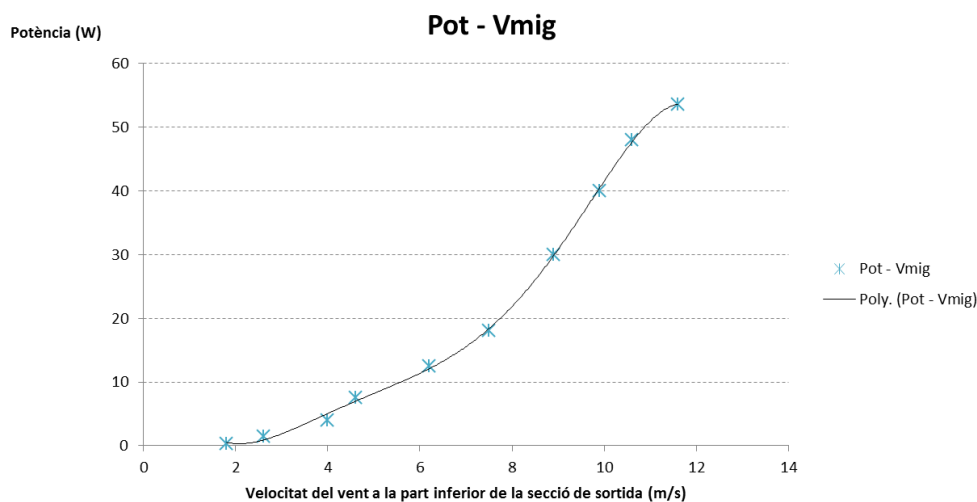
### 7.1 Realització de les proves

L'objectiu del banc d'assajos és, principalment, trobar la corba de potència de l'aerogenerador. En funció de la freqüència de gir de la hèlix del ventilador, augmentarà o disminuirà la velocitat del vent. El assajos es realitzaran fins a la freqüència nominal del ventilador (50Hz). La velocitat de sortida (impulsió) a aquesta freqüència és de 30.5 m/s, llavors, per l'equació de continuïtat, a la sortida del túnel de vent serà de 12.1 m/s.

Es generaran valors de velocitat d'entre 0 i 12.1 m/s i s'anotarà la potència màxima absorbida pel reòstat variant el valor de la resistència per a cada freqüència. Així s'obtindrà una corba de potència de l'aerogenerador.

### 7.2 Resultat de les proves

La potència màxima generada no arriba als 60W, no obstant el certificat del proveïdor assegura que el seu valor útil és de 90W, cosa que fa desconfiar de la seva validesa. El valor màxim assolit és molt proper a la freqüència nominal del ventilador.



Gràfica 1: Corba de potència de l'aerogenerador

Les vorticitats a la sortida del túnel fan molt difícil que es pugui trobar un valor mig de velocitat, ja que aquesta, en un mateix punt, varia considerablement al llarg del temps.



## 8 CONCLUSIONS

El banc de proves funciona correctament, permetent assajar l'aerogenerador en diferents rangs de velocitat i obtenir la seva corba de potència. D'aquesta manera, es poden contrastar les dades del fabricant amb les dades experimentals. El certificat de compra assegura que la seva potència útil és de 90W. No obstant, el pic de potència obtingut està als voltants de 55W. Seria convenient assajar el banc de proves a 55 o 60Hz (per sobre de la freqüència de gir nominal del ventilador) i analitzar si la potència continua augmentant o disminueix.

El condicionador d'aire incorporat a l'entrada del túnel de vent no realitza la seva funció correctament. En contra dels resultats de les simulacions CFD, no aconsegueix eliminar completament les vorticitats a la sortida. Això fa que la velocitat en aquest punt no sigui uniforme i variï constantment, tant en la posició de presa com en el temps.

El disseny del suport compleix els requeriments tècnics i ofereix una estètica segura.

Entre el ventilador i la brida d'unió amb la junta "Acopel" hi ha situada una protecció. Aquest impàs fa que hi hagi una petita fuga al voltant de tot el protector. Tanmateix, pèrdua de càrrega pot ser considerada negligible.

El mòdul d'adquisició de dades de *National Instruments* compta amb un amperímetre de, com a màxim, 5A. Per no sobrepassar aquest límit, s'aconsella no assajar amb aquesta targeta amb freqüències de més de 42Hz (en resistències de més del 60%, o 15 $\Omega$ ). Per trobar el pic de potència a 50Hz caldria desconnectar el mòdul i, en comptes d'utilitzar *LabView*, utilitzar dos multímetres convencionals i multiplicar els valors de voltatge i intensitat per trobar la potència.

Cal bloquejar la rotació de l'aerogenerador respecte l'eix vertical. Això es pot aconseguir immobilitzant el penell o foradant el tub-suport i, després de roscarlo, col·locar-hi un cargol per evitar el gir. Això es deu per motius de seguretat.

## 9 RESUM DEL PRESSUPOST

<b>Execució material</b>		<b>Preu (€)</b>
Fabricació i muntatge del condicionador		80,30
Fabricació, muntatge i subministrament del suport		1.064,50
Muntatge final, posada en marxa i assajos		629,44
Procés de disseny i redacció		3.820,00
SUMA		5.594,24
Despeses d'estructura	12%	671,31
Distribució i cobrament	9%	503,48
Benefici industrial	15%	839,14
SUMA		7.608,17
<b>PREU FINAL</b>		<b>*7.608,17 €</b>

El pressupost per a instal·lar i posar en marxa el banc de proves de generació eòlica puja a:

set mil sis-cents vuit euros amb disset cèntims

\*Aquest preu s'incrementarà un 21% en concepte d'IVA

## **10 RELACIÓ DE DOCUMENTS**

- Document 1: Memòria i annexos
- Document 2: Plànols
- Document 3: Plec de condicions
- Document 4: Estat d'amidaments
- Document 5: Pressupost

## 11 BIBLIOGRAFIA

1. BONNÉ SÉBASTIEN, *Mise au point d'un banc d'essais de mini-éoliennes*. Escola Politècnica Superior – Mines Albi-Carmaux, 2015.
2. R. MARTÍNEZ, *Ventilador requerido para un túnel de viento*. Universitat de Nacional de Colòmbia, 2010.
3. UNE-EN ISO 14175: *Consumibles para el soldeo. Gases de protección para el soldeo por fusion y procesos afines*. 2009

- Soler & Palau Indústria, S.L (S&P): Ventilació industrial:

[www.solerpalau.es](http://www.solerpalau.es)

- LAG S.p.A: Fabricant de rodes industrials i complements:

[www.lagspa.it](http://www.lagspa.it)

- System plast – Presso line: Fabricant d'anivelladors de màquines, cintes transportadores, etc.

<http://www.systemplastsmartguide.com/>

## 12 GLOSSARI

*Honeycomb*: significa “bresca”, “niu d’abelles”. Es tracte d’un panell o malla d’alumini format per cel·les de forma hexagonal. S'utilitza tant en el moment de la construcció (per la seva lleugeresa), com en el món de l'aerodinàmica per laminar fluxos de corrent (com és el cas d'aquest projecte).

*Streamline*: significa “línia de corrent”. Representa l'evolució del vector velocitat del conjunt de partícules que recorren un conducte de fluid. La finalitat del honeycomb és que aquestes línies siguin el més recte possible.

*Flow straightener*: significa “condicionador de flux”. En aquest muntatge, el *honeycomb* realitza la funció de condicionador o redireccionador de flux.

*Silentblock*: peus o tacs de goma que es col·loquen a la base de les màquines que tenen un eix en rotació i aïllen l'estructura del terra per evitar problemes relacionats amb les vibracions.

*Acopel*: és el nom d'una junta de tela. Es tracte d'un producte elaborat per la companyia Soler & Palau, la funció del qual és tancar un túnel de vent entre dos elements de geometria o dimensions diferents. L'acoblament es fa per mitjà de dues brides metàl·liques de diàmetre regulable per mitjà d'un cargol vis sens fi.

*CAD*: són les sigles de *Computer-Aided Designing*, que significa Disseny Assistit per Ordinador. Per dibuixar els plànols d'aquest projecte s'han utilitzat softwares CAD com AutoCad i SolidWorks.

*CFD*: són les sigles de *Computational Fluid Dynamics*, que significa Dinàmica de Fluids Computacional. Per simular el comportament de l'aire a dins del túnel s'ha utilitzat el paquet Fluent de ANSYS, un exemple de software CFD.

*SolidWorks*: software CAD en 3D que té una gran varietat d'opcions de disseny, així com paquets per simular comportament de fluids (CFD) o simular deformacions o tensions que pateixen les estructures dibuixades sota càrregues i condicions de contorn prèviament definits.

*SAP2000*: software de simulació 2D que permet representar estructures d'enginyeria civil i determinar la seva deformada en funció d'una combinació de càrregues.

*LabView*: eina gràfica de test, control i disseny que permet controlar, analitzar i presentar dades prèviament adquirides.

## ANNEX A: HONEYCOMB

### A.1 Definició del concepte

La paraula *honeycomb* (de l'anglès) significa bresca, i és que el paral·lelisme entre les cel·les d'aquest element constructiu i les d'un rusc d'abelles és ben visible. Aquest tipus de panell d'alumini, format per cel·les hexagonals, és utilitzat, sobretot, en la indústria aeronàutica i aeroespacial.

No obstant, aquest producte, té aplicacions en pràcticament en tots els àmbits constructius, ja que presenta un rati resistència-pes sorprenentment gran i, és aquesta la propietat que el fa atractiu. Els mercats on té més demanda són el sector aeroespacial, marina, defensa i indústria automobilística.

El rang de condicions en què el proveïdor pot subministrar aquest producte és gran. Es pot realitzar en diferents aliatges, pot rebre tractaments superficials, diferents gruixos de malles i la facilitat de tall que presenta fa possible que es pugui tallar en qualsevol forma i amplada.

És un producte resistent a forces perpendiculars a la seva superfície de malla (perpendicular a la profunditat dels forats), no obstant és fàcilment deformable quan les tensions són en les direccions ortonormals.



Figura 26: Imatge d'un panell d'alumini de nius d'abella

El gran desavantatge que presenta aquest element és el seu alt cost econòmic. Per aquest motiu la seva aplicació es redueix, únicament, a projectes on la lleugeresa dels elements constructius sigui una condició prioritària.

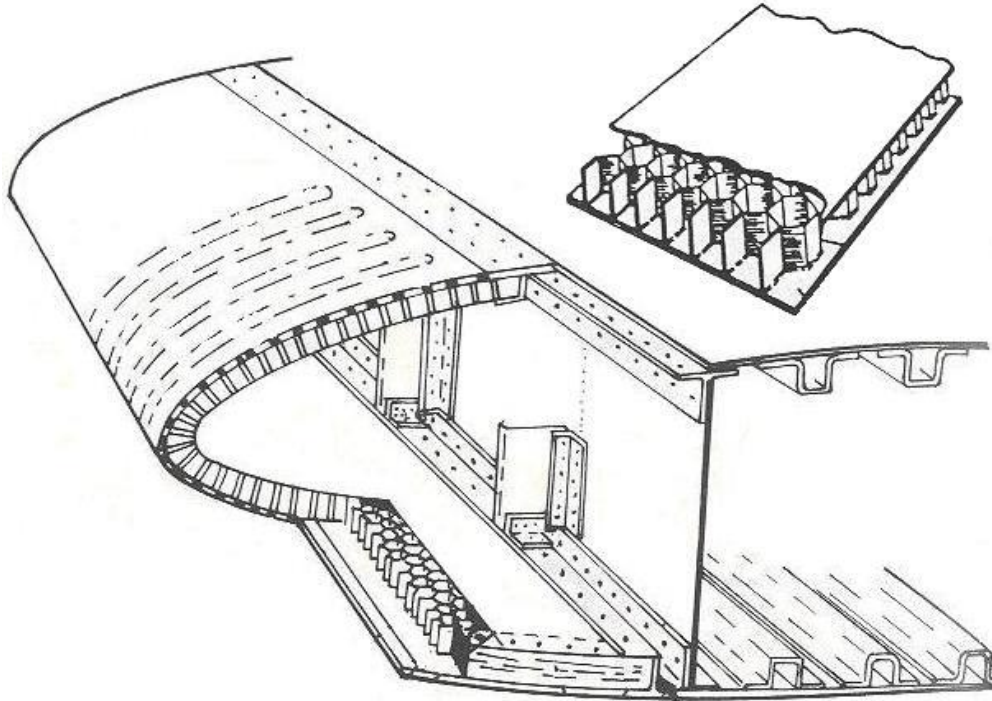


Figura 27: Aplicació del *honeycomb* en l'ala d'un avió

L'ús de la malla *honeycomb* en aquest projecte no és estructural. La seva funció serà redirigir les línies de flux d'aire procedents del ventilador i aconseguir que, després de passar per l'interior de les seves cel·les, en surtin rectes, sense turbulències ni vorticitats. El nom d'aquest procés s'anomena: redirecció o condicionador de flux (*flow straightener*) i s'utilitza en canonades i, menys comunament, a la sortida de ventiladors.



Figura 28: Aplicació de la malla com a condicionador de flux



## A.2 Aspectes a tenir en compte

L'execució d'un anterior projecte relacionat amb la construcció d'un túnel de vent (*Disseny d'un túnel de vent per a propòsits acadèmics*, Josep Bofill, 2007), va fer necessària l'adquisició d'un panell de *honeycomb* de grans dimensions. L'alt preu d'aquest element va fer que es guardés un retall sobrant amb la intenció d'aprofitar-lo en futurs treballs del departament.

Les dimensions d'aquest retall eren, pràcticament, les següents:

- Altura: 750 mm
- Llarga: 1400 mm
- Profunditat: 60 mm

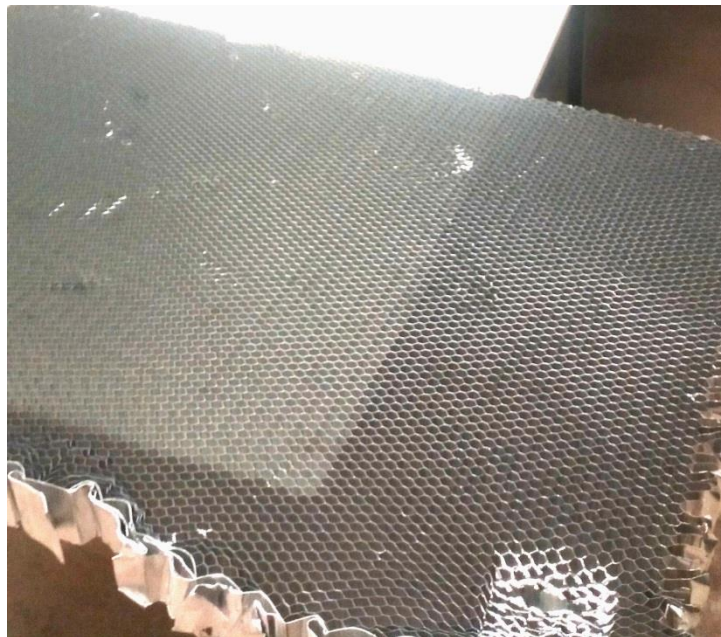


Figura 29: Imatge del retall inicial

Tanmateix, hi ha marques al llarg de la seva superfície. Aquestes marques, a nivell constructiu no suposen pràcticament cap desavantatge, però en el marc de la dinàmica de fluids poden representar unes pèrdues de càrrega considerables.

Les simulacions que certifiquen la correcta redirecció del flux s'han fet amb el *honeycomb* a una distància de 200mm de l'entrada del con (diàmetre gran). En aquest punt, el con disposa d'una entrada cilíndrica amb un diàmetre d'aproximadament 1 metre. Així doncs caldrà optimitzar el retall rectangular a fi d'obtenir-ne un de circular de les dimensions requerides.

### A.3 Optimització

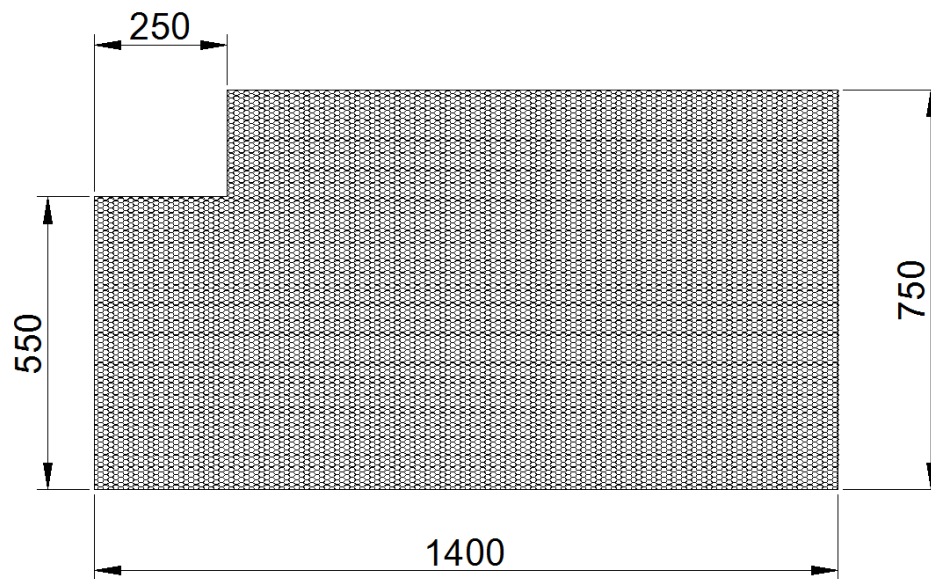


Figura 30: Dimensions del retall de *honeycomb*

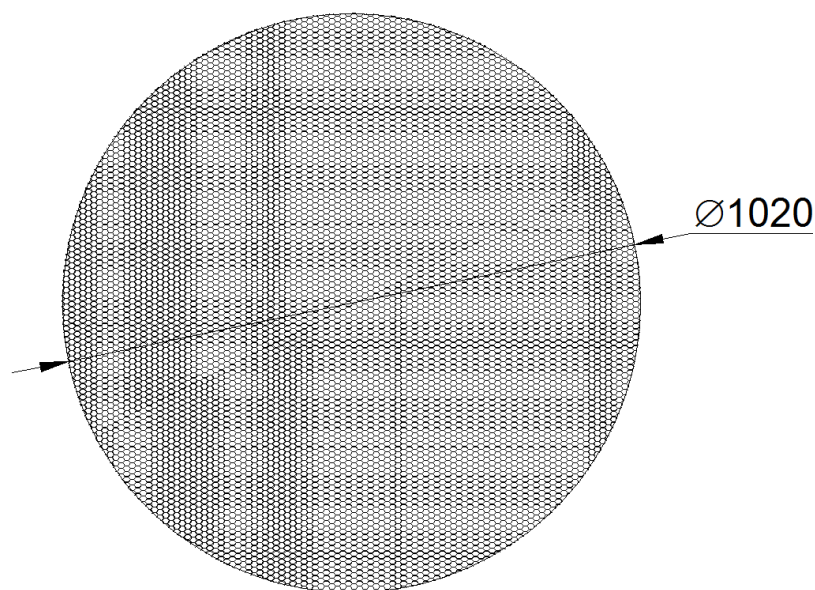


Figura 31: Dimensió requerida (sobredimensionada)

Mirant les cotes i la geometria de les figures superiors ja veiem que no n'hi ha prou en un sol retall per obtenir un perfil circular. Per tant, s'haurà d'ajuntar diferents parts per conformar la nova geometria.

En comptes d'1 metre, el diàmetre té un plus d'1 cm per banda a causa del solapament entre les diferents parts del muntatge, ja que es tracte d'una malla i les cares no són llises (necessàriament s'introduiran les unes dins les altres).

El següent pas serà dibuixar com quedaran distribuïdes les diferents parts del cercle sobre el retall antic, quina geometria tindran.

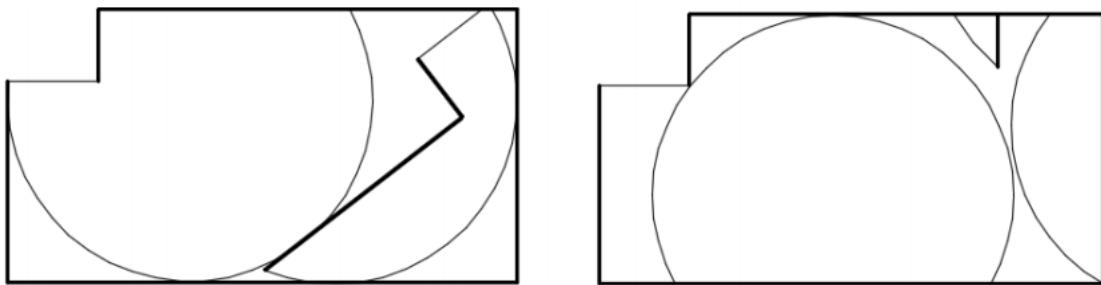


Figura 32: Possible optimització del retall

Cal tenir en compte que les arestes del retall estan malmeses, així que serà convenient obtenir un perfil net per tal d'aconseguir una millor precisió i solapament. Això reduirà les dimensions del retall però es guanyarà qualitat en l'acabat i en les prestacions de l'element.

Considerant la reducció de superfície, de 2cm per banda i el sobredimensionament del futur retall s'ha obtingut la següent distribució, de 4 peces:

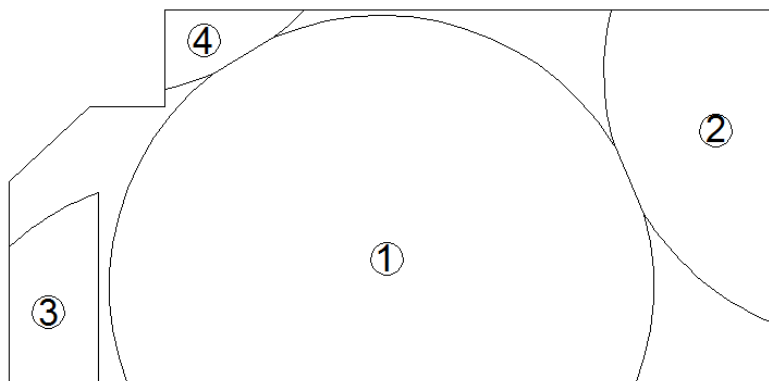


Figura 33: Optimització del *honeycomb*

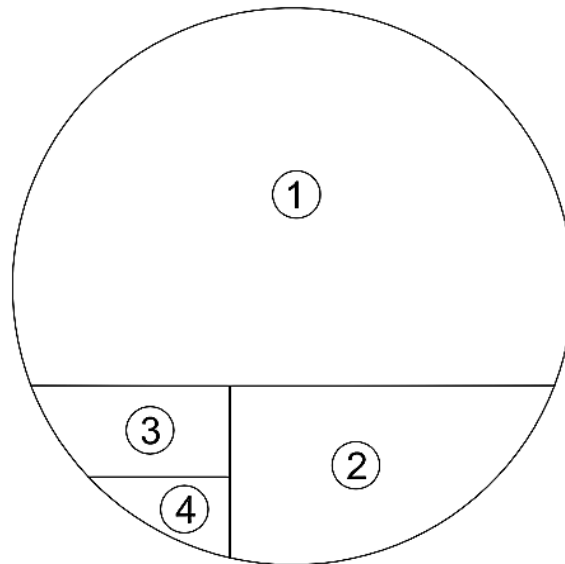


Figura 34: Composició de la geometria circular

#### A.4 Tall

Una vegada s'ha decidit com retallar el panell caldrà determinar quin mètode de tall s'utilitzarà. La malla és d'alumini i el gruix de la paret (entre cel·les) és inferior al mil·límetre.

Per provar si es pot tallar fàcilment amb una serra de vaivé es realitzarà una prova amb la maquinària del taller subterrani del PII (Departament d'Enginyeria de la Construcció).



Figura 35: L'acabat de tall amb la serra de vaivé és satisfactori

Per tal de preparar la peça es retallaran els costats amb unes estisores de xapa per eliminar la xapa desfilada o desenganxada.

Així doncs, utilitzant el plànol corresponent al croquis anterior (SP: 02-HONEY), es marcarà a sobre de la malla el recorregut que haurà de seguir la serra per retallar totes les parts. Això es farà amb l'ajuda d'un element que pugui aplicar pressió (un tornavís, per exemple), un cordill de més de 510 mm de llargada, un guix o un llapis, gomets petits i una cinta mètrica.

La metodologia que es seguirà per marcar el *honeycomb* serà la següent:

- Es situarà el panell a terra, en un lloc espaiós i pla.
- Es marcarà amb el gruix (o llapis) el seu contorn (si es pot immobilitzar d'alguna manera, millor) .
- Seguint les cotes del plànols es marcaran (a fora del panell) els punts de referència i s'hi enganxarà un gomet de sobre.
- Situant un extrem del cordill a sobre del gomet i a 510mm un tornavís, marcar el panell aplicant força i resseguint tot el perímetre de la circumferència descrita.

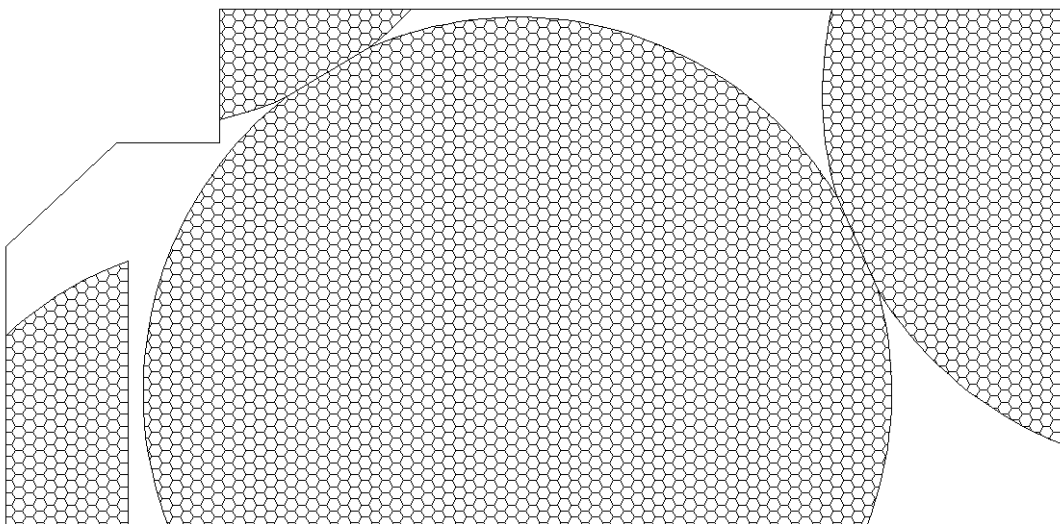


Figura 36: Les peces a obtenir han de ser les tramades



- Comprovar que els perfils resseguits tenen les dimensions correctes utilitzant els plànols (SP: 00-05-PART1/00-05-PART2/00-05-PART3/00-05-PART4).

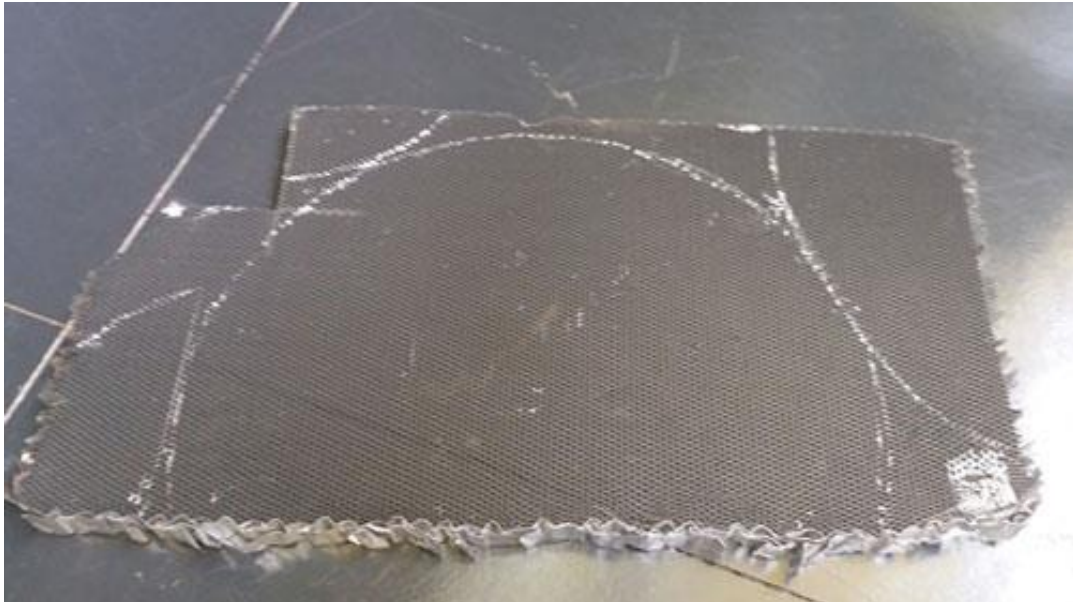


Figura 37: Imatge del procés de marcat

- Retallar el retall per la línia marcada amb la serra de vaivé.



Figura 38: Imatge del procés de serrat

## A.5 Fixació

Una vegada s'ha ideat la distribució del retall per obtenir el perfil desitjat, ha estat necessari buscar una solució per fixar-lo a l'interior del túnel. Després de valorar diferents opcions, la menys invasiva i la més senzilla d'aplicar ha estat l'adhesió d'una banda de goma al llarg de la paret interior (de manera perimetral, que envoltés el difusor). Així doncs, s'ha seleccionat un perfil de junta en forma de "D" múltiple d'amplada semblant a la del *honeycomb*.

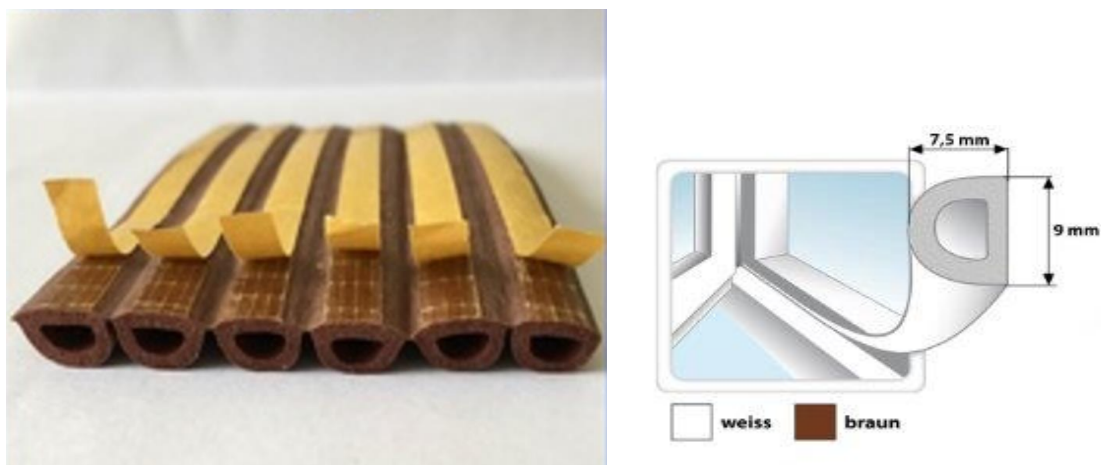


Figura 39: Junta de goma adhesiva de perfil "D"<sup>1</sup>

Aquesta solució ofereix uns avantatges, però també uns inconvenients a tenir en compte.

Avantatges:

- Cost econòmic molt reduït
- Muntatge simple (és fàcil d'introduir, tant la junta com el difusor)
- Modificació senzilla (és fàcil de treure, substituir i modificar)
- No s'ha de mecanitzar el túnel (no fa falta fer cap forat enlloc)

Inconvenients:

<sup>1</sup> Font: <https://spanish.alibaba.com/product-gs/sponge-type-self-adhesive-rubber-seal-for-wood-door-60132132588.html>

- És necessari entrar les parts del difusor a alta pressió, ja que si surten volant per la força del vent, aquests retalls podrien causar danys materials o accidents humans de gravetat.
- És necessari revisar periòdicament l'estat del *honeycomb* per assegurar que estigui ben fixat i que no es pugui desprendre.

En primer lloc s'ha determinat a quina distància de l'entrada del con es col·loca.

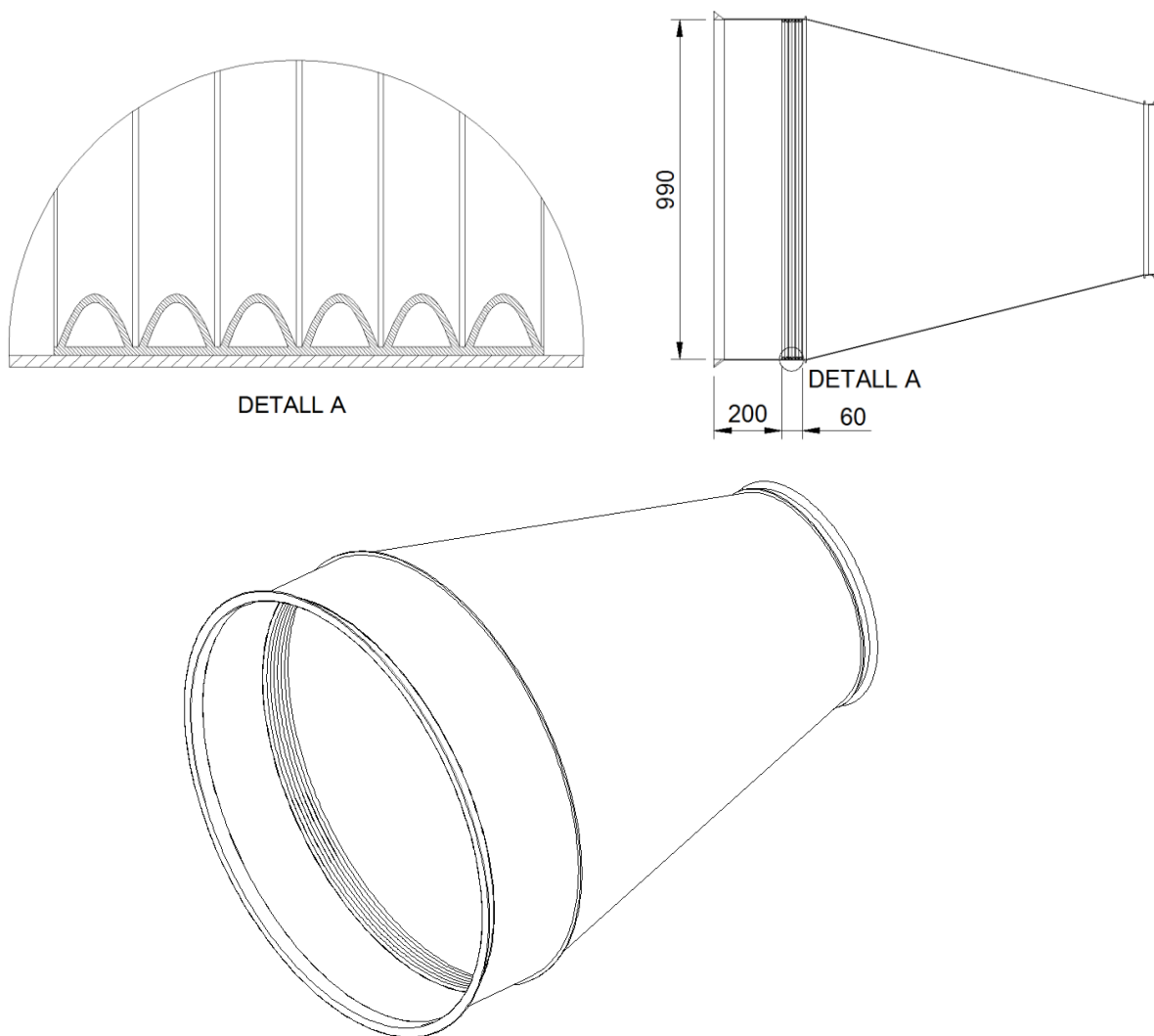


Figura 40: Croquis de la posició de la junta adhesiva per fixar el *honeycomb*

Seguidament s'ha introduït peça per peça cada retall de *honeycomb* aplicant la pressió necessària i acomodant-lo a sobre de la junta d'espuma.



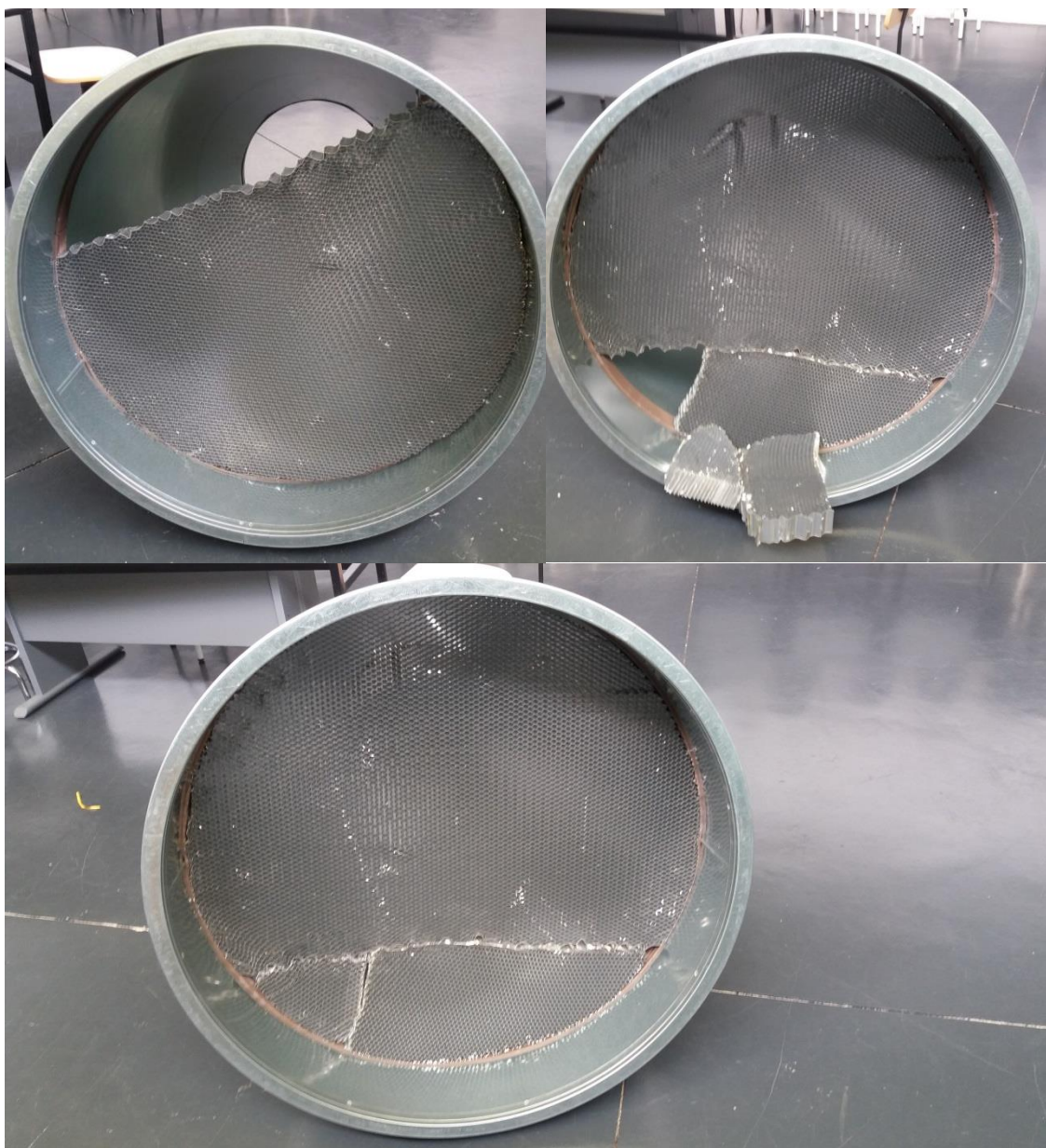
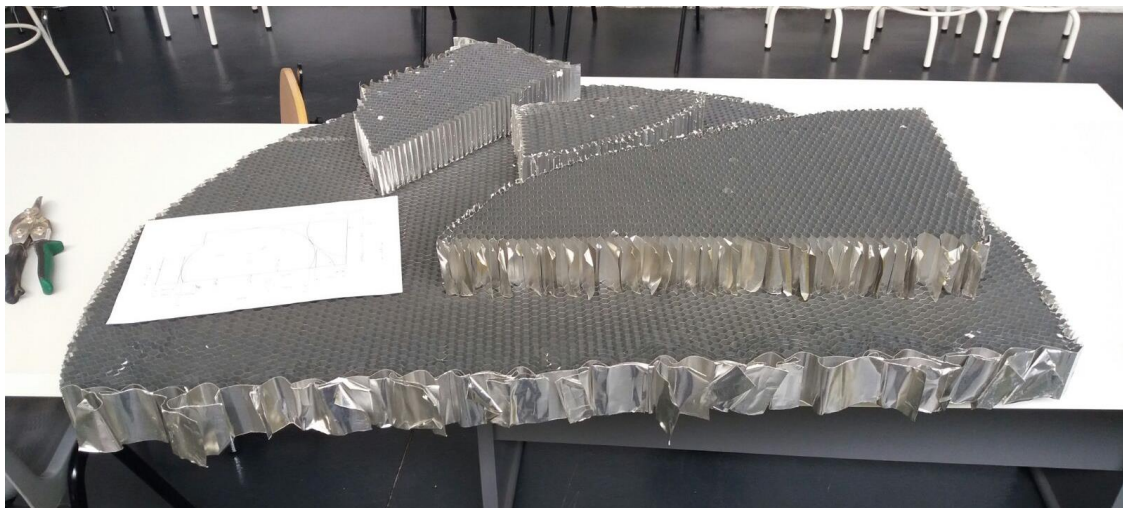


Figura 41: Fixació del *honeycomb* amb únicament tres peces

Com es pot apreciar a la imatge superior, finalment s'han utilitzat 3 parts. La força necessària per deformar la malla és considerable i expandint totes les parts s'ha pogut encaixar el tercer retall de manera segura.

Finalment s'ha comprovat la consistència del muntatge. El resultat final, dins de les possibilitats de l'encomanada, ha estat satisfactori. No obstant, es recomana no treballar amb velocitats de vent superiors als 15 m/s per evitar un possible despreniment del difusor.

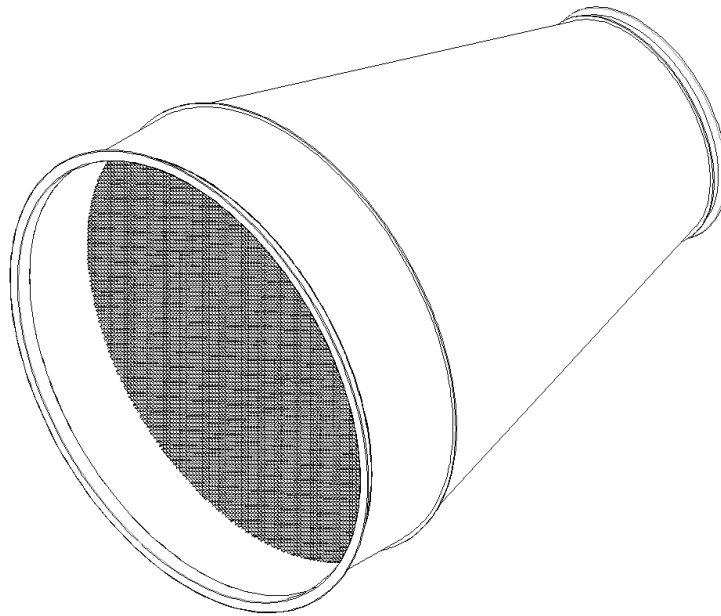


Figura 42: Croquis de l'assemblatge con – *honeycomb*

Els talls sobrants de bresca es guardaran per a projectes futurs o per substituir-ne d'existents en cas que hi hagi algun problema durant el seu muntatge.



## ANNEX B: DADES DEL VENTILADOR ANTIC (TBT/2-450)

TBT

Extractores helicoidales tubulares



### EXTRACTORES HELICOIDALES TUBULARES

#### Serie TBT



Ventiladores axiales, con carcasa en acero laminado **protegida contra la corrosión por pintura poliéster**, hélice de aluminio fundido en una sola pieza, motor trifásico, IP55, Clase F con **protector térmico incorporado** y **rodamientos a bolas de engrase permanente**.

**Motores**  
De 2 polos.  
Tensión de alimentación  
Trifásicos 230/400V-50Hz

**Otros datos**  
Sentido del aire Hélice-Motor (flujo B).



0 018172 402065

**Gran robustez**



Bridas de acero soldadas, de gran robustez

**Hélice antiadherente equilibrada dinámicamente**



Hélice equilibrada dinámicamente, según norma ISO 1940, para reducir el ruido y evitar vibraciones. Recubierta con pintura antiadherente para rechazar la suciedad

#### A P L I C A C I O N E S



Naves  
Almacenes



Talleres



Industria naval

#### ■ Características técnicas

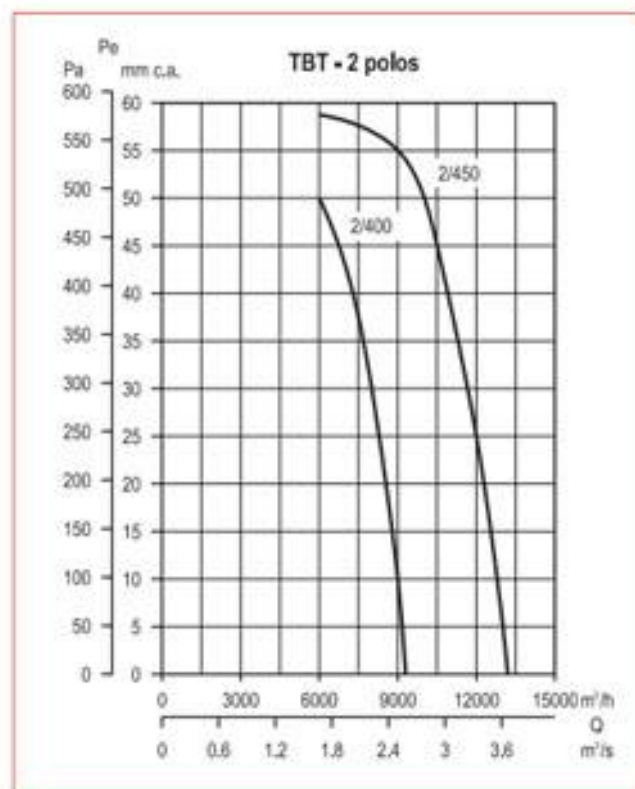
Es imprescindible comprobar que las características eléctricas (voltaje, intensidad, frecuencia, etc.) del motor que aparecen en la placa del mismo son compatibles con las de la instalación.

Modelo	Velocidad (r.p.m.)	Potencia motor (kW)	Intensidad máxima absorbida (A)		Protección motor	Aislamiento	Caudal máximo (m³/h)	Nivel de presión sonora (dB(A))*	Peso (kg)
			230 V	400 V					
TBT/2-400	2800	1,5	5,98	3,45	IP-55	Clase F	9300	84	35
TBT/2-450	2820	3	10,91	6,30	IP-55	Clase F	13200	87	59

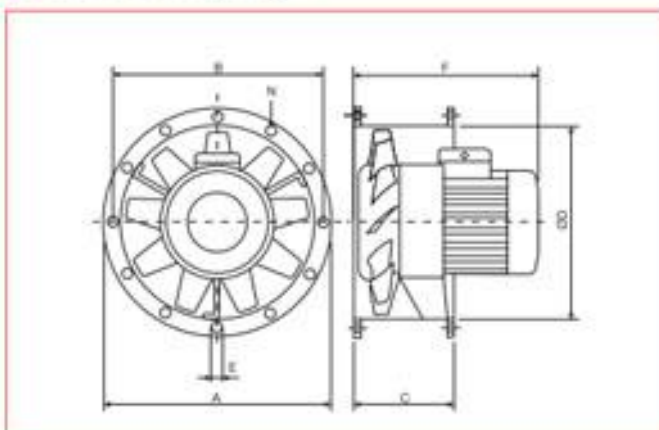
\* El ruido radiado disminuye aprox. 10 dB al trabajar intercalados en conducto.

## ■ Curvas características

- Q = Caudal en m<sup>3</sup>/h y m<sup>3</sup>/s.
- Pe = Presión estática en mm.c.d.a y Pa.
- Aire seco normal a 20 °C y 760 mm c.d. Hg.
- Ensayos realizados de acuerdo a Normas UNE 100-212-89 BS 848, Part 1; AMCA 210-85 y ASHRAE 51-1985.

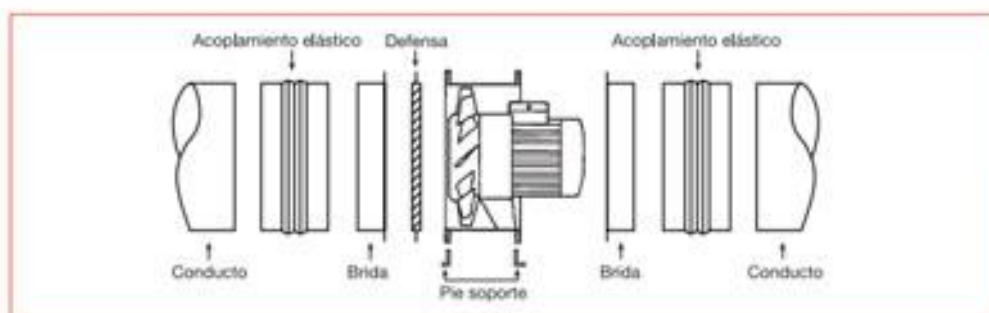


## ■ Dimensiones (mm)



Modelo	Ø A	B	C	Ø D	Ø E	F	N° Taladros
TBT/2-400	484	450	220	400	10	327	8
TBT/2-450	525	500	220	450	10	407	12

## ■ Accesorios de montaje



Modelo	Defensa aspiración	Bridas	Acoplamiento elástico	Pie soporte
TBT 400	DEF-400 T	BRIDA-400	ACOP-400	PIE-400
TBT 450	DEF-450 T	BRIDA-450	ACOP-450	PIE-450



## ANNEX C: DADES DEL VENTILADOR NOU (TGT/2-630-18.5kW)

TGT



## TGT/2-630-6/30-LP-18,5kW-400/690-3V-50Hz-3

Ventiladores helicoidales tubulares con protección anticorrosiva en la camisa, mediante galvanizado en caliente, álabes de aluminio tipo "aerofoil", con casquillo de arrastre de acero, y motor trifásico IP55, clase F.  
Pueden instalarse en posición horizontal o vertical. Modelos de camisa larga que incorporan puerta de inspección (para facilitar el acceso al motor).  
Marca S&P modelo TGT/2-630-6/30-LP-18,5kW-400/690-3V-50Hz-3 para un caudal 34.200 m<sup>3</sup>/h y presión estática 506 Pa.

## Punto de trabajo requerido

Caudal	34.000 m <sup>3</sup> /h
Presión estática	500 Pa
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Frecuencia	50 Hz
Tensión	400/690-3 V

## Punto trabajo

Caudal	34.200 m <sup>3</sup> /h
Presión estática	506 Pa
Presión dinámica	560 Pa
Presión total	1.066 Pa
Potencia útil	16,4 kW
Rend Total	61,6 %
Velocidad descarga	30,5 m/s
Velocidad ventilador	2957 rpm
Potencia específica	1,89 W/l/s
Potencia útil (eje) máx	17,1 kW

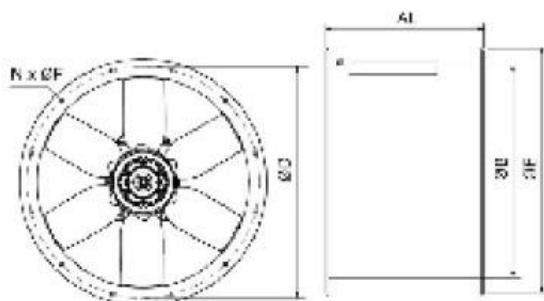
## Construcción

Diámetro	630 mm
Palas	6
Peso	187,00 kg
Inclinación	30°

## Motores

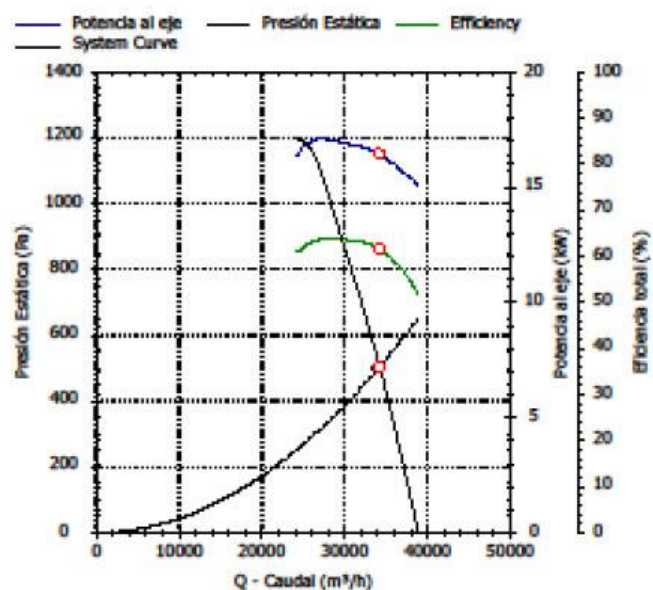
Número de Polos	2
Potencia motor	18,5 kW
Tensión	400/690-3
Intensidad motor	33,7 A / 19,5 A
Índice de protección	IP55
Clase motor	F

## Dimensiones



AL	B	D	E	F	N
600	630	690	725	12	12

## Curva



η%	MC	EC	N	VSD	Marca	REF
58,7	D	Total	N58,3	+	S&P	PV015532T30
[kW]	[m³/h]	[Pa]	[RPM]	SR		
18,475	29.758	1.310	2956	1		
η%	Rendimiento máximo (%)					
MC	Tipo de instalación					
EC	Categoría de Eficiencia					
n	n					

## Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Aspiración (LwA)	69	82	91	97	100	100	97	91	105
Aspiración LpA @ 1,5m	55	68	77	83	86	86	83	77	91



## TGT



TGT/2-630-6/30-LP-18,5kW-400/690~3V-50Hz-3

Ventiladores helicoidales tubulares con protección anticorrosiva en la camisa, mediante galvanizado en caliente, álabes aluminio tipo "aerofoil", con casquillo de arrastre de acero, y motor trifásico IP55, clase F.

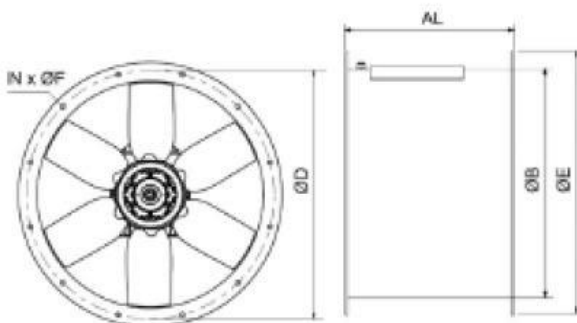
Pueden instalarse en posición horizontal o vertical. Modelos de camisa larga que incorporan puerta de inspección (para facilitar el acceso al motor).

Marca S&P modelo TGT/2-630-6/30-LP-18,5kW-400/690~3V-50Hz-3.

### Punto de trabajo requerido

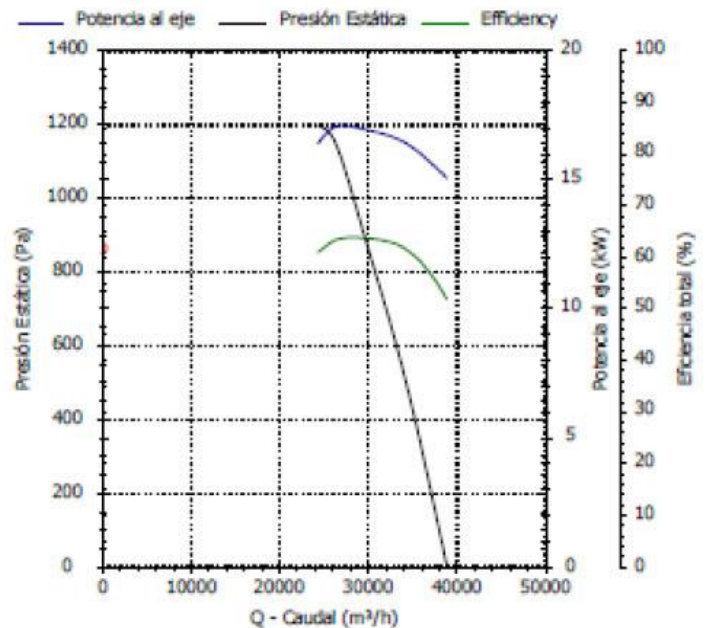
Caudal	-
Presión estática	-
Temperatura	20 °C
Altitud	0 m
Densidad	1,2 kg/m <sup>3</sup>
Frecuencia	50 Hz
Tensión	400/690~3 V

### Dimensiones



AL	B	D	E	F	N
600	630	690	725	12	12

### Curva



η(%)	MC	EC	N	VSD	Marca	REF
58,7	D	Total	N58,3	+	S&P	PV015533T30
[kW]	[m³/h]	[Pa]	[RPM]	SR		
18,475	29.758	1.310	2956	1		
η(%)	Rendimiento máximo η(%)					
MC	Tipo de Instalación					
EC	Categoría de Eficiencia					
N	N					

### Características acústicas

	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Total
Aspiración (LwA)	63	76	88	97	101	100	96	88	105
Aspiración LpA @ 1,5m	49	62	74	83	87	86	82	74	91



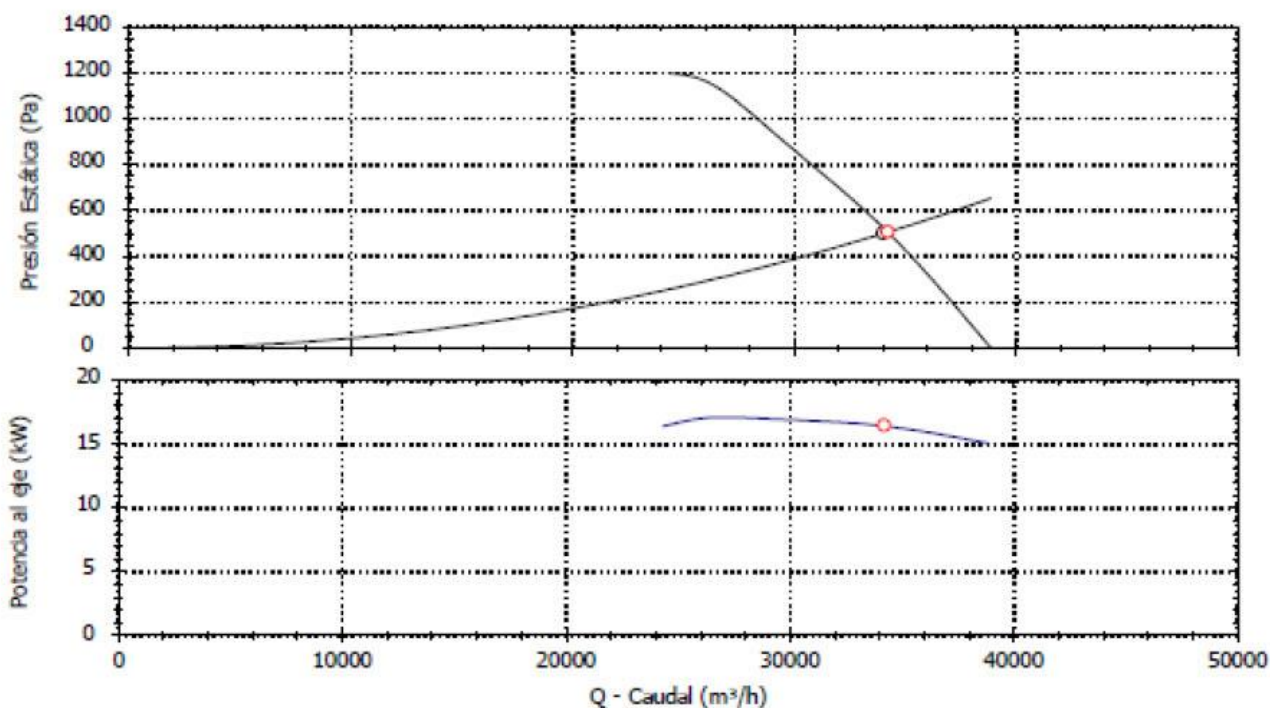
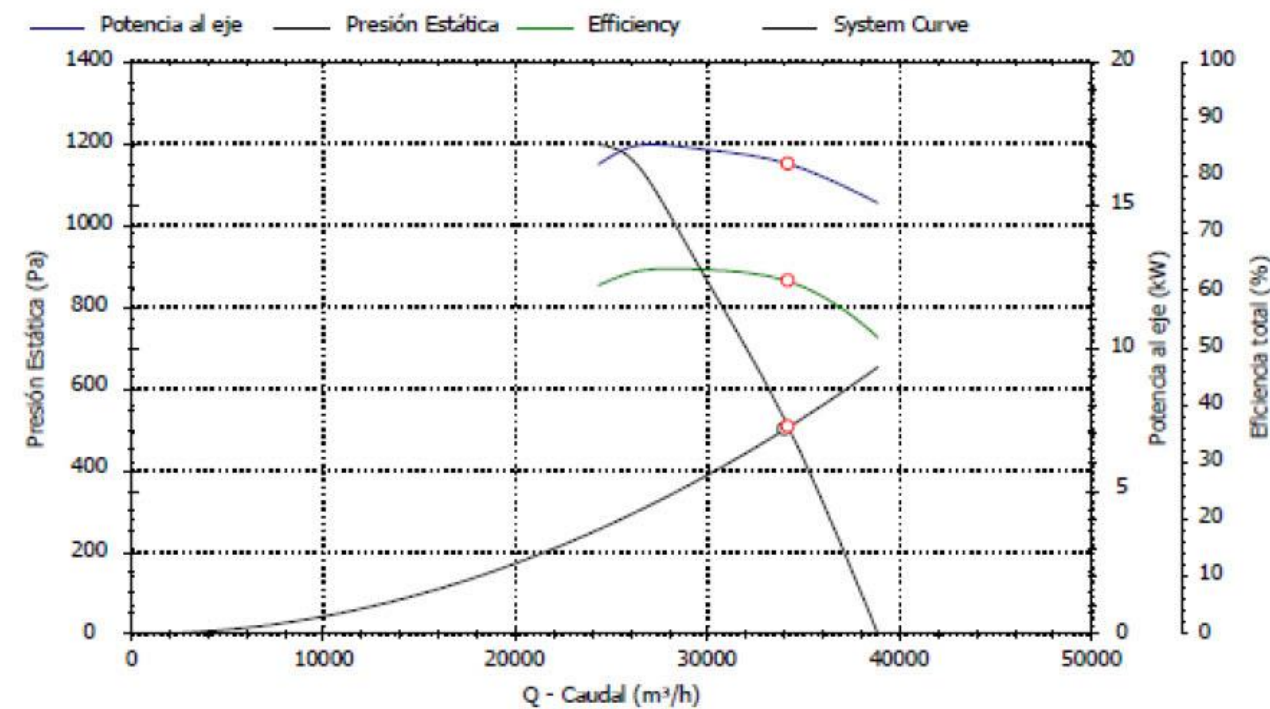
Q=1

TGT



TGT/2-630-6/30-LP-18,5kW-400/690~3V-50Hz-3

## Curva



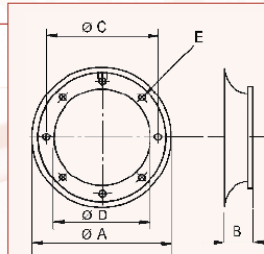


## ANNEX D: COMPLEMENTS DE MUNTATGE

### D.1 Protecció aspiració

EMB-T

Bellmouth protection guard



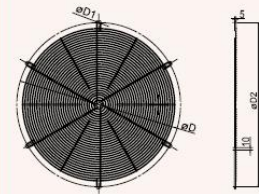
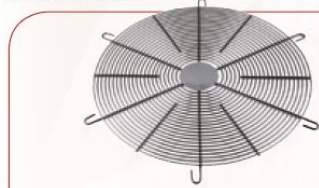
**Bellmouth protection guard** to reduce turbulence at inlet and prevent any contact with the fan impeller.

Model	Ø A	B	Ø C	Ø D	E
EMB-315T	426	165	355	320	8x10
EMB-355T	435	165	395	359	8x10
EMB-400T	507	165	450	401	8x12
EMB-450T	555	165	500	450	8x12
EMB-500T	617	165	560	504	12x12
EMB-560T	674	165	620	560	12x12
<b>EMB-630T</b>	<b>734</b>	<b>165</b>	<b>690</b>	<b>630</b>	<b>12x12</b>
EMB-710T	815	250	770	710	16x12
EMB-800T	905	250	860	800	16x12
EMB-900T	1005	250	970	900	16x15
EMB-1000T	1105	250	1070	1000	16x15
EMB-1250T	1355	250	1320	1250	20x15

### D.2 Protecció impulsió

DEF.ASP.THGT

Inlet grille guard



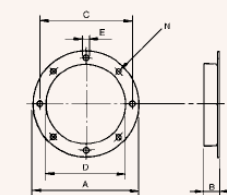
**Inlet guard protection grille** to be mounted to the TGT and THGT cased axial fans.

Model	D	D1	D2	Number of holes
DEF.ASP.THGT-400	450	12	400	4
DEF.ASP.THGT-450	500	12	440	4
DEF.ASP.THGT-500	560	12	500	6
DEF.ASP.THGT-560	620	12	560	6
<b>DEF.ASP.THGT-630</b>	<b>690</b>	<b>12</b>	<b>640</b>	<b>6</b>
DEF.ASP.THGT-800	860	12	810	8
DEF.ASP.THGT-900	970	12	910	8
DEF.ASP.THGT-1000	1070	12	1010	8
DEF.ASP.THGT-1250	1320	12	1260	10

### D.3 Brida connexió “Acopel”

ARO BRIDA THGT

Circular duct matching flange thgt



For the installation with the THGT and TGT ranges of in-line cased axial fans.

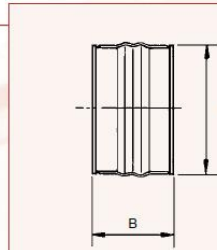
Model	Ø A	B	Ø C	Ø D	Ø E	Number of holes
ARO BRIDA TGT/THGT-400	487	63	450	400	12	8
ARO BRIDA TGT/THGT-450	537	63	500	450	12	8
ARO BRIDA TGT/THGT-500	595	69	560	500	12	12
ARO BRIDA TGT/THGT-560	655	69	620	560	12	12
<b>ARO BRIDA TGT/THGT-630</b>	<b>725</b>	<b>69</b>	<b>690</b>	<b>630</b>	<b>12</b>	<b>12</b>
ARO BRIDA TGT/THGT-710	806	69	770	710	12	16
ARO BRIDA TGT/THGT-800	896	69	860	800	12	16
ARO BRIDA TGT/THGT-900	1006	100	970	900	12	16
ARO BRIDA TGT/THGT-1000	1105	65	1070	1000	15	16
ARO BRIDA TGT/THGT-1250	1355	65	1320	1250	15	20



## D.4 Junta "Acopel"

### ACOPEL F400

Circular flexible connector TGT/THGT



For the installation with the THGT and TGT ranges of in-line cased axial fans certified F400-120.

Model	Ø A	B
ACOPEL F400-400/160	400	160
ACOPEL F400-450/160	450	160
ACOPEL F400-500/160	500	160
ACOPEL F400-500/300	500	300
ACOPEL F400-560/300	560	300
ACOPEL F400-630/160	630	160
<b>ACOPEL F400-630/300</b>	<b>630</b>	<b>300</b>
ACOPEL F400-710/160	710	160
ACOPEL F400-710/300	710	300
ACOPEL F400-800/300	800	300
ACOPEL F400-900/300	900	300
ACOPEL F400-1000/300	1000	300
ACOPEL F400-1250/300	1250	300

## D.5 Rodes giratòries

### LAG BETA + M22

MEDI - MEDIUM - MITTELAST - MOYENNES - MEDIOS

Serie  
**B**



D	80	100	125	125	150	150	160	160	180	200
E	25	30	37,5	37,5	40	40	40	45	45	50

SUPPORTI GIREVOLI A FORO - SWIVEL BOLT HOLE CASTORS - RÜCKENLOCH LENKROLLEN  
ROULETTES PIVOTANTES A OEIL - CONJUNTOS GIRATORIOS CON TALADRO PASADOR

Art. N.	12604FB	12608FB	12612FB	12614FD	-	12622FD	12626FD	12628FE 12628FG	12632FE 12632FG	12636FE 12636FG
d	8	8	8	10	-	10	10	12	12	12
Art. N.	12654FB	12658FB	12662FB	12664FD	-	12672FD	12676FD	12678FE 12678FG	12682FE 12682FG	12686FE 12686FG
d	12	12	12	15	-	15	15	20	20	20
Art. N.	12704FB	12708FB	12712FB	12714FD	-	12722FD	12726FD	12728FE 12728FG	12732FE 12732FG	12736FE 12736FG
d	12	12	12	15	-	15	15	20	20	20

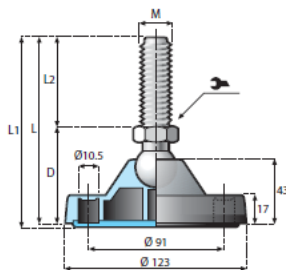
DATI TECNICI - TECHNICAL DATA - TECHNISCHE DATEN - DONNÉES TECHNIQUES - DATOS TECNICOS

H	106	128	154	160	181	181	191	196	218	240
AxB	102x83	102x83	102x83	135x110	102x83	135x110	135x110	135x110	135x110	135x110
axb	80x60	80x60	80x60	105x80	80x60	105x80	105x80	105x80	105x80	105x80
g	8	8	8	10	8	10	10	10	10	10
g	FB=10-12			FD=12-14			FE=12 / FG=16-18			
F	33	37	40	49	51	51	51	56	57	59
U	40	40	40	50	50	50	50	60	60	60
FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR	FR
Kg.	60	80	120	130	170	170	180	180	200	230

Attacco a perno filettato o liscio a richiesta - Threaded or solid stem on request - Gewindestift oder Zapfen auf Anfrage - Tige fileté ou lisse sur demande - Espiga roscada o lisa sobre demanda.  
■ Ø 80x30

D.6 Peus anivelladors

D.120 ARTICULATED FOOT



**SPINDLE MATERIAL**  
INOX Stainless Steel Aisi 304  
FE.ZN Zinc Plated  
OT.NI Nickel Plated Brass  
PA.FE Polyamide with Steel Insert  
• Without Nut  
code standard: Without Rubber  
code anti-slip: With Rubber

**TECHNICAL INFORMATION**  
Material:  
Base in reinforced polyamide.  
Threaded spindle as in the table.  
Anti-slip version with oil resistant rubber, 70 shore hardness.  
Characteristics:  
The foot can be fixed to the floor by opening the signs marked on the base.


**ANTI-SLIP PAD**  
Code: 171318



👉 Preferred type, readily available (codes marked in red)

Code				Spindle		Material nut	D mm		M	L mm	L1 mm	L2 mm	
Standard Assembled	Anti-slip Assembled	Base	Spindle	Type	Material								
17050	17054	82185	82276	1C	FE.ZN	•	60	24	16	125	130	65	18000
17392	17399		82277							175	180	115	
17395	17200		82278							220	225	160	
17452	17861		82280							175	180	115	
17455	17863		82281				67	30	24	220	225	160	
17210	17216		82283							177	182	110	
17212	17218		82284							220	225	153	

D.7 Variador de freqüència



Schneider Electric USA  
1415 South Roselle Road  
Palatine, IL 60067  
Customer Care Center: 1-888-778-2733  
Web: [www.schneider-electric.us](http://www.schneider-electric.us)

ITEM # ATV630D22N4, VARIABLE SPEED DRIVE



[SPECIFICATIONS](#) | [NORMAL DUTY](#) | [HEAVY DUTY](#)

Specifications		—
Family	Altivar Process 600	
Product Line	AC Drives	
Voltage Rating	400/480VAC	
Input Phase	3-Phase	
Output Phase	3-Phase	
Enclosure Rating	Type 1	
Frame Size	S3	
Control Voltage	24Vdc	
STO inputs	STOA, STOB	
Digital Inputs	6	
Analog Inputs	3	
Analog Outputs	2	
Relay Output	1 NO/NC, 2 NO	
Communication Ports	Ethernet and Modbus	
Weight	31.5 lb	
UL File No.	E116875	
CSA File	224330	
Other	TUV, REACH, CE marked	

**ANNEX E: DADES DE L'AEROGENERADOR**

El departament va encarregar el següent suport:

**1. Technical Parameter**

<b>Model</b>	<b>M-300</b>
Brand	GUANGMANG
Rated output (W)	90
Max. output(W)	130
Rated Voltage (DCV)	12
Start-up wind speed (M/S)	1.5
Survival wind speed (M/S)	45
Generator type	PMG
Rotor diameter (M)	0.82
Blade No.	6
Blade material	Reinforced fiber glass
Nacelle material	Reinforced fiber glass
Controller	Built-in
Slip ring type	Sealed and water proof
Protection mode	Short circuit
Lifetime (year)	15
Packing form	carton
Package size (mm)	470*410*330
Gross weight (kgs)	10.5

I va rebre l'aerogenerador dins d'un embalatge erroni (on hi havia un dibuix lleugerament diferent amb un diàmetre i una potència diferents) i el següent certificat:



### Certificat de conformité

Modèle : M- 30  
 Numéros de série :  
 Article d'inspection

Articles	Résultat d'inspection	Inspecteur
Puissance nominale (W)	90	08
Voltage nominal (V)	12	
Courant nominal (A)	6.6	
Torque de démarrage de rotor (N*m)	4.75 - 3.16	
Isolation (MΩ)	21.5	

Les produits ci-dessus d'inspection sont qualifiés , ils sont approuvé à relâcher!

**SARLECOTERRE ENERGIE VERTE**

www.ew-wind.fr

No obstant, a la hora de buscar la corba resistent del producte per internet, s'han trobat fins a tres corbes diferents del mateix model. Seguidament classifiquem aquestes gràfiques començant per la més baixa i acabant per la més generosa.

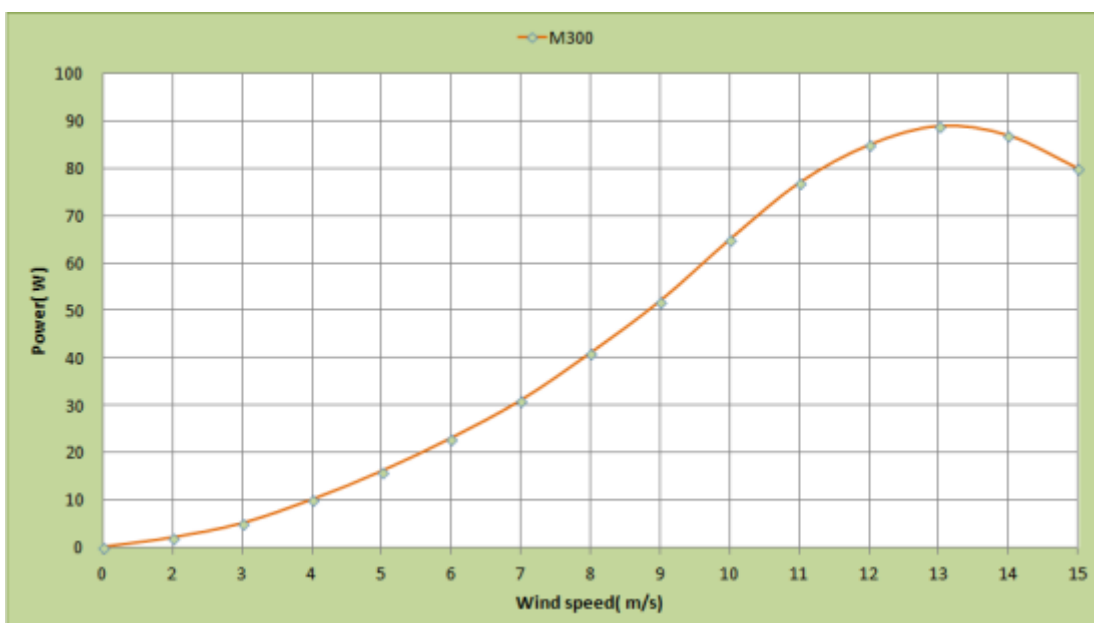
Font 1:

[http://www.chinaseniorsupplier.com/Energy/Electricity\\_Generation/1500085820/the\\_most\\_competitivewind\\_energyproductive\\_enterprise.html](http://www.chinaseniorsupplier.com/Energy/Electricity_Generation/1500085820/the_most_competitivewind_energyproductive_enterprise.html)



Gràfica 2: Corba de potència 1

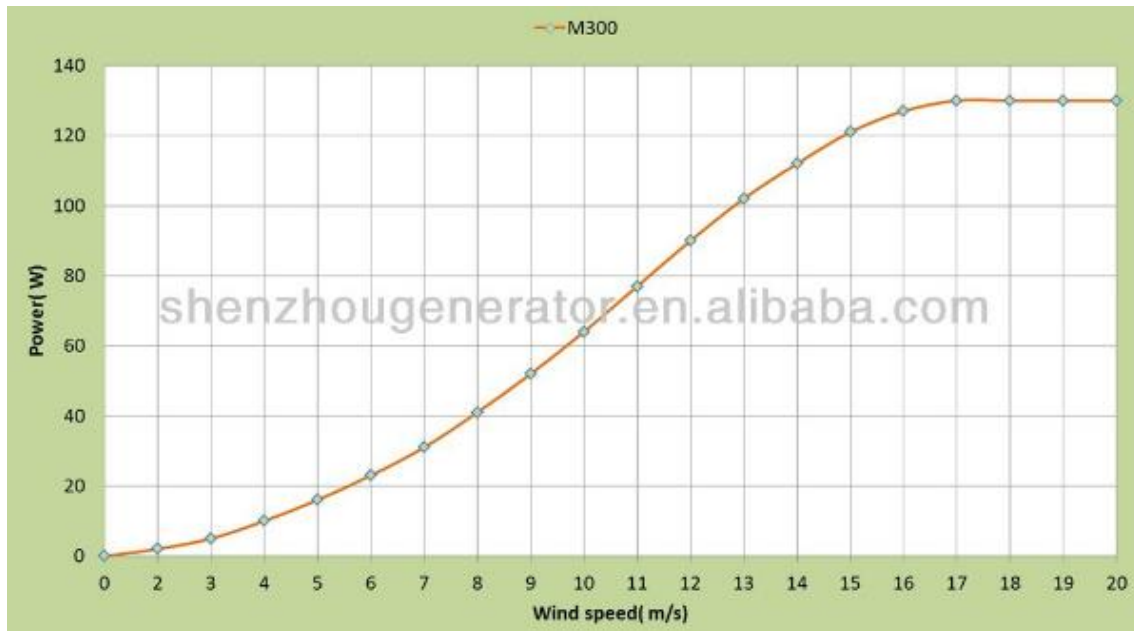
Font 2: <http://donar.messe.de/exhibitor/hannovermesse/2015/L958361/m300-introduction-eng-240399.pdf>



Gràfica 3: Corba de potència 2

Font 3:

[http://www.chinaseniorsupplier.com/Energy/Electricity\\_Generation/707230043/90W\\_mini\\_turbine.html](http://www.chinaseniorsupplier.com/Energy/Electricity_Generation/707230043/90W_mini_turbine.html)



Gràfica 4: Corba de potència 3

## ANNEX F: CÀRREGUES A SUPORTAR

Les càrregues que actuen sobre el suport són tres:

- El pes del ventilador:

La fitxa tècnica del ventilador (Annex C) diu que la massa del ventilador és de 187 kg. Multiplicant per l'acceleració de la gravetat ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) tenim que, el pes d'aquest element, és 1835 N.

- El pes del suport:

Aquest valor depèn de la quantitat de perfils utilitzats i de la seva secció. El valor serà calculat automàticament pel software de disseny assistit per ordinador sobre el qual es dibuixarà la seva geometria en 3D.

- Empenta del ventilador:

La empenta és un valor difícil de determinar numèricament, ja que depèn de la geometria de l'hèlix i dels seus àleps. Es tracta de la força que realitza l'aire sobre els àleps en el moment de la rotació. Per la tercera llei de Newton, d'acció-reacció, la força resultant de l'aire sobre el ventilador serà la mateixa que la del ventilador sobre l'aire. Per tant, el resultat de l'empenta variarà en funció de la freqüència de gir del hèlix.

- Càlcul de l'empenta:

El concepte d'empenta ve definida en els llibre de temps com a producte de la densitat, la gravetat i el volum.

$$E = \rho g V \quad (1)$$

Això és aplicable, còmodament, en problemes d'estàtica, on es desplaça un volum de fluid conegut a pressió constant. Aquesta equació és simplement la relació entre el producte de la pressió i la superfície de contacte amb aquesta.



$$P = \frac{dE}{dA} \rightarrow dE = PdA \quad (2)$$

Si la pressió fos un valor constant s'integraria a banda i banda de la igualtat i es trobaria l'empenta (la força, E). Tanmateix, la pressió no és constant al llarg de l'àrea.

$$dE = 2\pi r dr (P_{imp} - P_{asp}) \quad (3)$$

On  $rdr$  és l'àrea de l'anell diferencial.

Per simplificar el càlcul i evitar realitzar repetides simulacions considerarem com a pressió última (mitjana) la generada en el punt de treball nominal (Annex C). Aquesta pressió és la resultant de la suma de l'estàtica i la dinàmica quan l'hèlix gira a 50 Hz (2957 rpm).

A 50 Hz (règim nominal) el proveïdor ens diu que la pressió total serà de 1066 Pa. Com que aquesta pressió és la mitjana, pot ser considerada com a constant a efectes de càlcul.

$$\begin{aligned} dE &= P_{average} dA \\ \int dE &= P_{average} \int dA \\ E &= P_{average} \frac{\pi D^2}{4} = 1066 \frac{\pi 0.63^2}{4} \\ E &= 332 \text{ N} \end{aligned} \quad (4)$$

## **ANNEX G: DESENVOLUPAMENT DEL DISSENY**

Es requereix sostenir el ventilador a una altura d'aproximadament un metre i mig. Aquest fet no és negociable, ja que aquesta posició ve donada per l'alçada del túnel de vent existent. És desitjable que ocupi com menys espai possible, ja que el laboratori d'Energies (T017) del PII disposa d'altres instal·lacions. D'aquesta manera, també interessa que es pugui desplaçar fàcilment, així com fixar-se quan hom l'utilitzi.

- Alçada túnel: 2010 mm
- Amplada suport túnel: 1420 mm
- Llargada túnel: 3500 mm 3400 mm

Existeixen dos maneres de suportar el ventilador:

- Sense voladís
- Amb voladís

L'elecció és purament estètica, però el dimensionament i la geometria de l'estructura vindran determinats pels punts crítics o zones de màxima tensió. En el cas del conjunt sense voladís, si el sistema és simètric el pes quedarà repartit de manera igual i simplificarà la feina d'anàlisis considerablement.

Triar una estructura en voladís comportarà un resultat més estètic i esvelt, no obstant en complicarà l'anàlisi. La finalitat immediata d'aquest treball és aprendre i suposarà un repte l'elecció del model en voladís.

Així doncs el ventilador anirà encastat en un extrem del suport i aquest extrem haurà de repartir la càrrega en quatre peus o punts de recolzament amb el sòl.

L'esquema anterior fa referència al sistema isostàtic que simplifica, en escènica, el suport. Es considerarà que el centre de gravetat està al mig del ventilador (de 600mm de llargada).

La distància entre recolzaments queda per definir, però inicialment es suposarà que és de 1000 mm (agafant com a referència els 850mm del ventilador antic).

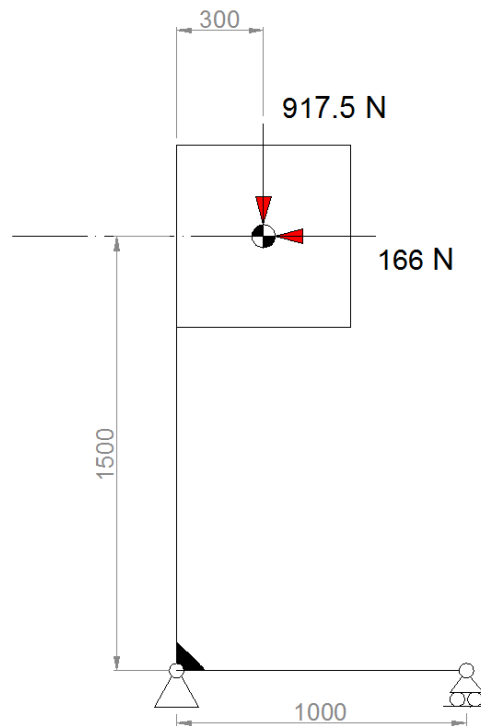


Figura 43: Simplificació de l'estructura

Aprofitant la simetria de l'estructura es simularà la geometria plana superior amb el programa SAP2000 dividint el valor de les càrregues per dos.

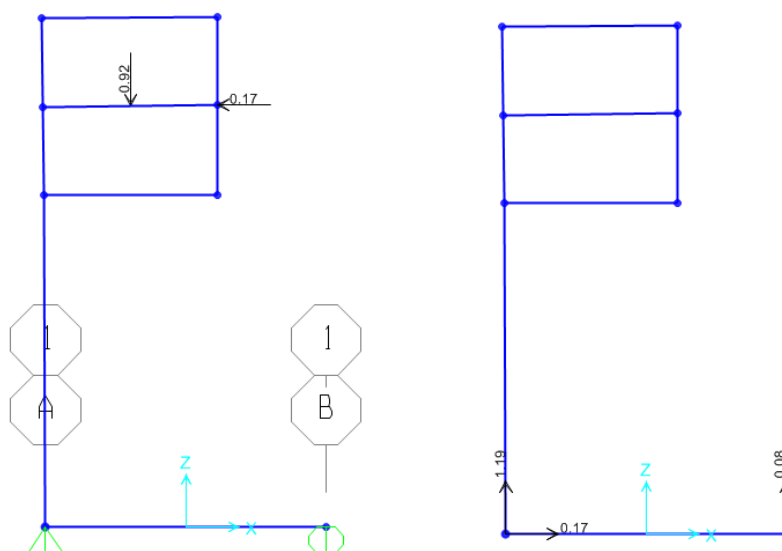


Figura 44: Càrregues aplicades (kN) i reaccions (kN) als recolzaments A i B

Utilitzant perfils de 80x80x4mm a la base i de 120x80x3mm com a pilar s'obté un deformació de gairebé mig mil·límetre a l'extrem final del ventilador.

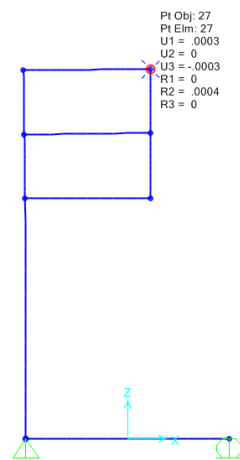


Figura 45: Deformacions en metres del vèrtex més desfavorable

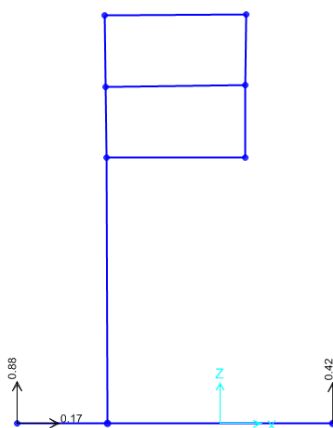


Figura 46: Reaccions amb la col·locació del ventilador al centre de la base

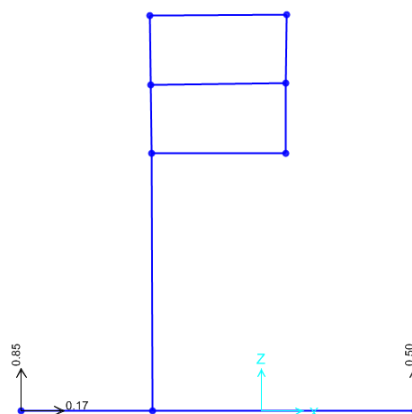


Figura 47: Extensió de la base per guanyar estabilitat

Una vegada es té clar quina forma i quin tipus de perfil utilitzar cal passar a l'elaboració de l'esborrany o croquis inicial. Aquesta vegada, ja es farà ús d'un software de disseny assistit per ordinador.

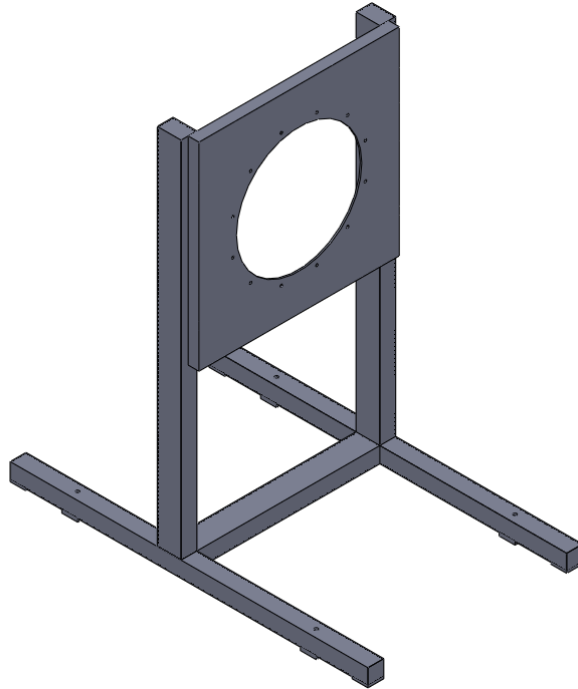


Figura 48: Resultat d'un esbós inicial

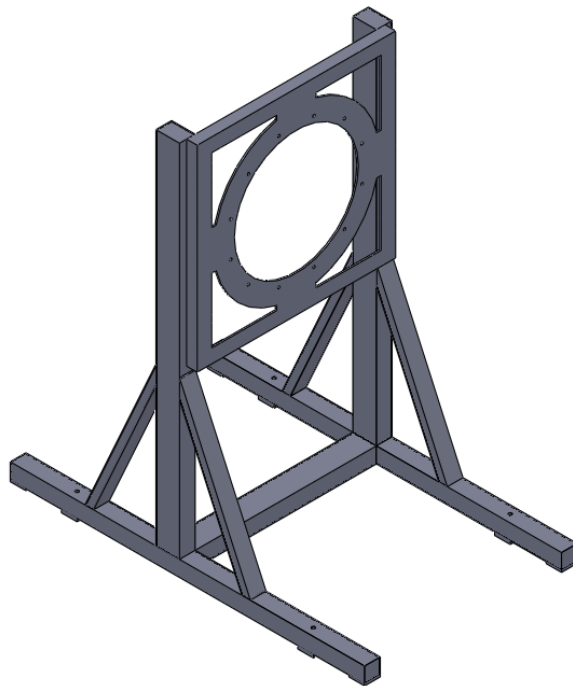


Figura 49: Modificació de l'esbós anterior

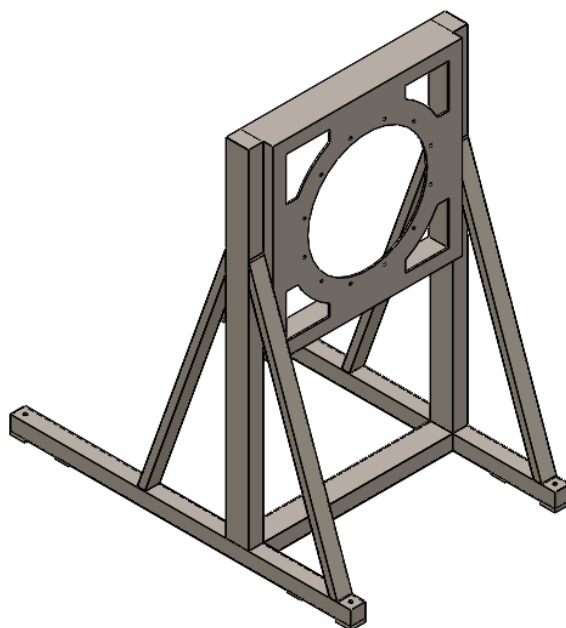


Figura 50: Suport gairebé definitiu

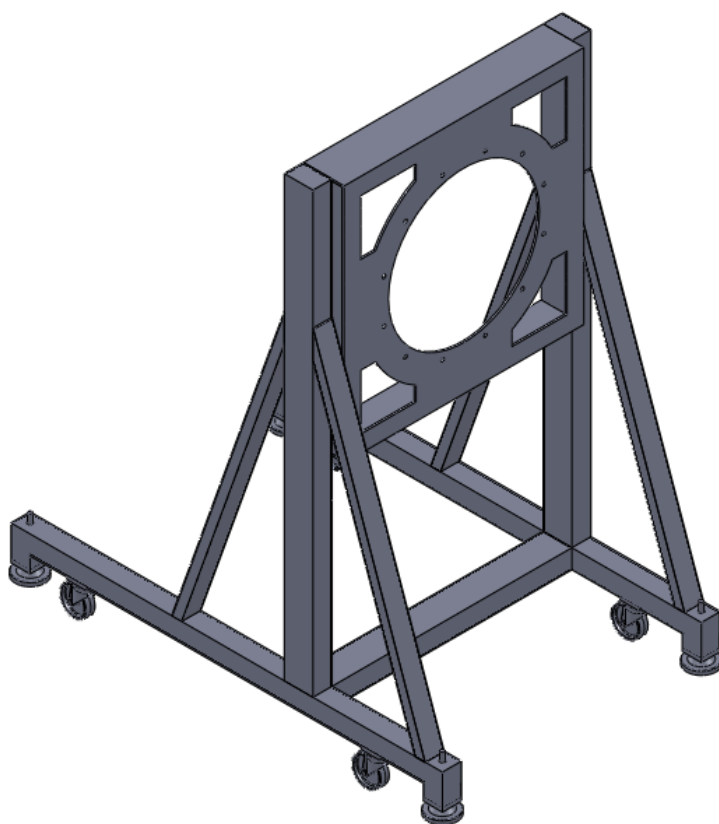


Figura 51: Suport fabricat amb rodes i peus regulables

## **ANNEX H: SIMULACIÓ PER ELEMENTS FINITS**

### **H.1 Introducció al paquet *Simulation de SolidWorks***

Per tal de comprovar la resistència del suport abans de construir-lo s'han realitzat simulacions a partir del model 3D obtingut a la fase de disseny i dimensionament. D'aquesta manera s'ha la integritat i la validesa del suport abans de construir-se.

El software utilitzat ha estat el paquet de simulació del programa de disseny assistit *Solidworks*. S'ha volgut aprofitar el mateix programa utilitzat en la fase de disseny per analitzar el seu comportament davant de les càrregues estàtiques i dinàmiques explicitades en l'annex H.3. Aquestes forces són: el pes del suport i del ventilador, i l'empenta generada per l'acció de l'hèlix.

El funcionament del paquet és senzill i intuïtiu, no obstant s'han hagut de realitzar modificacions puntuals per poder solucionar problemes en el mallat del model. El mateix programa *Solidoworks* permet assemblar diferents components i definir la seva unió per mitjà de condicions de contorn. Disposa, també, de varis simuladors per assajar el model a estàtica, a dinàmica, a fatiga, a vibracions i freqüències, així com tractar en sistemes fluídics i simular el seu comportament per mitjà d'estudis termodinàmics.

Una vegada s'han definit les condicions de contorn entre l'objecte i l'entorn, i s'han col·locat les càrregues correctament, s'ha de crear un mallat, la funció del qual és dividir l'estructura i el ventilador en minúsculs políedres que conformaran una geometria semblant a un trencadís. Durant l'execució del *solver* o "càlcul de la solució" el programa estudiarà i analitzarà tensions i deformacions de cada una d'aquestes parts.

El resultat final s'ofereix de manera gràfica mitjançant una escala de colors que permet visualitzar quines són les regions o punt crítics del sistema, és a dir, aquells que suportaran esforços més alts o deformacions més grans. L'aplicació també permet generar automàticament un informe on s'especifiquen els nodes (políedres) a on la propietat analitzada obté el màxim valor o el mínim. Així com un estudi de totes les condicions de contorn i els resultats gràfics obtinguts.

## H.2 Condicions de contorn

Les condicions de contorn són el conjunt de normes i especificacions que rep el sistema abans de ser analitzat. En aquest cas, per simplificar el temps d'anàlisi s'ha analitzat l'estructura completa amb només dos elements: el suport i la carcassa del ventilador. La finalitat d'obviar el motor i les pales es deu a la simplificació de la complexitat de càlcul deguda a ambdós geometries. També s'ha redibuixat el suport de manera contínua, ja que per a l'elaboració dels plànols s'havia realitzat l'especejament de cada element que el conformava (cada tub de secció donada i cada xapa geomètricament diferent), i el temps de definir les condicions de contorn entre peces seria molt alt i el resultat seria molt semblant.

S'han obviat, també, les rodes i els peus regulables per simplificar l'estructura i el temps de càlcul.

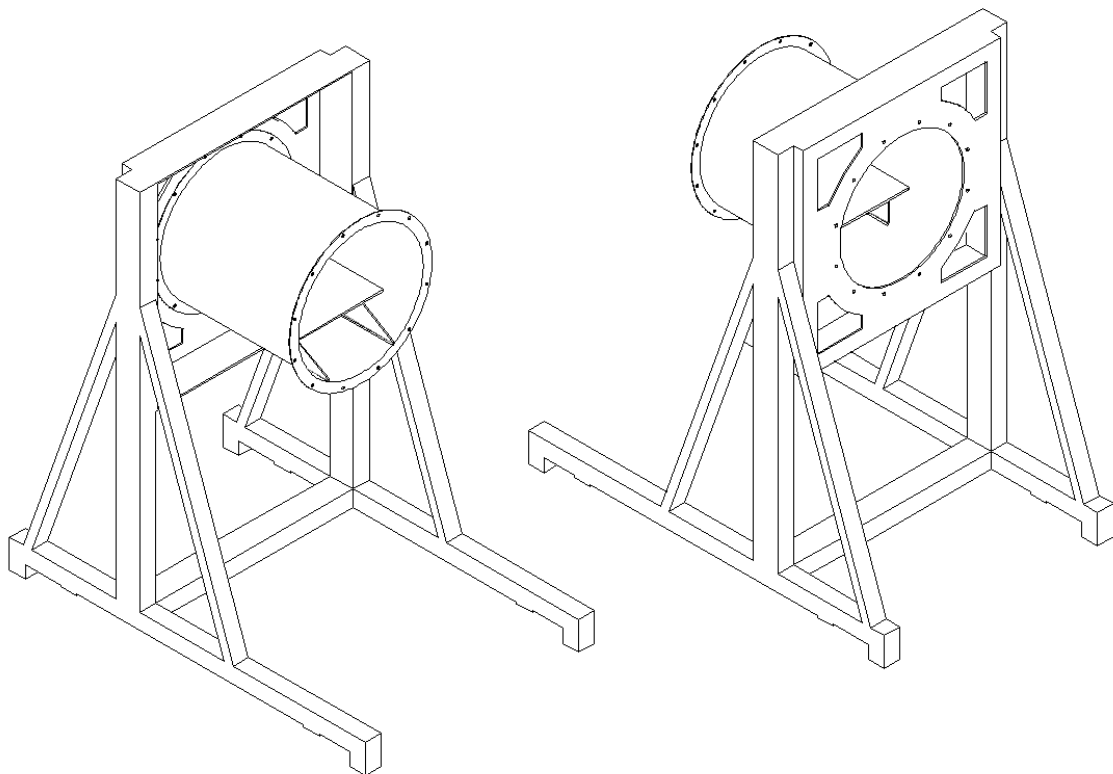


Figura 52: Vista isomètrica de l'estructura simulada

Les condicions de contorn imposades es detallen a continuació:



- Condició de suport elàstic en contacte amb el terra: en primer lloc ens interessa tractar quin tipus de contacte tenim amb el sòl. S'ha considerat com a estudi de treball l'ús dels peus regulables i no de les rodes, ja el suport ha estat dissenyat perquè així funcioni.

La funció dels peus o tacs de goma té, d'entre altres funcions, esmorteir l'acció de les forces fluctuants o centrífugues generades per la desalineació de l'eix del motor. No interessa que vibri tota l'estructura, ni que faci soroll degut a aquest fenomen, ni que les unions se'n vegin ressentides. Així doncs, la goma actua com un ressort amb una rigidesa, si bé desconeguda però no infinita.

Per aquest motiu s'aplica la **condició de suport elàstic** a la base de cada peu amb una rigidesa distribuïda  $10000 \text{ (N/m)/m}^2$ .

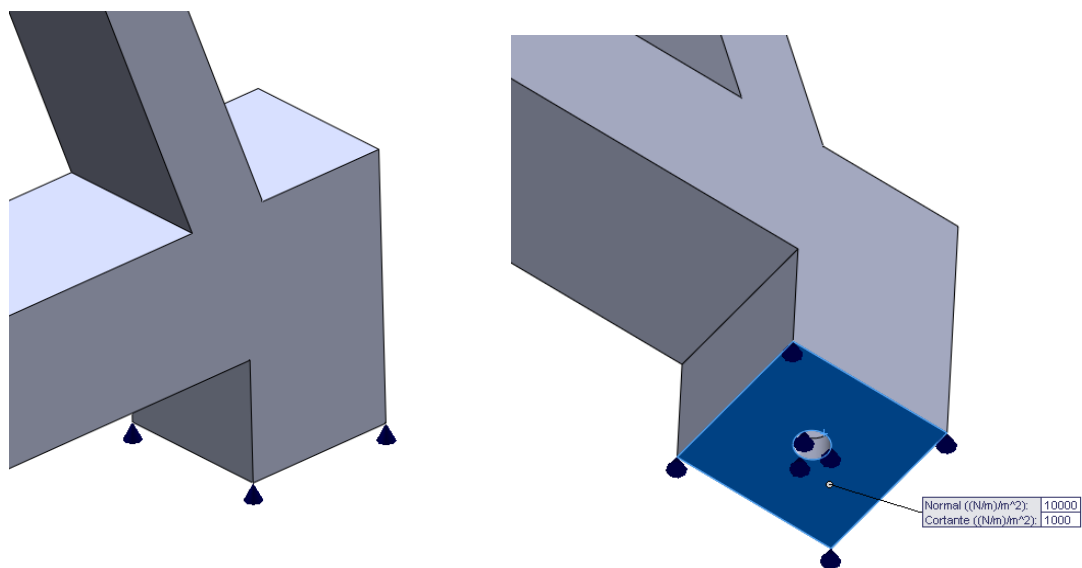


Figura 53: Condició de suport elàstic deguda als peus regulables de goma

- Condició d'unió entre el suport i el ventilador: Per tal de simular l'estructura cal unir el suport i el ventilador. En aquest cas s'ha fet amb cargols de M12 collats amb una femella. Com a la pràctica, la brida del cilindre del ventilador està unida a la "caixa" del suport per mitjà de dotze cargols de cap hexagonal. El paquet de simulació contempla les propietats que aquest tipus d'unió ofereix (resistència a tracció o tallant).

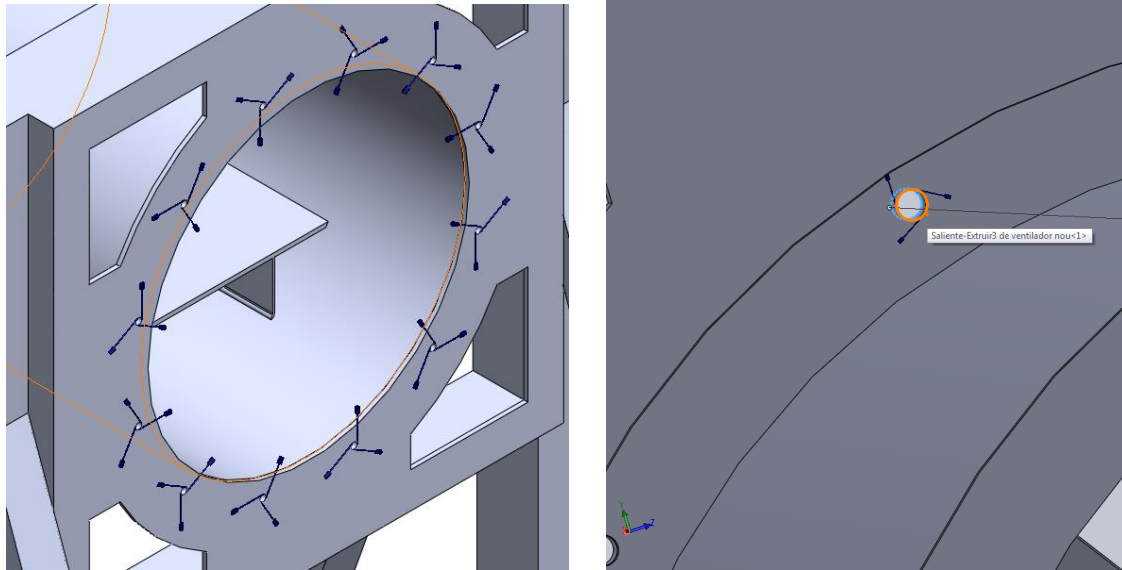


Figura 54: Condició d'unió/fixació per cargols (i femelles)

### H.3 Càrregues aplicades

Una vegada s'han definit les condicions de contorn cal determinar quines càrregues, ja siguin estàtiques o dinàmiques, afectaran l'estructura:

- Pes suport (gravetat): És la càrrega estàtica per excel·lència. La finalitat immediata d'aquesta estructura és suportar el pes del ventilador. No obstant, per simplificar la geometria i evitar errors en el mallat, hem simplificat l'estructura eliminant el motor i els àleps del ventilador. Així doncs no queda cap més remei que diferenciar la càrrega exercida per l'acció de la gravetat sobre el suport i la carcassa del ventilador, més una força externa distribuïda sobre el banc de la carcassa de 2000 N, que és un arrodoniment a l'alça del pes restant. Utilitzant l'opció "gravetat" i definint la densitat de l'acer el programa calcula automàticament el centre de gravetat de l'estructura i el valor del seu pes, a falta del motor.
- Pes ventilador (distribuïda): Com que el pes del ventilador dibuixat és molt difícil que coincideixi realment amb el seu pes real (materials amb

densitats diferents i espais buits a l'interior del motor) considerem el pes del ventilador com una càrrega distribuïda de 2000N aplicada sobre la seva carcassa.

- Empenta (distribuïda): És la única càrrega dinàmica que s'ha considerat en aquest estudi. El seu càlcul ve determinat per la diferència de pressió (estàtica i dinàmica) existent entre l'entrada i la sortida del ventilador que ens dona el proveïdor (annex C). Aquesta força té la mateixa direcció que el flux d'aire impulsat però sentit contrari, i genera el moment que, en cas d'un mal dimensionament, podria fer bolcar el sistema. El valor de l'empenta en el seu punt de treball nominal (50 Hz) és de 315 N i el suport està degudament sobredimensionat per desestimar aquesta opció en tots els rangs de freqüència i velocitat practicables.

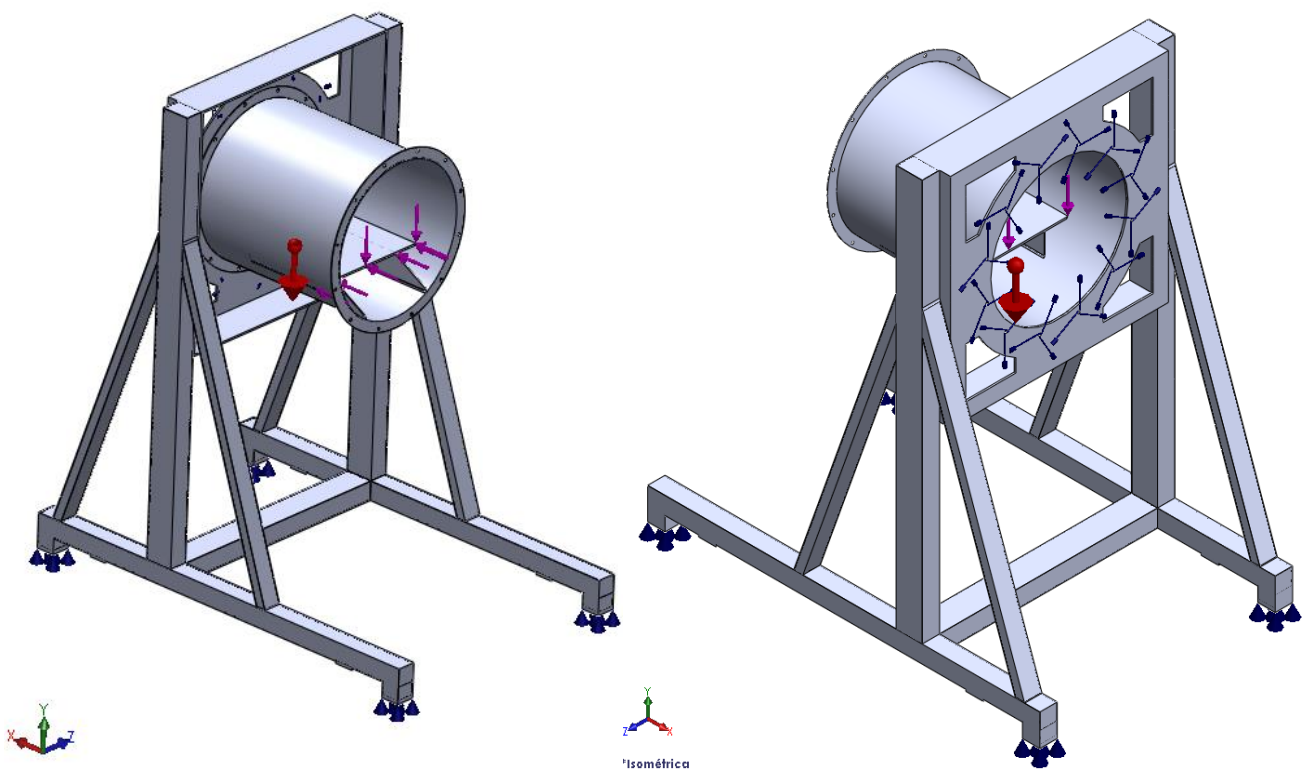


Figura 55: Condicions de contorn i forces aplicades a l'estructura

## H.4 Mallat

Una vegada s'han definit tant les condicions de contorn com les càrregues s'ha de realitzar el mallat del model. Per fer-ho cal que la geometria estigui totalment definida i no hi hagi superfícies de grossor zero. En aquest cas, s'ha hagut de redefinir i simplificar la geometria interior de la carcassa (el banc on reposa el motor del ventilador) perquè el programa pogués fer el mallat del conjunt sense incompatibilitats.

En la seva configuració cal definir la densitat de la malla. Com més fina, més quantitat de divisions i, per tant, més temps de càlcul però més precisió en els resultats.

Com que el temps, en aquest cas, no és una adversitat, el mallat tindrà element de, com a màxim, 20 mil·límetres i, com a mínim, 1 (Malla fina). El programa estudiarà automàtica la geometria i la mallarà en funció de les seves necessitats.

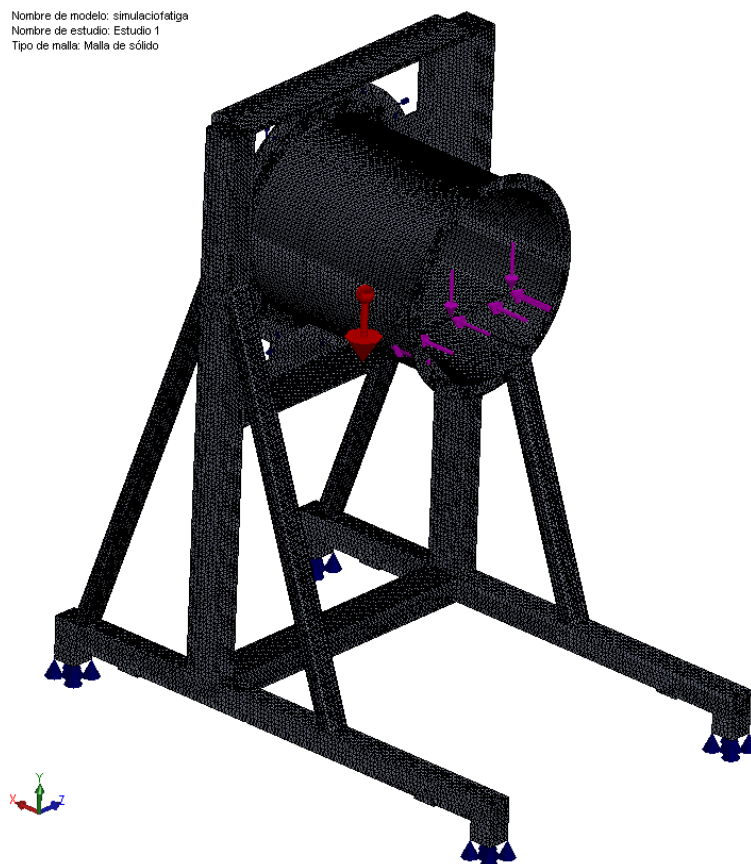


Figura 56: Mallat del model

## H.5 Resultats de la simulació estàtica (en cas hiperestàtic)

Una vegada s'ha mallat el model, el programa permet executar les simulacions per elements finits i determinar les tensions, les deformacions i el coeficient de seguretat. El temps de càlcul varia en funció de les prestacions de l'ordinador en el qual l'estiguem fent i la densitat de la malla. En el nostre cas, la suma del temps de mallat (entre 20 mm i 1 mm) i el temps de càlcul ha estat de quatre hores.

Tensions:

Com era d'esperar, el resultat de les simulacions ha demostrat que l'estructura està àmpliament capacitada per resistir, no només el pes del ventilador sinó càrregues externes molt més grans.

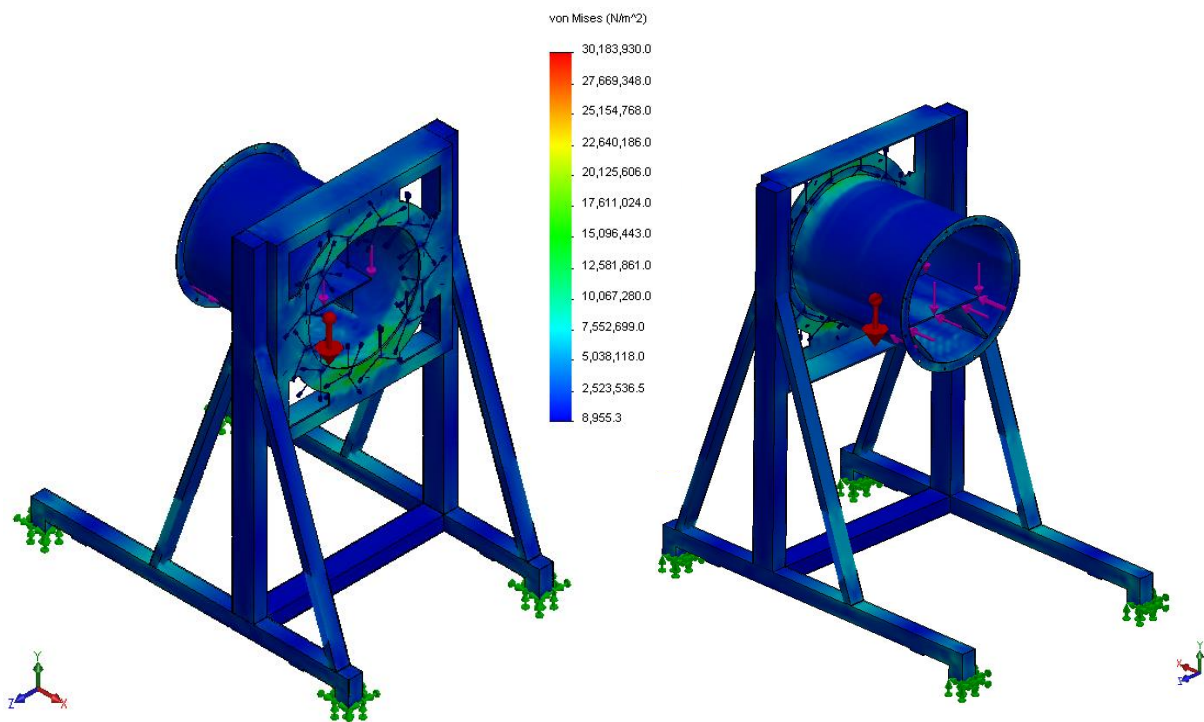


Figura 57: Resultat de la simulació estàtica

Com podem veure a la imatge superior, el color blau (baixa tensió) és el predominant de l'estructura. El punt crític de màxima tensió està situat a la part inferior de la unió entre la carcassa del ventilador i el suport amb un esforç

d'aproximadament 30 MPa (un valor considerablement baix tenint en compte que el límit elàstic de l'acer és d'uns 275 Mpa). La regió del model més acolorida és la brida de la carcassa del ventilador, allà on estan situats els cargols d'unió amb el suport. El resultat és coherent i lògic, ja que en un cas de voladís les reaccions més grans sempre estan a l'encastament.

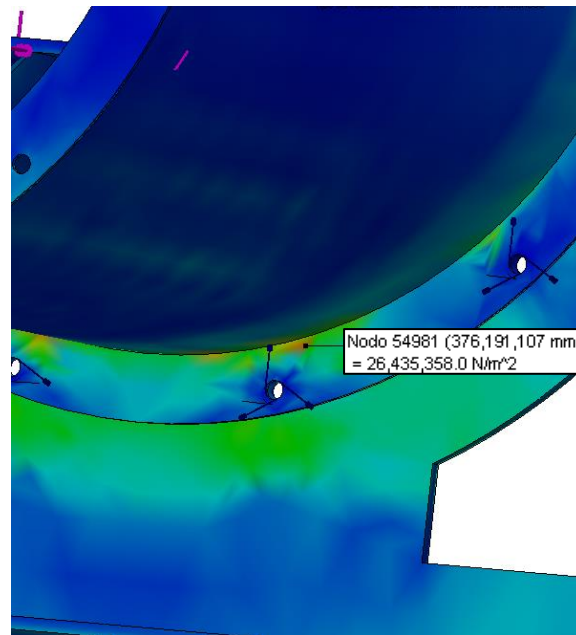


Figura 58: Punt de màxima tensió

#### Deformacions absolutes:

La fletxa màxima té lloc a la punta del voladís (color vermell). No obstant, aquest valor és de l'ordre del mil·límetre i no és apreciable a simple vista. El conjunt ofereix una gran resistència a la deformació gràcies a la inèrcia de la carcassa i la seva poca llargada. La deformació total d'un punt o fletxa és la distància que varia respecte el cas ideal de sòlid rígid no deformable.

Així doncs, podem dir que, com a màxim, l'estructura cedirà 1 mm. Aquest valor no és gens representatiu i a efectes pràctics pot ser considerat com a negligible.



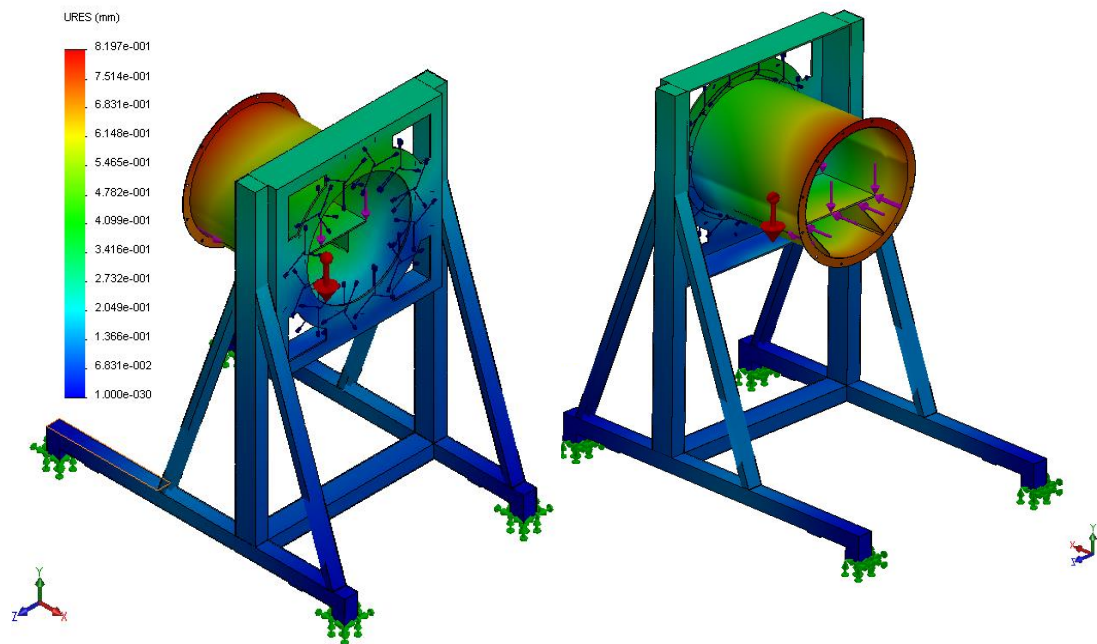


Figura 59: Deformacions absolutes

### Deformacions unitàries:

La deformació unitària depèn de la tensió de cada element finit i del mòdul de Young del material. Per tant els punt de màxima tensió seran els punts que es deformaran més.

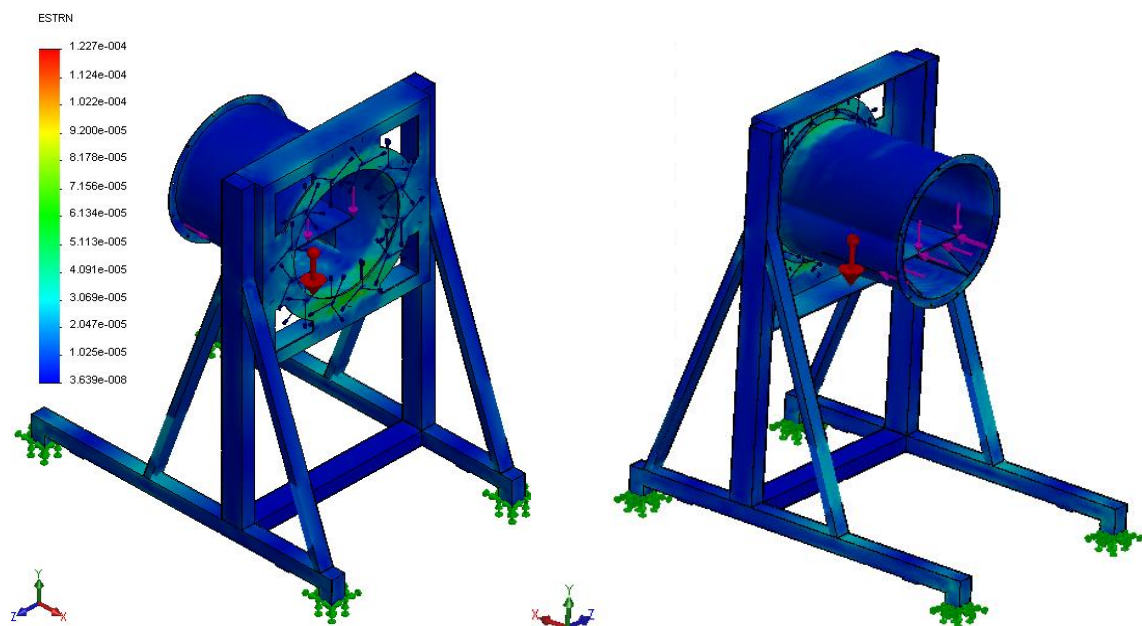


Figura 60: Deformacions unitàries

Coefficient de seguretat:

Càlcul del factor de seguretat aplicant el criteri de Von Mises. El coeficient de seguretat de l'estructura ve determinat pel seu valor més baix. En aquest cas, es tracte d'un valor proper a 24 situat a la mateixa regió que la tensió màxima.

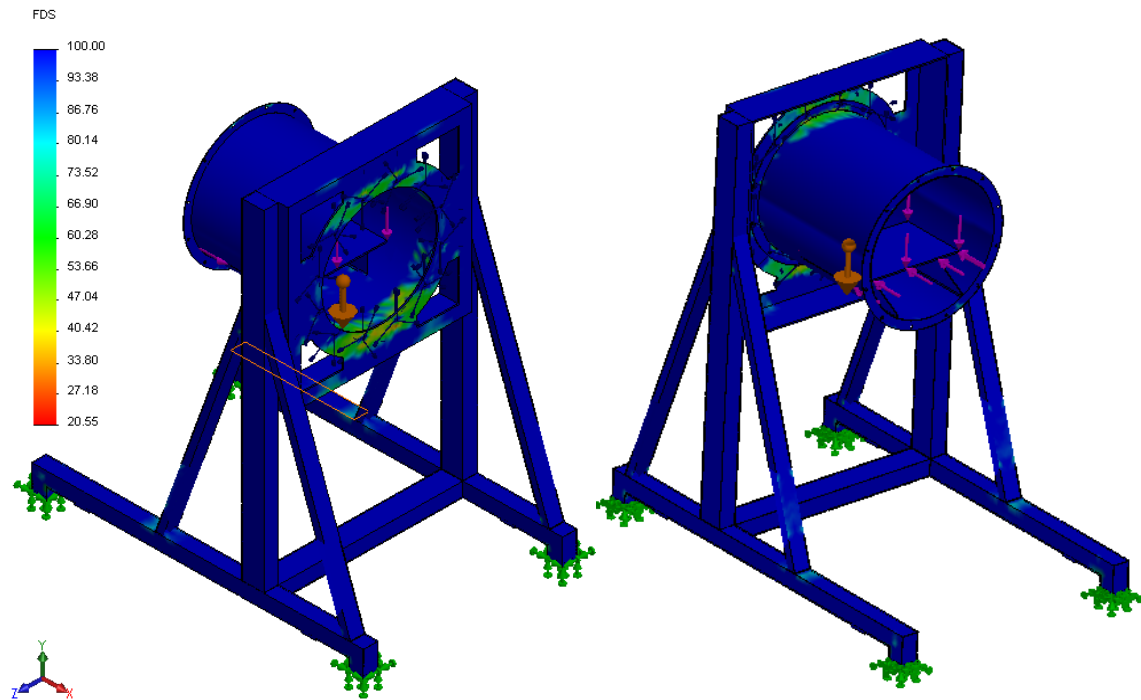


Figura 61: Factor de seguretat

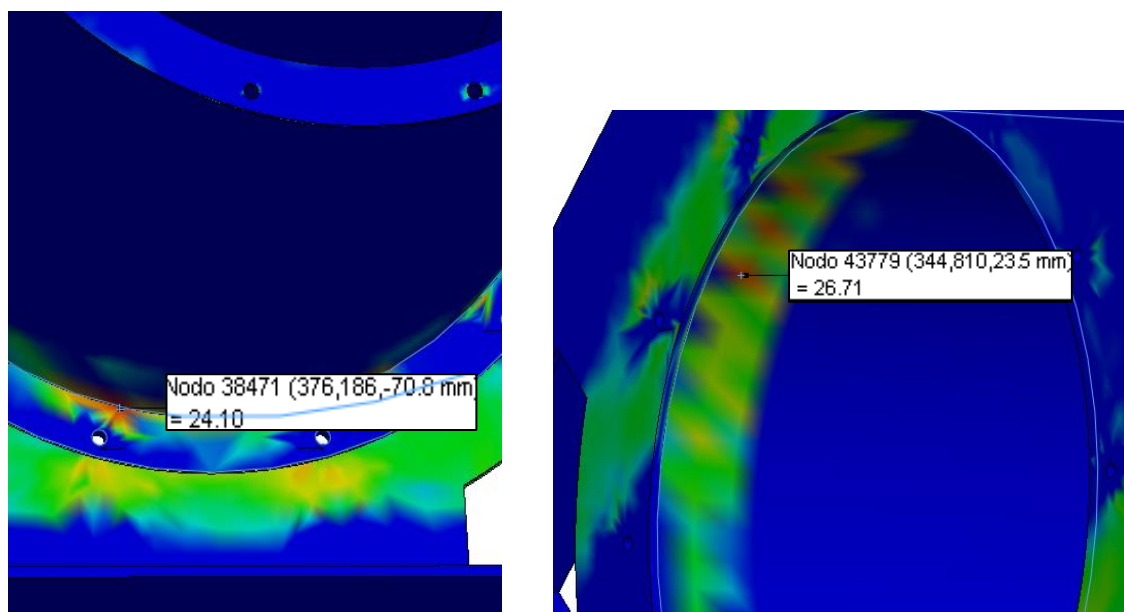


Figura 62: Punts crítics del model



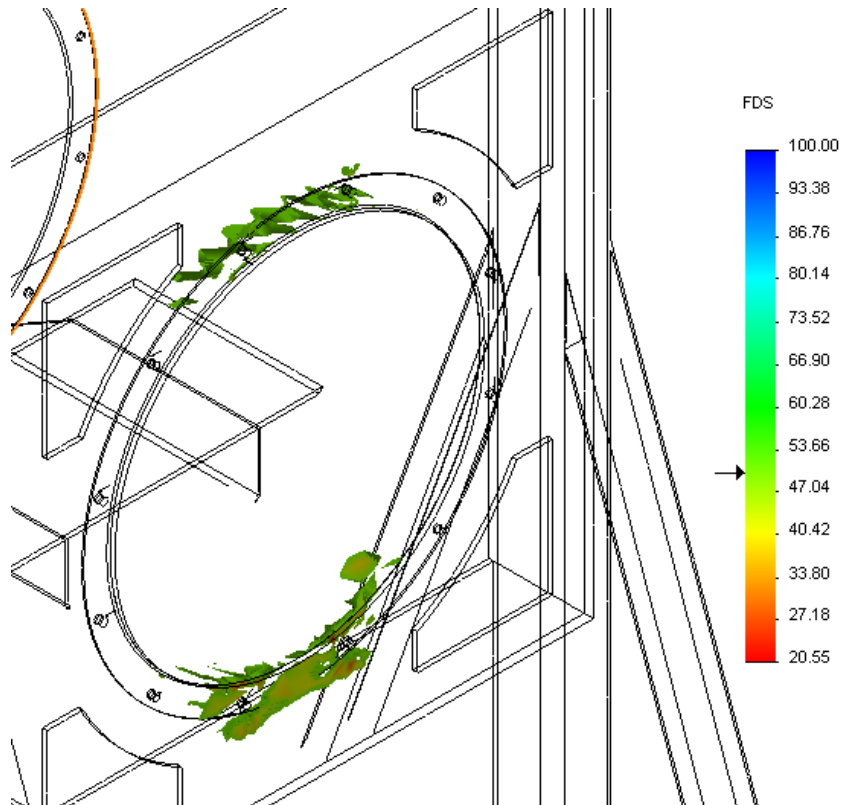


Figura 63: Punts amb un coeficient de seguretat inferior a 50

En les imatges superiors veiem que els punts menys sobredimensionats es troben a la brida del ventilador.

## H.6 Resultats de la simulació estàtica (en cas isostàtic)

Aquesta vegada, canviarem les condicions de subjecció amb el terra i, en comptes de considerar un cas hiperestàtic, modificarem la geometria del suport lleugerament perquè el programa permeti realitzar un anàlisi amb un recolzament giratori (frontissa) i un recolzament lliure de rotació i de translació en el pla.

Per tal de reproduir l'articulació fixa, s'ha necessitat extrudir un rodó massís a la part inferior del suport, entre els dos laterals, tal hi com es veu a la figura inferior. També s'han eliminat els tornapunts per tal de simplificar l'estructura.

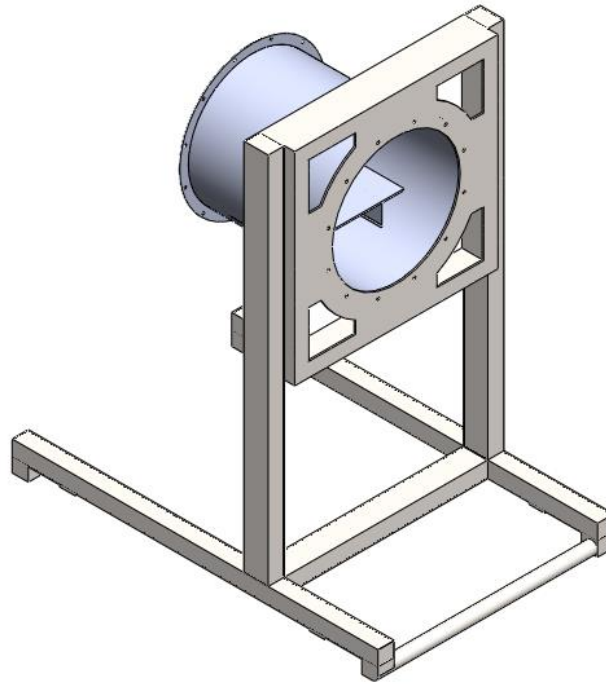


Figura 64: Incorporació d'un travesser rodó per poder fer la simulació

En aquest cas, els resultats obtinguts són els següents:

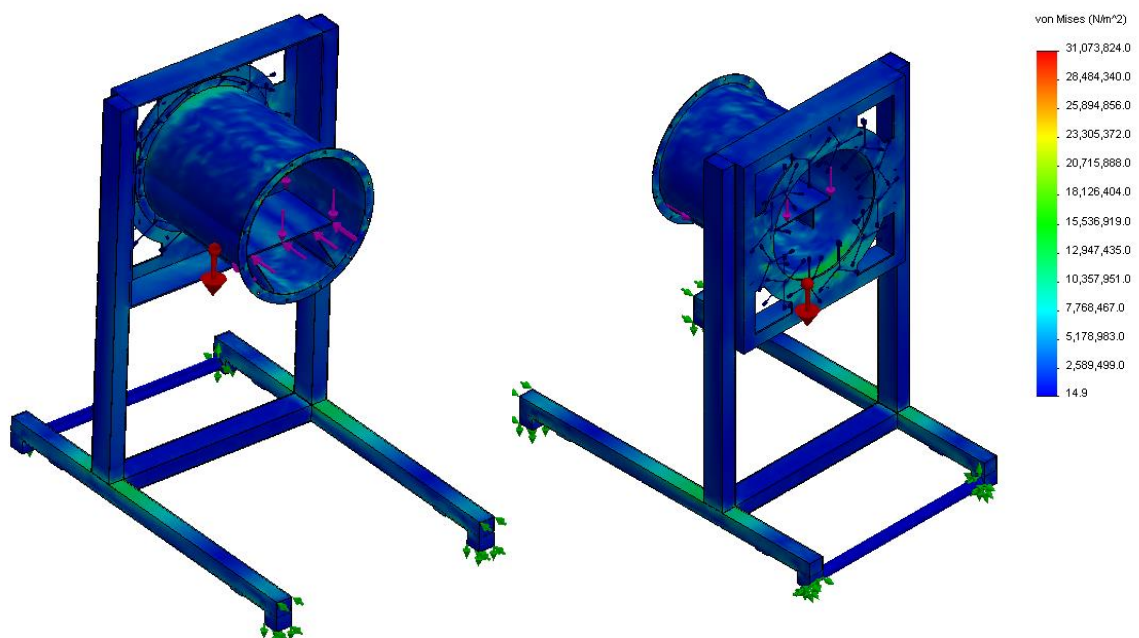


Figura 65: Resultat gràfic de tensions

La tensió màxima ha augmentat relativament poc.

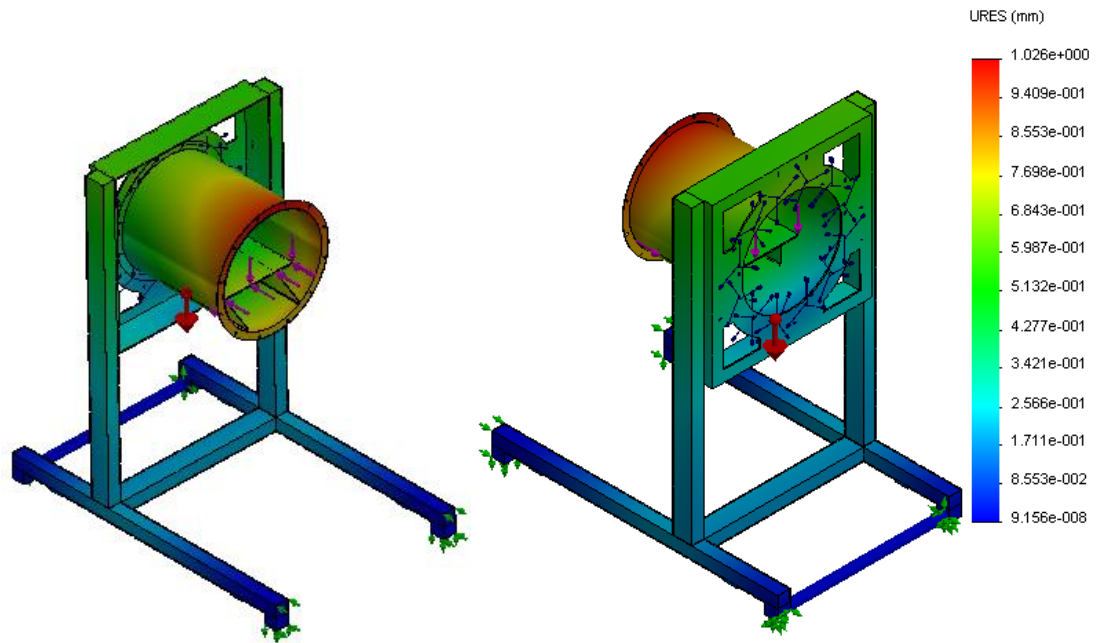


Figura 66: Resultat gràfic de desplaçaments

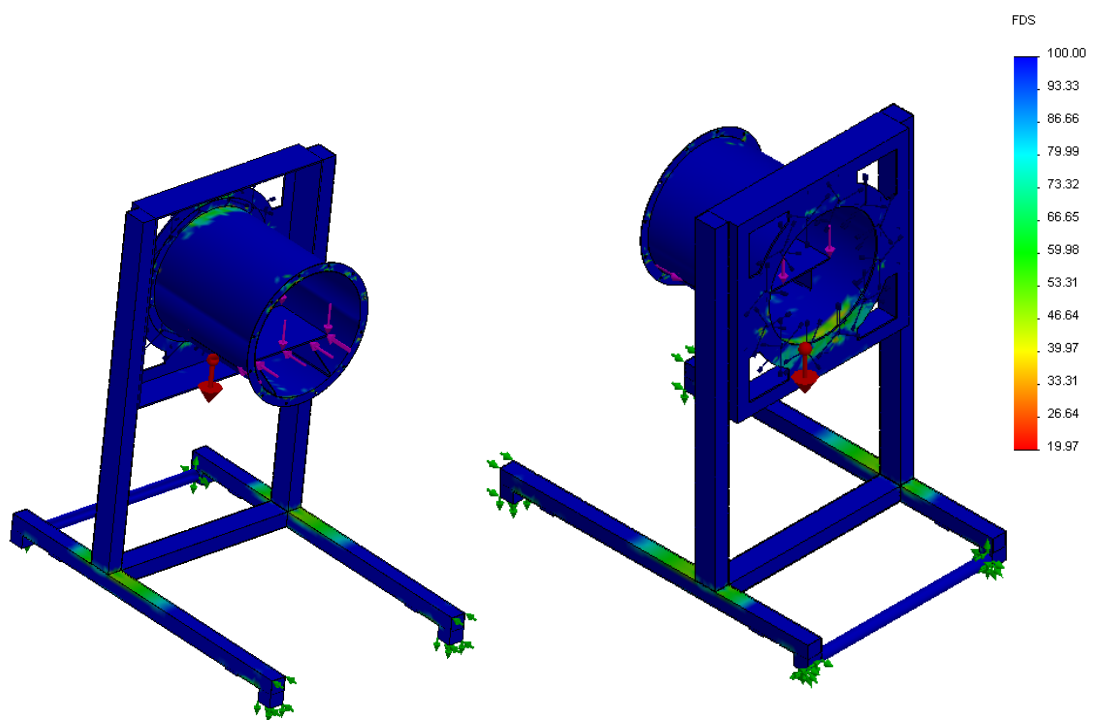


Figura 67: Resultat gràfic de coeficients de seguretat

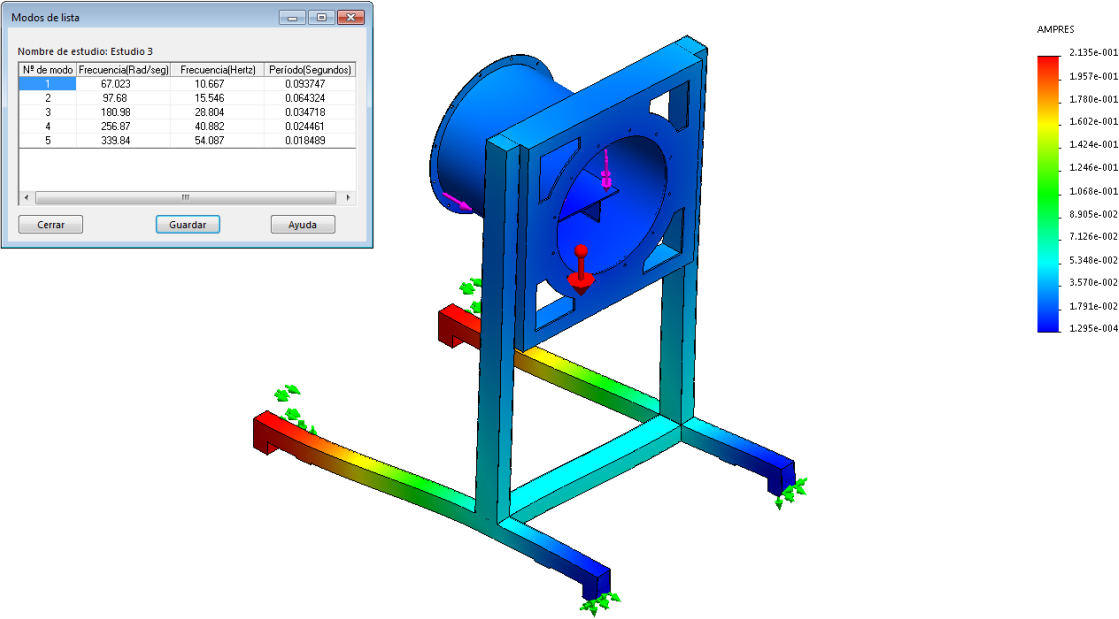


Figura 68: Amplitud resultant de l'estudi de freqüència

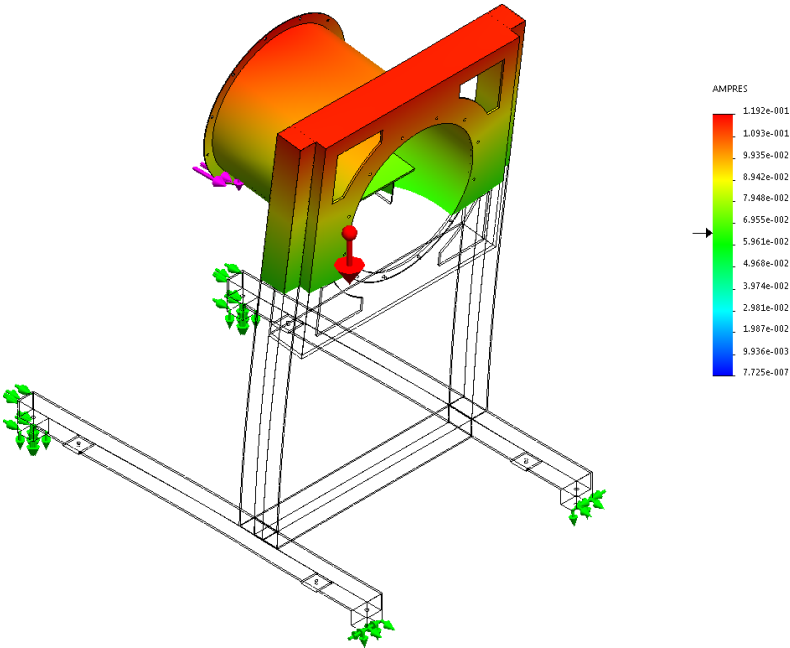


Figura 69: Estudi d'amplitud d'un mode diferent a l'anterior

## ANNEX I: PREPARACIÓ DE LES DIFERENTS PECES

Subcontractació per tall làser o mecanització de la caixa:

- Realitzar la comanda de peça d'unió entre el suport i la brida del ventilador. El desenvolupament de la peça encomanada serà de 1308x1000x8mm.

La complexitat de la peça i les seves dimensions en fan difícil la mecanització. Com a última opció es podria recórrer al punxonat, però l'espessor del material podria malmetre els utillatges i l'acabat final no seria tant satisfactori com el tall tèrmic CNC.

Serratge de tubs:

- Comprovar si hi ha retalls més gran de les següents dimensions utilitzant la cinta mètrica i el peu de rei. Utilitzar sempre guants i calçat de seguretat. Vigilar la resta de perfils i no córrer per evitar accidents fortuïts.
  - Perfil S235JR tubular rectangular de 120x80x3 mm, 4682 mm:
    - 1841 mm (2 unitats)
    - 1000 mm
  - Perfil S235JR tubular rectangular de 80x80x4 mm, 4120 mm:
    - 1800 mm (2 unitats)
    - 130 mm (4 unitats)
  - Perfil S235JR tubular rectangular de 80x40x2 mm, 5652 mm:
    - 1414 mm (4 unitats)

Si no n'hi ha, anar a l'estanteria i amb l'ajuda d'un operari o un serjant, una braga i el pont grua retirar un perfil de 6000 mm (llargada estàndard). Pot passar que el perfil que es busca estigui a sota d'una pila. En aquest cas haurem d'embragar la resta de perfils, apilonar-los al costat de manera segura, enretirar el desitjat i tornar-los a ordenar.

- Col·locar els perfils a sobre d'un carretó i dirigir-se cap a la serra de cinta.

- Comprovar l'estat de la cinta i el nivell de taladrina.
- Si s'estrena un tub de 6 metres, es realitza un petit tall al començament per assegurar la seva perpendicularitat.
- Una vegada tallats és recomanable posicionar els tubs verticalment perquè s'escorri la taladrina. Es pot aprofitar el temps de tall (automàtic) per assecar-los.

Perfil 120x80x3mm:

- Assegurar que el goniòmetre de la serra està a 0°
- Situar el topall a 1000 mm i tallar el perfil 120x80x3mm a 0° (enretirar) (SP: 00-12-3-TRAVES)
- Situar el topall a 1841 mm i tallar el perfil 120x80x3mm a 0° (enretirar) (SP: 00-12-2-PILAR)
- Tallar un nou perfil 120x80x3mm a 0° (enretirar) (SP: 00-12-2-PILAR)

Perfil 80x80x4mm (SP: 00-12-1-LATERAL):

- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 45°
- Situar el topall a 1800 mm i tallar el perfil 80x80x4mm a 45°
- Girar el perfil anterior i tallar-ne l'extrem a 45° (ull posició) - (enretirar)
- Tallar el perfil 80x80x4mm a 45°
- Girar el perfil anterior i tallar-ne l'extrem a 45° (ull posició) - (enretirar)
- Situar el topall a 130 mm i tallar el perfil 80x80x4mm a 45° (enretirar)
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 0°
- Tallar el perfil 80x80x4mm (enretirar)
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 45°
- Tallar el perfil 80x80x4mm (enretirar)
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 0°
- Tallar el perfil 80x80x4mm (enretirar)





Figura 70: Procés de serratge del tub de 80x80x4 mm

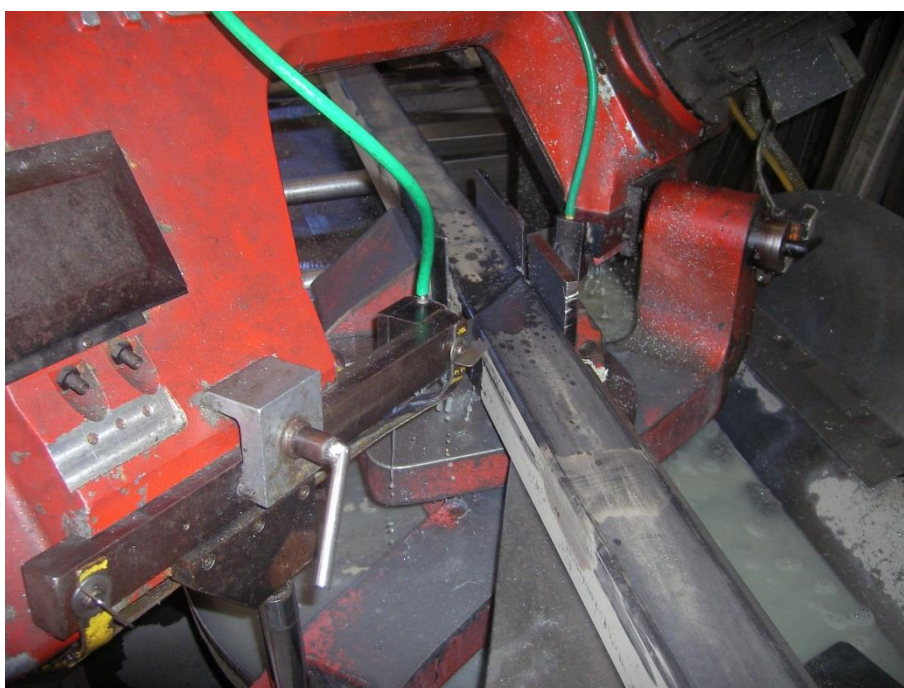


Figura 71: Tall a 45°



Figura 72: Sistema de fixació i comandament bimanual de seguretat



Figura 73: Serratge dels perfils 80x80x4mm a 130mm i 45°

Perfil 80x40x2mm (SP: 00-12-4-TORNA)\*

\*Aquest perfil no es podrà tallar totalment amb la serra de cinta, ja que el seu goniòmetre no permet talls més grans de 60°.



- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 19°
- Situar el topall a 1414 i tallar el perfil 80x40x2mm a 19° - (enretirar)
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 0°
- Tornar a assegurar la perpendicularitat tallant l'extrem a 0°
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 19°
- Tallar el perfil 80x40x2mm a 19° - (enretirar)
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 0°
- Tornar a assegurar la perpendicularitat tallant l'extrem a 0°
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 19°
- Tallar el perfil 80x40x2mm a 19° - (enretirar)
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 0°
- Tornar a assegurar la perpendicularitat tallant l'extrem a 0°
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 19°
- Tallar el perfil 80x40x2mm a 19° - (enretirar)
- Canviar l'angle del goniòmetre de la serra a 0°
- Amb l'ajuda d'una esquadra, un llapis de ferrer, una cinta mètrica i un transportador d'angles dibuixar el perímetre de tall al voltant de l'extrem a 90° dels tubs de 80x40x2mm. L'angle en aquest extrem ha de ser de 71°. Més endavant, una vegada a la taula de treball es procedirà a tallar-los amb un disc de tall. (SP: 00-12-04-TORNA)

#### Serratge de passamans (SP: 00-12-1-LATERAL):

- Tallar passamà S235JR 80x15 mm, a 80 mm
- Tallar passamà S235JR 80x15 mm, a 80 mm
- Tallar passamà S235JR 80x15 mm, a 80 mm
- Tallar passamà S235JR 80x15 mm, a 80 mm
- Tallar passamà S235JR 80x8 mm, a 80 mm
- Tallar passamà S235JR 80x8 mm, a 80 mm
- Tallar passamà S235JR 80x8 mm, a 80 mm
- Tallar passamà S235JR 80x8 mm, a 80 mm



Figura 74: Tall dels passamans utilitzant un retall com topall a 80mm

Assecar amb un drap les peces per eliminar-ne la taladrina  
Netejar espai de treball i màquina



Figura 75: Platines de passamà després de serrar-les

### Cisallat de xapes:

Per tallar les xapes de 3 mm utilitzarem una cisalla pendular de 12 CV, en canvi per cisallar les de 8mm, serà necessari una potència de 25 CV.

#### Cisalla de 12 CV

- Tallar xapa 114x74x3mm situant els topalls a la distància correcta
- Tallar xapa 114x74x3mm (SP: 00-12-2-PILAR)

#### Cisalla de 25 CV

- Tallar xapa de 984x162x8mm (SP: 00-12-5-CAIXA)
- Tallar xapa de 984x162x8mm (SP: 00-12-5-CAIXA)

### Plegat de la peça central (SP: 00-12-05-CAIXA)



Figura 76: Peça subcontractada per tall amb làser

- Dirigir-se a la plegadora de 3 metres CNC amb la peça subcontractada, tallada amb làser.
- Configurar els paràmetres de doblat en funció del gruix i del tipus de material.
- Col·locar els regles adients segons consells experts.
- Col·locar els topalls a la posició estipulada en els plànols (162mm).
- Doblegar una ala amb l'ajuda d'un operari.
- Girar la peça
- Doblegar l'altra ala amb l'ajuda d'un operari.

Tall amb mola de l'angle de 71° del tub de 80x40x2mm:

- Amb l'ajuda d'una mola portàtil i un disc de tall de 115 mm tallar l'extrem restant del tub. És recomanable fixar la peça en un cargol de banc o amb dos serjants a la taula de treball.

Eliminació d'arestes vives o *rebaves*.

Per tal de poder treballar amb les peces tallades cal que eliminem les arestes tallants, aquelles que són susceptibles de provocar accidents fortuïts. Així doncs, amb la mola i un disc de làmines, sempre amb guants i ulleres de protecció, s'aixamfrarà lleugerament cada un dels costats.

Trepanat en el trepant de columna:

- Forats roscats M12: forat de prerroscat Ø10.2 mm
- Forats roscats M16: forat de prerroscat Ø14 mm
- Forats passants Ø20

Els passos a seguir per trepanar són els següents:



- Agafar els passamans (4 ut. de 8mm i 4t de 15 mm)
- Marcar el seu centre amb l'esquadra, el peu de rei i un llapis de ferrer (centre a 40mm i 40mm)
- Amb el punxó i un martell marcar aquest centre per facilitar el correcte posicionament de la broca sobre el punt de trepanat.

Per trepanar els forats de Ø10.5 mm és necessari fer un forat abans més petit, per exemple de Ø5 mm.

- Introduir la broca de Ø5 mm al portabroques
- Canviar el règim de gir

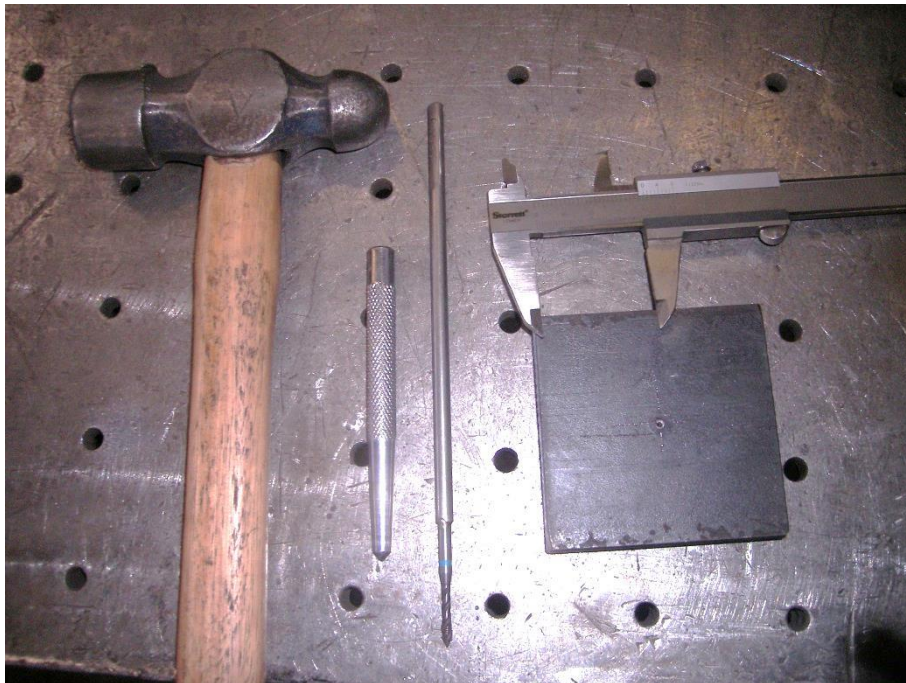


Figura 77: Material necessari i procés del marcat de centres

ROSCADO DE MACHOS									
DIÁMETRO DE AGUJEROS DE PRERROSCADO									
Diámetro de prerroscado:									
El diámetro de las roscas para agujeros prerroscados debe ser ligeramente mayor que el de la rosca a realizar, disminuyendo así el esfuerzo de corte y el riesgo de rotura del macho									
Sus valores orientativos para diversos tipos de rosca se exponen en la tabla que sigue:									
VALORES INDICATIVOS DE PRERROSCADO									
TIPO DE ROSCA									
Métrica		Métrica Fina		Withworth		Withworth Fina		Rosca gas	
Ø Rosca	Ø Broca	Paso mm	Ø Normal...	Ø Rosca"	Ø Broca"	Ø Rosca"	Ø Broca"	Ø Rosca (NPT)	Ø Broca
M 1	0.75		(Ø de la broca = Ø normal de la rosca menos ...)	W 1/16	1.2	3/16	4	R 1/8	8.7
M 1.1	0.85			W 1/32	1.9	7/32	4.6	R 1/4	11.6
M 1.2	0.95			W 1/8	2.5	1/4	5.3	R 3/8	15.25
M 1.4	1.1			W 5/32	3.2	9/32	6.1	R 1/2	19
M 1.6	1.25			W 3/16	3.7	5/16	6.8		
M 1.8	1.45			W 7/32	4.6			R 5/8	20.75
M 2	1.6	0.2	0.2	W 1/4	5.1	3/8	8.3	R 3/4	24.5
M 2.2	1.75			W 5/16	6.5	7/16	9.7	R 7/8	28
M 2.5	2.05	0.25	0.25	W 3/8	7.9	1/2	11.1	R 1	30.5
M 3	2.5			W 7/16	9.2	9/16	12.7		
M 3.5	2.9	0.35	0.35	W 1/2	10.5	5/8	14	R 1 1/4	35.5
M 4	3.3			W 5/8	13.5			R 1 1/8	39.5
M 4.5	3.7	0.5	0.5	W 3/4	16.5	11/16	15	R 1 3/8	41.5
M 5	4.2			W 7/8	19.2	3/4	16.75	R 1 1/2	45
M 6	5			W 1	22	7/8	19.75		
M 7	6			W 1 1/8	24.5	1	22.75	R 1 3/4	51
M 8	6.8	0.75	0.75	W 1 1/4	27.7	1.125	25.5	R 2	57
M 10	8.5			W 1 3/8	30.5			R 2 1/4	63
M 12	10.2	1	1	W 1 1/2	33.5	1.25	28.75	R 2 1/2	72.5
M 14	12			W 1 5/8	35.5	1.375	31.5		
M 16	14	1.25	1.25	W 1 3/4	39	1.5	34.5	R 2 3/4	79
M 18	15.5			W 1 7/8	41.5	1.625	38	R 3	85.5
M 20	17.5	1.5	1.5	W 2	44.5	1.75	40.5		
M 22	19.5			W 2 1/4	50				
M 24	21			W 2 1/2	56	2	47		

Figura 78: Diàmetre dels forats de prerroscat

Font: <http://camingenieros.com/Descargas/Diametro%20agujero%20pre%20roscado.pdf>

La velocitat de gir del trepant varia en funció del diàmetre de la broca i de la velocitat de tall del material (la resistència del nostre acer és de 37 kg/mm<sup>2</sup>):

Diámetro de la broca		2~5		5~11		12~18	
		Velocidad de corte	Avance	Velocidad de corte	Avance	Velocidad de corte	Avance
Acero	Resistencia a la tensión (kg/mm <sup>2</sup> )						
	30~50	20~25	0.1	20~25	0.2	30~35	0.25
	50~70	20~25	0.1	20~25	0.2	20~25	0.25
Hierro fundido	Dureza brinell						
	<~220	25~30	0.1	30~40	0.2	25~30	0.35
	220~260	12~18	0.1	14~18	0.15	16~20	0.2
Aleaciones de cobre de dureza brinell 80 o menor		≤ 50	0.05	≤ 50	0.15	≤ 50	0.03

Taula 1: Velocitats de tall i avanç en funció del material i diàmetre de la broca  
<https://ivanacal.files.wordpress.com/2013/03/taladro-maquinado.pdf>

$$V_c = \frac{\pi \phi \times n}{1000} \rightarrow n_{\phi} = \frac{1000 \times 15}{\pi \phi}$$

Llavors,

Frequència de gir de la broca (voltes/min)	Avanç de la broca (m/min)
--	---------------------------

$$n_5 = \frac{1000 \times 23}{5\pi} = 1465 \text{ RPM}$$

$$a_5 = 0.1$$

$$n_{10.5} = \frac{1000 \times 23}{10.5\pi} = 700 \text{ RPM}$$

$$a_{10.5} = 0.2$$

$$n_{14} = \frac{1000 \times 33}{14\pi} = 750 \text{ RPM}$$

$$a_{14} = 0.25$$

$$n_{20} = \frac{1000 \times 33}{20\pi} = 525 \text{ RPM}$$

$$a_{20} = 0.3$$

- Col·locar la broca de **5mm** al mandril portabroques
- Assegurar el tall de passamà en una mordassa o premsa fixada a la taula de trepanat.
- Fixar una velocitat alta: 1500 rpm
- Foradar el passamà aplicant taladrina al punt de mecanitzat.
- Repetir la operació amb els 8 talls de passamà:
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x8mm (1)
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x8mm (2)
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x8mm (3)
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x8mm (4)
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x15mm (1)
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x15mm (2)
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x15mm (3)
  - Foradar a Ø5mm peça 80x80x15mm (4)
- Canviar la broca de 5mm per la de **10.5mm**, canviar velocitat a 700 rpm i repetir el procés anterior:
  - Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x8mm (1) - enretirar

- Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x8mm (2) - enretirar
  - Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x8mm (3) - enretirar
  - Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x8mm (4) - enretirar
  - Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x15mm (1)
  - Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x15mm (2)
  - Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x15mm (3)
  - Foradar a Ø10.5mm peça 80x80x15mm (4)
- Canviar la broca de 10.5mm per la de 14mm i repetir el procés anterior. Si és necessari, canviar el mandril portabroques per un de cònic.
- Foradar a Ø14mm peça 80x80x15mm (1)
  - Foradar a Ø14mm peça 80x80x15mm (2)
  - Foradar a Ø14mm peça 80x80x15mm (3)
  - Foradar a Ø14mm peça 80x80x15mm (4)

Cal aguantar amb força la mordassa o premsa de taula per evitar que aquesta giri i pugui lesionar a l'operari, sobretot en el moment en què la broca travessi totalment el passamà.





Figura 79: Procés de trepanat del passamans 80x80x8 i 80x80x15 mm

Procés d'apuntat (soldadura) intermedi:

- Fixar cada un dels passamans de 80x80x8mm amb quatre punts de soldadura (dos a cada vèrtex) segons plànols adjunts (Veure plànol nº: 00-12-1-LATERAL).

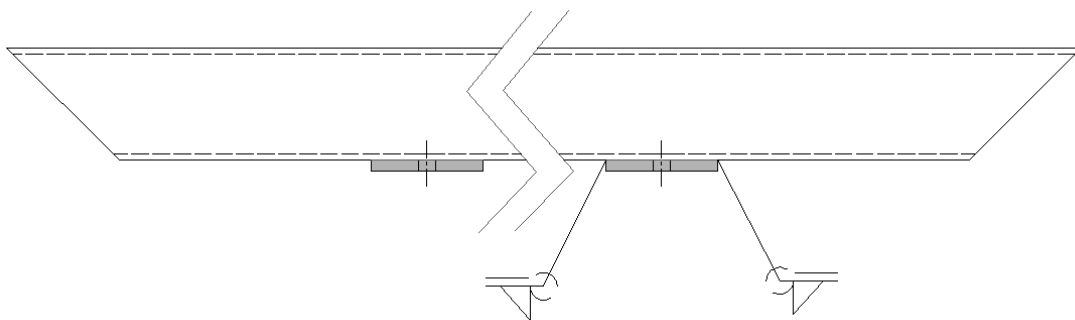


Figura 80: Posició de les platines de 80x80x8mm

Trepanat del conjunt:

Una vegada fixades les platines de 80x80x4mm al tub de 80x80x4 (com es veu a la figura 53 o al plànol amb referència 00-12-1-LATERAL) caldrà foradar-lo utilitzant com a guia el forat, ja de 10.5 mm de diàmetre fet anteriorment. També cal fer els de Ø20mm a cada extrem de la part superior (cara més gran) utilitzant el mateix us progressiu de les broques que abans:

- Marcar el punt central del cada forat de Ø20mm que es realitzarà amb el llapis de ferra, ratllant el material
- Marcar-lo més intensament amb un punxó i un martell.

#### Broca Ø5mm

- Col·locar la broca de Ø5mm al mandril portabroques
- Recolzar un extrem de tub a una moxa i l'altra a la taula del trepant de columna.
- Fixar el tub a la taula amb un serjant o un element d'unió.
- Canviar velocitat a 1500 rpm
- Realitzar dos forats d'aquest diàmetre que siguin concèntrics amb el de 10.5mm ja fets a les platines de 80x80x8, i d'aquesta manera perforar els 4mm d'espessor del tub. Sempre refrigerar el punt de tall amb taladrina.
- Realitzar dos forats (Ø20mm) sobre el punt marcat amb el punxó
- Fer el mateix amb l'altre conjunt lateral

#### Broca Ø10.5mm

- Canviar velocitat a 700 rpm
- Seguir el mateixos passos que s'han seguit amb la broca de Ø5mm.

#### Broca Ø14mm

- Engrandir els forats dels extrems fins a Ø14mm

#### Broca Ø20mm

- Canviar velocitat a 500 rpm
- Engrandir els forats dels extrems fins a Ø20mm

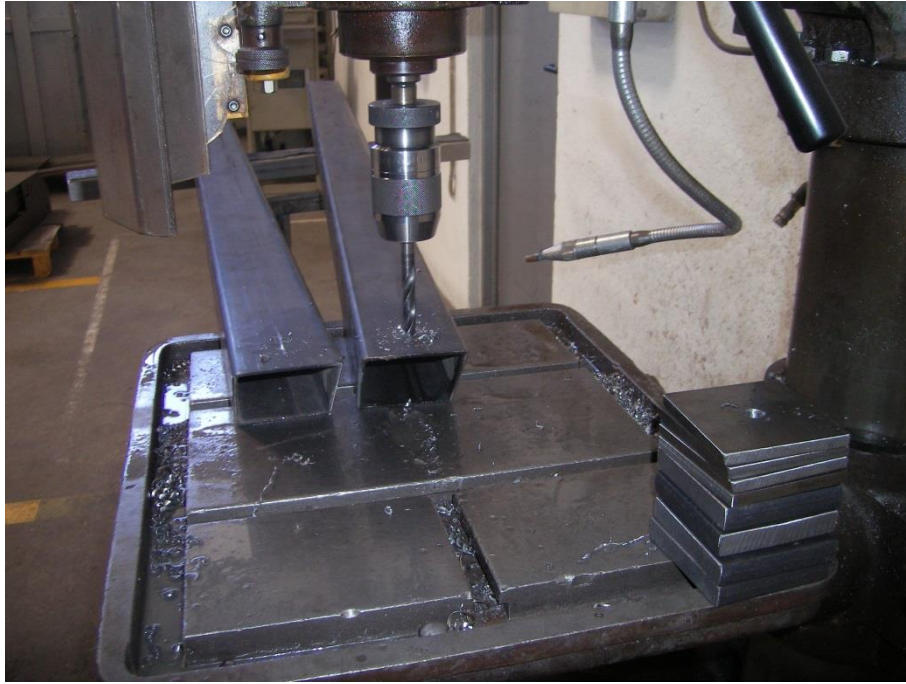


Figura 81: Trepanat dels conjunts laterals de la base del suport

#### Avellanat:

El procés d'avellanat (xamfrà d'un forat) és necessari per a realitzar una entrada del mascle suau i evitar-ne el seu desgast, així com eliminar la rebava o cantell tallant fruit de l'arrencament de ferritja per trepanat. Aquest procés es pot fer servir amb un tipus de broca de forma cònica anomenada avellanadora o simplement amb una broca de mètrica superior.

#### Roscat de les platines 80x80x15mm i del conjunt lateral:

Per a roscar els forats de Ø10.5 a M12 i Ø14 a M16 utilitzarem dos mascles i una roscadora hidràulica.

- Fixar les platines de 80x80x15mm en una mordassa i assegurar la seva rectitud.
- Acoblar el mascle de M12 al capçal de la màquina.
- Roscar les quatre platines de 15mm afegint-hi oli de tall.

- Fixar els conjunts en una mosssa (cavallet d'alçada regulable) i assegurar la seva rectitud i anivellament.
- Acoblar el mascle de M16 al capçal de la màquina.
- Roscar els quatre forats restants tot mullant el mascle amb oli de tall per refrigerar-lo.

## ANNEX J: SOLDADURA DEL SUPORT

En aquest annex es detallaran tots els passos necessaris per assegurar el correcte acabat del suport. La seva resistència vindrà determinada, en gran part, per la qualitat de la soldadura. Per aquest motiu és important assegurar que la gota de soldadura penetri dins la unió, i això s'aconseguirà regulant la intensitat subministrada per la màquina de soldar i vigilat la velocitat amb la que es fa avançar la metxa.

Tipus de soldadura: MIG/MAG (fil continu)

Unió dels tubs de 80x80x3mm a 130mm i 90/45° amb la platina de 80x80x15mm:

- Fer xamfrà de 45° amb la mola a la platina i al tub.
- Aplicar esprai antiadherent a les peces.
- Col·locar la massa de l'equip de soldar a la taula.
- Unir amb un punt de soldadura a cada aresta les dues peces.
- Comprovar condicions de paral·lelisme i perpendicularitat, així com mesurar les dimensions i certificar que coincideixen amb les del plànol 00-12-1-LATERAL.



Figura 82: Procés de soldadura entre la platina i els peus del lateral



- Realitzar un cordó de soldadura perimetral i dos cordons interiors de reforç.



Figura 83: Cordó de soldadura perimetral i esprai antiadherent



Figura 84: Cordons de soldadura interiors

- Polir amb la mola i un disc de desbast el cordó de soldadura fins a deixar-lo a nivell.



Figura 85: Diferència entre abans i després de polir la peça

- Passar un cargol de M16 per la rosca i eliminar qualsevol gra que hagi pogut quedar-hi. En cas que el cargol no pugui travessar totalment tota la profunditat de rosca tornar a roscar-la amb un mascle.

Unió dels tubs del conjunt (130+15)x80x80 i del lateral a 45°:

- Untar amb esprai antiadherent les zones properes als punts d'unió entres els dos conjunts per evitar la presència de grans.
- Apuntar cada extremitat del conjunt lateral de manera que compleixi les mesures (SP: 00-12-1-LATERAL)
- Realitzar un cordó perimetral de manera que els dos conjunts formin un angle de 90° (45+45°). Els cordons perimetrals a 45° creen una estètica agradable a simple vista. Així doncs, cal parar atenció a la qualitat i a l'acabat del cordó, ja que serà visible.
- Comprovar mides totals (SP: 00-12-1-LATERAL)



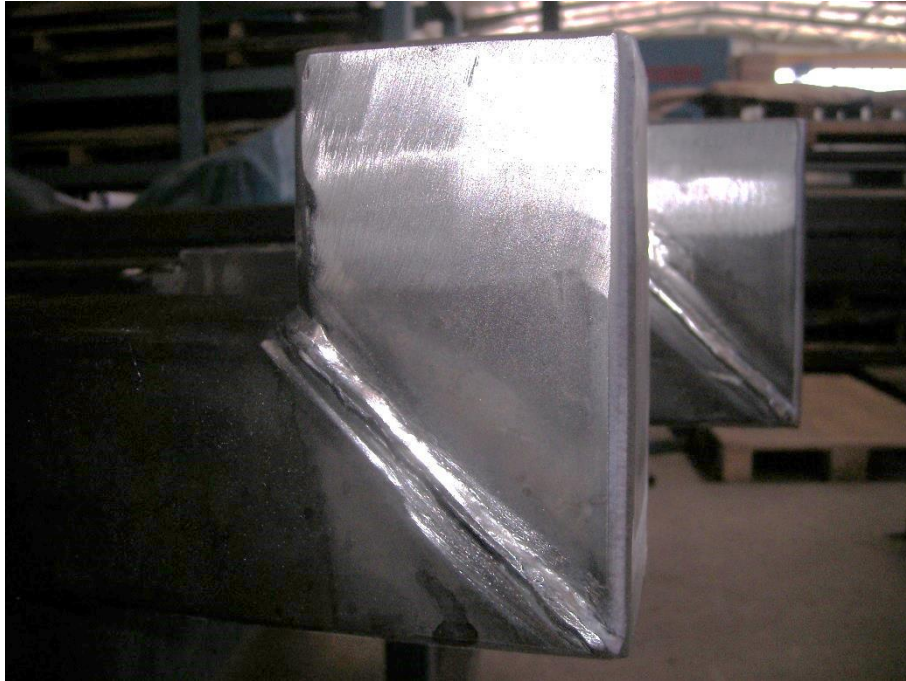


Figura 86: Cordó de soldadura a 45°



Figura 87: Conjunts laterals de la base del suport

Repassar la unió entre les platines 80x80x8mm amb el tub de 80x80x4mm:

- Realitzar un cordó perimetral entre les dues peces i polir les arestes.
- Polir la soldadura de les arestes visibles.



Unió dels dos conjunts laterals per mitjà del travesser (SP: 00-12-3-TRAVES)  
segons plànol (SP: 00-12-SUPORT):

- Amb l'ajuda de dos serjants unir el travesser entre els laterals tal i com s'especifica en els plànols de conjunt del suport.
- Apuntar (fer dos punts de soldadura a cada unió) de manera que el travesser es mantingui en la seva posició però doni un cert joc per acabar d'acomodar l'angle i aconseguir les condicions de perpendicularitat i paral·lelisme entre elements més gran possible. Seguidament enretirar els serjants.
- Comprovar alineació de components mesurant les diagonals de la base amb un cinta mètrica i certificar que els valors són iguals. En cas contrari picar o donar petits cops a l'estructura per reconduir les cotes. En cas que no s'aconsegueixi es pot apuntar un tub complementari al travesser que la mantingui (una vegada el suport estigui acabat es retirarà i es poliran els punts de soldadura).
- Apuntar cada vèrtex amb més èmfasi per immobilitzar el conjunt.

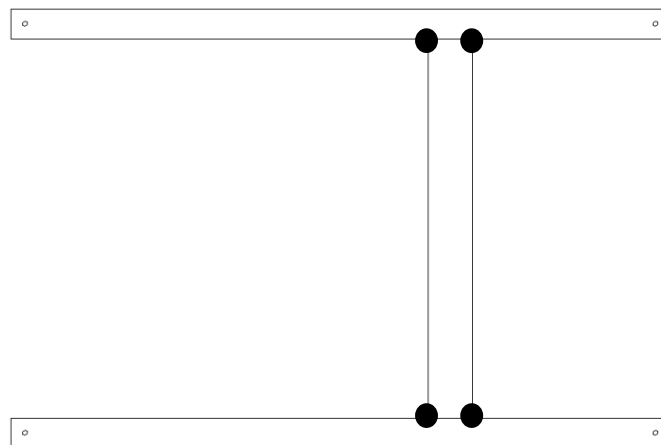


Figura 88: Posició dels punts de soldadura aplicats

Unió entre els tubs 120x80x3 i els taps (únicament a un extrem) 114x74x3mm  
(SP: 00-12-02-PILAR):

- Amb una cunya encastar la xapa (tap) a un extrem i apuntar lleugerament l'aresta contrària.
- Enretirar la cunya i amb un martell colpejar la tapa fins a aconseguir planitud i perpendicularitat amb el tub.
- Apuntar totes les arestes.
- Polir la superfície amb la mola i un disc de làmines o de desbast.
- Repetir el mateix procés amb l'altre pilar.

Unió entre la base (unida anteriorment) i els pilars (SP: 00-12-02-PILAR):

- Col·locar els pilars de 120x80x3 a sobre de la base. Si s'ha comprovat l'anivellament de la base s'han d'aguantar sense cap tipus de fixació.
- Apuntar-los i comprovar distàncies entre pilar i pilar a la base i al seu punt més alt.
- Certificar paral·lelisme i perpendicularitat amb la base.

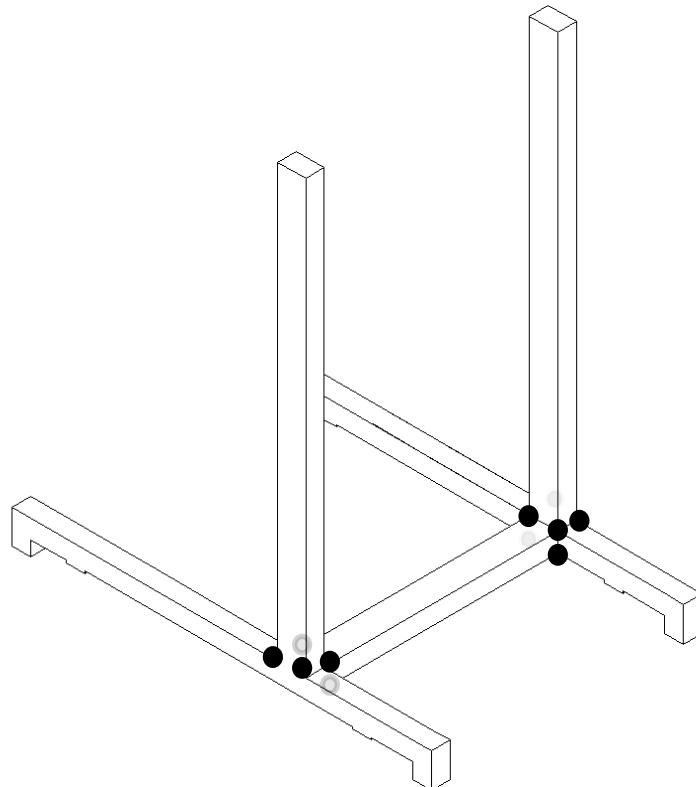


Figura 89: Posició dels pilars i punts de soldadura aplicats

- Apuntar els vèrtex que consoliden la unió

Unió entre el conjunt i els tornapunts (SP: 00-12-04-TORNA) i (SP:00-12-SUPPORT):

- Marcar sobre el conjunt les distàncies necessàries (alçada sobre el pilar i longitud sobre la base) a on aniran situats els tornapunts (80x40x2mm).
- Situar els tubs a sobre del conjunt i apuntar-los a les seves respectives posicions.



Figura 90: Procés de soldadura dels tornapunts amb l'estructura

Unió entre els laterals (taps) de la caixa i la xapa en "U" que s'ha plegat (SP: 00-12-05-CAIXA):

- Fer xamfrà als laterals de 984x162x8mm amb una mola i un disc de desbast (només a les tres arestes que estaran en contacte amb la peça plegada).
- Fixar, amb l'ajuda de dos serjants i un martell els laterals a la caixa per aconseguir la major planitud possible.
- Apuntar els extrems de cada lateral.
- Realitzar un cordó de soldadura contínua al llarg de les quatre arestes curtes (interior i exterior)

- Realitzar un cordó de soldadura contínua al llarg de les dos arestes llargues exteriors i intermitent a l'interior.
- Polir amb una mola i un disc de desbast els cordons exteriors.



Figura 91: Fixació dels taps laterals

Unió entre la caixa (SP: 00-12-05-CAIXA) i l'estructura:

- Utilitzant el pont grua i una brida de roba embragar la caixa i elevar-la fins a la seva posició sobre els pilars de l'estructura.
- Amb l'ajuda d'un escala i de dos serjants fixar la caixa a la posició requerida pel plànol de conjunt (SP: 00-12-SUPORT).
- Realitzar punts de soldadura al llarg de la unió entre els pilars i la caixa.
- Retirar els serjants i baixar l'estructura, amb el pont grua, a una posició còmode per a treballar.
- Realitzar cordons continus allà on la resistència sigui major.

Per últim, es realitzen cordons de soldadura continus al llarg de totes les arestes visibles per tal de reforçar l'estructura i millorar-ne l'estètica de l'acabat final. Es retira el travesser complementari (si n'hi ha) i es poleixen els punts.





Figura 92: Fixació de la caixa a l'estructura per mitjà de serjants



Figura 93: Soldadura de reforç final dels punts anteriors



Figura 94: Suport acabat de soldar, amb el travesser complementari

## ANNEX K: PINTURA DEL SUPORT

Així com s'ha acordat amb el departament, el color del suport ventilador ha de ser el mateix que el del suport de fusta que subjecte la virola del túnel de vent. Per aquest motiu, s'ha determinat a quin RAL (codi que defineix un color mitjançant un conjunt de dígit) pertany:



Figura 95: Comparació de l'escala de colors amb el suport de fusta

Color: RAL 5012 setinat

La tonalitat de l'esmalat és no ni mate ni brillant, així doncs, considerarem que és setinat.

La quantitat de pintura necessària vindrà determinada per la superfície del suport i per la quantitat de capes que s'hi vulgui donar. Com el temps és un factor més important que el cost econòmic de la pintura s'adquirirà 1.5L de pintura (dos pots de 750 mL).

Els passos a seguir per preparar el suport, abans de pintar, són els següents:

- Situar el suport en un lloc espaiós, que permeti voltejar-lo.
- Eliminar qualsevol gra o fil sobrant de soldadura que hagi pogut quedar enganxat a l'estructura amb una escarpa o rasqueta.
- Amb un drap untat de dissolvent netejar i desengreixar el suport.
- Donar la volta al suport tantes vegades com es requereixi per poder treballar en tots els racons. Utilitzar el pont grua i una braga.

Una vegada el suport està net i lliure de grans es procedeix a donar-li una capa de pintura d'imprimació anticorrosiva. La finalitat d'aquesta capa, de color gris, és evitar que l'acer s'oxidi i tardi més anys en perdre les seves propietats estructurals.

Seguidament es procedirà a donar una única capa de pintura d'imprimació gris a l'estructura. Per fer-ho és aconsellable utilitzar un rodets, ja que disminueix el temps d'operació i ofereix un acabat més uniforme, lliure de marques. No obstant, cal tenir present els consells experts següents:

- Col·locar una catifa de cartró o paper al terra per no embrutar el paviment. Utilitzar, de la mateixa manera, roba de treball vella o que es pugui tacar de manera permanent. Evitar els rellotges i qualsevol element decoratiu i portar guants.
- Barrejar bé la pintura per homogeneïtzar-la.
- Començar pintant amb un pinzell petit els racons, als quals no s'hi podrà accedir amb el rodets.
- No impregnar totalment el rodets de pintura, per evitar que aquesta regalimi i caiguin gotes a llocs ja pintats.
- No tornar a passar per sobre d'una capa de pintura que s'està assecant si el rodets gairebé no porta pintura. Pot passar que el rodets arranqui part de la pintura i l'acabat quedi rugós i poc atractiu.
- Pintar de manera uniforme, en un mateix sentit, en la mateixa direcció del tub.



- Evitar deixar-se parts, per petites que siguin, sense pintar. Recordem que no és una qüestió només estètica sinó també estructural.
- Evitar que una part toqui el terra mentre s'assegui. Això implica considerar quin recorregut seguir a la hora de pintar l'estructura.
- Si no s'acaba el pot de pintura, evocar-hi una mica de dissolvent per evitar que s'assegui.
- Deixar els pinzells en un pot amb dissolvent una vegada s'acabin d'utilitzar.



Figura 96: Procés de pintat amb pintura d'imprimació gris

Una vegada s'ha assecat la pintura, normalment el temps oscil·la entre 24 i 48 hores en funció de les condicions climatològiques del moment, es pot aplicar una segona capa.

En aquest cas, la pintura utilitzada serà del RAL 5012 (color blau clar).



Figura 97: Pintura RAL 5012

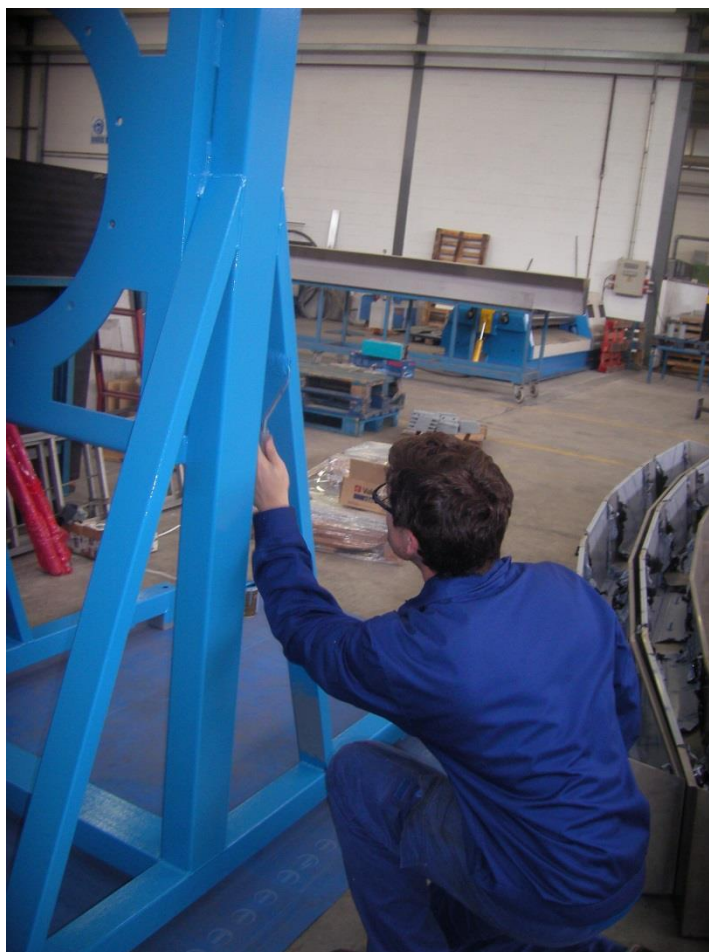


Figura 98: Procés de pintat amb RAL 5012



Figura 99: Suport final i col·locació dels peus regulables



Figura 100: Suport definitiu amb peus regulables i rodes giratòries

## **ANNEX L: TRANSPORT**

Per tal de transportar el suport des del taller on s'ha realitzat (Cassà de la Selva) fins al laboratori d'Energies (T017) de l'EPS és necessari un mitjà de transport amb capacitat per transportar cossos més grans que 2000x2000x2000mm.

Per aquest motiu, s'ha considerat la opció de contractar un transportista perquè, amb un camió, porti el suport cap a la Universitat de Girona.

Per carregar-lo no hi ha cap mena de problema, ja que el taller disposa d'un pont grua o un toro mecànic. No obstant, la Universitat de Girona no disposa de cap mecanisme igual per a descarregar-lo.

Si bé és veritat que el camí compta amb una plataforma hidràulica, aquesta és de només 1000 mm d'amplada mínima del suport és de 1160 mm. Aquest problema es pot resoldre amb l'ajuda d'un o dos tubs de més d'1160 mm sobre els quals pugui reposar l'estructura.

Com que el centre de gravetat del suport sempre estarà a sobre de la plataforma, només amb l'ajuda d'una persona, es podrà descarregar el conjunt.

Una vegada el suport s'hagi carregat al camió es faran baixar els peus regulables perquè l'efecte de rodament de les rodes sigui nul i l'estructura resti immòbil durant tot el trajecte. També, utilitzant brides, es fixarà a un pilar lateral per raons de seguretat.

La zona de descàrrega, amb el consegüent permís del departament i consergeria de l'EPS serà el pàrquing del PII i el suport, una vegada descarregat, es farà rodolar fins al mòdul annex de l'edifici, al Laboratori d'Energies (100 metres).



L'obertura total de la porta del laboratori és de més de 2000 mm, per tant no ha de causar cap mena de problema.



Figura 101: Imatges corresponents a la càrrega del suport al camió (primera), fixació del suport amb bragues ajustables de seguretat (dreta) i problema d'amplada de la plataforma de càrrega i descàrrega del camió

## ANNEX M: FIXACIÓ DEL VENTILADOR

Una vegada s'ha transportat el ventilador des del punt de fabricació fins al laboratori d'energies la feina és únicament de muntatge. Cal elevar una massa de pràcticament dos-cents kilograms a dos metres d'alçada. Sense les eines adients, que garanteixin la seguretat i la integritat dels muntadors es pot convertir en una operació de risc. Així doncs, és de gran importància, com a mínim, assegurar la capacitat de l'element que s'utilitzi per elevar la càrrega i la seguretat de l'embragatge en qüestió.

Per elevar el ventilador s'utilitzarà una ploma i dues bragues que s'escanyaran al seu voltant.



Figura 102: Ploma i bragues utilitzades en l'elevació

No obstant, per evitar imprevistos serà important, comprovar que els cargols de M12 passin per tots els forats de la brida d'encastament del ventilador. Com

que l'acabat és galvanitzat al foc, el gruix de zinc adherit a la superfície d'acer al carbó els pot encongir. Així doncs, mitjançant la llima de desbast, caldrà llimar cada un dels forats i assegurar la facilitat d'unió una vegada estigui elevat a l'alçada d'acoblament.



Figura 103: Imatge del suport, sobre un palet, al laboratori T017.

Per tal d'embragar-lo i acoblar-lo horitzontalment al suport, cal posar-lo, amb l'ajuda d'un o més operaris, de forma horitzontal. Seguidament col·locar les dos bragues al seu voltant i comprovar que la seva llargada és la correcta:



Figura 104: Elevació del ventilador



Seguidament es col·locarà davant del suport i juntament amb la protecció d'aspiració es fixarà introduint els cargols amb les volanderes i femelles corresponents.



Figura 105: Fixació del ventilador i la protecció amb el suport

Per evitar qualsevol accident es posarà una protecció mallada a la banda de la impulsió, seguida d'una brida per adjuntar seguidament l'acopei en el procés de d'acoblament final del banc, i es collaran amb 12 cargols M12x25mm, 12 femelles M12 i 24 volanderes de Ø12mm.



Figura 106: Imatge del conjunt final

## ANNEX N: MUNTATGE DEL VARIADOR DE FREQUÈNCIA

El departament ha adquirit el variador de freqüència ATV630D22N4, la fitxa de propietats del qual la trobem a l'Annex D.



Figura 107: Variador ATV630D22N4

Aquest muntatge és provisional, ja que està en curs la configuració d'un quadre elèctric propi. Tanmateix, per a realitzar els assajos, és necessari connectar el variador.

La connexió és trifàsica i es pot realitzar de manera senzilla i còmode. El taller de la PII disposa de cable trifàsic amb endolls a 380V. A la fitxa tècnica del ventilador hi figura una intensitat nominal de 33.7/19.5 A (connexió estrella-triangle). Tenint en compte que el variador arrancarà en estrella i commutarà a triangle automàtica efectuant una engegada en rampa (progressiva) en valor de la intensitat mai superarà els 20 A en condicions nominals. Per fer possible la configuració es determinaran llargades de cable suficients per ser còmodes i evitar accidents. Es pelaran els extrems i es connectaran els cables R,S,T i U,V i W al terminals especificats pel variador, comprovant que no es curtcircuiten les diferents fases. Seguidament es connectaran les fases U,V i W als borns del motor.



Figura 108: Connexió del variador

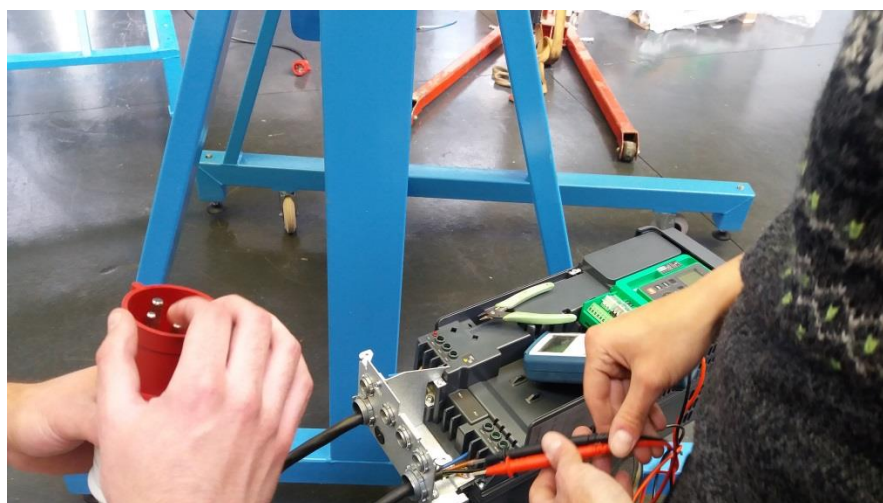


Figura 109: Comprovació del correcte funcionament del variador

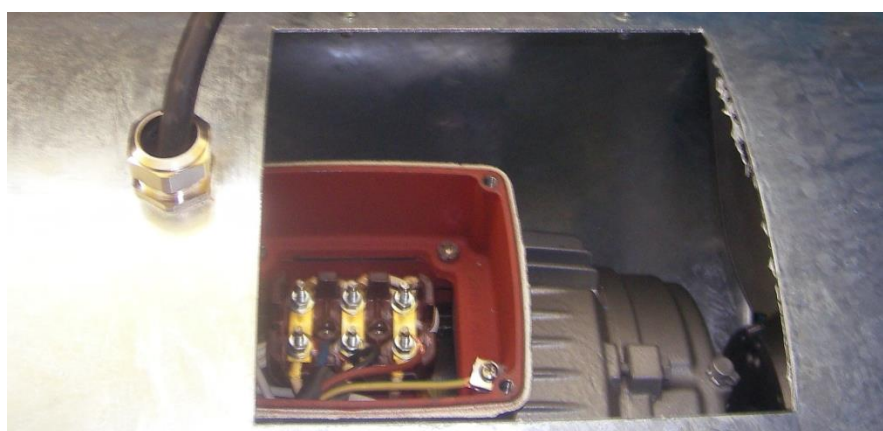


Figura 110: Connexió dels borns del motor

S'ha necessitat canviar el diferencial dels interruptors del laboratori, ja que en posar en marxa el ventilador aquests saltaven a causa de les pèrdues. Després de consultar el cas amb el servei tècnic s'ha canviat el diferencial, que tenia una sensibilitat de 30mA, per un de 300mA.



Figura 111: Diferencial de 30mA (esquerra) i de 300mA (dreta)



## ANNEX O: ACOBLAMENT DEL TÚNEL

L'últim pas abans de posar el marxa el túnel de vent és acoblar entre si les diferents parts. En primer lloc s'acoblarà el con (amb el condicionador de flux a dins) amb la virola sostinguda pel suport de fusta. Per fer-ho s'utilitzarà el collarí *Jacob*.

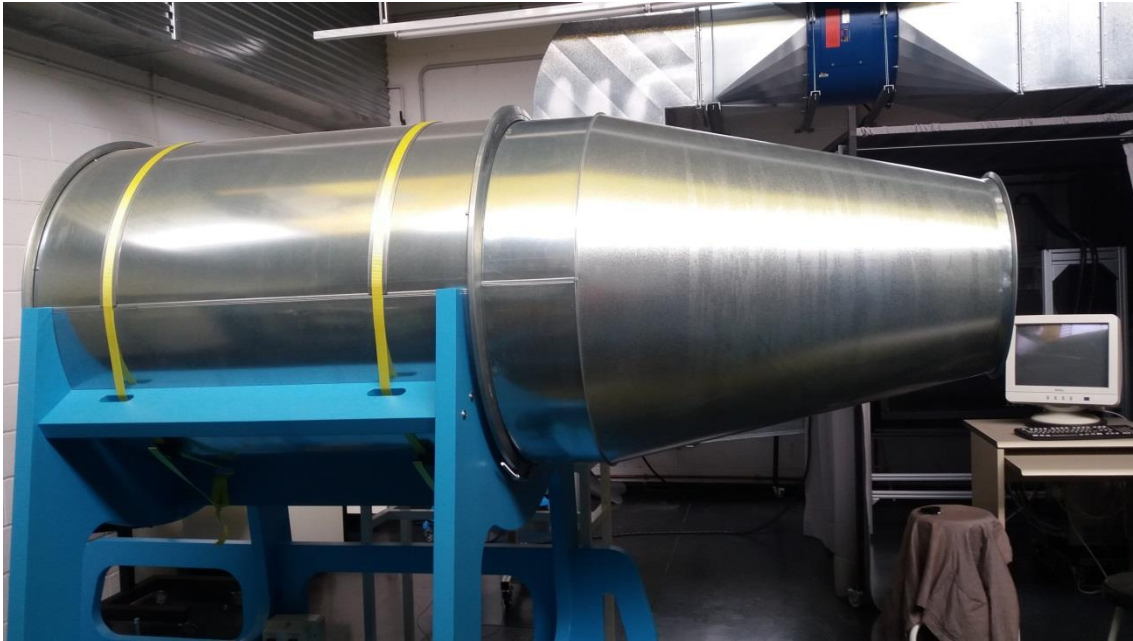


Figura 112: Unió entre la virola i el con per mitjà del collarí tipus *Jacob*

El segon pas és unir el conjunt ventilador i el con amb una junta de tela especial i dos brides regulables. Aquest junta rep en nom d'ACOPEL i és un producte de la mateixa empresa que ha subministrat el ventilador i els seus complements. La finalitat d'aquest component és que el flux perdi el mínim de càrrega en passar d'una secció de Ø630mm (impulsió del ventilador) a 500mm de diàmetre del con (entrada, boca petita).

Per evitar tanta distància entre els dos diàmetres es col·locarà una tira d'espuma de neoprè de 3cm de gruix que facilitarà l'acomodament d'una de les brides al voltant del diàmetre del con. Seguidament es col·locarà la junta sobre les dues superfícies concèntriques i cargolant el vis sens fi, es podrà ajustar el diàmetre de la brida per de subjectar-la.

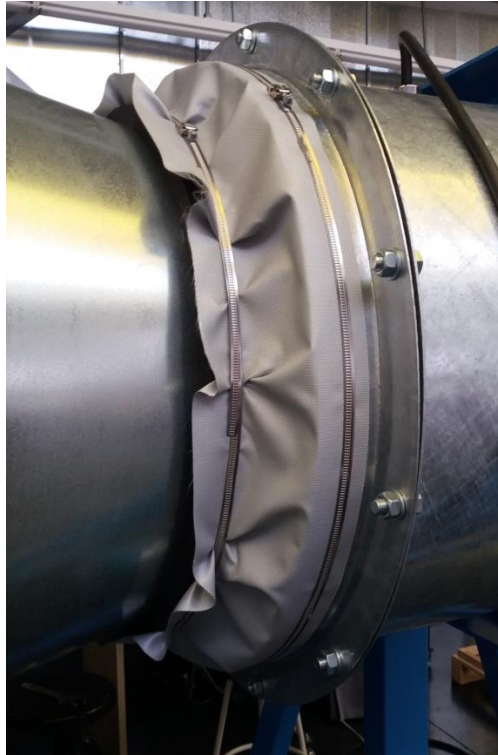


Figura 113: Imatge de la junta ACOPEL embreada

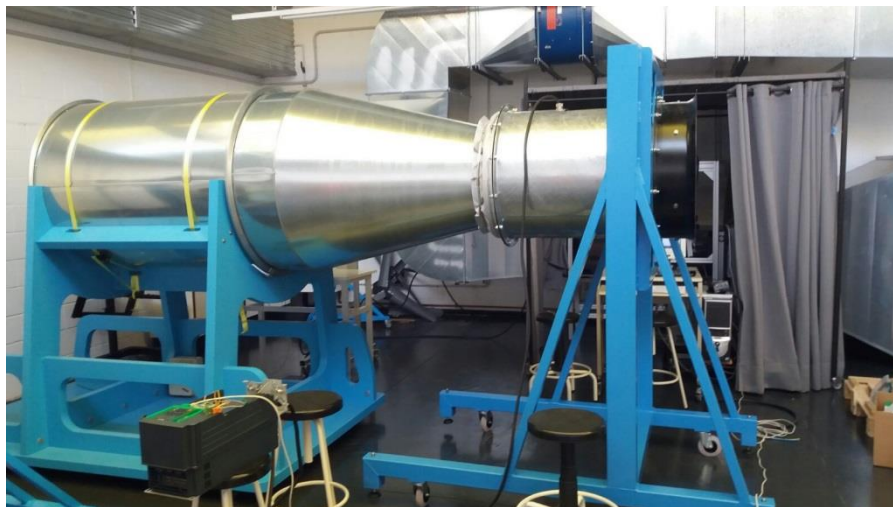


Figura 114: Muntatge de l'estructura

Finalment es procedirà a reubicar el banc de proves en un lloc espaiós, on la distància entre la paret i la sortida del túnel sigui suficient per evitar l'efecte rebot. Una vegada a lloc, es fixarà amb l'ajuda dels peus anivellables per immobilitzar l'estructura i aïllar les vibracions durant els assajos gràcies a la seva propietat per absorbir-les com a *silentblock*.

## ANNEX P: GENERACIÓ I ADQUISICIÓ DE DADES

La finalitat del banc de proves és assajar una aerogenerador de 82 cm de diàmetre (de baixa potència). Aquest element es comercialitza com a generador de 12V per recarregar bateries d'equips electrònics.

En el certificat adjunt a l'entrega de l'embalatge (Annex) hi apareix un valor de potència nominal de 90W (6.6 A). L'assaig de posada en funcionament permetrà verificar aquest valor.

L'equip d'adquisició de dades no s'ha modificat respecte la seva versió inicial. Es tracta de dos mòduls i una font d'alimentació de *National Instruments* que llegeixen els valors de voltatge i intensitat a temps real i transmeten aquestes dades a una ordinador per mitjà d'un bus. Aquestes dades són interpretades pel programa *Labview*, del mateix proveïdor.

Funció dels elements del circuit:

- Aerogenerador: és l'encarregat de generar electricitat a partir de l'energia de pressió del vent. Aquesta diferència de potencial serà la font d'alimentació del circuit.

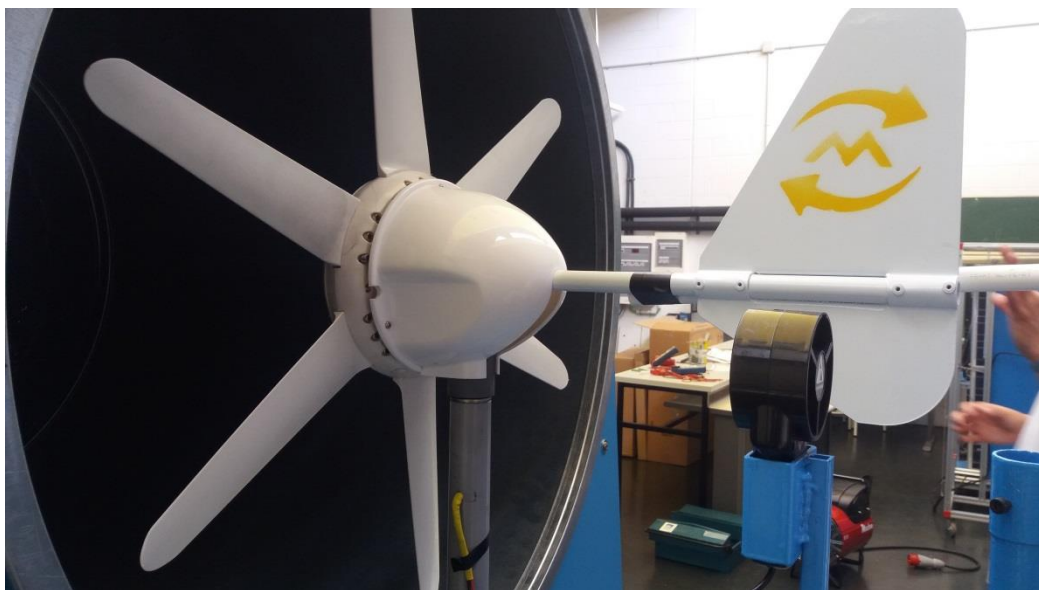


Figura 115: Aerogenerador del banc d'assajos



- Condensador i resistència en paral·lel: es tracte d'un filtre de condensador i la seva funció és estabilitzar o fer més nítida la senyal. És a dir, fer que els valors de voltatge i intensitat no oscil·lin tant i es comportin com un senyal de contínua.



Figura 116: Filtre de condensador i resistència

- Reòstat: és la resistència que consumeix la potència produïda per l'aerogenerador. El seu valor és regulable i pot variar entre 0 i  $25\Omega$ .



Figura 117: Reòstat



Figura 118: Interior d'un reòstat

- Mòduls d'adquisició de dades:
  - Voltímetre (NI 9225): Llegeix el voltatge a temps real i transmet les dades a l'ordinador. El límit de voltatge és  $300 V_{rms}$ .
  - Amperímetre (NI 9227): Llegeix la intensitat a temps real i transmet les dades a l'ordinador. **El límit d'intensitat és  $5 A_{rms}$**  (serà important tenir en compte aquest fet, ja que en el punt nominal, segons el certificat del proveïdor, la intensitat és de 6.6 A).



Figura 119: Equip d'adquisició de dades (voltímetre i amperímetre)

- Ordinador i software *LabView*: ens permetrà visualitzar les dades adquirides pels mòduls a temps real (a partir d'un temps de mostreig determinat per l'usuari). Aquestes dades podran ser representades en gràfics de manera automàtica gràcies a la seva interfície per blocs i multiplicades per obtenir valors, també a temps real, de potència.

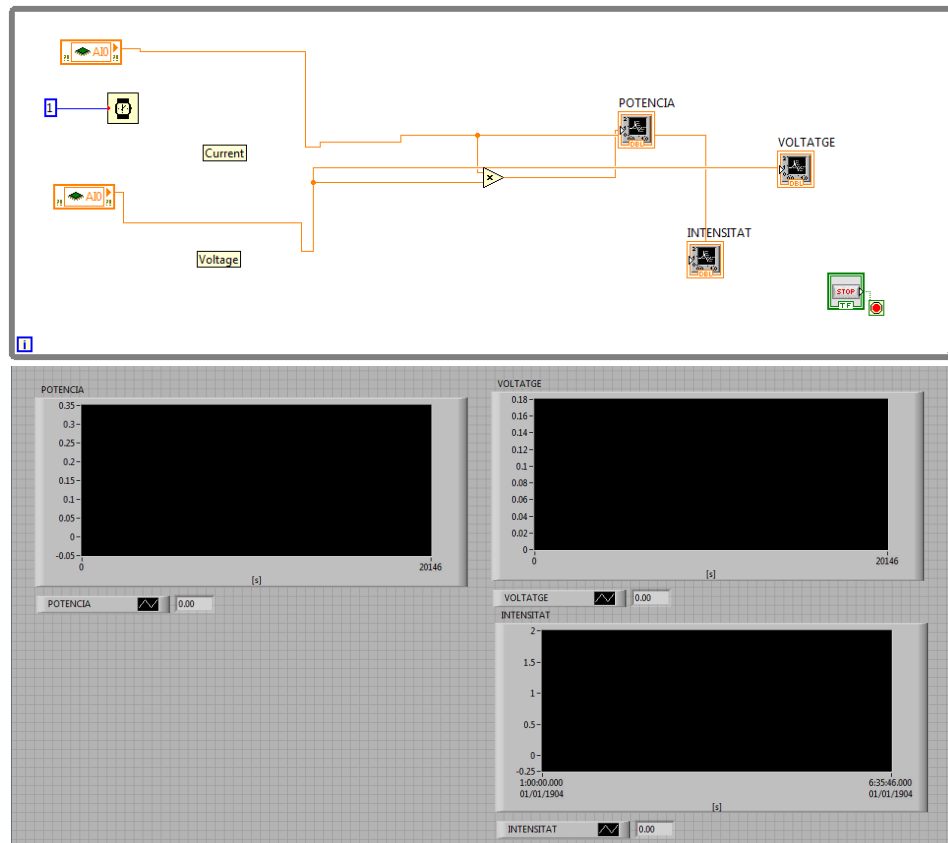


Figura 120: Interfase del programa *LabView* i esquema utilitzat

## ANNEX Q: BANC DE PROVES DEFINITIU



Figura 121: Perspectiva del banc des de la banda de l'aerogenerador



Figura 122: Perspectiva del banc des de la banda del ventilador

## **ANNEX R: ESTUDI DE SEGURETAT I SALUT**

En aquest annex s'enumeraran el conjunt de riscos i mesures preventives per tal d'evitar-los a fi de construir i muntar les diferents parts del banc de proves amb la màxima seguretat possible. El seu seguiment és general, però és d'obligat compliment en la fase de fabricació de suport degut a les operacions i a la maquinària utilitzada.

### **R.1 Preparació de les peces del suport**

#### **R.1.1 Identificació dels riscos:**

- Caigudes de persones al mateix nivell
- Caigudes d'objectes en manipulació
- Cops/talls per objectes o eines de ma o fixes
- Talls i lesions de gravetat
- Enganxaments
- Projecció de fragments o partícules
- Sobreesforços posturals o en la manipulació de les càrregues
- Descàrregues elèctriques
- Exposició a soroll
- Incendis

#### **R 1.2 Normes i mesures preventives**

- Les zones de pas s'han de mantenir-se lliures
- Les zones de treball es mantindran netes i organitzades
- Els retalls i la ferritja s'evacuaran del lloc de treball
- Hi haurà un extintor manual junt al lloc de treball.
- El treballador tindrà la formació corresponent per a ús correcte de les eines.
- Els treballs sempre es realitzaran en posició estable

- S'aplicaran correctament les mesures sobre l'aixecament de les peces per evitar problemes de salut i lesions
- Les màquines estaran dotades dels elements de protecció
- Es revisarà el bon estat de les màquines i eines abans de ser utilitzades
- S'utilitzarà taladrina en les màquines d'arrancada de ferritja per lubricar i refrigerar l'element de tall.
- Totes les màquines estaran dotades de doble aïllament de seguretat
- Les eines manuals s'utilitzaran en aquelles tasques per a les que han sigut concebudes
- Les eines es revisaran abans de ser utilitzades, rebutjant les que no es trobin en bon estat
- Les eines es mantindran netes de olis i altres substàncies que poden provocar lliscament
- Les eines es col·locaran en portaeines o estanteries adequades un cop finalitzat el treball
- Durant l'ús de les eines s'evitarà col·locar-les al terra
- La desconexió de les màquines no es realitzarà estirant bruscament el cable
- Mai s'usarà una eina elèctrica sense clavilla

### **R 1.3 Equips de protecció individual**

- Guants antitall
- Ulleres de protecció
- Protectors auditius
- Calçat de seguretat
- Mascareta autofiltrant

## **R 2 Soldadura de peces**

### **P 2.1 Identificació dels riscos:**

- Caigudes de persones al mateix nivell
- Caigudes de objectes en manipulació
- Cops/talls per objectes
- Projecció de fragments o partícules
- Cremades
- Descàrregues elèctriques
- Exposició a substàncies nocives o tòxiques
- Exposició a radiacions
- Sobreesforços posturals o en la manipulació de les càrregues
- Incendis

### **R.2.2 Normes i mesures preventives**

- Les zones de pas s'han de mantenir lliures
- Les zones de treball es mantindran netes i organitzades
- Hi haurà un extintor manual de pols químic sec polivalent junt al lloc de treball
- Els treballadors tindran la formació corresponent per a un ús correcte de les eines, lo que evitarà utilització incorrecta de les mateixes que pugui produir cops o talls
- Els treballs sempre es realitzaran en posició estable
- S'aplicaran correctament les mesures sobre l'aixecament de les peces per tal d'evitar problemes de salut en els treballadors
- És obligatori l'ús de protecció ocular especial per a soldadura
- Es protegiran els ulls durant el procés de picat dels cordons de soldadura
- L'equip de soldadura s'utilitzarà pel personal autoritzat
- L'equip de soldadura estarà sempre connectat al terra
- Les zones destinades a treballs de soldadura es disposaran en llocs ventilats o es disposarà de ventilació artificial
- En els treballs de soldadura s'utilitzaran els equips de protecció individual per tal d'evitar les cremades
- Les eines manuals s'utilitzaran en aquelles tasques per a les que han sigut concebudes



- Les eines es revisaran abans de ser utilitzades, rebutjant les que no es trobin en bon estat
- Les eines es mantindran netes de olis i altres substàncies que poden provocar lliscament
- Les eines es col·locaran en portaeines o estanteries adequades un cop finalitzat el treball
- Durant el ús de les eines s'evitarà la seva disposició en el terra
- El treballador que utilitzi les eines ha de conèixer les instruccions d'ús de les eines
- La desconexió de les màquines no es realitzarà estirant bruscament el cable
- Mai s'usarà una eina elèctrica sense clavilla

### **R.2.3 Equips de protecció individual**

- Mascara de soldador
- Guants de soldador
- Maneguets de soldador
- Polaines de soldador
- Davantal de soldador
- Calçat de seguretat
- Guants antitall
- Ulleres de protecció

## **R 3 Pintura**

### **R 3.1 Identificació dels riscos**

- Caigudes de persones al mateix nivell
- Caigudes de objectes en manipulació

- Cops/talls per objectes, eines o ruptura de les mànigues dels compressors
- Projecció de partícules
- Sobreesforços posturals o en la manipulació de les càrregues
- Exposició a substàncies nocives o tòxiques
- Incendis i explosions
- Inhalació de contaminants químics
- Exposició a soroll

### **R 3.2 Normes i mesures preventives**

- Les zones de pas s'han de mantenir lliures
  - Les zones de treball es mantindran netes i organitzades
  - Hi haurà un extintor manual junt al lloc de treball
  - Els treballs sempre es realitzaran en posició estable
  - S'aplicaran les mesures sobre l'aixecament de les peces
  - L'abocament de pigments es realitzarà des de la menor alçada possible
  - Els productes utilitzats en la fase de pintura (pintures, dissolvents, etc.) es contindran en recipients adequadament tancats i aïllats
  - Es prohibirà fumar en els llocs on es pinti amb pintures que continguin dissolvents orgànics
  - S'utilitzaran guants de protecció contra productes químics agressius
  - S'ha d'aïllar el compressor en la mesura de lo possible per tal d'evitar que el soroll i vibracions afectin al treballador
  - Les operacions de poliment i pintat s'executaran sempre en els llocs ventilats adequadament
  - Si és necessari s'utilitzaran els equips de protecció respiratòria
  - No és permès realitzar els treballs de soldadura i oxicall en els llocs propers en els que es fan servir pintures inflamables
  - Es revisaran les màquines i eines abans de ser utilitzades comprovant el bon estat de les proteccions
  - Les màquines s'utilitzaran pel personal autoritzat Disseny del xassís
- Memòria i

- Les eines manuals s'utilitzaran en aquelles tasques per a les que han sigut concebudes
- Les eines es revisaran abans de ser utilitzades, rebutjant les que no es trobin en bon estat
- Les eines es mantindran netes de olis i altres substàncies que poden provocar lliscament
- Les eines es col·locaran en portaeines o estanteries adequades un cop finalitzat el treball
- Durant el ús de les eines s'evitarà la seva disposició en el terra
- El treballador que utilitzi les eines ha de conèixer les instruccions d'ús de les eines
- La desconexió de les màquines no es realitzarà estirant bruscament el cable
- Mai s'usarà una eina elèctrica sense clavilla

### **R 3.3 Equips de protecció individual**

- Guants
- Ulleres de protecció
- Mascareta autofiltrant
- Protectors auditius
- Calçat de seguretat

## **ANNEX S: ASSAJOS**

La finalitat del desenvolupament del projecte ha estat realitzar el conjunt de modificacions per tal d'adaptar el banc de proves i poder-lo assajar. Per garantir el correcte funcionament de l'equip es realitzarà un assaig complet per testejar l'aerogenerador fins a la velocitat de gir nominal del ventilador. L'objectiu d'aquestes proves i la futura pràctica docent que es podrà realitzar amb el banc serà trobar quina és la màxima potència que pot donar

### **S1 Material complementari**

- Anemòmetre: aparell que mesura la velocitat del vent
- Tacòmetre: aparell que mesura la velocitat de gir, en revolucions per minut, d'un element
- Fulla de càlcul a on, per cada freqüència d'estudi/velocitat del vent (en el cas d'exemple cada 4 Hz a partir de 10), s'anotaran els valors de voltatge mig, intensitat mitjana, potència mitjana, velocitat del vent a darrere de l'aerogenerador i revolucions per minut, per a cada valor de resistència aplicada amb el reòstat.

### **S 2 Metodologia**

- S'endolla el variador de freqüència a la presa de corrent de 400V/32A
- Utilitzant el potenciòmetre (o els botons) es regula la freqüència que apareix a la interfase del variador fins a la freqüència inicial.
- Si es volen prendre els valors de velocitat del vent abans de l'aerogenerador, degut a la impossibilitat de fer-ho manualment, fruit de la geometria tancada del túnel de vent, s'haurà d'immobilitzar-ne els àleps i evitar que giri. També es recomana que, a falta de protecció posterior, es fixi el penell de direcció perquè no pugui rotar respecte l'eix vertical.
- S'engega el ventilador prement el boto RUN
- Si no s'engega activar i desactivar l'interruptor A (provisional)

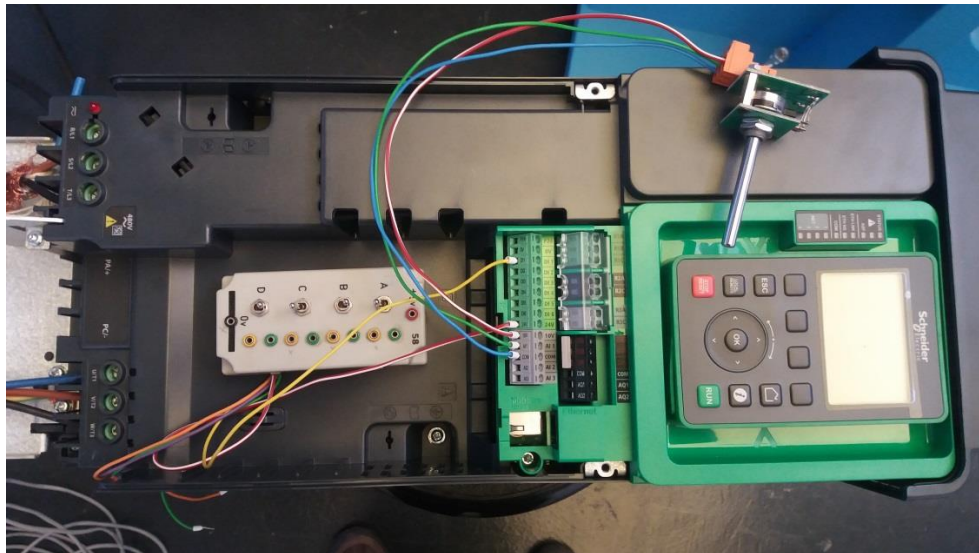


Figura 123: Interfase del variador de freqüència i potenciòmetre

- Presa de la velocitat del vent el funció de la freqüència (sense aerogenerador o amb l'aerogenerador totalment immobilitzat)
- Augmentar la freqüència de gir del ventilador i esperar que el flux s'estabilitzi
- Repetir aquest procés tantes vegades com freqüència diferents es vulgui estudiar.
- Una vegada es té la velocitat pertanyent a totes les freqüències es para el motor i s'allibera l'aerogenerador perquè pugui girar lliurement.
- Tornar engegar el ventilador a la freqüència inicial.
- Per cada freqüència apuntar els valors de:
  - Resistència (%)
  - Velocitat de gir del ventilador (RPM)
  - Velocitat del vent darrere del ventilador
  - Potència mitjana (W)

\*Comprovar sempre que cap pic d'intensitat no sobrepassi els 5A, ja que és la intensitat màxima que admet el mòdul d'adquisició de dades (NI 9227).

Si en un moment donat s'obtenen pics de més de 4 A es deixarà la prova pel final i es realitzarà de manera manual amb un amperímetre.

- És important esperar almenys 20 segons abans d'agafar les dades perquè el flux i els valors d'intensitat i voltatge s'estabilitzin.
- Finalment es dibuixa, a partir de la fulla de càlcul obtinguda, la corba resistent de l'aerogenerador. És a dir, la potència màxima aconseguida per a cada velocitat de vent\*

\*La velocitat del vent és la que s'ha obtingut a la primera part de l'assaig, amb l'aerogenerador totalment immobilitzat o sense ell.



Figura 124: Tacòmetre

**S 3 Fulla de càlcul**

Freq (Hz)	$V_{MIG}$ (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	$V_{darrere}$ (m/s)	Pot (W)
		↑		0			
				10			
		→		20			
				30			
		↓		40			
				50			
		←		60			
				70			
		●		80			
				90			
				100			

Freq (Hz): freqüència de gir del ventilador

$V_{MIG}$ (m/s): velocitat mitjana del vent (mitjana aritmètica dels 5 valors de V)

V (m/s): velocitat del vent a la sortida del túnel de vent (anemòmetre)

- “↑”: Part superior de la sortida (0 o 12h)
- “→”: Part dreta de la sortida (3h)
- “↓”: Part inferior de la sortida (6h)
- “←”: Part esquerra de la sortida (9h)
- “●”: Centre

Resist (%): resistència regulable del reòstat. Aquesta es regula girant el selector circular.

RPM: freqüència de gir de l'aerogenerador (tacòmetre)

$V_{darrere}$  (m/s): velocitat del vent darrere de l'aerogenerador (anemòmetre)

Potència (W): potència que dona el generador (*LabView*)



**S 4 Resultats**

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
10	1.8	↑	0.5	0	135	1.25	0.3
				10	128	1.2	0.3
		→	1.6	20	123	1.21	0.25
				30	113	1.6	0.2
		↓	4.5	40	104	1.6	0.2
				50	97	1.7	0.15
		←	1.4	60	89	1.8	0.1
				70	80	1.85	0.1
		●	1	80	72	2	0.05
				90	61	2.1	0.02
				100	55	2.2	0.01

Taula 2: Resultats de l'assaig a 10Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
14	2.56	↑	1.3	0	245	0.6	1.5
				10	240	0.8	1.4
		→	2	20	220	1.4	1.2
				30	205	1.1	1.1
		↓	6	40	190	1.4	1
				50	175	1.4	0.8
		←	1.5	60	150	1.7	0.6
				70	132	2	0.5
		●	2	80	106	2.4	0.25
				90	86	2.6	0.1
				100	73	2.8	0.025

Taula 3: Resultats de l'assaig a 14Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
18	4	↑	1.4	0	375	0.71	4
				10	360	0.6	3.9
		→	3.3	20	350	0.6	3.8
				30	330	0.5	3.5
		↓	8.5	40	290	1	3
				50	270	1.3	2.7
		←	3.2	60	235	1.8	2
				70	200	2.2	1.6
		●	3.5	80	165	2.9	0.9
				90	125	3.2	0.35
				100	95	3.5	0.05

Taula 4: Resultats de l'assaig 18Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
22	4.6	↑	1.5	0	494	0.7	7.5
				10	480	0.7	7.5
		→	4	20	470	0.9	7.5
				30	445	0.7	7.5
		↓	10.8	40	410	0.8	6.5
				50	380	0.7	6
		←	2.7	60	340	1.1	5
				70	280	2	3.5
		•	4	80	210	2.9	2
				90	150	3.9	0.7
				100	115	4.2	0.07

Taula 5: Resultats de l'assaig a 22 Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
26	6.2	↑	2.4	0	500	0.9	7.8
				10	505	1	8.5
		→	5.4	20	513	0.8	9.25
				30	526	0.9	11
		↓	13.4	40	540	1.1	12.5
				50	505	1	11.5
		←	4	60	460	0.9	10.5
				70	390	1.3	7.5
		•	5.6	80	290	2.4	4
				90	210	4	1.5
				100	135	4.8	0.1

Taula 6: Resultats de l'assaig a 26Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
30	7.5	↑	3	0	510	0.85	7.6
				10	515	1.15	8.4
		→	8.6	20	525	0.8	9.5
				30	535	1.2	11
		↓	15.9	40	555	1.1	13
				50	575	1	15
		←	3.6	60	600	1.2	18
				70	515	1	14.5
		•	6.3	80	385	2.2	8
				90	245	4.1	2.5
				100	175	5.3	0.15

Taula 7: Resultats de l'assaig a 30Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
34	6.9	↑	2.9	0	515	1.25	7.8
				10	525	1.4	8.5
		→	7.2	20	535	1	10
				30	550	1.2	11
		↓	17	40	560	1.1	13
				50	580	1	15.5
		←	3.4	60	610	1.1	19
				70	650	1.3	25
		•	3.6	80	510	1.5	15
				90	325	3.8	5
				100	225	5.2	0.3

Taula 8: Resultats de l'assaig a 34Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
38	8.9	↑	3	0	550	1.4	7.5
				10	560	1.2	8.5
		→	10	20	575	1.1	9.5
				30	590	1.2	11
		↓	19	40	612	1.4	13
				50	638	1.4	15.5
		←	4.9	60	660	1.4	19
				70	705	1.7	26
		•	7.7	80	630	1.4	30
				90	485	2.1	12
				95	560	1.3	10.7
				100	370	3.7	0.23

Taula 9: Resultats de l'assaig a 38Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
42	9.9	↑	3.5	0	600	1.4	8
				10	616	1.2	8.5
		→	9.5	20	628	1.3	9.5
				30	650	1.5	10.5
		↓	20.5	40	680	1.5	13
				50	700	1.4	15
		←	6.3	60	735	1.6	19
				70	785	1.7	25
		•	9.8	80	825	2.2	40
				90	720	1.3	21.3
				100	520	2.6	1.6

Taula 10: Resultats de l'assaig a 42Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
46	10.6	↑	4	0	700	1.8	8
				10	700	1.4	8.5
		→	11.5	20	710	1.5	9.5
				30	725	1.3	11.5
		↓	22.5	40	750	1.5	13
				50	775	1.8	15
		←	6.4	60	825	1.9	19
				70	890	2.1	26
		●	8.6	80	950	2	41
				85	970	2	48
				90	885	1.8	31
				95	820	1.5	24
				100	650	1.2	0.5

Taula 11: Resultats de l'assaig a 46Hz

Freq (Hz)	V <sub>MIG</sub> (m/s)	V (m/s)		Resist (%)	RPM	V <sub>darrere</sub> (m/s)	Pot (W)
50	11.6	↑	4.9	0	830	1.5	8.5
				10	860	1.6	9
		→	10.9	20	885	1.6	10.5
				30	905	1.8	12
		↓	26.3	40	925	1.7	14.5
				50	960	1.6	16.5
		←	7.5	60	1000	2	20
				70	1050	1.9	26.5
		●	8.4	80	1150	2.1	42.5
				85	1160	1.8	53.5
				90	1050	2.1	44.4
				95	950	1.4	24
				100	850	1.8	0.8

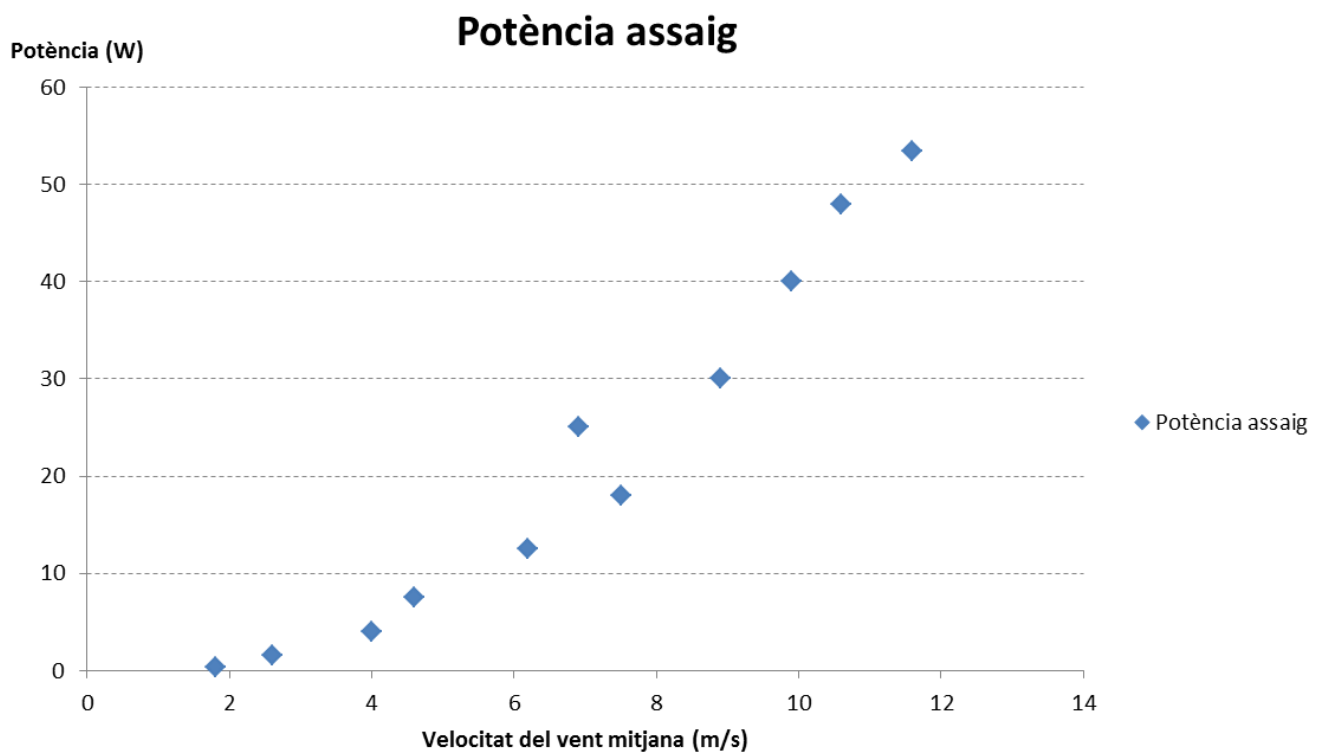
Taula 12: Resultats de l'assaig a 50Hz

## S 5 Anàlisi dels resultats

Si es selecciona el valor de potència màxim per a cada velocitat de vent mitjana obtenim la taula següent:

Freq (Hz)	$V_{MIG}$ (m/s)	Potència màxima (W)
10	1.8	0.3
14	2.6	1.5
18	4	4
22	4.6	7.5
26	6.2	12.5
30	7.5	18
34	6.9	25
38	8.9	30
42	9.9	40
46	10.6	48
50	11.6	53.5

Taula 13: Relació entre la velocitat mitjana i la potència màxima

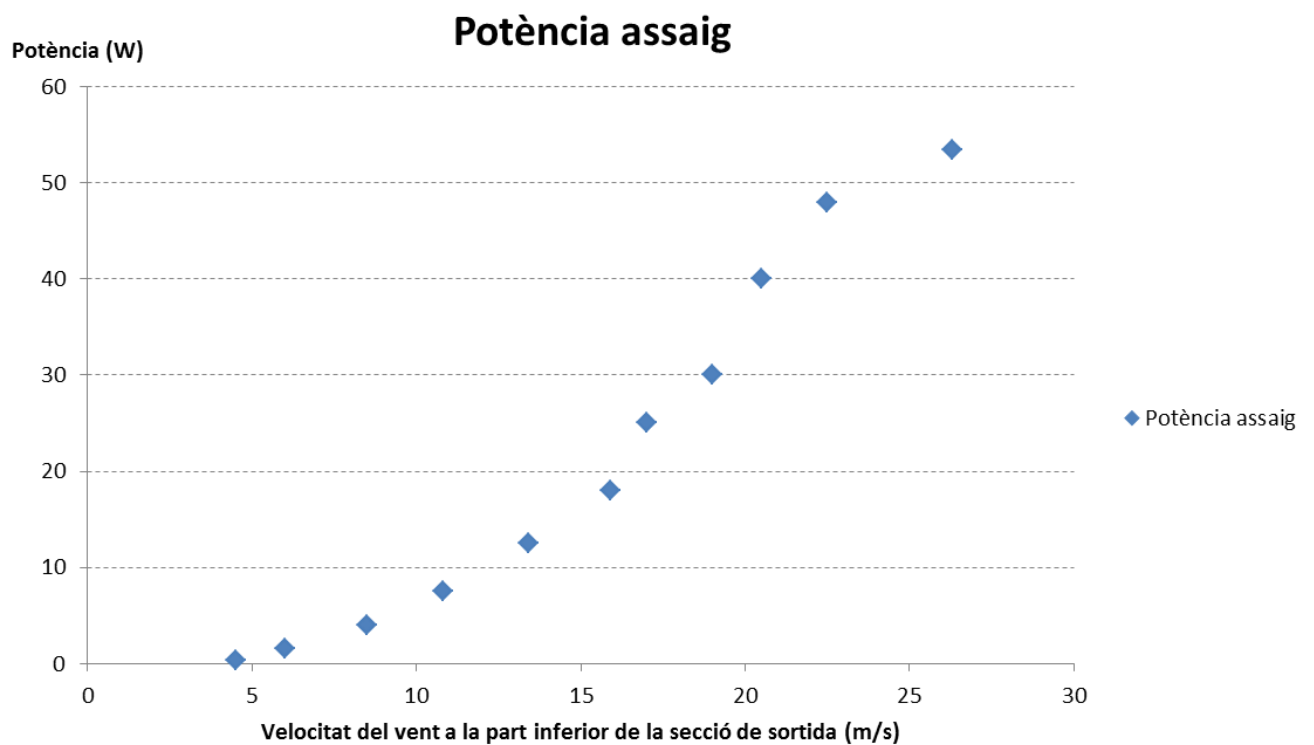


Gràfica 5: Evolució de la potència màxima generada en funció de la velocitat del vent

Si considerem com a velocitat la màxima, sempre situada a la part inferior de la secció de sortida obtenim el següent resultat:

Freq (Hz)	V (m/s) ↓	Potència màxima (W)
10	4.5	0.3
14	6	1.5
18	8.5	4
22	10.8	7.5
26	13.4	12.5
30	15.9	18
34	17	25
38	19	30
42	20.5	40
46	22.5	48
50	26.3	53.5

Gràfica 6: Relació entre la velocitat de la part inferior de la secció de sortida i la potència màx.



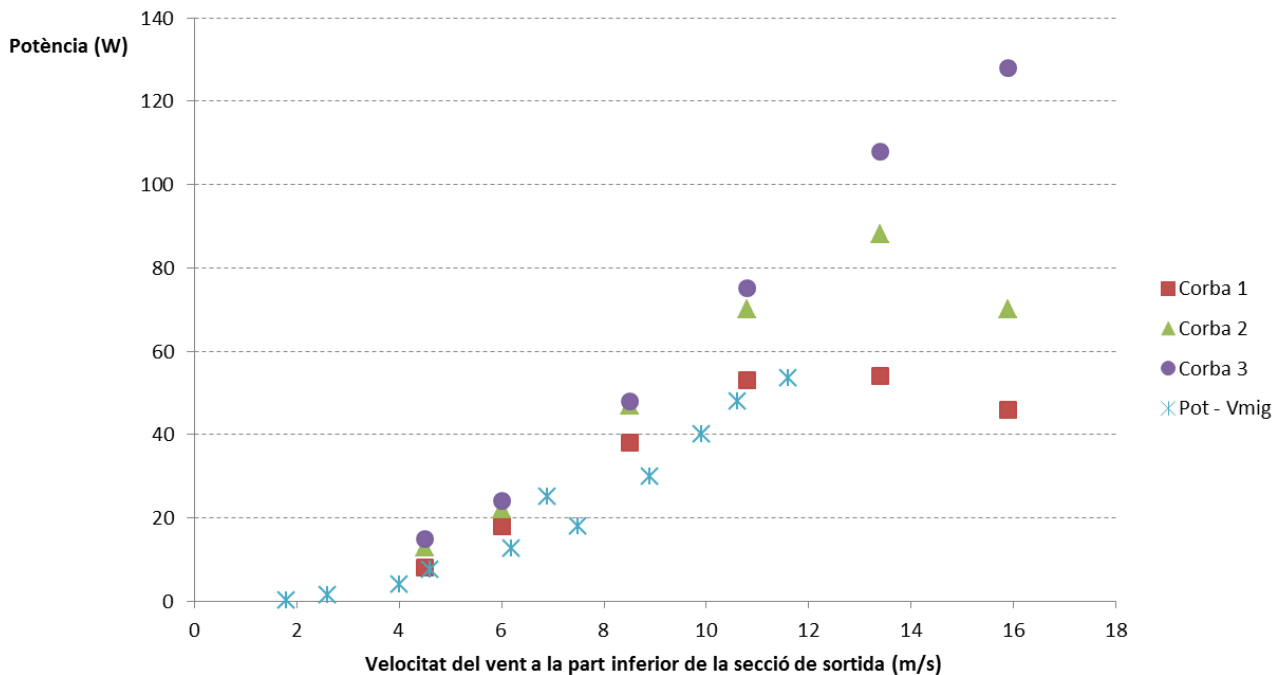
Gràfica 7: Evolució de la potència generada respecte la velocitat de la part inferior de la sortida

En aquesta gràfica podem veure que la tendència no és sempre creixent. I que, a diferència de la gràfica anterior, existeix un màxim.

Comparem els resultats obtinguts (velocitat mitjana) amb les tres corbes de potència trobades del mateix model, per tal de verificar quina d'elles és la correcta:

Freq (Hz)	V (m/s) ↓	Potència màxima (W)		
		Corba 1	Corba 2	Corba 3
10	4.5	8	13	15
14	6	18	22	24
18	8.5	38	47	48
22	10.8	53	70	75
26	13.4	54	88	108
30	15.9	46	70	128

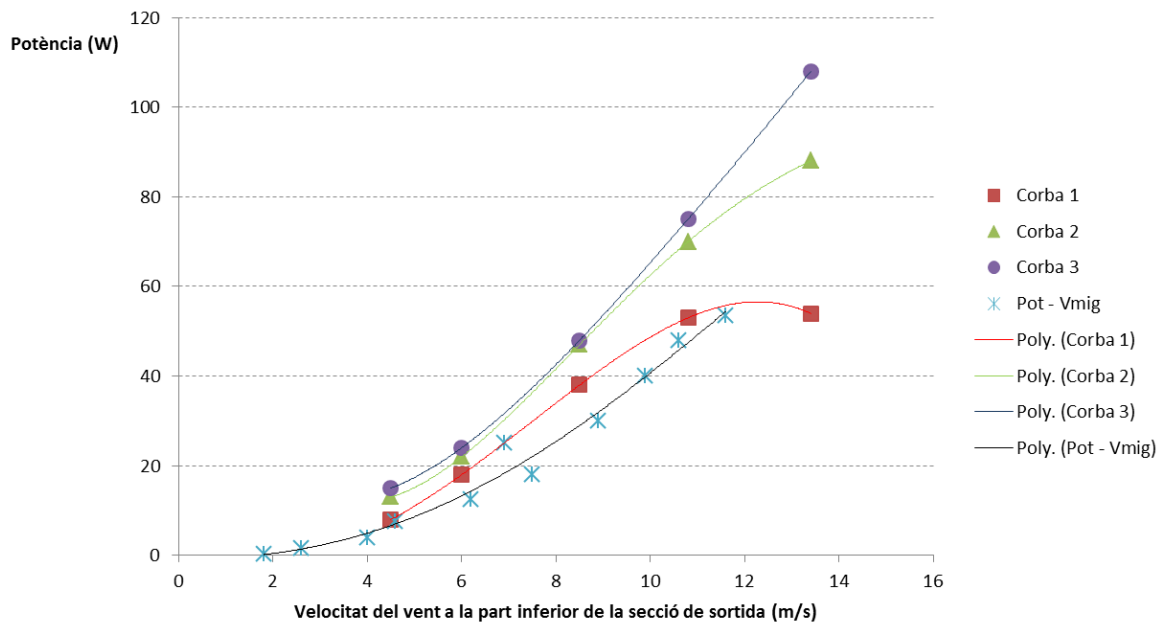
Taula 14: Valors extrets de les gràfiques 1, 2 i 3 a l'annex E



Gràfica 8: Comparació del resultat amb les tres corbes

Veiem que la bondat d'ajust entre la corba 1 i la corba de "Potència – Velocitat mitjana" és més gran que les altres.

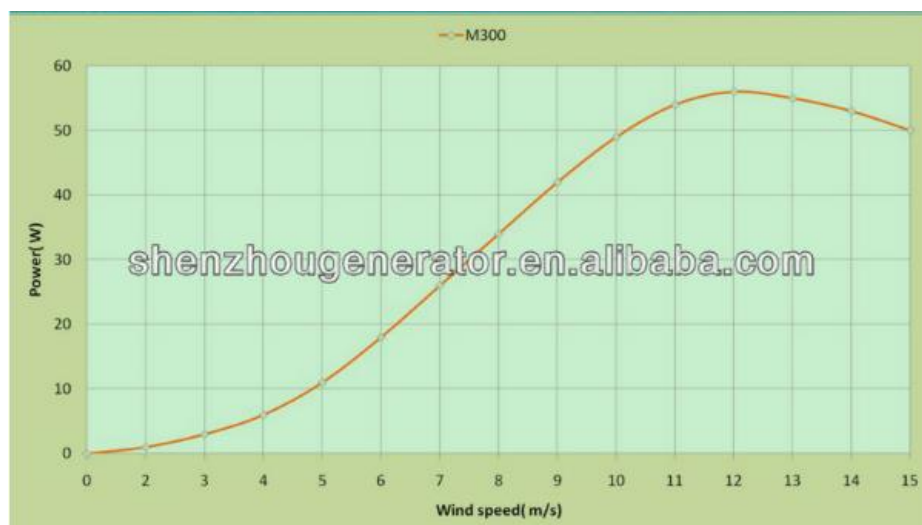




Gràfica 9: Línies de tendència entre punts de les corbes

Aquesta relació és la més significativa, però amb les dades obtingudes es podrien contrastar resultats experimentals amb resultats teòrics o simulacions fetes per ordinador. Relacions entre velocitats d'entrada i sortida de l'aerogenerador, entre el vent i el règim de gir i la càrrega resistiva aplicada, exposar el concepte de frenada per càrrega resistiva i comentar quina és la relació entre l'augment del valor de la resistència i el de la intensitat.

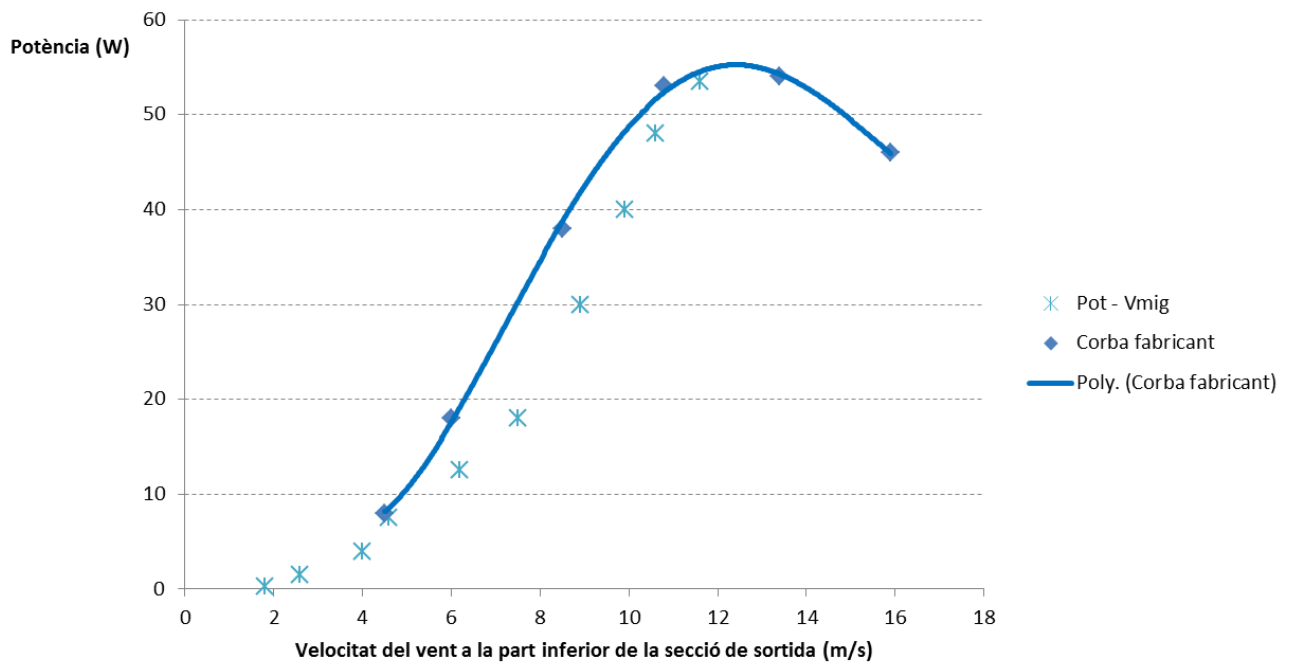
## S 6 Conclusions



Gràfica 10: Corba de potència que més s'ajusta als resultats experimentals

Si comparem la corba 1 (gràfica 10) amb els resultats de l'assaig veurem que existeix una tendència a seguir-la. Per tant, podríem arribar a la conclusió de que la potència útil de l'aerogenerador és 55W i no 90W tal i com dir el fabricant.

Després d'eliminar una dada aïllada i incoherent el resultat final de la corba obtinguda adopta una forma més polinòmica i permet distingir el seu pic de potència a aproximadament 55W – 12 m/s.



Gràfica 11: Comparació de la corba 1 amb el resultat de l'assaig