



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH
Escola d'Enginyeria de Barcelona Est

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

DISSENY D'UNA PERFORADORA HIDRÀULICA PORTÀTIL



Memòria i Annexos

Autor: Pablo Portabella Clariana
Director: Domingo Santos Espada
Departament: Enginyeria Mecànica - EM
Convocatòria: 06 2021

Resum

L'aigua és un bé essencial per a la vida al nostre planeta, i les maneres d'aconseguir aquest bé han evolucionat al llarg de la nostra història. Una de les maneres més comuns d'aconseguir aigua és excavant un pou per extreure aigua dels rius subterranis. Per arribar a l'aigua que hi ha sota terra la màquina que es fa servir és una perforadora. L'objectiu d'una perforadora com bé diu el seu nom és perforar un forat per poder posteriorment extreure aigua o algun altre fluid a través d'aquest forat.

Hi ha molts tipus de perforadores segons el material que es vol extreure del subsòl, i també hi ha diferents maneres de perforar el forat. L'objectiu d'aquest treball és dissenyar una perforadora de pous d'aigua que sigui fàcilment transportable d'un lloc a un altre i que tingui la capacitat de perforar pous de poca profunditat. En aquest treball es fa un dimensionament de la perforadora per a que el disseny sigui l'adequat per poder suportar les càrregues de treball pertinents. També es fa una selecció dels components més adequats per a la perforadora com motors de rotació, components elèctrics o peces essencials de la perforadora com ara la broca.

Resumen

El agua es un bien esencial para la vida en nuestro planeta, y las formas de conseguir este bien han evolucionado a lo largo de nuestra historia. Una de las formas más comunes de conseguir agua es cavando un pozo para extraerla de los ríos subterráneos. Para llegar al agua que hay bajo tierra la máquina que se utiliza es una perforadora. El objetivo de una perforadora como bien dice su nombre es perforar un agujero para poder posteriormente extraer agua o algún otro fluido a través de dicho agujero.

Hay muchos tipos de perforadoras según el material que se quiere extraer del subsuelo, y también existen diferentes formas de perforar el agujero. El objetivo de este trabajo es diseñar una perforadora de pozos de agua que sea fácilmente transportable de un sitio a otro y que tenga la capacidad de perforar pozos de poca profundidad. En este trabajo se realiza un dimensionamiento de la perforadora para que el diseño sea el adecuado para poder soportar las cargas de trabajo pertinentes. También se hace una selección de los componentes más adecuados para la perforadora como motores de rotación, componentes eléctricos o piezas esenciales de la perforadora tales como la broca.

Abstract

Water is an essential good for life on our planet, and the ways of obtaining this good have evolved throughout our history. One of the most common ways to get water is by digging a well to extract water from underground rivers. To get to the water that is underground, the machine that is used is a drill. The objective of a drill, as its name suggests, is to drill a hole in order to subsequently extract water or some other fluid through said hole.

There are many types of drills depending on the material that you want to extract from the subsoil, and there are also different ways of drilling the hole. The objective of this project is to design a water well drilling machine that is easily transportable from one location to another and that has the capacity to drill shallow wells. In this project, a dimensioning of the drilling machine is carried out so that the design is adequate to be able to support the relevant workloads. A selection of the most suitable components for the drill is also made, such as rotation motors, electrical components or essential parts of the drill such as the drill bit.



Índex

RESUM	I
RESUMEN	II
ABSTRACT	III
1. INTRODUCCIÓ	9
1.1. Objectius del treball	9
1.2. Abast del treball	10
2. EQUIPS DE PERFORACIÓ	11
2.1. Classificació de les màquines perforadores	11
2.1.1. Segons la font de potència	11
2.1.2. Segons el tipus de moviment	12
2.1.3. Segons la direcció de perforació	14
2.2. Components principals de la màquina perforadora	15
2.2.1. Generadors de potència.....	15
2.2.2. Estructura principal	15
2.2.3. Torre de perforació.....	16
2.2.4. Sistemes d'elevació o d'empenta	16
2.2.5. Plataforma de perforació (travelling block)	17
2.2.6. Swivel.....	17
2.2.7. Canonada de perforació.....	17
2.2.8. Broca.....	18
3. FUNCIONAMENT DE LA MÀQUINA PERFORADORA	21
4. DIMENSIONAMENT	24
4.1. Duresa de la roca	24
4.2. Velocitat de rotació.....	26
4.3. Diàmetre de perforació.....	27
4.4. Disseny de la broca	28
4.5. Força d'empenta sobre la roca	29
4.6. Força tangencial	31
4.7. Dimensionament del motor de rotació.....	32
4.8. Velocitat i caudal del fluid.....	34
4.9. Disseny de la torre de perforació	35

4.10. Velocitat de penetració	36
4.11. Motor d'elevació.....	37
4.12. Bomba hidràulica	40
5. ESTUDI DE LES FORCES DE TREBALL	42
5.1. Càrregues aplicades a la torre de perforació	42
5.1.1. Càrregues en el cas 1: plataforma de perforació en el punt més alt	42
5.1.2. Càrregues en el cas 2: plataforma de perforació en el punt més baix.....	43
5.2. Esforços de la torre de perforació	44
5.2.1. Plataforma de perforació en el punt més alt.....	44
5.2.2. Plataforma de perforació en el punt més baix.....	53
6. ANÀLISI DE L'IMPACTE AMBIENTAL	61
CONCLUSIONS	62
PRESSUPOST I/O ANÀLISI ECONÒMICA	63
BIBLIOGRAFIA	65
ANNEX A	71
A1. Motor de Rotació trifàsic 2,2 kW / 3CV IE1 B3 PATAS 220/380 V 1000 RPM [42]	71
A2. Variador d Freqüència 2,2 kW trifàsic 380 V DELTA VFD-E [43]	72
A3. Motor d'Elevació trifàsic 1,1 kW 1,5 CV 230/400 V 1500 RPM IE1 Brida B5 Carcassa Reduïda [50].....	74
A4. Reductor sense fi corona mida 40 Brida PAM 90/11 – Motor Carcassa 63 B14 [51]	76
A5. Variador de freqüència FVR1.5AS1S-4E trifàsic FUJI MICRO 1,5KW [52]	78
A6. Bomba hidràulica Calpeda [53]	79
A7. Swivel [61].....	81
A8. Broca Tricone drill bits IADC537 4 3/4" (120.6mm) [38]	82
ANNEX B	84
B1. Plànol 1: Base.....	84
B1.1 Plànol 1.1: Subjecció base de la columna	85
B1.2 Plànol 1.2: Recolzament columna.....	86
B2. Plànol 2: Roda Jockey	87
B3. Plànol 3: Maneta roda Jockey	88

B4. Plànol 4: Estabilitzador	89
B5. Plànol 5: Pota estabilitzadora	90
B6. Plànol 6: Maneta estabilitzador	91
B7. Plànol 7: Roda	92
B8. Plànol 8: Ganxo de seguretat	93
B9. Plànol 9: Base columna.....	94
B10. Plànol 10: Torre columna	95
B11. Plànol 11: Plataforma de Perforació	96
B12. Plànol 12: Swivel	97
B13. Plànol 13: Canonada.....	98
B14. Plànol 14: Canonada Inicial.....	99
B15. Plànol 15: Connexió	100
B16. Plànol 16: Broca	101
B15. Plànol 17: Dents Broca.....	102
ANNEX C	103
C1. Imatges de la perforadora	103
C2. Imatges de la perforadora en posició de transport	107
C3. Imatges de la perforadora assegurada.....	109
C4. Imatges de la perforadora amb la broca inicial.....	116
C5. Imatges de la perforadora en funcionament	120

1. Introducció

L'objectiu principal d'aquest projecte és dissenyar una perforadora de pous d'aigua que sigui fàcilment transportable d'un lloc a un altre.

Per assolir aquest objectiu s'ha realitzat una recerca prèvia dels diferents tipus de perforadores i els seus components principals. A continuació s'ha realitzat un dimensionament de les condicions en les que treballarà la perforadora i per tant les característiques que ha de tenir per poder treballar en aquestes condicions. I per últim s'ha fet un estudi de com actuen les forces de treball i com la perforadora es veu afectada per aquestes forces.

1.1. Objectius del treball

Com s'ha mencionat, l'objectiu d'aquest treball és realitzar el disseny d'una perforadora de pous d'aigua portàtil. Aquesta perforadora ha de poder perforar pous de com a molt cinquanta metres de profunditat.

La perforadora ha de poder transportar-se fàcilment d'una ubicació a un altra, per això la perforadora ha de tenir una forma que permeti aquest transport amb facilitat. També ha de poder perforar en diferents terrenys i condicions, per això la perforadora ha de tenir una forma que faciliti també l'accés a ubicacions més exigents com coves o boscos.

Els objectius indirectes d'aquest treball són posar en pràctica els coneixements assolits durant el grau d'enginyeria en sistemes i estructures mecàniques, mecànica de fluids, programes CAD... Així com ampliar aquests coneixements i aprofundir en alguns dels conceptes amb exemples més pràctics.

En aquest treball també aprofundiré i ampliaré els coneixements de màquines perforadores, disseny de màquines, dimensionament d'aquestes, selecció de components per a màquines... Així com el procés necessari per realitzar un correcte dimensionament d'una màquina.

1.2. Abast del treball

L'abast d'aquest treball va des de la prèvia recaptació d'informació sobre perforadores i els seus components, el disseny amb una aplicació CAD de la perforadora, els càlculs del dimensionament d'aquesta fins al càlcul de les forces de treball que hi actuen en diverses situacions de treball.

En els primers apartats faré un recapte d'informació sobre la màquina a dissenyar, estudiant els diferents tipus de segons les característiques d'aquesta. Escolliré el tipus de màquina perforadora segons els objectius plantejats a l'apartat anterior. Aquest recapte d'informació també em serà útil per aprofundir en les parts de les màquines perforadores.

En segon lloc faré un dimensionament del treball, on especificaré les parts més importants d'aquesta màquina com els motors, la torre de perforació, la broca...

Per últim hi haurà l'estudi de com es comporta la perforadora mentre està en funcionament, estudiaré com afecten les forces de treball en la perforadora i com aquesta reacciona a aquestes forces. Amb aquest estudi es podrà tenir una idea de si el disseny de la perforadora és fiable o si s'ha de rectificar algun càlcul del dimensionament fet prèviament.

2. Equips de perforació

Un equip de perforació o màquina perforadora és un conjunt de màquines que tenen com a objectiu perforar un forat a terra per a l'extracció d'algun recurs natural, en el nostre cas aigua. Per tant aquest equip ha de tenir els elements necessaris per complir aquesta funció. En aquest apartat descriuré els diferents tipus d'equips de perforació i els components principals d'aquests. [1] [2] [3]

2.1. Classificació de les màquines perforadores

Podem trobar molts tipus de perforadores que combinin diferents tecnologies de perforació, per aquesta raó podem trobar moltes maneres de classificar els equips de perforació segons les característiques que estiguem tenint en compte. A continuació es mostren les classificacions més habituals segons el tipus de característica a destacar:

2.1.1. Segons la font de potència

➤ Perforadora mecànica

La perforadora mecànica, també anomenada plataforma de poder, es caracteritza per ser impulsada per un o més motors dièsel, que li donen al conjunt l'energia necessària per a realitzar la seva funció. El moviment rotatori que proporciona el motor dièsel és transferit al cabestrant, a les bombes de fang i a altres components que requereixin energia o moviment; aquesta transferència es realitza amb l'ajuda d'un sistema de corretges o cadenes, convertidors de toc, embragatges... [5] [6]

Adicionalment un grup independent de generadors produeix electricitat per abastir les necessitats elèctriques que puguin requerir alguns components, com per exemple sistemes de control o d'il·luminació. [5]

➤ Perforadora neumàtica

Aquest tipus de perforadora realitza la perforació mitjançant una perforadora convencional, fent servir com a energia de rotació l'aire comprimit. Per tant aquest tipus de perforadora requereix d'un equip de compressió d'aire. La roca es tritura amb cada cop que la perforadora dona a la barrina i mitjançant el gir automàtic proporcionat per l'aire comprimit, això dona com a resultat un forat de petit diàmetre. [6]

L'expulsió del material perforat es fa mitjançant aire comprimit, de manera que a mesura que es forada s'injecta aire comprimit que neteja la zona on actua la punta de la perforadora. [6]

➤ **Perforadora hidràulica**

La perforadora hidràulica és molt semblant la perforadora neumàtica prèviament descrita, però en aquest cas el fluid que proporciona l'energia de perforació no és aire sinó un fluid. Per realitzar la compressió del fluid per la seva utilització posterior es fa servir un equip de bombes encarregades de variar la seva pressió. [10]

Històricament les perforadores hidràuliques es van fer servir per treballs subterranis, però amb el temps el seu us esdevingué més comú a la superfície, on va començar a fer competència a la perforadora neumàtica, jugant les dues un paper molt important. [10] [11]

➤ **Perforadora elèctrica**

Aquest tipus de perforadora també fa servir motors dièsel, però en aquest cas per generar electricitat que accioni motors elèctrics, que són els encarregats de proporcionar l'energia de perforació. [5]

Les perforadores elèctriques són més costoses que les mecàniques, però ofereixen diferents avantatges com: [5]

- La seguretat: la velocitat de rotació del motor elèctric és fàcil de regular i de controlar, d'aquesta manera els equips de rotació, circulació i elevació es poden controlar de manera precisa. [5]
- La flexibilitat: grups de generadors es poden afegir o treure sense cap complicació. [5]

2.1.2. Segons el tipus de moviment

➤ **Perforació rotativa**

Aquest tipus de perforació es realitza de dues maneres, i això depèn de si la perforació es dona per trituració o per tall. [9]

La perforació per trituració requereix d'un trepà triturant o d'un tricon per poder triturar les roques subterranies. Aquest tipus de rotació es dona quan la roca té una duresa mitjana o més elevada. Per altra banda la perforació de tall es dona si la roca és més tova, i en aquest cas es fan servir broques especials. [9]

Hi ha un gran avantatge en la utilització d'aquest mètode ja que comprèn una gran gamma de desenvolupament de terrenys, des de les més toves fins a les més dures; inicialment aquest mètode va ser emprat només per a roques toves, la qual cosa el seu posterior estudi va determinar que també es podia emprar en roques dures. [9] [7]

➤ **Perforació amb martell o percussió (top hammer)**

La perforació amb martell o per percussió és un dels mètodes més antics de perforació, que es remunta fins al 4000 aC. i ha anat evolucionant fins a l'actualitat amb la incorporació de noves tecnologies i materials moderns. [8] Tot i ser un dels mètodes més antics és un dels més utilitzats per a l'exploració, la investigació i la captació de jaciments d'aigua, per presentar avantatges que els equips moderns encara no han pogut igualar. [8]

El funcionament d'aquest tipus de perforació consisteix en un moviment alternatiu constant de baixada i pujada de part d'una massa pesada que cada vegada que cau va colpejant la roca, de manera que aconsegueix desintegrar-la en mides variades, i són extrets posteriorment per alguna vàlvula o cullera. [8] [7]

➤ **Perforació rotativa amb percussió**

Aquest mètode és un dels més emprats i igual que la perforació per rotació també posseeix una gran gamma d'utilització en les varietats de roques, aquest mètode empra un martell que se situa tant al cap com al fons de la barrinada. [7] [12]

Les perforadores amb rotació i percussió es classifiquen de dues maneres, o en dos grans grups els quals es determinen per mitjà de la posició en la qual es trobi el martell, i segons aquesta classificació es té: [12]

- Si el martell s'ubica al fons, llavors les funcions rotatives i de percussió es produiran fora de la barrinada, i són transmeses per mitjà de barres fins a aconseguir la perforació, en aquest cas els martells poden ser sobre la base d'un funcionament hidràulic o pneumàtic. [12]
- L'altre cas és quan la ubicació del martell es dona al cap, donant així la possibilitat que la percussió es doni directament sobre la roca i la rotació a l'exterior a la barrinada. En aquest cas, el moviment del pistó es realitza per mitjans pneumàtics, i el que és la rotació pot arribar a donar-se per mitjans tant pneumàtics com també hidràulics. [12]

➤ **Perforació amb barrina**

Perforació rotativa amb un cargol sense fi. Aquest tipus de perforació s'utilitza principalment en sòls argilosos o sorrencs poc consolidats. El detritus ascendeix a la superfície gràcies al cargol sense fi. Per a perforacions profundes, pot ser necessari pujar sovint la infinietat per extreure'l. Aquest tipus de perforació es fa servir més en la construcció que per pous d'aigua. [7]

2.1.3. Segons la direcció de perforació

➤ Perforació cap avall (Jack Hammer)

Aquest tipus de perforació vertical cap avall o també coneguda com Jack Hammer és utilitzada per aconseguir perforacions principalment verticals sense embragatge també pot existir una inclinació i d'igual manera la perforació seriosa cap avall. L'avenç d'aquest tipus de perforació es produeix mitjançant el pes propi de la mateixa perforadora. [13] [14]

➤ Perforació vertical (Stoper)

La perforació vertical cap amunt o també coneguda com a Stoper, té com a principal funció proveir de xemeneies i teulada durant les tasques d'explotació. S'aconsegueix adossant la perforadora a la barra d'avanç aconseguint així una unitat compacta i ferm per aconseguir el treball requerit. [13] [14]

➤ Perforació horitzontal (Jack Leg)

La perforació horitzontal o també coneguda com a Jack Leg, s'aconsegueix per mitjà d'una barra d'avanç que sosté la perforadora que proporciona gran comoditat per a l'operació, també mitjançant l'ús d'aquesta barra d'avanç es fan els buits o cavitats de perforació de manera horitzontal principalment, però també es pot utilitzar de manera inclinada. L'ús d'aquest tipus de perforació és en general per a la construcció de galeries, subnivells, rampes, etc. [13] [14]

També existeix una classificació segons per a que es fa servir la perforadora: per a mineria, per a petroli... però nosaltres ens focalitzem únicament en equips de perforació destinats a extreure aigua del subsòl, per tant no entrarem en aquests altres tipus. [15]

2.2. Components principals de la màquina perforadora

En aquest apartat ens centrarem en les parts d'una perforadora hidràulica, tot i que moltes d'aquestes parts o components es poden trobar en els altres tipus de perforadores mencionats prèviament.

2.2.1. Generadors de potència

El concepte de generadors de potència avarca als motors i generadors que generen la energia i el moviment que posteriorment es transmetrà als altres components de la perforadora.

Per les perforadores hidràuliques aquests generadors són normalment un motor de combustió que genera electricitat per alimentar les bombes hidràuliques. [20]

2.2.2. Estructura principal

L'estructura principal és la base horitzontal on es troben els generadors de potència, els controls de la perforadora i altres components. El cos d'aquesta base està format per una estructura metàl·lica lleugera però alhora suficientment resistent per suportar el pes dels motors de generació de potència i de la torre de perforació que mencionarem més endavant. [3] [20]

L'estructura acostuma a estar dotada de rodes per desplaçar el conjunt i de barres per estabilitzar la perforadora un cop està instal·lada. Aquestes barres estabilitzadores disposen d'un sistema d'elevació per aixecar tota la perforadora i que pot ser automàtic o manual. El sistema d'elevació automàtic consisteix en pistons controlats des dels controls de la perforadora i el podem trobar en perforadores més pesades. Mentre que el sistema d'elevació manual el trobem a perforadores més lleugeres i normalment consisteix per una manovella i una rosca. La rosca fa que quan tu rotes la manovella la pota de l'estabilitzador pugi o baixi ja que es cargola dins de la barra: [16]



Figura 1: Pota estabilitzadora manual (Font: Grainger) [17]

2.2.3. Torre de perforació

La torre o columna de perforació és una estructura vertical que fa de guia al motor al qual van subjectes els tubs de les canonades que s'insereixen sota terra. Per aquesta estructura puja i baixa el motor que fa girar les canonades amb la punta de broca que s'encarreguen de fer el forat i, posteriorment, extreure l'aigua de sota terra. A la part baixa de l'estructura sempre hi ha una plataforma amb un forat que fa de guia als tubs de les canonades que s'estan inserint. [3] [16]



Figura 2: Máquina perforadora para pozos de agua KW30 (Font: Kaishan drillings) [18]

El alguns casos aquesta torre de perforació es pot desmuntar o articular per a que reposi sobre l'estructura principal i així facilitar-ne el transport. [16]

2.2.4. Sistemes d'elevació o d'empenta

Aquest sistema es situa a la base de la torre de perforació i és l'encarregat de pujar i baixar el motor al qual van subjectes els tubs que s'insereixen sota terra. Aquest sistema pot consistir en una cadena amb guies, un pistó, un cable d'acer... El moviment vertical que proporciona aquest sistema d'elevació es pot controlar des dels controls de la màquina. [3] [20]

2.2.5. Plataforma de perforació (travelling block)

La plataforma de perforació està situada a la torre de perforació i té la funció de proporcionar el moviment rotatori als tubs de les canonades per a que puguin perforar el subsòl. Aquest moviment es transmet als tubs i per conseqüència a la broca que, amb aquest moviment circular i la força vertical, trenca les roques per obrir-se pas sota terra. En el cas de la perforadora hidràulica aquest sistema de rotació consisteix en un motor elèctric que transmet el moviment a la canonada de perforació. [19]

2.2.6. Swivel

El Swivel és un aparell mecànic situat entre el motor elèctric de la plataforma de perforació i la canonada de perforació. Aquest aparell és l'encarregat d'introduir el fluid de perforació dins la canonada. El Swivel té una forma circular i està compost per dues parts: la primera part és una extensió de la canonada amb un o més forats i la segona part és una carcassa que envolta la primera. [21] [22]

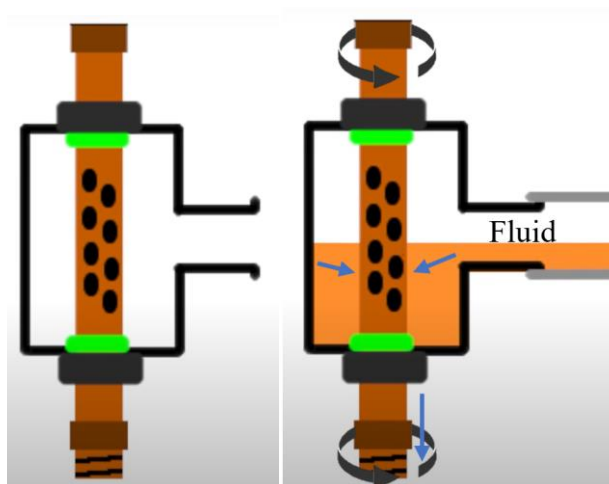


Figura 3: Esquema de funcionament del Swivel (Font: ScienceMadeFunner) [21]

D'aquesta manera quan el fluid entra a l'espai entre la carcassa i la canonada foradada es veu obligat a entrar també a dins de la canonada a través dels forats. Alhora el motor elèctric fa girar la canonada. El que a la imatge es veu de color verd són els coixinets i els aïllants, que s'encarreguen de deixar girar la canonada lliurement sense deixar sortir el fluid. [21] [22]

2.2.7. Canonada de perforació

La canonada és el component més senzill i alhora un dels més importants de la màquina de perforació. Consisteix en una cadena de tubs buits per dins que es van inserint sota terra i per dins dels quals passarà l'aigua un cop el pou es trobi en funcionament. Cada canonada té aproximadament l'alçada de

la torre de perforació i s'han d'anar afegint canonades a mesura que es perfora. Les canonades tenen rosques als extrems per poder unir-les entre elles i formar la canonada final que anirà des del pou d'aigua fins la superfície. [20]

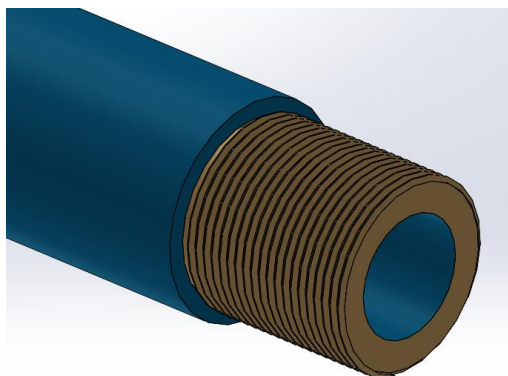


Figura 4: Extrem d'una canonada de perforació. (Font pròpia)

2.2.8. Broca

La broca és l'eina que permet foradar el subsòl per arribar a on es troba l'aigua. Té la funció de triturar la roca que hi ha sota terra per tal de poder extreure-la en forma de fang i poder seguir excavant. La broca està composta de materials resistents que mecànicament tallen la roca mitjançant el raspat, mòlta o fracturació per compressió localitzada. [23]



Figura 5: Broca d'arrossegament fixa PDC (Font: Speed made Drilling) [25]

Hi ha diferents tipus de broca segons el tipus de tall que efectuen, però comercialment es classifiquen les broques en dos grans grups: les broques de tall rotatives i les broques de tall fixes.

- **Broques de tall rotatives (Roller cutter bits)**

Les broques de tall rotatives o broques de con rotatives consisteixen en tres cons amb puntes que poden rotar independentment. [23]

Dins de la categoria de broques de tall rotatives trobem dos subtipus segons el material de les puntes: broques de dents fressades (Milled-tooth bits) i broques de dents d'inserció de carbur de tungstè (Tungsten Carbide Insert (TCI) or Insert bits). Aquestes últimes tenen puntes o dents de carbur de tungstè, un aliatge de duresa molt elevada. [23] [26] [27]



Figura 6: Broca rotativa d'inserció de carbur de tungstè (Font: Drilling Formulas) [23]

- **Broques de tall fixes (Fixed cutter bits)**

Aquest tipus de broca no té part rotativa i és mecànicament més senzill. Les broques de tall fixes consisteixen comunament en un cilindre de carbur de tungstè sinteritzat amb una superfície plana recoberta amb un material de diamant sintètic o policristal·lí. Les dents de la broca es disposen a les fulles d'aquesta en un patró esglaonat amb la superfície del tallador recoberta de diamant orientada a la direcció de rotació de la broca per proporcionar una cobertura total del fons del forat. [23] [25] [27]



Figura 7: Broca de tall fixa PDC (Font: Drilling Formulas) [23]

3. Funcionament de la màquina perforadora

Tot i que hem vist diferents tipus de perforadores pels diferents mètodes de perforació, en aquest apartat explicaré el funcionament d'una perforadora de pous hidràulica.

Una màquina perforadora té com a objectiu excavar un forat a terra d'una profunditat suficient per poder extreure matèria del subsòl. En el cas de les perforadores hidràuliques, aquesta perforació es duu a terme amb un moviment rotatori i, en alguns casos, un moviment de percussió. La broca de la perforadora rota a mesura que s'enfonsa sota terra per trencar la roca. [1] [3] [15]

La font de potència genera energia que s'entrega al motor elèctric encarregat de pujar i baixar la per la torre. També entrega part d'aquesta potència al motor elèctric que fa rotar la canonada de perforació amb la broca al final. I combinant aquests dos moviments, el vertical i el rotatiu, la broca tritura la roca i va obrint-se pas pel subsòl. [3] [9]

A l'estructura principal de la màquina perforadora també hi trobem la bomba hidràulica encarregada de donar pressió al fluid de perforació. En aquest cas el fluid de perforació consisteix en una mescla d'aigua amb fang [9] [28]. Amb aquesta pressió el fluid baixa per la canonada de perforació, surt per la broca i torna a pujar a la superfície arrossegant les partícules de roca triturada. [1]

La síntesi de la perforació rotativa és que combinant el moviment rotatiu de la broca i exercint una força vertical cap al terra, es tritura la roca a mesura que la broca es va enfonsant en el subsòl. Per poder perforar pous profunds es van unint canonades idèntiques entre elles fins a formar una canonada molt més llarga. Per fer això primer es perfora fins que la canonada queda quasi sota terra, llavors el motor de rotació es desenganxa de la canonada i puja fins al seu punt més alt. [1] [3] [4] [9]



Figura 8: Canonada en el punt més baix i motor posició més alta (Font pròpia)

Un cop el motor es troba a la posició més alta s'insereix una nova canonada entre el motor i la canonada prèviament inserida sota terra. La nova canonada s'enrosca al motor de rotació, o més concretament al Swivel que queda pel mig, i quan el motor descendeix i rota uneix la nova canonada amb la prèviament enfonsada.[1]



Figura 9: Nova canonada a la perforadora (Font pròpia)

Repetint aquest procés el forat del pou va prenent forma. Al final la perforadora es desenganxa del conjunt de canonades i aquesta canonada de gran longitud serà l'encarregada de pujar l'aigua des del riu soterrani fins a la superfície, jugant amb pressions o a vegades amb l'ajuda d'una bomba auxiliar. En alguns casos la canonada es canvia per un altra o s'afegeix una canonada auxiliar exterior o interior. [2] [3]

4. Dimensionament

Per poder realitzar el dimensionament de la màquina perforadora primer hem de saber de quins paràmetres dependrà aquest dimensionament.

Sabem que per calcular les dimensions de la broca hem de saber la força que ha de fer aquesta per trencar la roca. I aquesta força dependrà principalment de la duresa de la roca. Si la roca és més dura caldrà fer més força.

4.1. Duresa de la roca

L'objectiu d'aquesta perforadora és poder perforar pous a pocs metres de profunditat, per tant la roca que ens trobarem no serà tan dura com la que trobaríem si excavéssim pous de més profunditat. Segons el Atlas Nacional de España les roques que trobem a la major part de la península son la roca silícia, calcària i argilosa. [11] [29]

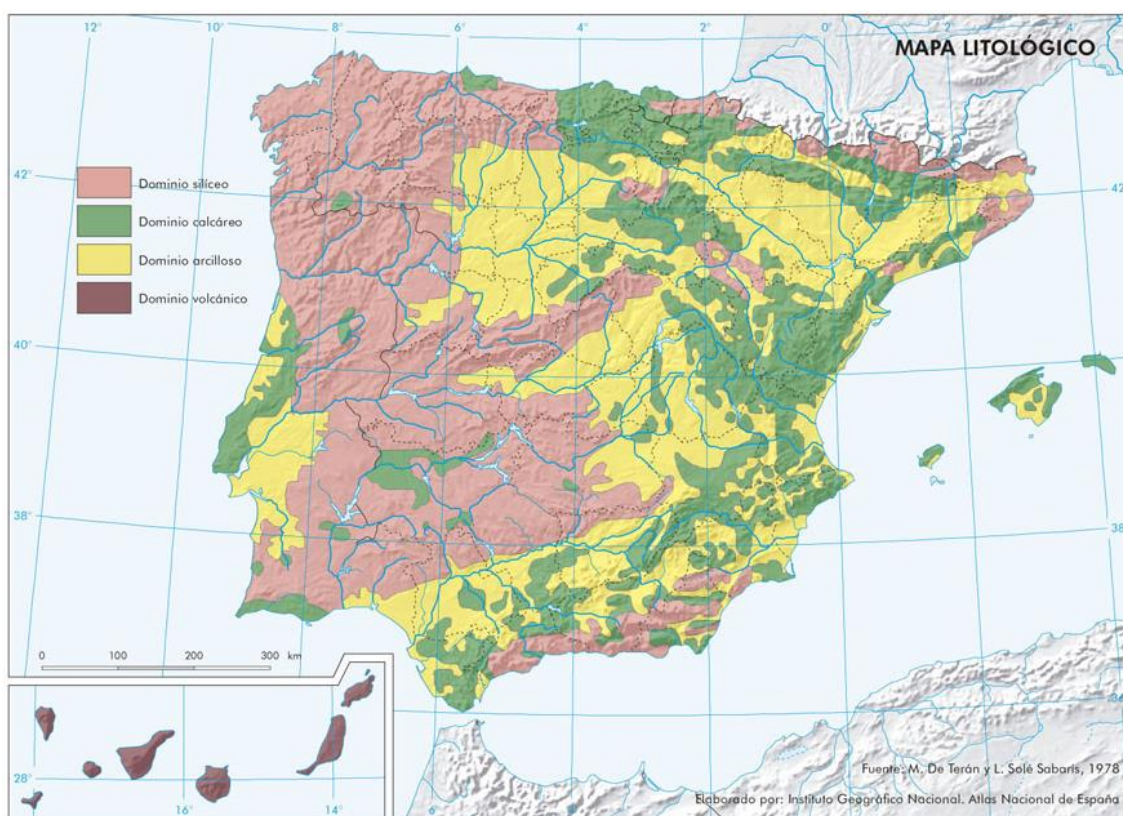


Figura 10: Mapa litològic d'Espanya 1978 (Font: Atlas Nacional De España) [29]

Per comparar la duresa de la roca que trobem sota el terra m'he basat en l'escala de duresa de Mohs. Aquesta escala molt utilitzada per geòlegs la va idear Friedrich Mohs, un geòleg alemany del segle XIX. En aquesta escala, Mohs va classifica la duresa de les roques agafant com a referència 10 minerals on el més dur té assignat el número 10 i el més tou l'1. D'aquesta manera tots els altres materials es poden classificar prenent com a referència aquesta escala i rasant-los amb unes eines específiques per comprovar-ne la duresa. [30] [31]

Mohs hardness	Mineral	Type of rock	Absolute hardness
1	<u>Talc</u>	Extremely soft	1
2	<u>Gypsum</u>	Very soft	2
3	<u>Calcite</u>	CaCO ₃	14
4	<u>Fluorite</u>	Soft	21
5	<u>Apatite</u>	Moderately	48
6	<u>Orthoclase feldspar</u>	soft	72
7	<u>Quartz</u>	Hard	100
8	<u>Topaz</u>	Very hard	200
9	<u>Corundum</u>	Extremely hard	400
10	<u>Diamond</u>		1500

Taula 1: Escala de Mohs per diferents minerals (Font: The Earth Story) [30]

La roca sílícia té una duresa de 6-7 segons l'escala de Mohs [Silica]. El mineral més comú que compon la roca calcària és la pedra de cal o *Limestone* en anglès, i té una duresa de 3 a l'escala de Mohs [Calca]. La roca argilosa es compon principalment de caolinita i il·lita, ambdós amb una duresa de 2 a l'escala de Mohs [caolinita]. Per tant podem afirmar que en general les roques que trobarem amb la nostra perforadora seran en general toves. [30]

Amb la següent taula podem relacionar el tipus de roca amb la resistència a la compressió aproximada d'aquesta:

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A COMPRESIÓ SIMPLE (MPa)
Muy blandas	< 40
Blandas	40 – 80
Medianas	80 – 120
Duras	120 – 200
Muy duras	> 200

Taula 2: Resistència a la compressió per tipus de roca (Font: El Blog de Víctor Yepes) [33]

Com que la nostra perforadora té l'objectiu de perforar roques toves o molt toves, agafarem el valor de la resistència a la compressió equivalent a al tipus de roques toves. Això equivaldria de manera aproximada a valors d'entre 40 i 80 MPa. [32] [33]

Per tant la nostra perforadora haurà de fer una força de resistència a la compressió (S_c) aproximada de no més de 50 MPa.

4.2. Velocitat de rotació

La velocitat de rotació és la velocitat a la que haurà de girar la broca per poder partir la roca. La velocitat de rotació és inversament proporcional a resistència de compressió de la roca (S_c). Com que novament no hi ha un criteri exacte que relacioni les dues variables m'ajudaré d'una taula per trobar un valor aproximat que s'adeqüi al valor de resistència a la compressió trobat anteriorment. [33] [34]

TIPO DE ROCA	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE (MPa)	VELOCIDAD (rpm)
Muy blandas	< 40	120 – 100
Blandas	40 – 80	100 – 80
Medianas	80 – 120	80 – 60
Duras	120 – 200	60 – 40
Muy duras	> 200	40 – 30

Taula 3: Velocitat de rotació de la broca segons el tipus de roca (Font: El Blog de Víctor Yepes) [33]

En aquesta taula el valor de velocitat de rotació que correspon a roques toves és d'entre 80 i 100 rpm. Per tant el valor de velocitat de rotació de la broca serà, com a màxim, de 100 rpm.

4.3. Diàmetre de perforació

També ens caldrà saber el diàmetre de perforació, és a dir, el diàmetre del forat que volem fer per on hi passarà la claveguera. El diàmetre de perforació dependrà d'entre altres factors del fluid que volem extreure, la profunditat fins la qual perforarem i de si aplicarem o no un sistema auxiliar d'extracció, com bé podria ser una bomba. El diàmetre de perforació també depèn de les especificacions del client. En el nostre cas volem perforar a poca profunditat i volem extreure aigua a la superfície, per tant el diàmetre de perforació serà més aviat de mida reduïda. [35] [37]

En la següent taula podem veure un exemple dels diàmetres de perforació més comuns:

DE		Peso		DI		Capacidad		Desplazamiento	
in.	mm	lb/ft	kg/m	in.	mm	bbf/ft	m ³ /m	bbf/ft	m ³ /m
2 3/8	60	4.85	7.23	1.995	51	0.0039	0.0020	0.0016	0.0008
2 7/8	73	6.85	10.21	2.441	62	0.0058	0.0030	0.0022	0.0012
2 7/8	73	10.40	15.50	2.150	55	0.0045	0.0023	0.0035	0.0018
3 1/2	89	13.30	19.82	2.764	70	0.0074	0.0039	0.0045	0.0023
3 1/2	89	15.50	23.10	2.602	66	0.0066	0.0034	0.0053	0.0028
4	102	14.00	20.86	3.340	85	0.0108	0.0057	0.0047	0.0025
4 1/2	114	16.60	24.73	3.826	97	0.0142	0.0074	0.0055	0.0029
4 1/2	114	20.00	29.80	3.640	92	0.0129	0.0067	0.0068	0.0035
5	127	19.50	29.06	4.276	109	0.0178	0.0093	0.0065	0.0034
5	127	20.50	30.55	4.214	107	0.0173	0.0090	0.0070	0.0037
5 1/2	140	21.90	32.63	4.778	121	0.0222	0.0116	0.0072	0.0038
5 1/2	140	24.70	36.80	4.670	119	0.0212	0.0111	0.0082	0.0043
5 9/16	141	22.20	33.08	4.859	123	0.0229	0.0120	0.0071	0.0037
5 9/16	141	25.25	37.62	4.733	120	0.0218	0.0114	0.0083	0.0043
6 5/8	168	31.90	47.53	5.761	146	0.0322	0.0168	0.0104	0.0054

Taula 4: Diàmetres de perforació (Font: Perforador 2.0) [36]

En taula es pot veure que els diàmetres més comuns de canonada van des de 2 3/8 polzades (60 mm) fins a 6 5/8 (168 mm), però com que l'objectiu d'aquesta perforadora és perforar pous de petites dimensions i poc profunds, jo agafaré un dels diàmetres de perforació més petits.

4.4. Disseny de la broca

La broca és un dels elements més importants de la màquina perforadora. La broca ha de suportar la força del motor de rotació i transmetre-la a la roca. Per dimensionar la broca s'han de tenir en compte diversos factors. En el capítol 3.2 he explicat els tipus de broques més comuns, per aquest treball faré servir una broca de tall rotativa amb puntes de carbur de tungstè per ser més econòmiques que les broques de tall fixes i per ser més eficients en roca tova [24] [27]. Aquesta broca ha de ser conseqüent a la mida del diàmetre que volem perforar, que ha l'apartat 4.5 he calculat que serà de 89 mm.

Per tant tenint aquests factors en compte la broca que em servirà per a la meva perforadora serà de 4 3/4 polzades (120 mm) per deixar un petit marge entre la canonada i el forat. Aquest petit marge evita que s'acumuli un excés de força contra la canonada. Aquest marge també té en compte la peça que connecta les canonades entre elles, que és més ampla que el diàmetre normal de la canonada. La broca per tant és una *Tricone drill bit IADC537 4 3/4"* de *Far Eastern Drilling*. [38]



Figura 11: Broca de perforació rotativa (Font: Far Eastern Drilling) [38]

Aquesta broca pot perforar en un rang de 50 a 120 rpm, la nostra velocitat de rotació de 100 rpm entra dins d'aquest rang. Aquesta broca també es pot canviar segons les necessitats de la perforació a desenvolupar.

4.5. Força d'empenta sobre la roca

La força d'empenta sobre la roca és la força que haurà d'aplicar la nostra màquina en l'eix vertical. El següent gràfic mostra la relació que hi ha entre la velocitat d'avançada i la força d'empenta. Al gràfic es veu com l'eficiència augmenta a mesura que ho fan les dues variables, però arriba un moment que l'empenta esdevé excessiva. Per tant l'objectiu és tenir valors alts d'empenta i de velocitat d'avançada sense arribar a sobrepassar aquest punt d'eficiència màxima. [9] [39]

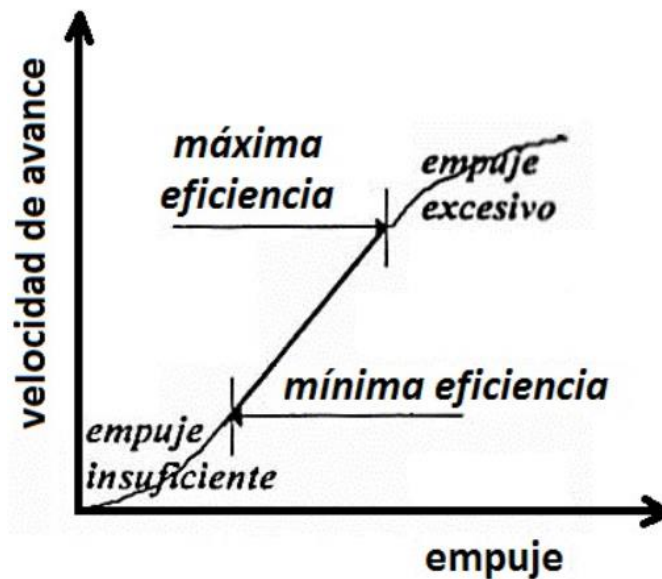


Figura 12: Relació velocitat d'avançada-força d'empesa (Font: El Blog de Víctor Yepes) [9]

Per obtenir el valor de la força d'empenta haurem de calcular la força mínima, la força màxima i la força límit. La força límit es pot calcular mitjançant la següent fórmula que relaciona aquesta força amb la resistència a la compressió i el diàmetre de perforació. [34] [40]

$$F_{min} = 28,5 * Sc * \varphi \quad (\text{Eq. 4.1})$$

On:

F_{min} = força d'empenta mínima sobre la roca [lb]

Sc = resistència a la compressió [MPa]

φ = diàmetre de perforació en polzades.

Com podem veure en la formula, la força d'empenta augmenta a mesura que augmenta duresa de la roca, que recordem era equivalent a la resistència a la compressió. Com s'ha vist anteriorment la força de resistència a la compressió és de 50 MPa.

La força d'empenta màxima es calcula com el doble que la força d'empenta mínima: [40]

$$F_{m\grave{a}x} = 2 * F_{min} \quad (\text{Eq. 4.2})$$

La força límit d'empenta és la força límit que podem exercir tenint en compte el diàmetre de la canonada. Aquesta força d'empenta límit depèn per tant únicament del diàmetre de perforació: [34]

$$F_{lim} = 810 * \varphi^2_{barrena} \quad (\text{Eq. 4.3})$$

On φ és el diàmetre de perforació en polzades.

Amb aquestes formules he fet el càlcul per a la llista de diàmetres de perforadora més comuns de la taula 4, i els resultats són els següents.

Diàmetre		F_{min}		$F_{m\grave{a}x}$	F_{lim}	
[in]	[mm]	[lb]	[kN]	[kN]	[lb]	[kN]
2 3/8	60	3384,38	15,05	30,11	4568,91	20,32
2 7/8	73	4096,88	18,22	36,45	6695,16	29,78
3 1/2	89	4987,5	22,19	44,37	9922,50	44,14
4	102	5700	25,35	50,71	12960	57,65
4 1/2	114	6412,5	28,52	57,05	16402,5	72,96
5	127	7125	31,69	63,39	20250	90,08
5 1/2	140	7837,5	34,86	69,73	24502,5	108,99
5 9/16	141	7926,56	35,26	70,52	25062,54	111,48
6 5/8	168	9440,63	41,99	83,99	35551,41	158,14

Taula 5: Càlcul de la F_{min} , $F_{m\grave{a}x}$ i F_{lim} (Font: personal)

Com hem dit en l'apartat 4.3, el diàmetre de canonada serà d'entre els diàmetres més petits, escolliré el primer on convergeixi la força màxima amb la força límit, per assegurar-me de que no supero el valor de la força límit. Per tant el primer diàmetre que compleix aquesta condició és el diàmetre de 3 ½ (89mm). Per tant el diàmetre de perforació exterior serà de 89 mm i l'interior de 66 mm.

Amb aquest diàmetre els valors de força d'empenta mínima, màxima i límit són:

- $F_{\min} = 22,19 \text{ kN}$
- $F_{\max} = 44,37 \text{ kN}$
- $F_{\lim} = 44,14 \text{ kN}$

Tenint en compte els valors de força d'empenta mínima, màxima i límit es pot aproximar un valor de força d'empenta (F_e) de 33 kN.

4.6. Força tangencial

La força tangencial és la força que s'aplica sobre la roca a través de les puntes de la broca en un pla horitzontal. En el tipus de broca que farem servir, la força que s'aplica sobre la roca és majoritàriament força d'empenta (calculada a l'apartat anterior). Per tant la força que s'aplica tangencialment és el resultat de les forces de les dents de la broca que es troben al voltant de les dents que estan en el seu punt vertical i que per tant estan aplicant major força sobre la roca. [24]

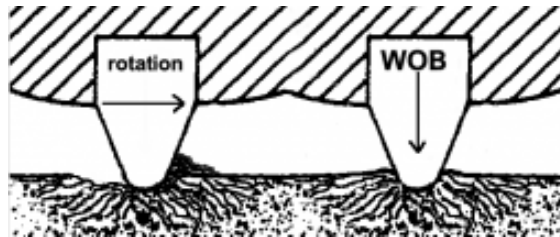


Figura 13: Accions de tall de les dents d'una broca rotativa (Font: PETROLEUM GEOLOGY) [24]

La força tangencial es pot aproximar amb la següent expressió: [40]

$$F_t = \frac{F_{\max}}{\tan \alpha} \quad (\text{Eq. 4.4})$$

On:

F_{tan} = força tangencial [kN]

F_{\max} = força d'empenta màxima [kN]

$\tan \alpha$ = tangent de l'angle d'atac de les dents de la broca [graus]

Com hem mencionat anteriorment, l'angle d'atac en aquest tipus de broca és molt vertical, però si que existeix aquest angle en les dents que apliquen menys força en el moment de perforar [24] [40]. Per tant suposarem un l'angle d'atac molt vertical per aproximar aquesta força que s'oposarà al moviment rotatori de la broca. L'angle d'atac que farem servir pels càlculs és de 85°. Per tant la força tangencial serà de 3,10 kN.

Sabent la força tangencial i les magnituds de la broca podem calcular el moment o parell motor de la broca:

$$M = F_t \times R \quad (\text{Eq. 4.5})$$

On:

M = moment o parell motor [Nm]

F_t = força tangencial [N]

R = radi de la broca [m]

Sabent que el diàmetre de la broca és de 120 mm (radi $R = 60$ mm), el moment o parell motor serà de 186 Nm.

4.7. Dimensionament del motor de rotació

Per dimensionar el motor de rotació s'han de tenir en compte diversos factors, un d'ells és la velocitat de rotació a la que voldrem que giri la broca. Aquesta velocitat de rotació l'he calculat anteriorment i ha de ser de 100 rpm com a màxim. Per tant hem d'assegurar que el motor de rotació pugui arribar a girar a aquestes revolucions. [41]

Un altre paràmetre molt important és la potència de rotació necessària per fer girar la broca. Aquesta potència de rotació la podem obtenir sabent la velocitat de rotació i el moment calculat a l'apartat anterior:

$$P = M \times \omega \quad (\text{Eq. 4.6})$$

On:

P = potència [W]

M = moment o parell motor [Nm]

ω = velocitat angular [rad/s]

La velocitat angular és de 10,47 rad/s i el parell motor de 186 Nm, i per tant la potència que haurà d'exercir el motor serà de 1,95 kW que podem aproximar a 2 kW.

El motor que s'adequa millor a les necessitats especificades és un motor trifàsic de 2,2 kW:



Figura 14: Motor elèctric trifàsic de 2,2 kW (Font: Zuendo) [42]

Aquest motor pot arribar a les 1000 rpm, però aquesta velocitat es controlarà amb un alternador de freqüència ja que com he mencionat a l'apartat 4.2, la velocitat màxima de rotació ha de ser de 100 rpm.



Figura 15: Alternador de freqüència trifàsic 2,2 kW (Font: Zuendo) [43]

4.8. Velocitat i caudal del fluid

Al mateix temps que la broca tritura la roca amb el seu moviment rotatori i força vertical, una bomba injecta aigua en la canonada per extreure les partícules d'aquestes roques com hem vist en el capítol anterior. Un dels objectius d'aquest fluid es extreure les restes de roca triturada cap a l'exterior. Aquest fluid amb la barreja de partícules de roca puja fins la superfície a través del terreny irregular que es forma entre la canonada i la paret de roca. L'eficiència d'aquest fluid depèn principalment de la velocitat i el caudal d'aquest mentre puja cap a la superfície. [44] [47]

La velocitat del fluid d'extracció depèn de la densitat de les partícules de roca que estigui transportant i de la mida d'aquestes. La velocitat del fluid es pot aproximar amb la següent formula: [44]

$$V = 250 * \delta^{1/2} * d^{1/2} \quad (\text{Eq. 4.7})$$

On:

V = velocitat mínima del fluid d'ascensió [m/min]

δr = densitat de la roca [gr/cm³]

d = mitjana del diàmetre de les partícules [mm]

Les dades per calcular la velocitat fent servir aquesta equació no es poden trobar fàcilment, per això podem fer servir aquesta taula per aproximar el valor de la velocitat del caudal d'extracció.

TIPUS DE ROCA	Velocitat Mínima [m/min]	Velocitat Màxima [m/min]
Toves	1200	1800
Mitjanes	1500	2100
Dures	1800	2400

Taula 6: Taula de velocitats segons el tipus de roques (Font: Open Course Ware) [44]

D'aquesta taula es pot obtenir el valor de de la velocitat del caudal d'extracció mínim i màxim. Com que el tipus de roca que perforarà la perforadora és roca tova, les velocitats del caudal d'extracció són respectivament 1200 i 1800 m/min. Aquestes velocitats vindran donades per la bomba.

4.9. Disseny de la torre de perforació

La torre o columna de perforació com he explicat anteriorment consisteix en una estructura d'acer que ha d'aguantar la força de reacció que sorgirà de la força de la canonada (o més concretament la broca) contra la roca. [9] [34]

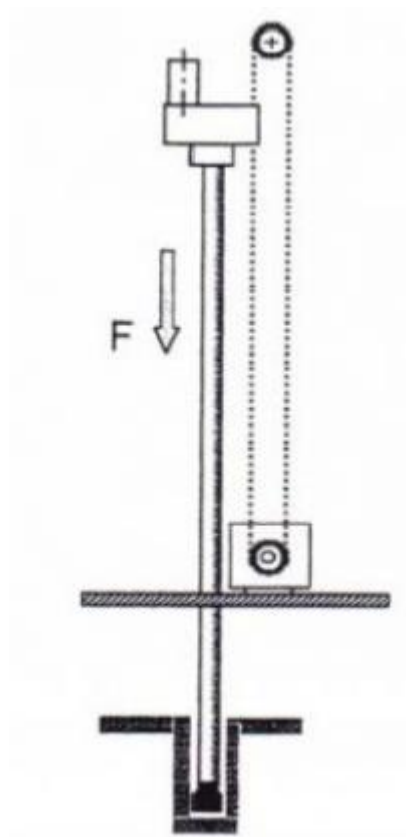


Figura 16: Esquema força d'empenta en la torre de perforació (Font: El Blog de Víctor Yepes) [9]

A més a més, la torre també ha d'aguantar la força del pes de les canonades i la broca i el pes de la plataforma de perforació amb el Swivel i el motor que fa rotar les canonades. L'estructura de la columna de perforació es pot simplificar per fer els càlculs corresponents en una única biga.

Per estudiar les característiques de la torre de la perforadora he escollit una biga de perfil HSS6x6x1/4 per ser un dels perfils més habituals per a bigues. Les dimensions d'aquesta biga es mostren en la següent taula:

Shape	Weight per foot	Depth	Width	Thickness nominal	Thickness actual	Area	Sx	Sy
HSS6X6X1/2	35.1	6	6	0.5	0.465	9.74	16.1	16.1
HSS6X6X1/2	35.1	6	6	0.5	0.465	9.74	16.1	16.1
HSS6X6X3/8	27.4	6	6	0.375	0.349	7.58	13.2	13.2
HSS6X6X5/16	23.3	6	6	0.3125	0.291	6.43	11.4	11.4
HSS6X6X1/4	19	6	6	0.25	0.233	5.24	9.54	9.54
HSS6X6X3/16	14.5	6	6	0.1875	0.174	3.98	7.42	7.42
HSS6X6X1/8	9.85	6	6	0.125	0.116	2.7	5.15	5.15

Taula 7: Dimensions bigues HSS (Font: Construction Knowledge) [46]

Per tant les característiques de la biga que estudiarem són 6 polzades d'amplada, 6 de profunditat i $\frac{1}{4}$ de gruix, amb un àrea de $5,24 \text{ mm}^2$ o $5,24 \times 10^{-6} \text{ m}^2$.

Altres característiques d'aquest tipus de biga són les següents: el pes nominal (W) de $19,02 \text{ kg/m}$ i el moment d'inèrcia en l'eix x (I_x) de $2,86 \times 10^{-5} \text{ m}^4$. El moment d'inèrcia en l'eix y és el mateix ja que el perfil de biga és quadrat. [47]

	Type	HSS
	AISC Manual Label	HSS6X6X1/4
W	W – Nominal weight, (kg/m)	19.02
A	A – Cross-sectional area, (mm ²)	5.24
$I_x / 106$	I_x – Moment of inertia about the x-axis, (mm ⁴ / 10 ⁶)	28.6
$Z_x / 103$	Z_x – Plastic section modulus about the x-axis, (mm ³ / 10 ³)	11.2
$S_x / 103$	S_x – Elastic section modulus about the x-axis, (mm ³ / 10 ³)	9.54
r_x	r_x – Radius of gyration about the x-axis, (mm)	2.34
$I_y / 106$	I_y – Moment of inertia about the y-axis, (mm ⁴ / 10 ⁶)	28.6
$Z_y / 103$	Z_y – Plastic section modulus about the y-axis, (mm ³ / 10 ³)	11.2
$S_y / 103$	S_y – Elastic section modulus about the y-axis, (mm ³ / 10 ³)	2 9.54
r_y	r_y – Radius of gyration about the y-axis (with no separation for double angles back-to-back), (mm)	2.34

Taula 8: Característiques biga HSS6X6X1/4 (Font: Tools for Engineer) [47]

4.10. Velocitat de penetració

La velocitat de penetració és un paràmetre que aproxima la velocitat amb el que la perforadora anirà enfonsant les canonades sota terra. Aquest paràmetre ens ajudarà a determinar el temps que trigarà la perforadora en perforar un forat de tants metres.

Aquesta velocitat de penetració es pot obtenir de diverses maneres. Una d'elles és la fórmula de R. Praillet que va aproximar la velocitat de perforació en 1978 amb la següent expressió: [48]

$$VP = \frac{63.9 * F_E * N_r}{Sc^2 * \varphi^{0.9}} \quad (\text{Eq. 4.8})$$

On:

VP = velocitat de penetració [m/h]

F_E = força d'empenta [kg]

N_r = velocitat de rotació [rpm]

Sc = resistència a la compressió de la roca [MPa]

φ = diàmetre del tricorn [mm]

Substituint els valors s'obté que la velocitat de penetració de la perforadora és de:

$$VP = \frac{63.9 * \frac{44 * 10^3}{9.81} * 100}{50^2 * 120^{0.9}} = 115,65 \text{ m/h} \quad (\text{Eq. 4.9})$$

Per tant la velocitat de penetració és de 116 m/h o de 1,9 m/min.

Per poder calcular amb més precisió el temps que es triga a perforar uns determinats metres s'ha de tenir en compte que quan s'ha inserit una canonada, s'ha de parar la perforació per unir-hi un altra, i així seguidament fins que s'arriba a la profunditat desitjada. Per tant si es vol fer una mesura precisa del temps de perforació s'ha de tenir en compte la mesura de la canonada de perforació i el temps que l'operari triga a afegir una canonada al conjunt.

4.11. Motor d'elevació

El motor d'elevació té la funció de pujar i baixar la plataforma de perforació per la torre. La força que haurà d'assolir aquest motor és equivalent a la força d'empenta que hem calculat a l'apartat 4.5 i que era de 33 kN.

El mètode amb el que el motor transporta la força fins a la plataforma de perforació és una cadena dentada. Aquesta cadena recorre la torre de perforació de dalt a baix i està connectada directament a la plataforma de perforació com es mostra a l'esquema de la imatge següent:

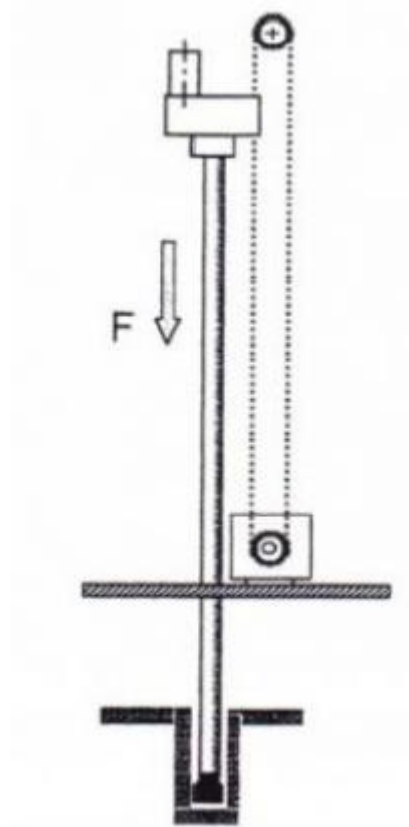


Figura 17: Esquema força d'empenta en la torre de perforació (Font: El Blog de Víctor Yepes) [9]

Per tant el motor d'elevació ha de tenir una potència suficient per exercir la força d'empenta sobre la roca. Aquesta potència la podem calcular amb la següent fórmula de la potència: [49]

$$P = F_e \times v \quad (\text{Eq. 4.10})$$

On:

P = potència [W]

F_e = força d'empenta [N]

v = velocitat lineal [m/s]

La velocitat lineal mínima l'hem calculat a l'apartat anterior, i és de 1,9 m/min. Per tant la potència del motor haurà de ser d'aproximadament 1,045 kW. El motor que he escollit és un motor trifàsic 230/400 V del fabricant Motorseg i té 1,1 kW de potència amb 1500 rpm.



Figura 18:: Motor trifàsic 1,1 kW del fabricant Motorseg (Font: Adajusa) [50]

Com que a la perforadora no ens interessa tenir tantes revolucions el que farem serà posar-hi un reductor que reduirà les revolucions que arribaran a la cadena i augmentarà la força que podrà proporcionar el motor. Aquest reductor de la marca Generico-MOT té una relació d'engranatges de 80, que ens permetrà reduir la velocitat del motor de 1500 a 19 rpm.



Figura 19: Reductor de cargol sense fi corona (Font: Adajusa) [51]

També hi haurà un alternador de freqüència trifàsic com el que he fet servir per al motor de rotació però de la potència pertinent de 1,1 kW. L'alternador escollit serà un alternador trifàsic de 1,5 kW i 220 V del fabricant Fuji Electric.



Figura 20: Alternador de freqüència trifàsic 1,5 kW (Font: Fuji Electric) [52]

A partir d'aquest alternador es podrà controlar el sentit de gir del motor i la velocitat amb la que la plataforma de perforació puja i baixa per la torre, sobretot interessa controlar la velocitat a la que baixa.

4.12. Bomba hidràulica

La bomba hidràulica que farà servir la perforadora ha de tenir potència per fer baixar el fluid de perforació fins al punt més baix on arribi la perforació i que aquest fluid torni a pujar fins a la superfície. La bomba que he escollit per la meva perforadora és una bomba hidràulica de Calpeda TP 80 de 0,75 kW que a 2900 rpm té una alçada manomètrica del fluid de 90 metres i un caudal de fins a 32 l/min. La bomba funciona amb corrent altern trifàsic de 230/400 V. [53]



Figura 21: Bomba hidràulica Calpeda TP 80 de 0,75 kW (Font: Calpeda) [53]

Com que la nostra perforadora només perforarà pous de fins a 50 metres de profunditat, aquesta bomba compleix els requisits.

5. Estudi de les forces de treball

En aquest apartat estudiaré com treballa una de les parts més sol·licitades de la perforadora, aquesta part és la columna de perforació, ja que és l'encarregada de sostenir el pes de diversos components com el motor de rotació, el Swivel, la canonada... i també es veurà afectada per la força d'empenta que s'exercirà sobre la roca.

5.1. Càrregues aplicades a la torre de perforació

La torre o columna de perforació haurà de suportar dues forces aparentment oposades. Per una part la força del pes de la canonada, la broca i altres components. I per altra banda haurà de suportar la força vertical aplicada contra el terra a través de la broca.

5.1.1. Càrregues en el cas 1: plataforma de perforació en el punt més alt

Per tant estudiarem les dues situacions per separat. En el primer cas la columna està sostenint la canonada amb la broca i el motor de rotació. Per tant la força aplicada sobre la columna és el resultat de la força del pes dels components que conté la columna.

- Motor de rotació:

Segons les especificacions del motor [Annex A1], el seu pes és de 26 kg. Per tant la força del pes del motor (F_{pr}) és de 255 N.

- Swivel:

Per obtenir les especificacions del Swivel també m'ajudaré de les especificacions del fabricant del que m'he basat per dissenyar el Swivel [Annex A7]. El pes del Swivel és de 30 kg i per tant la força del pes (F_{ps}) d'aquest és de 294 N.

- Canonada:

Cada cop que s'afegeix una canonada al conjunt, la columna ha d'aguantar el pes d'aquesta fins al moment en que s'ajunta amb les altres i comença un altre cop a perforar. Durant aquest instant la columna ha d'aguantar el pes d'aquesta nova canonada.

Segons la taula 4 la canonada de perforació té un pes específic de 23,10 kg/m. L'alçada de la canonada és de 1,75 m. Amb això tenim que el pes de la canonada de perforació és de 40,43 kg i que per tant la força d'aquest pes (F_{pc}) és de 397 N.

- Broca:

Quan es comença a perforar el forat, és quan la columna de perforació està més sol·licitada, ja que ha de sostenir el pes dels components mencionats anteriorment més el pes de la broca, ja que la primera canonada porta la broca incorporada.

En l'apartat 4.4 he definit el tipus de broca que faré servir, les especificacions es troben als Annexos [Annex A8] però en aquestes no especifica el pes de la broca. Així que agafaré el pes d'un altra broca de la mateixa mida que és de 5 kg [54]. La força del pes de la boca (F_{pb}) serà per tant de 49 N.

Per tant la força que ha d'exercir la columna de perforació serà la suma del pes dels components mencionats:

$$F_p = F_{pr} + F_{ps} + F_{pc} + F_{pb} + F_{pm} = 995 \text{ N} \quad (\text{Eq. 5.1})$$

El resultat de la força que ha d'exercir la columna quan es troba en el cas 1 és de 955 N.

5.1.2. Càrregues en el cas 2: plataforma de perforació en el punt més baix

En el segon cas la perforadora està en acció i la columna ha de suportar la força que la broca està exercint sobre el terra. Aquesta força és la reacció a la força que la broca exerceix contra la roca per tal de triturar-la, que a l'apartat 4.5 he anomenat força d'empenta. Per tant aquesta força que anomenarem força de treball (F_t) té el mateix valor que la força d'empenta:

$$F_t = F_e = 33 \text{ kN} \quad (\text{Eq. 5.2})$$

Aquest seria el valor de la força de treball en un cas ideal, però durant la perforació les roques que es van triturant no són iguals totes entre elles ni estan disposades de la mateixa manera. Aquest i altres factors fan que la força de perforació sigui molt variant al llarg de tot el procés. Per aproximar millor el valor de força de treball afegirem un factor de seguretat per representar millor el valor de la força en els moments on sigui més difícil triturar la roca. En el meu cas el factor de seguretat serà d'un 20% més que el valor de la força de treball.

$$F_t' = 120\%F_t = 40 \text{ kN} \quad (\text{Eq. 5.3})$$

Per tant la força de treball (F_t') que farem servir per a estudiar el funcionament de la màquina perforadora serà de 40 kN.

5.2. Esforços de la torre de perforació

En aquest apartat estudiarem els esforços que actuen a la torre o columna de perforació. Per fer-ho calcularem per separat aquests esforços en 2 casos significatius: quan la plataforma de perforació (o travelling block) es troba a la part més alta de la columna, i quan la plataforma de perforació es troba a la part més baixa.

5.2.1. Plataforma de perforació en el punt més alt

Aquest cas estudia la situació en que la plataforma de perforació es troba en el punt més alt i la boca, la canonada, el motor de perforació i el Swivel estan suspesos a l'aire. Per tant la força que actua sobre la columna és una força vertical com s'indica a la figura X.X:

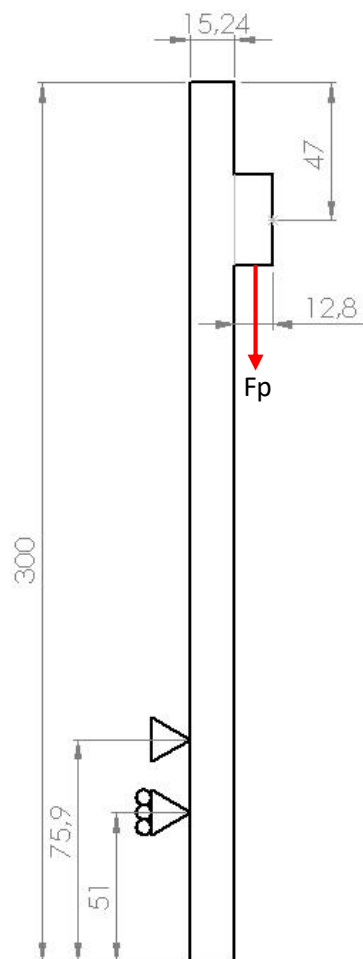


Figura 22: Esquema de l'estructura de la columna de perforació (Font pròpia)

Aquesta força que l'he calculat a l'apartat anterior té el valor de 995 N. Amb un programa de càlcul d'estructures he calculat la reacció als suports. Aquests suports que apareixen a la Figura X.X com a R1

i R2 són les representacions d'on la columna està subjectada a l'estructura de la perforadora. R1 és la peça articulada respecte a la base que subjecta la columna en tot moment:

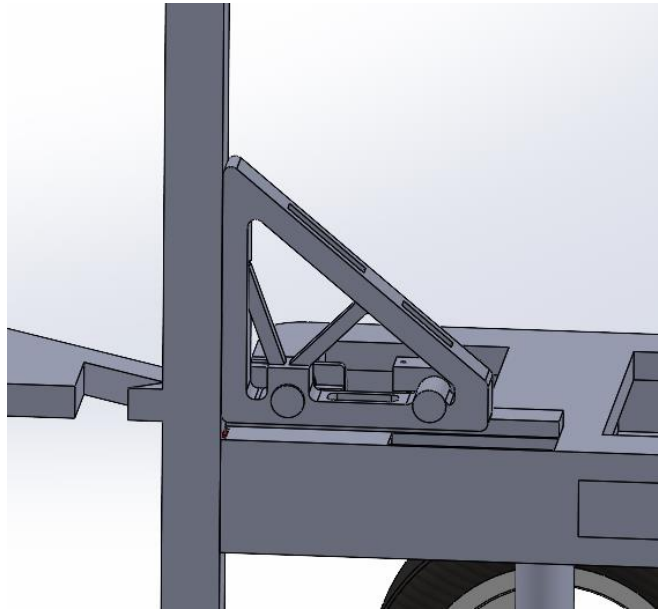


Figura 23: Peça d'unió de la columna amb la base (Font pròpia)

I R2 és el punt de força on la columna es recolza en l'eix horitzontal en la base:

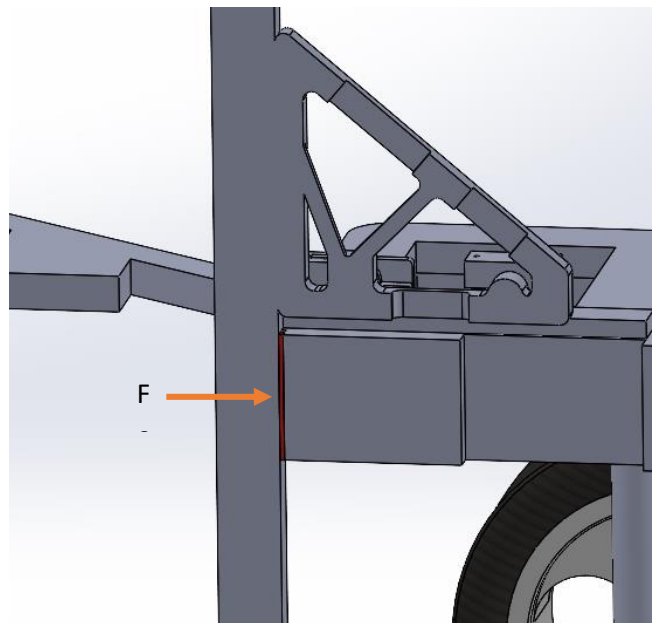


Figura 24: Punt de recolzament de la columna a la base (Font pròpia)

Amb el programa MEFi de càlcul d'estructures he pogut calcular les reaccions als suports, la deformació i el diagrama de forces de la columna.

Les dades del problema són:

- Força del pes: $F_p = 995 \text{ N}$
- Alçada de la columna: $H = 3 \text{ m}$
- Amplada i llargada de la columna: $b = c = 6 \text{ polzades} = 15,24 \text{ cm}$
- Mòdul de Young de l'Acer: $\text{Young} = 2,06 \times 10^8 \text{ kN/m}^2$ [55]
- Àrea de la biga: $a = 5,24 \text{ mm}^2 = 5,24 \times 10^{-6} \text{ m}^2$
- Moment d'Inèrcia: $I = 2,86 \times 10^{-5} \text{ m}^4$

```

TÍTULO Cas 1
PARÁMETROS
% par val
b 0.1524 % m (base)
c 0.1524 % m (ancho)
Fp 995 % N (cargas)
a 5.24e-6 %m^2 (àrea)
I 2.86e-5 %m^4 (momento inercia)
MATERIALES
% mat pro1 val1 %pa
1 YOUNG 2.06e5
PUNTOS
% pun X Y
1 0.0 0.0
2 0.0 3 %altura total
3 .1524 3
4 .1524 0.0
5 0.0 0.51 %apoyo 1
6 0.0 0.759 %apoyo 2
7 .1524 2.53
8 .2804 2.53
LÍNEAS
% lin tipo pun
1 POL 1 5
2 POL 5 6
3 POL 6 2
4 POL 2 3
5 POL 3 7
6 POL 7 8
7 POL 7 4
8 POL 4 1
PROPIEDADES
% pro àre inercia
1 a I
ELEMENTOS_LÍNEAS
% lin tipo mat pro
TODAS RÍGIDO ACE 1
DESPLAZAMIENTOS_GLOBALES_PUNTOS
% pun est DX DY GZ
5 1 0.0 LIBRE 0.0
6 1 0.0 0.0 0.0
CARGAS_GLOBALES_PUNTOS
% pun est FX FY Mz
8 1 0.0 -Fp 0

```

Figura 25: Dades enunciat MEFI (Font: MEFI)

L'alçada dels suports l'he mesurat directament del disseny fent servir l'eina Mesurar del SolidWorks. El suport R1 és el punt 6 i R2 és el punt 5. En aquest apartat les unitats de força s'expressaran en N.

L'esquema que es crea a partir d'aquestes dades és el següent:

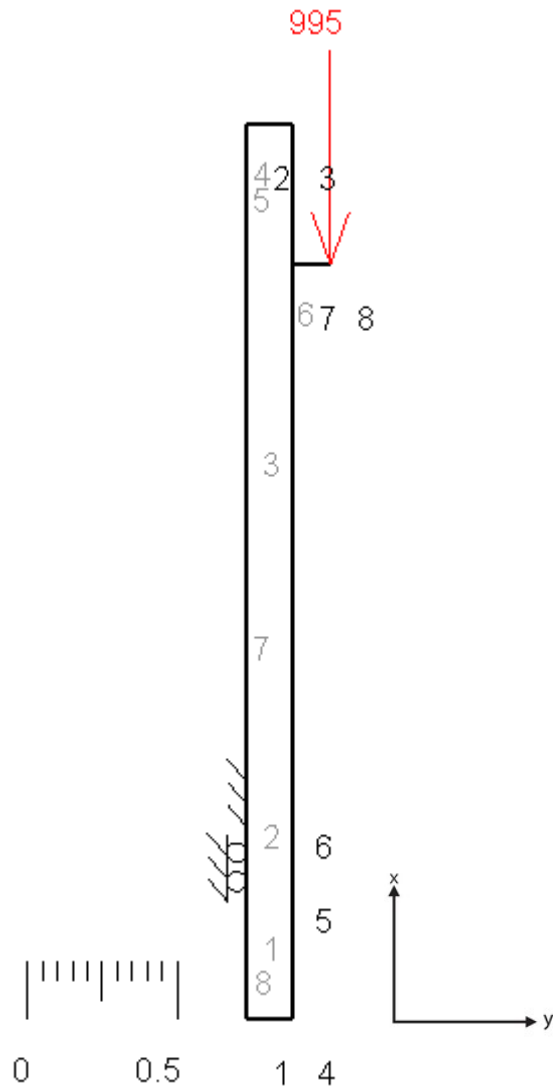


Figura 26: Esquema amb MEFI (Font: MEFI)

Un cop les dades del problema estan ben introduïdes, el programa calcula les reaccions als suports:

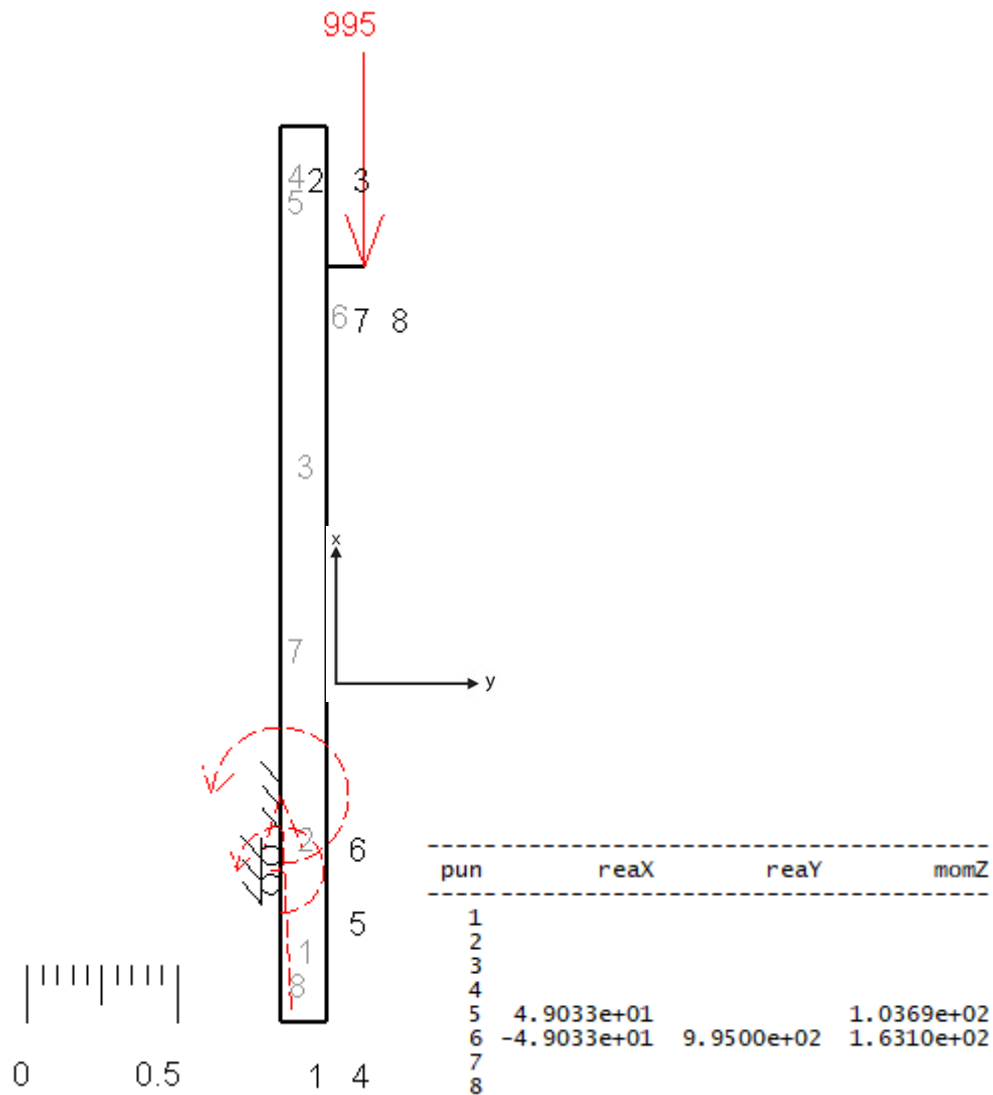


Figura 27: Reaccions als suports (Font: MEFI)

Per tant les reaccions als suports són $R_{1x} = 49,03$ N en direcció oposada a l'eix x i $R_{1y} = 995$ N ja que aquest suport aguanta tota la força resultant del pes dels components de la columna de perforació. Per últim tenim que el moment al suport 1 és $R_{1z} = 163,1$ N·m en sentit antihorari.

Per altra banda el suport 2 no té reacció en l'eix vertical. La força de reacció al suport 2 és de $R_{2x} = 49,03$ N positius en el sentit de l'eix x. El moment en el suport 2 és de $R_{2z} = 103,69$ N·m en sentit antihorari.

El programa MEFI també dibuixa els diagrames d'esforços axials, tallants i moments flectors.

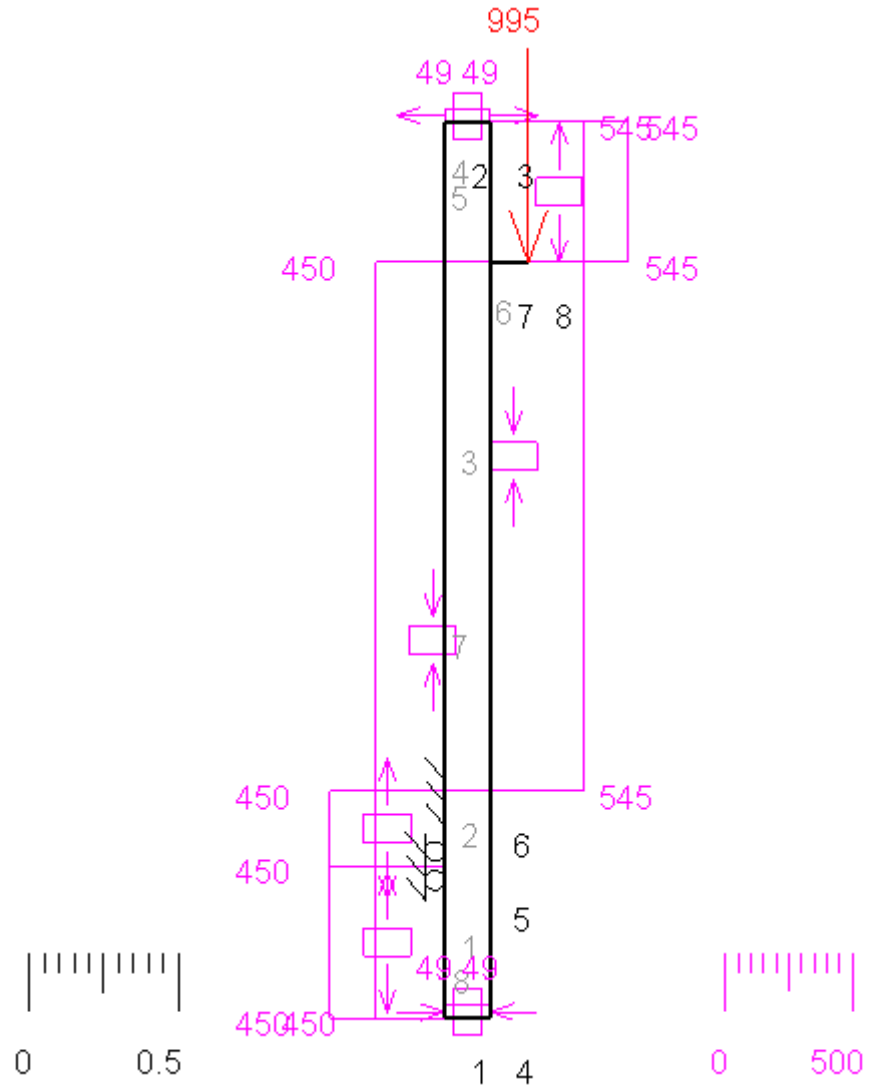


Figura 28: Diagrama d'esforços axials (Font: MEFI)

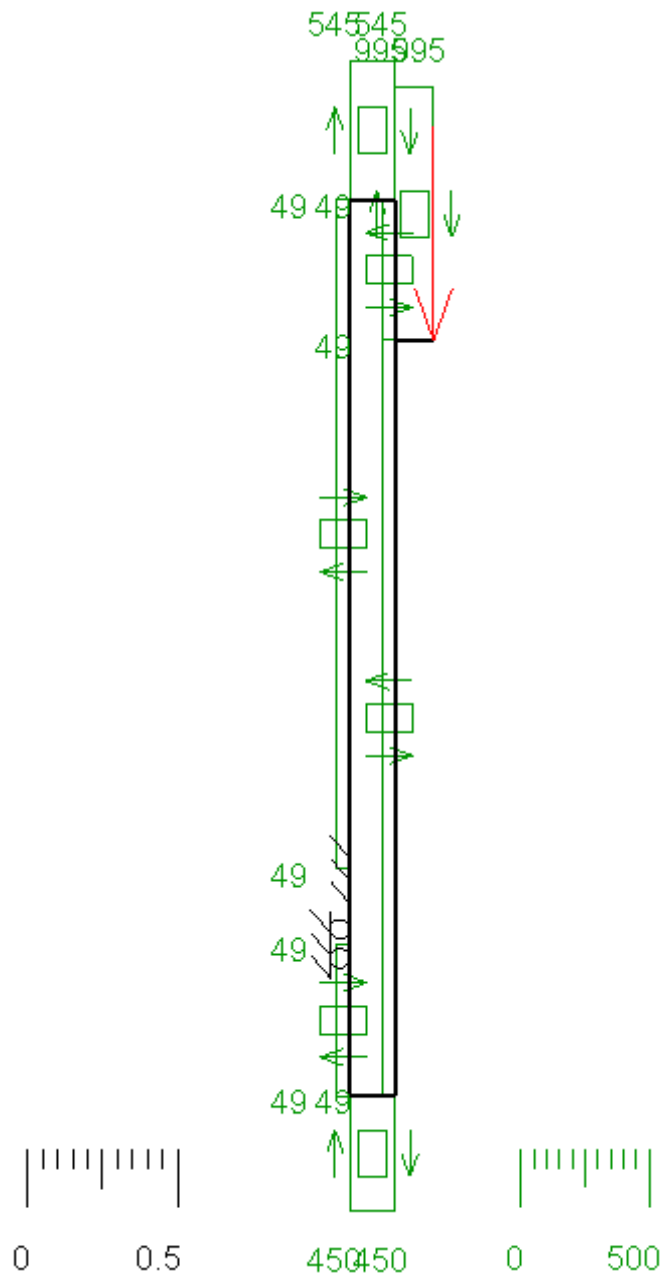


Figura 29: Diagrama d'esforços tallants (Font: MEFI)

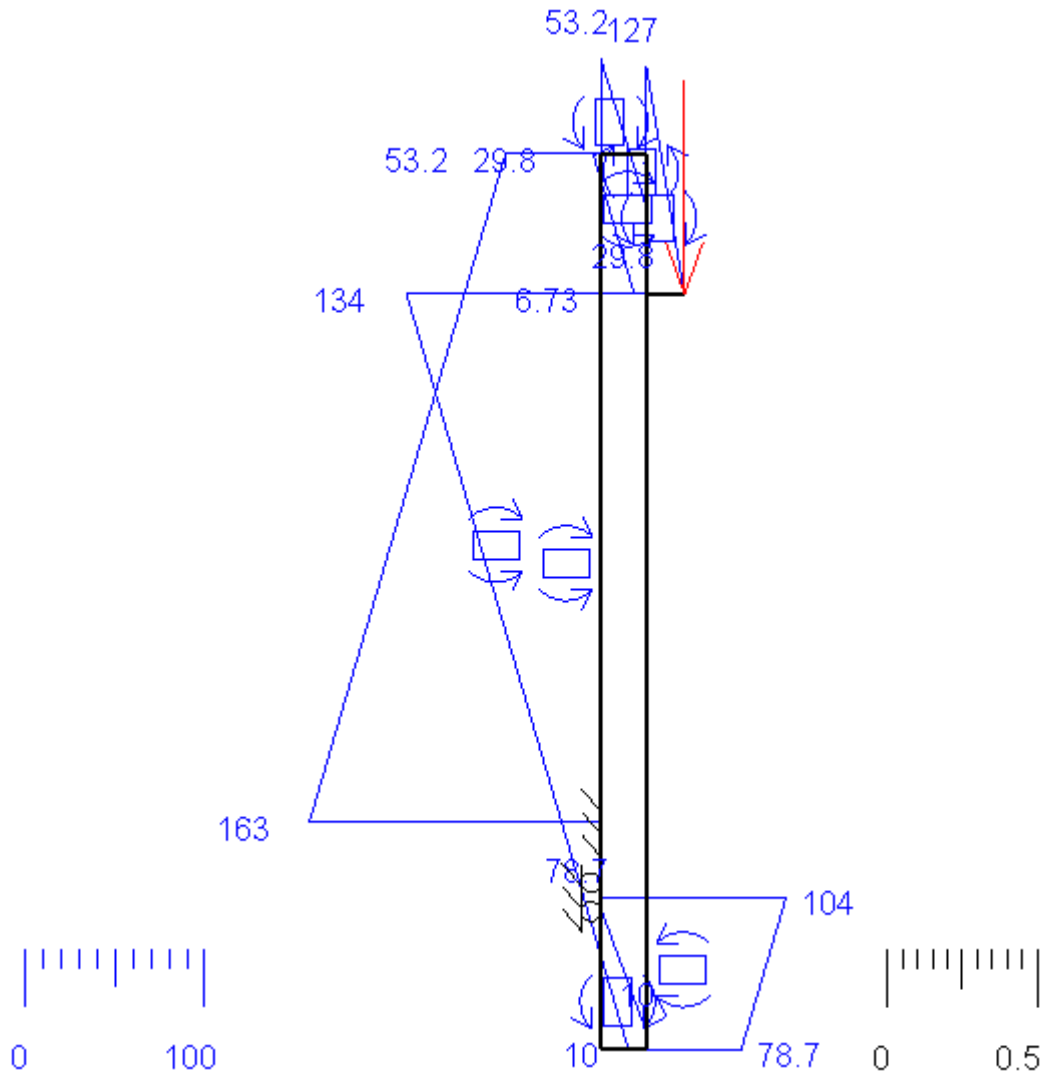


Figura 30: Diagrama de moments flectors (Font: MEFI)

Per últim el MEFI també calcula el desplaçament de la columna tenint en compte les dades del material que hem introduït:

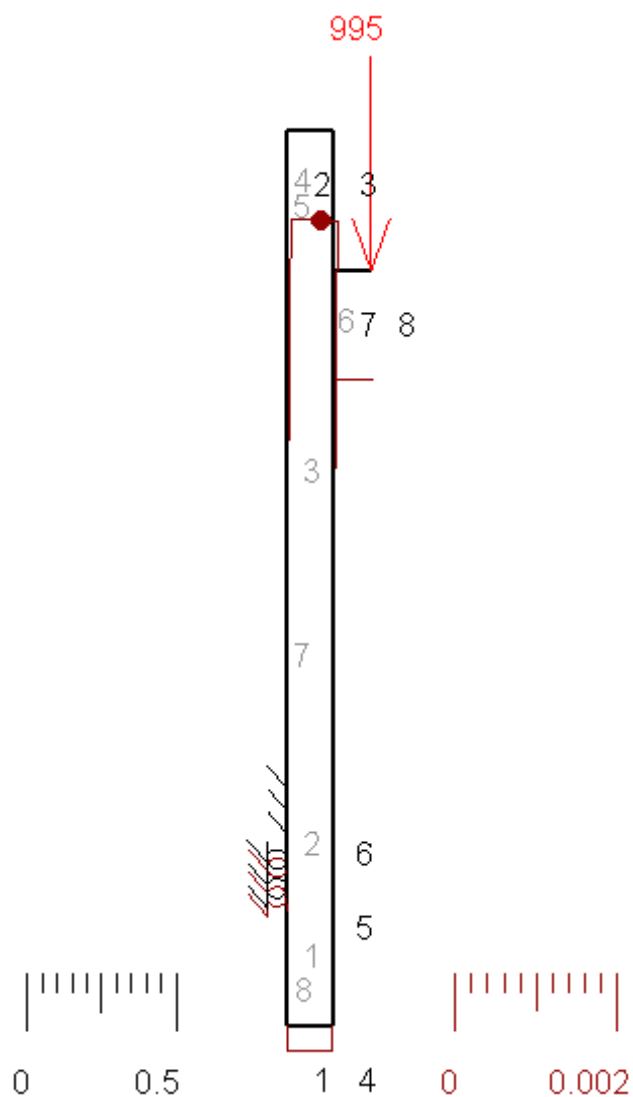


Figura 31: Columna de perforació deformada (Font: MEFI)

Es pot apreciar que la deformació de la columna és molt petita i molt vertical, la qual cosa vol dir que no es generen molts esforços en l'eix x . Això ho confirma el diagrama d'esforços tallants. En el diagrama de moments flectors veiem que el moment màxim el pateix el suport 1 i que és de 163 N.

5.2.2. Plataforma de perforació en el punt més baix

Aquest cas estudia la situació en que la plataforma de perforació es troba en el punt més baix i està perforant. En aquest cas la perforadora està fent una força cap a baix, en el sentit negatiu de l'eix y , per tal de triturar les roques i anar cada cop més profund. Alhora les roques que està triturant estan fent una força oposada, aquesta força és la força de treball calculada a l'apartat 5.1.2. que era de 40 kN. Per tant la força que actua sobre la columna en aquest cas és la resta entre aquestes dues forces com s'indica a la figura X.X:

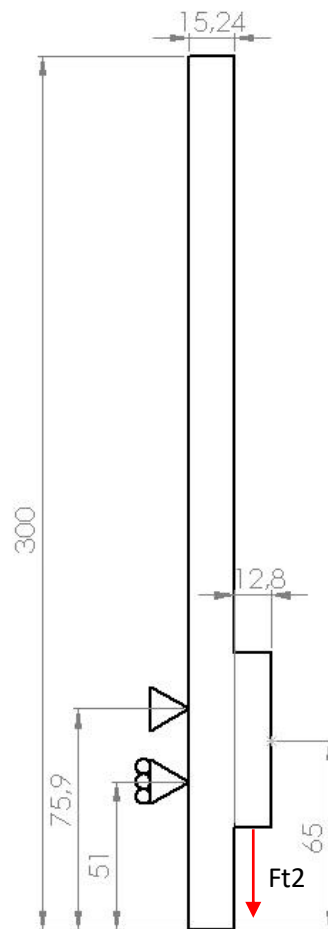


Figura 32: Esquema de l'estructura de la columna de perforació (Font: MEFI)

Com he dit la força en aquest cas és la resta entre F_p i F_t' i té el valor de 39 kN. Aquesta força que és el pes aplicat a la broca de perforació també s'anomena WOB per les seves sigles en anglès: Weight on Bit. Les dades del problema en el segon cas d'estudi són:

- Força de treball: $F_t = 39$ kN
- Alçada de la columna: $H = 3$ m
- Amplada i llargada de la columna: $b = c = 6$ polzades = 15,24 cm
- Mòdul de Young de l'Acer: $Young = 2,06 \times 10^8$ kN/m² [55]
- Àrea de la biga: $a = 5,24$ mm² = $5,24 \times 10^{-6}$ m²
- Moment d'Inèrcia: $I = 2,86 \times 10^{-5}$ m⁴

```

TÍTULO Cas 2
PARÁMETROS
% par val
b 0.1524 % m (base)
c 0.1524 % m (ancho)
Ft1 39 % kN (cargas)
a 5.24e-6 %m^2 (área)
I 2.86e-5 %m^4 (momento inercia)
MATERIALES
% mat pro1 vall %kPa
1 YOUNG 2.06e8
PUNTOS
% pun x Y
1 0.0 0.0
2 0.0 3 %altura total
3 b 3
4 b 0.0
5 0.0 0.51 %apoyo 1
6 0.0 0.759 %apoyo 2
7 b 0.65
8 .2804 0.65
LÍNEAS
% lin tipo pun
1 POL 1 5
2 POL 5 6
3 POL 6 2
4 POL 2 3
5 POL 3 7
6 POL 7 8
7 POL 7 4
8 POL 4 1
PROPIEDADES
% pro are inercia
1 a I
ELEMENTOS_LÍNEAS
% lin tipo mat pro
TODAS RÍGIDO ACE 1
DESPLAZAMIENTOS_GLOBALES_PUNTOS
% pun est DX DY GZ
5 1 0.0 LIBRE 0.0
6 1 0.0 0.0 0.0
CARGAS_GLOBALES_PUNTOS
% pun est FX FY Mz
8 1 0.0 -Ft1 0

```

Figura 33: Dades enunciat 2 al MEFI (Font: MEFI)

L'alçada dels suports l'he mesurat directament del disseny fent servir l'eina Mesurar del SolidWorks. El suport R1 torna a ser el punt 6 i R2 el punt 5. En aquest apartat les unitats de força s'expressaran en kN.

L'esquema que es crea a partir d'aquestes dades és el següent:

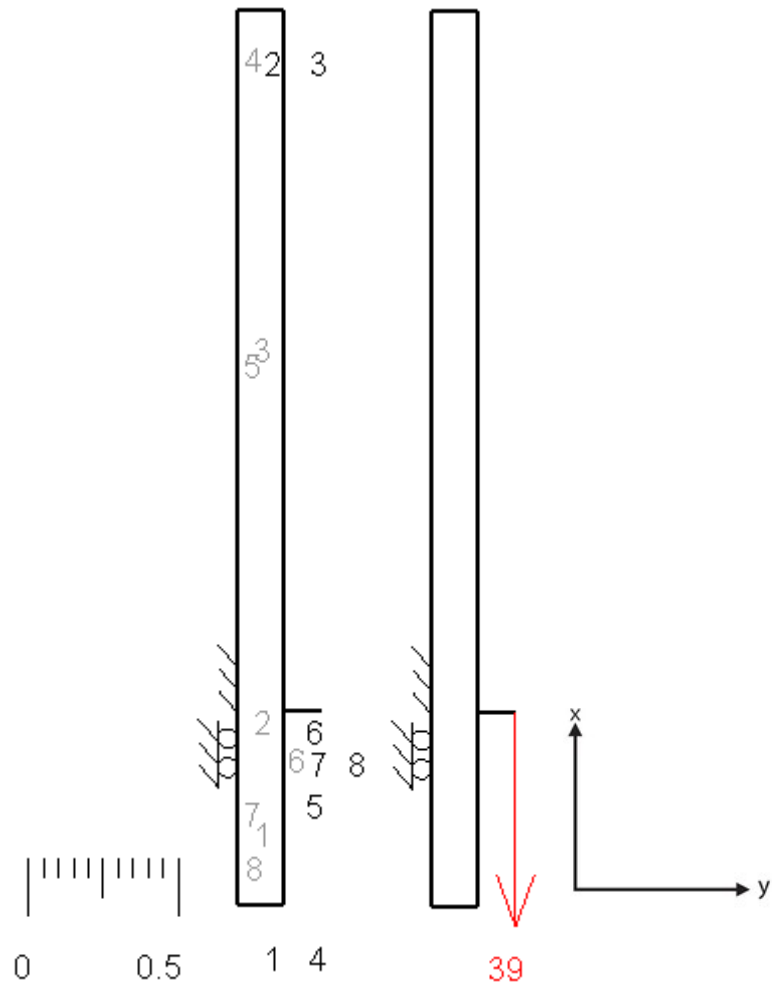


Figura 34: Esquema amb MEFI (Font: MEFI)

El següent pas és calcular les reaccions als suports:

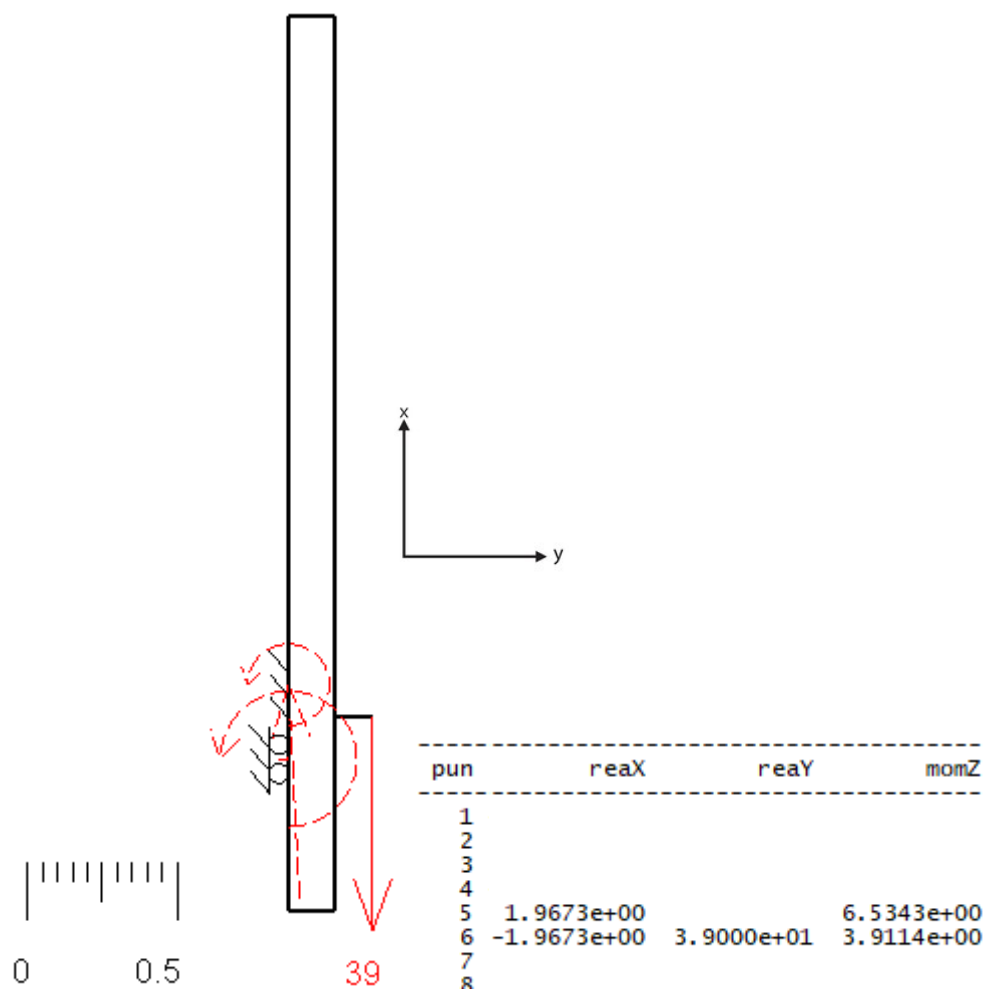


Figura 35: Reaccions als suports (Font: MEFI)

Per tant les reaccions als suports són $R_{1x} = 1,97$ kN en direcció oposada a l'eix x i $R_{1y} = 39$ kN ja que aquest suport aguanta tota la força resultant del pes dels components de la columna de perforació. Per últim tenim que el moment al suport 1 és $R_{1z} = 3,91$ kN·m en sentit antihorari.

Per altra banda el suport 2 no té reacció en l'eix vertical. La força de reacció al suport 2 és de $R_{2x} = 1,97$ kN positius en el sentit de l'eix x. El moment en el suport 2 és de $R_{2z} = 6,53$ kN·m en sentit antihorari.

El programa MEFI també dibuixa els diagrames d'esforços axials, tallants i moments flectors.

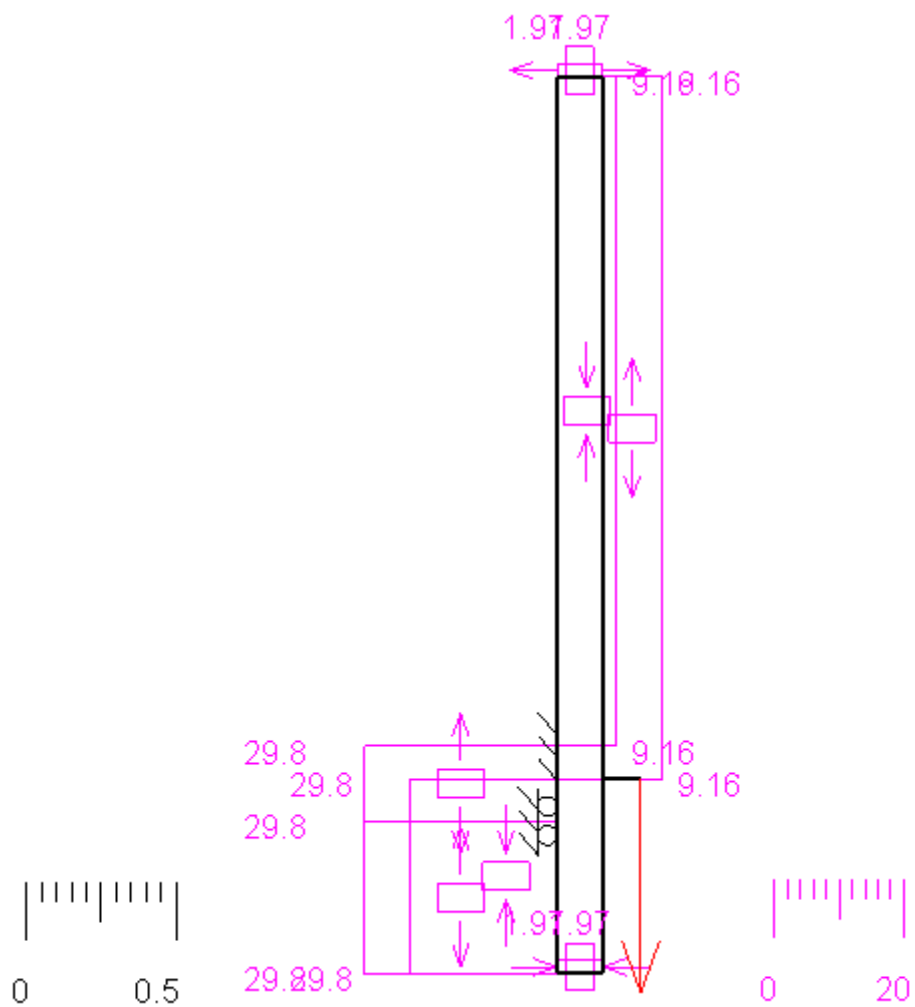


Figura 36: Diagrama d'esforços axials (Font: MEF1)

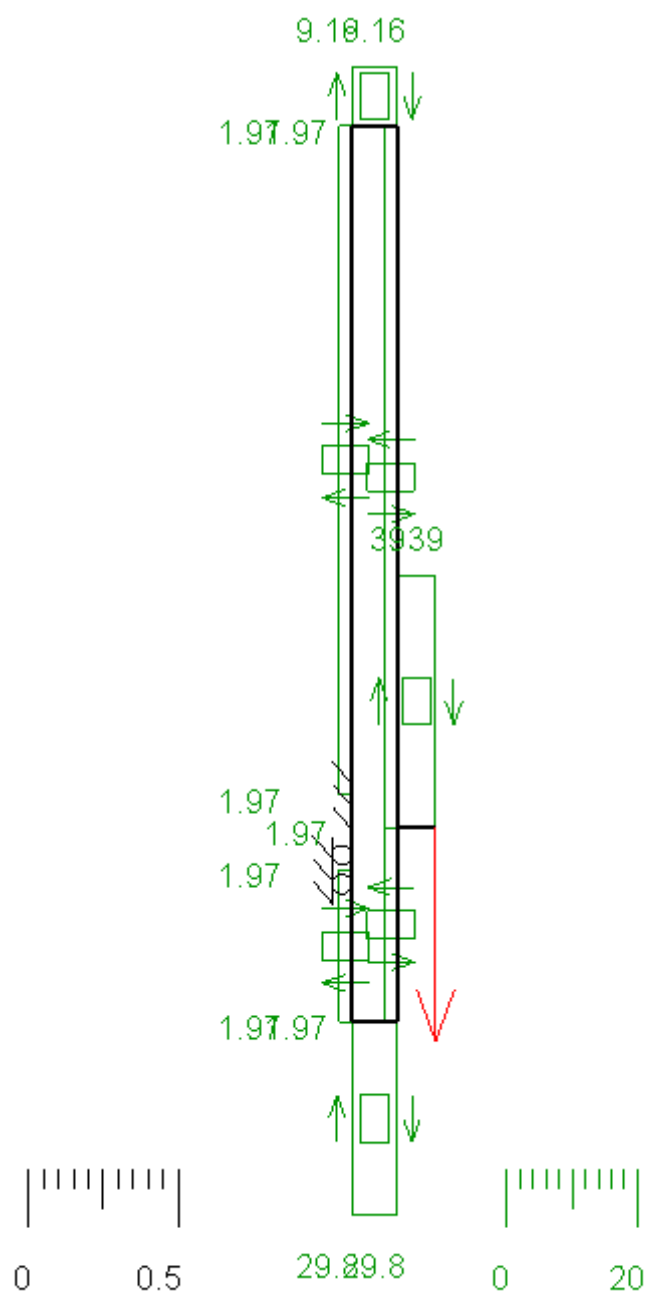


Figura 37: Diagrama d'esforços tallants (Font: MEFI)

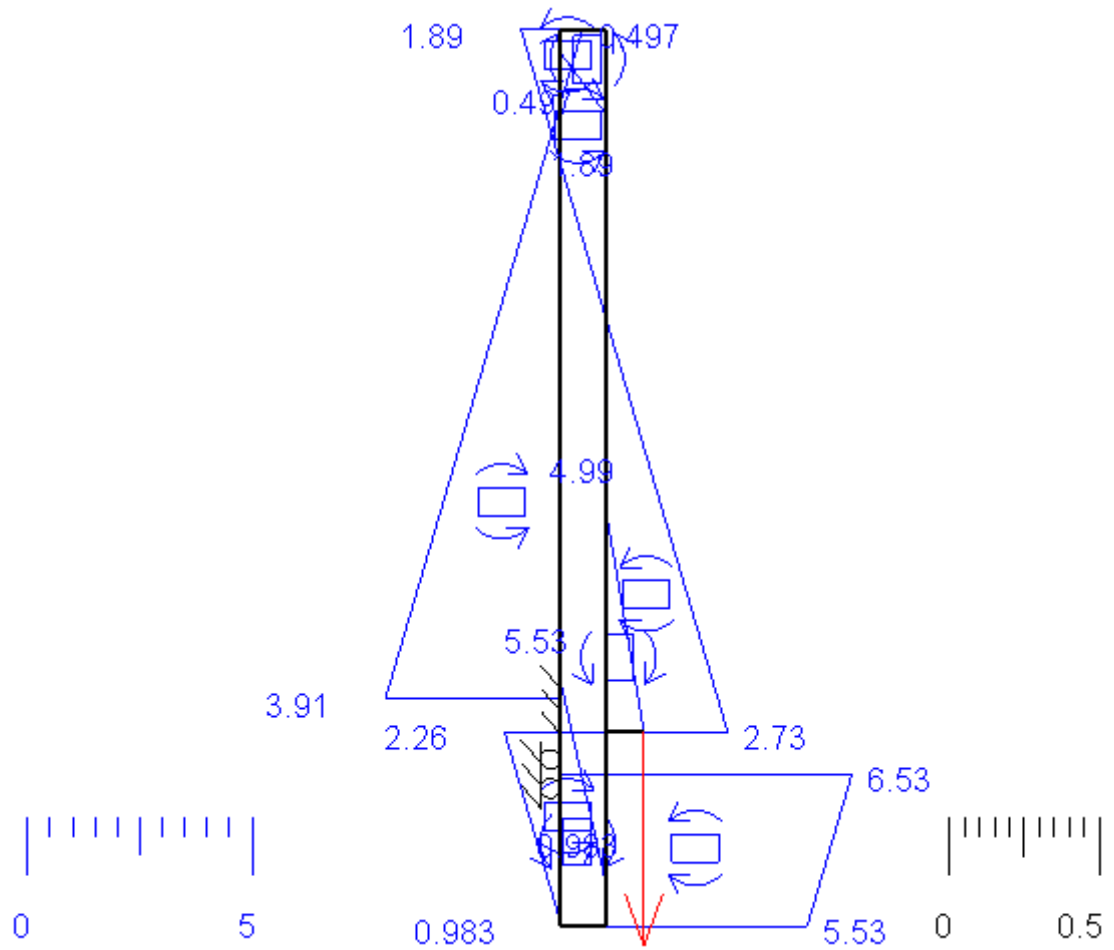


Figura 38: Diagrama de moments flectors (Font: MEFI)

Per últim el MEFI també calcula el desplaçament de la columna tenint en compte les dades del material que hem introduït:

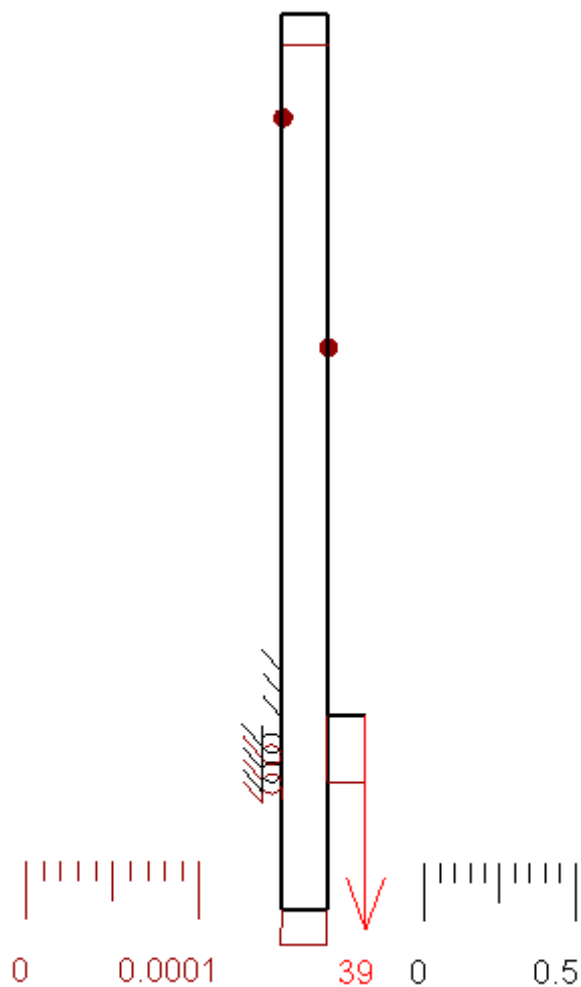


Figura 39: Columna de perforació deformada (Font: MEFI)

Es pot apreciar que, com en el cas anterior, la deformació de la columna és molt petita i molt vertical, la qual cosa vol dir que no es generen molts esforços en l'eix x . Això ho confirma el diagrama d'esforços tallants. En el diagrama de moments flectors veiem que a diferència del cas 1, el moment màxim el pateix el suport 2 i aquest és de 6,53 kN.

6. Anàlisi de l'impacte ambiental

L'impacte ambiental d'aquesta màquina perforadora es correspon a l'energia consumida pels components elèctrics d'aquesta. Aquests components són els motors elèctrics amb els seus respectius alternadors de freqüència i la bomba hidràulica.

El motor de rotació mencionat a l'apartat 4.7 és un motor trifàsic de 2,2 kW i 220/380 V. Com que la tensió de sortida del variador de freqüència és d'aquest motor és de 380 V, aquesta serà la tensió d'entrada del motor. Annex A1

El motor d'elevació té una potència de 1,1 kW i una tensió de 220 V ja que l'alternador així ho especifica. Annex A3

La bomba hidràulica té una potència de 0,75 kW a 400 volts de tensió. Annex A6

Segons l'estudi d'impactes ambientals de l'electricitat a Espanya en 2020 de ACODEA, agencia agrícola, un kWh generat a espanya equival a 197,96 grams de CO₂ a l'atmosfera. Per tant una hora de treball amb aquesta perforadora suposant que l'energia per alimentar-la prové de la corrent elèctrica equival a 4,05 kWh, que alhora equivalen a 801,74 grams de CO₂. [56]

En el cas que la perforadora estigui connectada a una font de potencia del tipus motor generador, l'impacte ambiental dependrà directament del CO₂ que produeixi el motor generador. Per exemple si els components de la perforadora es connecten a un generador de benzina tipus dièsel que genera 2 kg de CO₂ per hora, aquest serà el total d'emissions de CO₂ de la perforadora.

Conclusions

En aquest treball s'ha vist el disseny d'una perforadora de pous hidràulica, s'ha dimensionat aquest disseny i s'ha estudiat el seu comportament en diverses situacions de treball. Al llarg d'aquest treball s'ha recaptat informació i s'han realitzat càlculs per tal d'assolir els objectius plantejats a l'inici d'aquest projecte.

Amb els resultats obtinguts en l'apartat 5 de l'estudi de les forces de treball podem veure que la perforadora pot suportar satisfactòriament les forces teòriques de treball. Això vol dir que el disseny d'aquesta perforadora és vàlid. En aquest apartat s'ha vist com es comportaria la perforadora en una situació de treball i la conclusió és prou satisfactòria ja que el disseny de la perforadora permet suportar les forces de treball teòriques com s'ha vist en els diferents diagrames.

La perforadora que he dissenyat compleix els requisits proposats a l'inici del treball al tenir rodes i una columna abatible que fan que la perforadora es pugui transportar fàcilment d'un lloc a un altre. D'aquesta manera la perforadora es pot transportar fàcilment per terrenys més exigents com boscos, coves o d'altres... La perforadora també té una estructura que permet transportar-la adherida a un vehicle com si fos un remolc. D'aquesta manera es pot reubicar la perforadora d'un lloc a un altre amb més facilitat.

Cal mencionar que els càlculs teòrics poden discernir amb els resultats pràctics, però s'han pres mesures i valors de seguretat per intentar aproximar de la manera més precisa els valors pràctics. Per això podem concloure que els resultats obtinguts de l'estudi del disseny són satisfactoris i demostren que la perforadora és funcional i podria arribar a treballar.

Pressupost i/o Anàlisi Econòmica

En aquest apartat calcularé el pressupost de fabricar la màquina perforadora d'aquest treball. Primer de tot es calcularà el cost de fabricar l'estructura de la perforadora, això equival a la base i la torre de perforació.

El cost d'un kg d'acer a dia 29 de maig de 2022 és de 4,5 \$ o l'equivalent en euros de 4,21 € [58]. El volum de la nostra perforadora és de 0,379 metres cúbics, la densitat de l'acer inoxidable és de 8000 kg/m³, per tant el pes aproximat de la perforadora sense comptar els motors serà de 3032 kg [59]. El cost del material per fabricar la perforadora serà d'aproximadament 12764,72 €. [57]

El cost de l'electricitat per fer funcionar els components de la perforadora era de 0,2863 €/kWh el passat mes de Març [60]. Tenint en compte el consum total de les bombes i motors és aproximadament de 4,05 kWh, el preu per fer funcionar la perforadora un hora és de 1,16 €.

Bibliografia

- [1] Yepes, Víctor. 2020. "Procedimientos Constructivos De Pozos Profundos Para Drenaje De Excavaciones – El Blog De Víctor Yepes". *Victoryepes.blogs.Upv.es*.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/2020/02/06/procedimientos-constructivos-de-pozos-profundos-para-drenaje-de-excavaciones/>.
- [2] "Tecnologia De La Perforació De Pous Per Aigua. Tipus De Pous D'aigua". 2018.
Ca.Delachieve.Com. <https://ca.delachieve.com/tecnologia-de-la-perforacio-de-pous-per-aigua-tipus-de-pous-daigua/>.
- [3] Fedorenko, Nikolay. 2019. "Perforació Manual Del Pou D'aigua: Com Perforar Un Pou Manualment". *Engineer.Decorexpro.Com*. (Accedit el 06 de Març 2022)
<https://engineer.decorexpro.com/ca/vodosnab/kolod-skvazh/ruchnoe-burenie-skvazhin-na-vodu.html>.
- [4] "Drill A Water Well". 2015. *Clean-Water-For-Laymen.Com*. <http://www.clean-water-for-laymen.com/drill-a-water-well.html>.
- [5] "Perforadora Eléctrica & Mecánica - Todos Los Modos Operativos Explicados | Sovonex".
Sovonex.Com. <http://www.sovonex.com/es/equipo-de-perforacion/perforadoras-terrestres-api/perforadoras-electricas-mecanicas/#perforadoras-mec-nicas>.
- [6] Cruzado Merino, Erika. 2012. "Perforadoras". *Es.Slideshare.Net*. (Accedit el 12 de Març 2022)
<https://es.slideshare.net/ErikaCruzadoMerino/perforadoras>.
- [7] "Qué Perforadora Elegir - Guías De Compra Directindustry". *Guías De Compra Directindustry*. (Accedit el 12 de Març 2022) <https://guide.directindustry.com/es/que-perforadora-elegir/>.
- [8] Yepes, Víctor. 2015. "Perforación A Percusión Con Cable – El Blog De Víctor Yepes".
Victoryepes.blogs.Upv.es. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2015/05/15/perforacion-a-percusion-con-cable/>.
- [9] Yepes, Víctor. 2019. "Perforación A Rotación – El Blog De Víctor Yepes". *Victoryepes.blogs.Upv.es*.
<https://victoryepes.blogs.upv.es/tag/perforacion-a-rotacion/>.

- [10] Zhu, Jing, Zhiqiang Huang, Yachao Ma, Dou Xie, Xueying Yang, and Cao Zhou. 2020. "Hydraulic Structure Design And Downhole Flow Field Optimization Of Geophysical Drill Bits In A Limestone Stratum". (Accedit el 20 de Març 2022).
https://www.researchgate.net/publication/342457318_Hydraulic_structure_design_and_downhole_flow_field_optimization_of_geophysical_drill_bits_in_a_limestone_stratum.
- [11] López-Geta, Juan Antonio, Juan María Fornés Azcoiti, Gerardo Ramos González, and Fermín Villarroya Gil. 2009. "Las Aguas Subterráneas Un Recurso Natural Del Subsuelo".
http://observatoriagua.uib.es/repositori/asoc_aguas_botin.pdf.
- [12] Yepes, Víctor. 2013. "La Perforación A Rotoperusión – El Blog De Víctor Yepes".
Victoryepes.blogs.Upv.es. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/12/29/la-perforacion-a-rotoperusion/>.
- [13] "Perforación Minera: Tipos, Clases De Maquinaria Y Ubicación De Taladros". 2017. *Revista Seguridad Minera*, nº 126. <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/perforacion-minera-tipos-clases-de-maquinaria-y-ubicacion-de-taladros/>.
- [14] Moner, Wilson. 2004. "PERFORACIÓN". *Geco.Mineroartesanal.Com*.
http://geco.mineroartesanal.com/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=127.
- [15] Bruni, Marco, and Dorothee Spuhler. 2022. "Drilled Wells". *Sswm.Info*. (Accedit el 27 de Març 2022). <https://sswm.info/sswm-solutions-bop-markets/affordable-wash-services-and-products/affordable-water-supply/drilled-wells>.
- [16] "Mini Perforadora STRONG S 200, Compacta I Tecnològicament Avançada". 2019. *Youtube.com*.
<https://www.youtube.com/watch?v=iSeZSU2A3yw>.
- [17] "Trailer Jack Square". n.d. *Grainger*. (Accedit el 09 d'Abril 2022).
<https://www.grainger.com/product/REESE-Trailer-Jack-Square-10-20PR68>.
- [18] "Máquina Perforadora Para Pozos De Agua KW30 | KAISHAN". n.d. *Ksdrillrigs.Com*. (Accedit el 09 d'Abril 2022). <http://ksdrillrigs.com/6-3-water-well-drilling-rig/177100/index.html>.
- [19] Scott, Paul. 2022. "What Is A Traveling Block?". *About Mechanics*.
<https://www.aboutmechanics.com/what-is-a-traveling-block.htm>.
- [20] "Water Well Drilling - How It Works!". 2017. *Youtube.com*.
<https://www.youtube.com/watch?v=uGo-LsFqlr8>.

- [21] "Water Well Drilling Rig Swivel (Explained)". 2017. *Youtube.com*.
<https://www.youtube.com/watch?v=eVmfoREjmsA>.
- [22] Lukashuk, Stan. 2018. "Swivel For Water Well Drilling Rig". *Youtube.com*.
<https://www.youtube.com/watch?v=cxe4XKqrwdg>.
- [23] "Drilling Bit Types And Drilling Bit Selections". 2011. *Drilling Formulas And Drilling Calculations | Learn About Drilling Formulas Frequently Used In Drilling And Workover Operation*.
<https://www.drillingformulas.com/drilling-bit-types-and-drilling-bit-selections/>.
- [24] Sumrunpis, Nattanon. n.d. "Types Of Drilling Bits". *PETROLEUM GEOLOGY*. (Accedit el 10 d'Abril 2022). <https://petgeo.weebly.com/types-of-drilling-bits.html>.
- [25] "Forat De Pou D'Aigua PDC Bit D'Arrossegament". n.d. *Equips De Perforació Speedmade Co, Ltd*. (Accedit el 10 d'Abril 2022). <http://ca.speedmadedrill-es.com/pdc-drill-bit/non-coring-drill-bits/water-well-drilling-pdc-drag-bit.html>.
- [26] "Broca De Perforació Dentada". n.d. *Equips De Perforació Speedmade Co, Ltd*. (Accedit el 10 d'Abril 2022). <http://ca.speedmadedrill-es.com/roller-cone-bit/milled-tooth-drill-bit.html>.
- [27] "Drill Bits - Oil And Gas Drilling: From Planning To Production". 2012. *Youtube.com*.
<https://www.youtube.com/watch?v=4gbl0wDUj0U>.
- [28] "Fluidos De Perforación". n.d. *Ptcsac.com*. (Accedit el 10 d'Abril 2022).
https://www.ptcsac.com/categoria.php?id_categoria=15.
- [29] Ibarra Benlloch, Paloma, David Badía Villas, and Carmen Castañeda del Álamo. 2019. "Suelos". *Atlas Nacional De España*. <http://atlasnacional.ign.es/wane/Suelos>.
- [30] "The Earth Story". 2014. *The Earth Story*. <https://the-earth-story.com/post/103266340151/mohs-scale-of-mineral-hardness-the-mohs-scale-of>.
- [31] Alden, Andrew. 2019. "Learn How To Use The Mohs Hardness Scale To Identify Minerals". *Thoughtco*. <https://www.thoughtco.com/mohs-scale-of-mineral-hardness-1441189>.
- [32] Feijoo, Patricio, and Jhenifer Padrón. 2020. "La Resistividad De Rocas Y Su Relación Con La Resistencia A Compresión Simple En Mina". (Accedit el 17 d'Abril 2022)
<https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/download/296/526>.

- [33] Yepes, Víctor. 2014. "Perforación Rotativa De Rocas – El Blog De Víctor Yepes". *Victoryepes.blogs.Upv.es*. <https://victoryepes.blogs.upv.es/2014/01/09/perforacion-rotativa-de-rocas/>.
- [34] "Perforación Por Rotación". n.d. *U-Cursos.cl*. (Accedit el 17 d'Abril 2022). https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/MI57E/1/material_docente/bajar?id_material=160293.
- [35] "Drill Pipe Information". n.d. (Accedit el 30 d'Abril 2022). https://www.globalspec.com/learnmore/specialized_industrial_products/mining_equipment/drill_pipe.
- [36] Gómez, Juan. 2019. "Tablas Para Determinar La Capacidad Del Hoyo Abierto Y La Capacidad / Desplazamiento De Las Tuberías De Perforación". *PERFORADOR 2.0*. <https://perforador20.wordpress.com/2019/05/05/tablas-para-determinar-capacidad-del-hoyo-abierto-y-la-capacidad-y-desplazamiento-de-las-tuberias-de-perforacion/>.
- [37] "Norma Técnica Para La Perforación De Pozos Profundos En La Administración Nacional De Acueductos Y Alcantarillados". 2009. *Anda.Gob.Sv*. <https://www.anda.gob.sv/wp-content/uploads/2015/03/perf-pozos.pdf>.
- [38] "Tricone Drill Bits IADC537 4 3/4". n.d. *Far Eastern Drilling*. (Accedit el 7 de Maig 2022). https://chinadrillings.com/product/tricone_drill_bits_iadc53743_4_120_6mm_1.
- [39] Rafezi, Hamed, and Ferri Hassani. 2021. "Drilling Signals Analysis For Tricone Bit Condition Monitoring". *Science Direct*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.12.025>.
- [40] Juiña, Luis, Roberto Arellano, and Paúl Llumipanta. 2015. "Diseño y construcción de una máquina perforadora de suelo para anclajes de diámetro 32 x 12 000 mm de largo para la estabilización de taludes". *Ingenius. Revista De Ciencia Y Tecnología*, nº 13. <https://www.redalyc.org/pdf/5055/505554819004.pdf>.
- [41] "Cómo Elegir Un Motor Eléctrico | Motorex". 2021. *Youtube.com*. <https://www.youtube.com/watch?v=-Z-EMBetPHQ&t=28s>.
- [42] "Motor Eléctrico Trifásico 2,2 KW / 3 CV IE1 B3 PATAS 220/380V 1000 RPM". n.d. *Zuendo*. (Accedit el 21 de Maig 2022). <https://www.zuendo.com/b3-patas-1000/2901-motor-trifasico-22-kw-3-cv-ie1-b3-patas-220380v-1000-rpm.html>.
- [43] "Variador De Frecuencia 2,2 KW Trifásico 380 V Delta VFD-E". n.d. *Zuendo*. (Accedit el 21 de Maig 2022). <https://www.zuendo.com/variadores-de-frecuencia/5059-variador-de-frecuencia-22-kw-trifasico-380-v-delta-vfd-e.html>.

- [44] Pérez Álvarez, Rubén, and Noemí Barral Ramón. n.d. "Laboreo I Bloque I. Perforación". *Ocw.unican.es*. (Accedit el 21 de Maig 2022).
<https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2875/course/section/2691/BLOQUE-I.pdf>.
- [45] Zamora Parra, Blas, and Antonio Viedma Robles. 2016. "Máquinas Hidráulicas I Teoría Y Problemas". *Repositorio.upct.es*.
<https://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/5476/isbn9788416325191.pdf?sequence=4&isAllowed=y>.
- [46] "HSS Rect Property Table". n.d. *Constructionknowledge.net*. (Accedit el 21 de Maig 2022).
https://www.constructionknowledge.net/metal/images_metal/hss%20rect%20Steel%20section%20tables%20080307.pdf.
- [47] "HSS6X6X1/4 - Tools For Engineer". 2016. *Tools For Engineer*.
<http://www.toolsforengineer.com/hss6x6x14/>.
- [48] Xiorquera, Cristian. n.d. "PERFORACION ROTATIVA CON TRICONOS". *Academia.edu*. (Accedit el 28 de Maig 2022).
https://www.academia.edu/5351919/PERFORACION_ROTATIVA_CON_TRICONOS.
- [49] "MOTORES TEMA 2.2 Tipos De Potencia Y Par Motor". 2015.
Laspalmastecnologica.blogspot.com.
<http://laspalmastecnologica.blogspot.com/2015/02/motores-tema-22-tipos-de-potencia-y-par.html>.
- [50] "Motor Eléctrico Trifásico 1.1KW 1,5CV 230/400V 1500 RPM IE1 BRIDA B5 CARCASA REDUCIDA". n.d. *ADAJUSA*. (Accedit el 21 de Maig 2022). https://adajusa.es/es/motores-electricos-trifasicos-1500-rpm-brida-b5-carcasa-aluminio/783-motor-trifasico-11kw-15cv-230400v-1500-rpm-ie1-brida-b5-carcasa-reducida-8435532807834.html?gclid=CjwKCAjwy_aUBhACEiwA2IHHQKKRjB_hnrYWPaVxq3VPVISI_mDm9N_7kNm1DK-WpHiKztnm3w62sxoCEqkQAvD_BwE.
- [51] "Reductor Sinfín Corona Tamaño 40 BRIDA PAM 90/11". n.d. *ADAJUSA*. (Accedit el 21 de Maig 2022). https://adajusa.es/es/reductores-sinfin-corona/3639-92-reductor-sin-fin-corona-tamano-40-brida-pam-9011-motor-carcasa-63-b14-8435532836391.html#/49-relacion_de_reduccion-80.
- [52] "FVR1.5AS1S-4E | Variador De Frecuencia Trifásico Fuji Micro 1,5Kw". n.d. *Fuji Electric*. (Accedit el 21 de Maig 2022). <https://iguren.es/variadores-de-frecuencia/962-fvr15as1s-4e-variador-de-frecuencia-trifasico-fuji-micro-15kw.html>.

- [53] "T, TP - Peripheral And Gear Pumps". n.d. *Calpeda.com*. (Accedit el 28 de Maig 2022).
<https://www.calpeda.com/products/t-tp>.
- [54] "4 3/4 Inch Tricone Bit/ TCI Tricone Bits/ Tricone Rock Bit". 2022. *Alibaba.com*. (Accedit el 28 de Maig 2022). https://www.alibaba.com/product-detail/4-3-4-Inch-Tricone-Bit_60403779012.html.
- [55] "Medida Del Módulo De Elasticidad". n.d. *Sc.ehu.es*. (Accedit el 29 de Maig 2022).
http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/alargamiento/alargamiento.htm.
- [56] "Impactos Ambientales De La Electricidad En España En 2020". 2021. *Acodea.es*.
http://www.acodea.es/wp-content/uploads/2021/12/Actividad-4-Informe_Mix_electrico_Espana-2020.pdf.
- [57] "PRESUPUESTO DE MECANIZADO. 7 ASPECTOS IMPORTANTES". n.d. *Empresas De Mecanizado, Corte Láser Y Calderería*. <https://www.mipesa.es/presupuesto-de-mecanizado/>.
- [58] "Precio De Chatarra, Empresa De Compra Venta De Chatarra En México.". n.d. *Supraciclaje Recicladora*. (Accedit el 29 de Maig 2022). <https://www.supraciclaje.com/precios-hoy/>.
- [59] "Stainless Steel 316". n.d. *Alloy Wire International*. (Accedit el 29 de Maig 2022).
<https://www.alloywire.es/products/stainless-steel-316/>.
- [60] "Precio Kwh Hoy: Precio De La Luz Hora A Hora En España". n.d. *Selectra*. (Accedit el 29 de Maig 2022). <https://selectra.es/energia/info/que-es/precio-kwh>.
- [61] "Drilling Swivel SDR-35S | Burovik.Biz". n.d. *Burovik.Biz | Drilling Equipment*.
<https://burovik.biz/swivel-s/>.

Annex A

A1. Motor de Rotació trifàsic 2,2 kW / 3CV IE1 B3 PATAS 220/380 V 1000 RPM [42]



MOTOR TRIFÁSICO 2,2 KW / 3 CV IE1 B3 PATAS 220/380V 1000 RPM

Referencia: 908

Condición: Nuevo

261,00 €

Motor eléctrico trifásico 220/380V.

Potencia máxima: 2,2 Kw / 3 Cv.

Anclaje mediante patas B3.

Velocidad de giro: 1000 rpm.

Número de polos: 6.

Diámetro del eje: 28 mm.

Amperios de motor 9.28/5.36

Tamaño de motor 112.



KW (kilovátios)	2,2
CV (caballos)	3
VOLTAJE	220/380 V
RPM	1000
EJE Ø	28
PESO (KG)	26
TIPO DE ANCLAJE	B3 (PATAS)

A2. Variador d Freqüència 2,2 kW trifàsic 380 V DELTA VFD-E [43]



VARIADOR DE FRECUENCIA 2,2 KW TRIFÁSICO 380 V DELTA VFD-E

Referencia: VFD022E43T

Condición: Nuevo

222,31 € IVA excl.

269,00 € IVA incl.

Variador regulador de frecuencia trifásico Delta.

Serie VFD-E.

Potencia de salida 2,2 kw/ 3 cv hp. 5,5 A.

Entrada trifásica 380 V salida trifásica 380 V.

Con filtro EMI integrado.

Puerto modbus RS-485 incluido.

Muy fácil manejo y programación.

KW (kilovátios)	2,2
CV (caballos)	3
VOLTAJE	380 V
PESO (KG)	1,9
AMPERIOS	5,5

Variador DELTA VFD-EL voltaje trifásico 380V										
Número de modelo VFD-□□□-EL21A	007	015	022	037	055	075	110	150	185	220
Potencia máxima de motor (kw)	0,75	1,5	2,2	3,7	5,5	7,5	11	15	18,5	22
Potencia máxima de motor (Hp)	1	2	3	5	7,5	10	15	20	25	30
Capacidad de salida nominal (KVA)	2	3,3	4,4	6,8	9,9	13,7	18,3	24	29	34
Salida de corriente nominal (A)	2,5	4,2	5,5	8,5	13	18	24	32	38	45
Voltaje de salida (v)	Trifásico 380-480 V									
Frecuencia de salida (Hz)	0,1-600 Hz									
Corriente de entrada nominal (A)	3,2	4,3	7,1	11,2	14	19	26	35	41	49
Voltaje de entrada	Trifásico 380-480 V 50/60 Hz									
Tolerancia de voltaje de entrada	±10% (342-528 V)									
Tolerancia de frecuencia de entrada	±5% (47-63 Hz)									
Sistema de control	SVPWM (Modulación sinusoidal de ancho de pulso) (Control V/f)									
Resolución de ajuste de frecuencia	0,1 Hz									

A3. Motor d'Elevació trifàsic 1,1 kW 1,5 CV 230/400 V 1500 RPM IE1 Brida B5 Carcassa Reduïda [50]



MOTOR TRIFÁSICO 1.1KW 1,5CV 230/400V 1500 RPM IE1 BRIDA B5 CARCASA REDUCIDA

118,37 € IVA incluído

97,83 € IVA no incluído

Motor elèctric trifàsic 1.1kW (1.5CV) asíncrono 230/400V 1500 rpm
Brida B5. Carcasa de alumini reducida. Fabricado bajo normativa
europea IEC.

- Tensió: 230/400Vac 50/60Hz.
 - Número de polos: 4.
 - Revoluciones: 1500 rpm.
 - Brida: B5.
 - Diámetro de eje: 19mm.
 - Diámetro de la brida: 200mm
 - Potencia: 1.1Kw - 1.5cv.
 - Tamaño: 80.
 - Eficiencia energética: IE1.
-
- Fabricante/Importador: Motorseg
 - Referencia: SS-803-4 B5 CR
 - Tipo de motor: asíncrono jaula de ardilla.
 - Eficiencia: IE1
 - Tensió: 230/400 V. III. 50/60 Hz.
 - Número de polos: 4.
 - Revoluciones: 1500 (1400).
 - Potencia: 1,1Kw (1,5CV)
 - Rendimiento: 78%.
 - Corriente: 4.74A / 2.75A
 - Servicio continuo: S1.
 - Grado de protección: IP55.
 - Tipo sujeción: Brida B5
 - diámetro del eje: Ø19mm
 - Diámetro de la brida: 200mm.
 - Carcasa tamaño 80 (803).
 - Brida PAM: 200/19.
 - Color: Azul.
 - Material de la carcasa: Aluminio.
 - Peso: 12 Kg.
 - Marcado CE.

Forma constructiva	Brida B5
Velocidad	4P - 1500 rpm
Potencia Kw	1,1 KW / 1,5CV
Material	Aluminio
Tipo de motor	Trifásico
Eficiencia energética	IE1
Tamaño carcasa	80
Tensión	230/400V
Diámetro eje motor	19mm
Diámetro brida motor	200mm

Marca Generico-MOT
Referencia SS8034B54E1

A4. Reductor sense fi corona mida 40 Brida PAM 90/11 – Motor Carcassa 63 B14 [51]



REDUCTOR SIN FIN CORONA TAMAÑO 40 BRIDA PAM 90/11 - MOTOR CARCASA 63 B14

75,53 € IVA incluido
62,42 € IVA no incluido

Con eje de salida hueco de Ø18mm, y brida de entrada PAM 90/11 (Ø Ext 90mm y Ø Eje entrada 11mm) tipo B14, adecuada para motores con carcasa tamaño 63.

Relaciones de reducción disponibles: 7,5-10-15-20-25-30-40-50-60-80.

Las potencias de los motores habituales a 1500 rpm son:

- 0,12CV
- 0,16CV
- 0,25CV Carcasa reducida. Max. red. i=60.

Relación de reducción

7,5 10 15 20 25 30 40 50 60 **80**

Tipo	Reductor
Tipo de reductor	Sinfin corona
Tamaño reductor	T-40
Diámetro eje entrada	11 mm
Diámetro brida motor	90 mm
Diámetro salida	18 mm

Marca Generico-MOT
Referencia YDSEG40631480
ean13 8435532812746

A5. Variador de freqüència FVR1.5AS1S-4E trifàsic FUJI MICRO 1,5KW [52]



Potencia: 1,5 kW (2CV) - 4,2A

Entrada: 1 x 220 VAC Salida: 3 x 200-230VAC, 50/60 HZ

Variador de Frecuencia Fuji Serie Micro

Característiques:

- > Entradas analógicas y digitales, salida transistor y salidas relé de alarma.
- > Entrada trifásica 380-400V, 50/60Hz
- > Protección IP20
- > Comunicación RS485 de serie.
- > 150% sobre par de arranque.
- > Potenciómetro integrado en el teclado para utilizar como comando de frecuencia
- > Manual incluido en inglés.

Ficha técnica

Potencia (KW)	1,5
Tensión De Alimentación	230 VAC
Corriente Nominal	4,1 A
Frecuencia	50/60 Hz
Tipo De Alimentación	Trifásica
Tensión De Salida	3P 230 VAC
Entrada Solar	No
Medidas (Alto X Ancho X Fondo)	180X72X148

A6. Bomba hidràulica Calpeda [53]

T, TP

Peripheral Pumps



Performance n ≈ 2900 rpm

3 ~	230V 400V		1 ~	230V P1		P2		Q m³/h l/min	H m																	
	A	A		A	kW	kW	HP		0,06	0,12	0,24	0,38	0,48	0,6	0,75	1	1,2	1,5	1,89	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6
B-T 61/A	1,9	1,1	B-TM 61E	2,5	0,55	0,33	0,45																			
B-T 65E	2,8	1,6	B-TM 65E	3,5	0,8	0,45	0,6					38	36	34	31,5	28	24	19	12,5	5						
B-T 70/B	3,7	2,2	B-TM 70/A	6	1,3	0,75	1					44	42	40	37	33	29	24	16	8						
T 76/A	5,3	3	TM 76E	7,4	1,6	1,1	1,5					59	57	55	51	48	43	38	30	22	10					
T 100/A	11,5	6,6					3	4				70	68	67	65	62	58	53	46	38	26					
T 125/B		9,6					4	5,5																		
B-TP 78/A	2,3	1,3	B-TPM 78/A	2,8	0,6	0,37	0,5		75	70	60	50	42	35	25	15			125	110	90	75*	60*			
B-TP 80E	4	2,3	B-TPM 80E	5,8	1,2	0,75	1					90	85	79	73	61	48	34	20							
TP 100/B	9,6	5,5				2,2	3					150	144	136	125	115	100	84	62							
TP 132R/A		10,9				5,5	7,5											145	135	120	110	95	70			
TP 132/A		14,3				7,5	10																	165	143*	120*

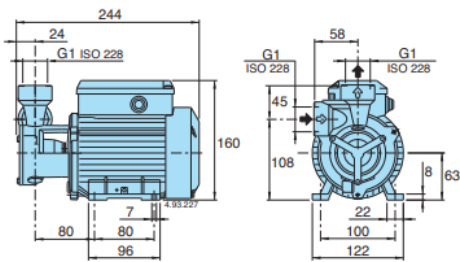
P1 Maximum power input.
P2 Rated motor power output.

B-T, B-TM = Bronze construction.

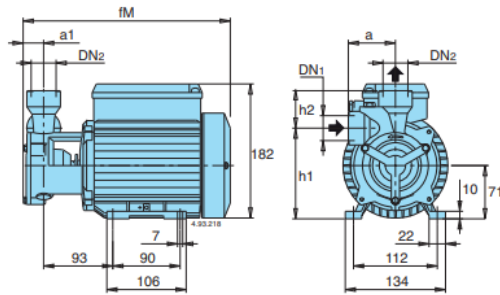
* Maximum suction lift 2-3 m.



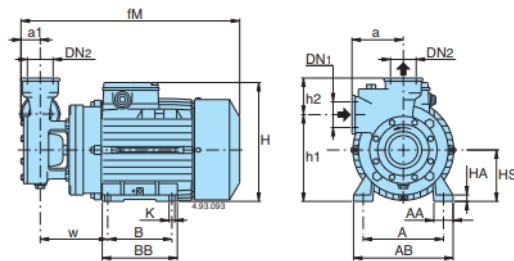
Dimensions and weights



T 61/A : kg 7
 B-T 61/A : kg 7,3
 T 65E : kg 7,3
 B-T 65E : kg 7,5



TYPE	DN1	DN2	mm						kg		
			ISO 228	a1	fM	h2	h1	a	T	B-T	
T 70/B B-T 70/B	G 1	G 1	24	278	50	121	63	12	12,4		
TP 78/A B-TP 78/A	G 1/2	G 1/2	22	276	24	127	56	8,2	8,8		



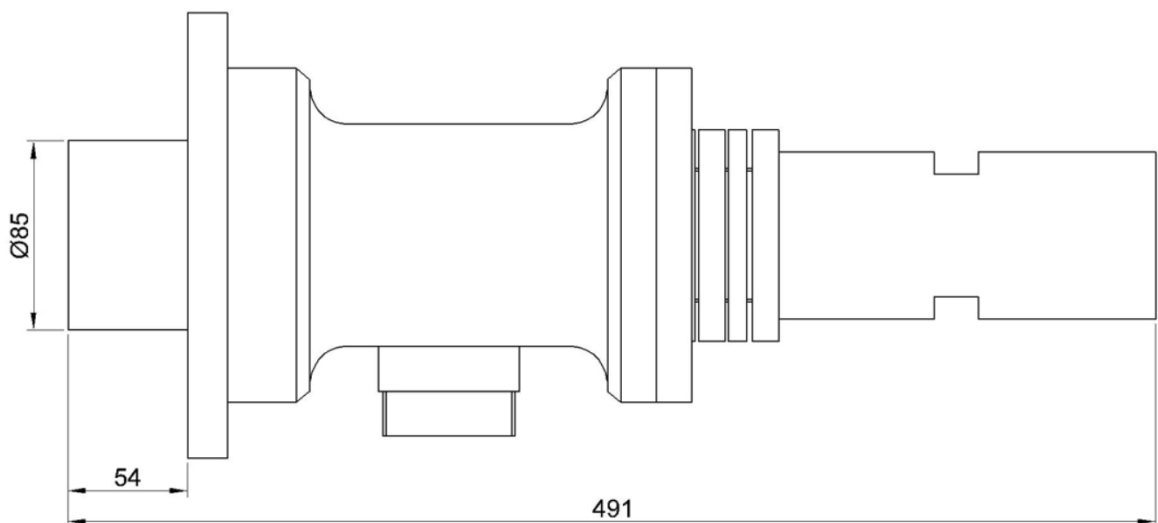
TYPE	DN1	DN2	mm														kg			
			ISO 228	a1	fM	HS	h2	h1	H	BB	B	AB	A	AA	K	a	w	HA	T, TP	B-TP
T 76/A	-	G 1 1/4	G 1 1/4	26	338	80	56	136	208	117	100	155	125	30	9	80	105	10	18,4	-
T 100/A	-	G 1 1/4	G 1 1/4	32	410	90	59	161	226	152	125	180	140	40	9,5	95	121	12	32,5	-
T 125/B	-	G 1 1/4	G 1 1/4	32	470	90	75	170	226	152	125	180	140	40	9,5	90	195	12	39,5	-
TP 80E B-TP 80E	G 3/4	G 3/4	G 3/4	27	332	80	35	135	208	117	100	155	125	30	9	60	104	10	16,4	16,8
TP 100/B	-	G 3/4	G 3/4	27	387	80	38	142	208	117	100	155	125	30	9	65	113	10	23,2	-
TP 132R/A	-	G 1 1/4	G 1 1/4	42	485	112	70	202	272	180	140	230	190	50	11,5	100	183	14	53,6	-
TP 132/A	-	G 1 1/4	G 1 1/4	42	485	112	70	202	272	180	140	230	190	50	11,5	100	183	14	58,5	-

A7. Swivel [61]



Specifications:

- Weight: 30kg
- Capacity: 6,8tonns
- Bearings: Tapered Roller
- Seals: PTFE + reinforced seals
- Pressure: 20bar
- Water hole: 35mm



A8. Broca Tricone drill bits IADC537 4 3/4" (120.6mm) [38]

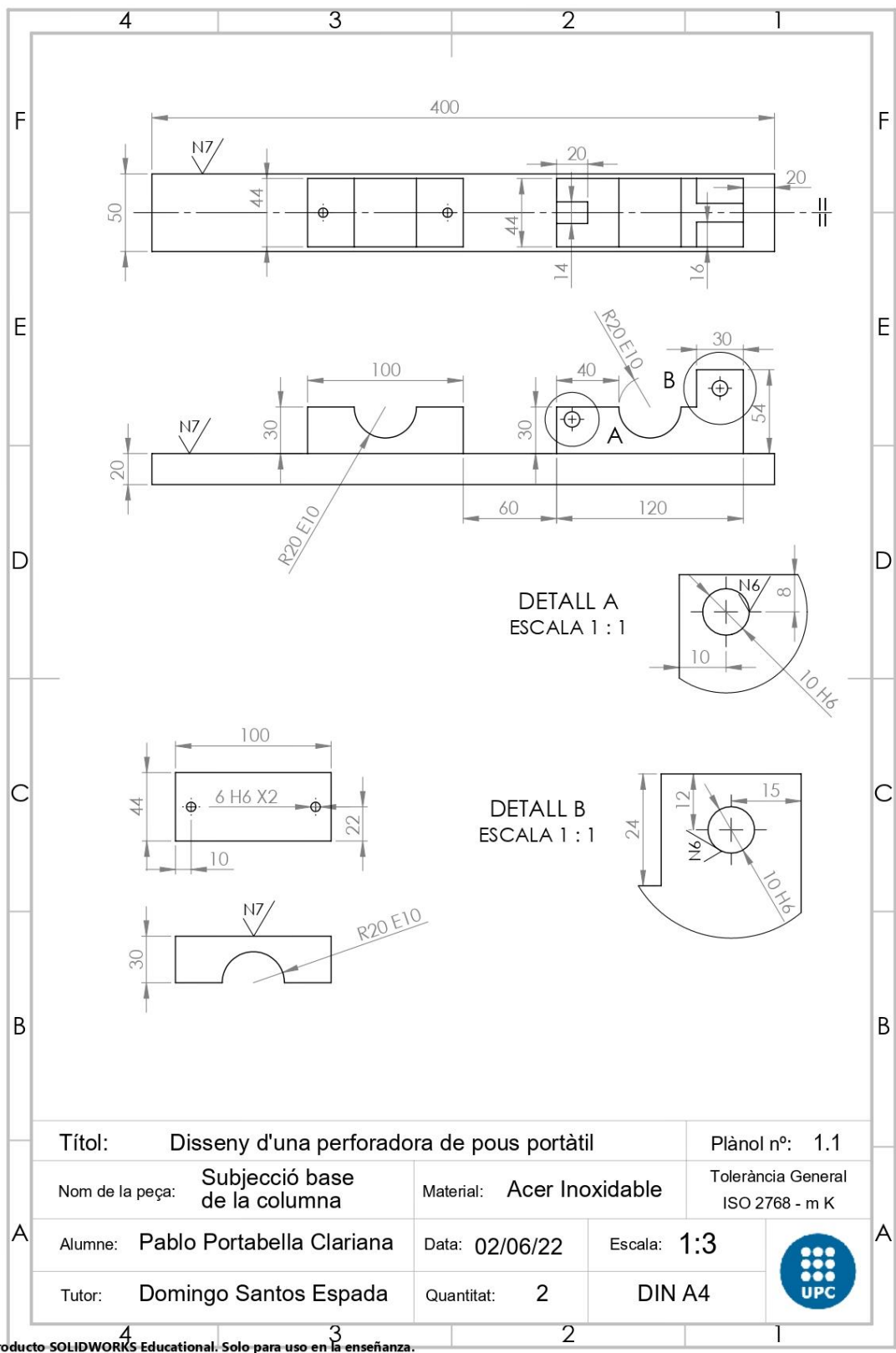


Tricone drill bits IADC537 4 3/4" (120.6mm)

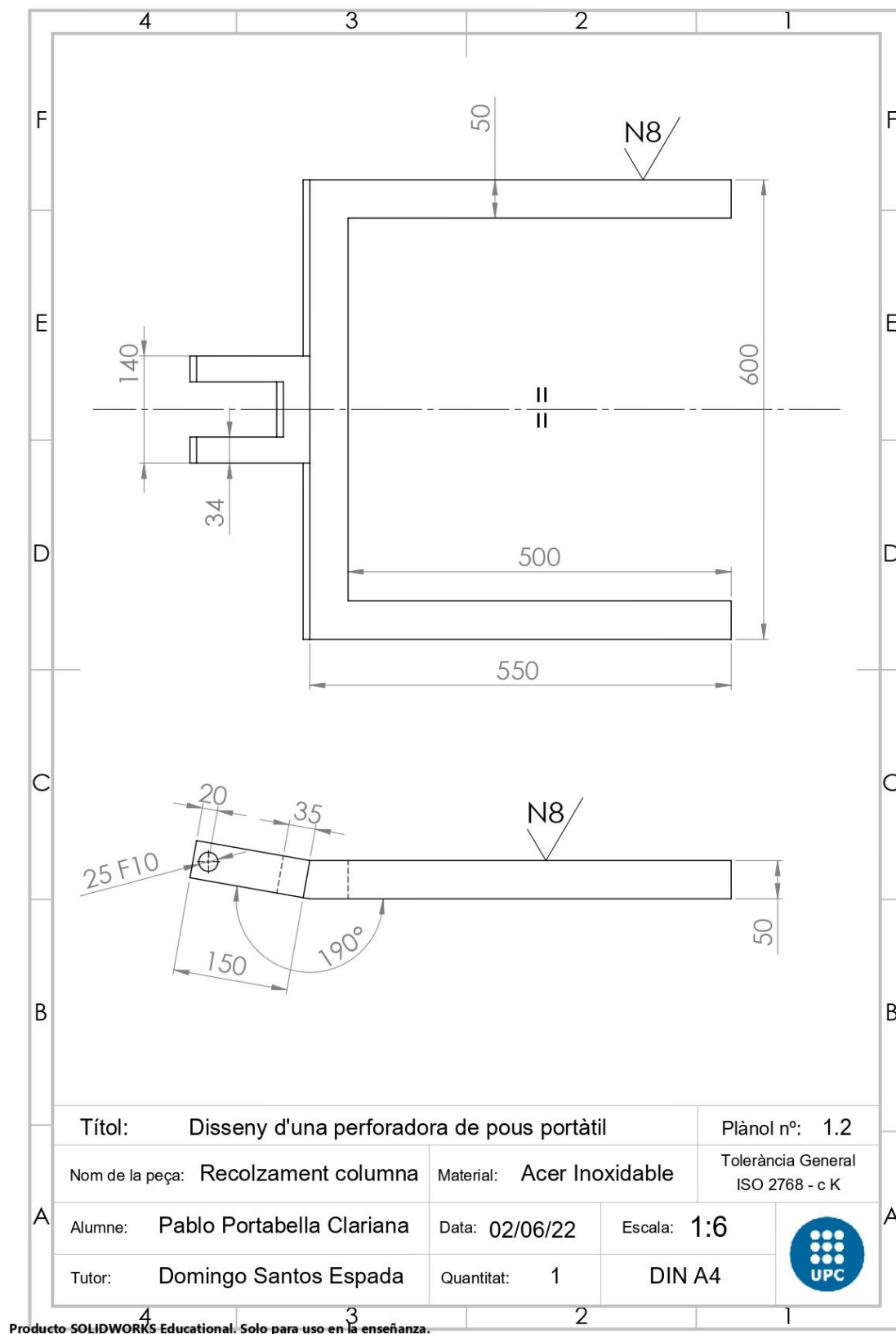
Brand Name:	Far Eastern
Certification:	API & ISO
Model Number:	IADC537G
Minimum Order Quantity:	1 piece
Package Details:	Plywood Box
Delivery Time:	5-8 working days
Advantage:	High Speed Performance
Warranty Term:	3-5 years
Application:	Oil,Gas,Geothermy,Water well drilling,HDD ,Mining

Basical Specification	
Size of Rock Bit	4 3/4 inches
	121 mm
Bit Type	TCI Tricone Bit
Thread Connection	2 7/8 API REG PIN
IADC Code	IADC 537G
Bearing Type	Journal Sealed Bearing with Gauge Protection
Bearing Seal	Elastomer or Rubber/ Metal
Heel Protection	Available
Shirttail Protection	Available
Circulation Type	Mud Circulation
Drilling Condition	Rotary drilling, high temp drilling, deep drilling, motor drilling
Nozzles	Central Jet Hole
Operating Parameters	
WOB (Weight On Bit)	26,964-11,235 lbs
	120-50KN
RPM(r/min)	50~120

B1.1 Plànol 1.1: Subjecció base de la columna



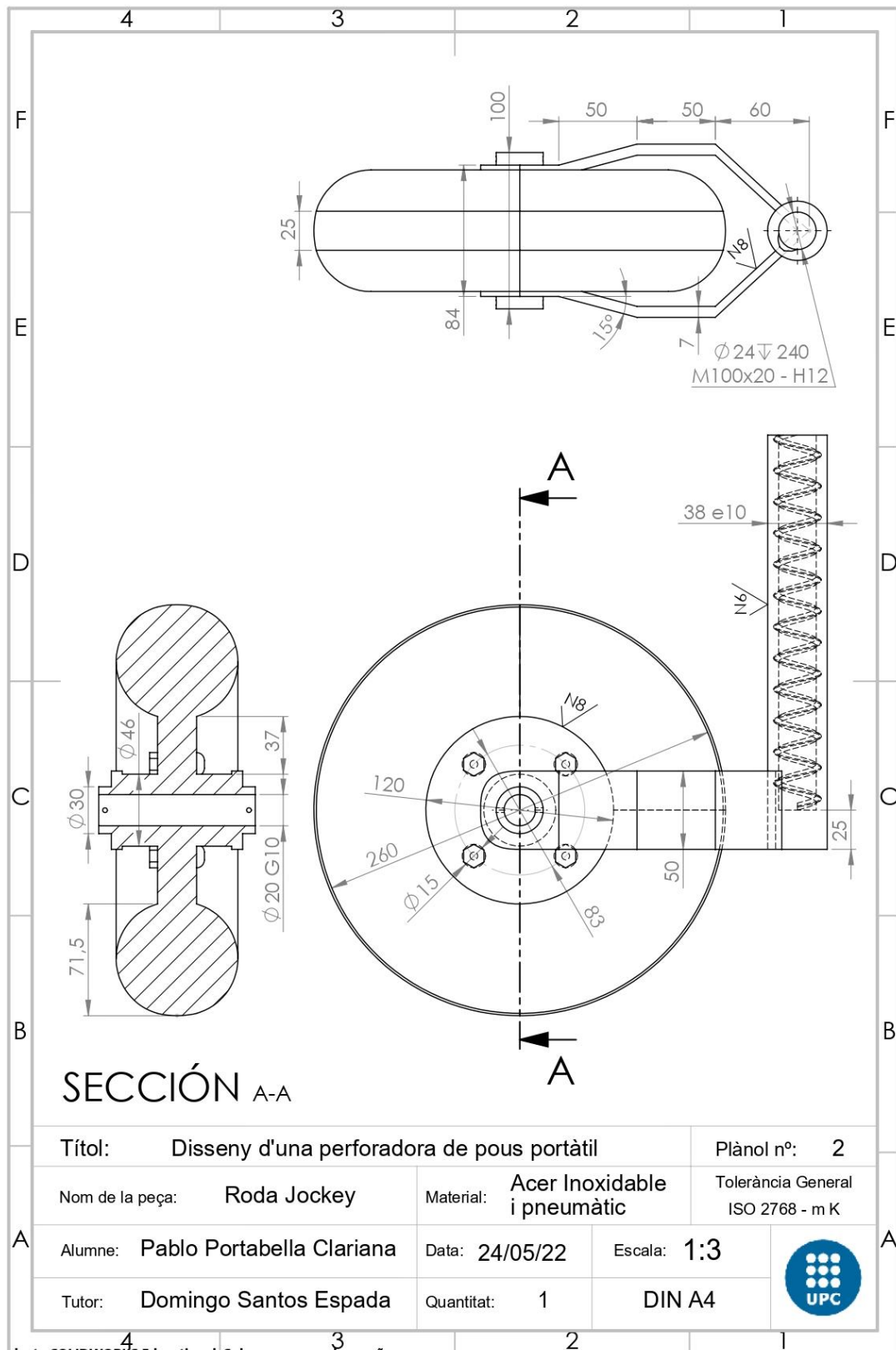
B1.2 Plànol 1.2: Recolzament columna



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



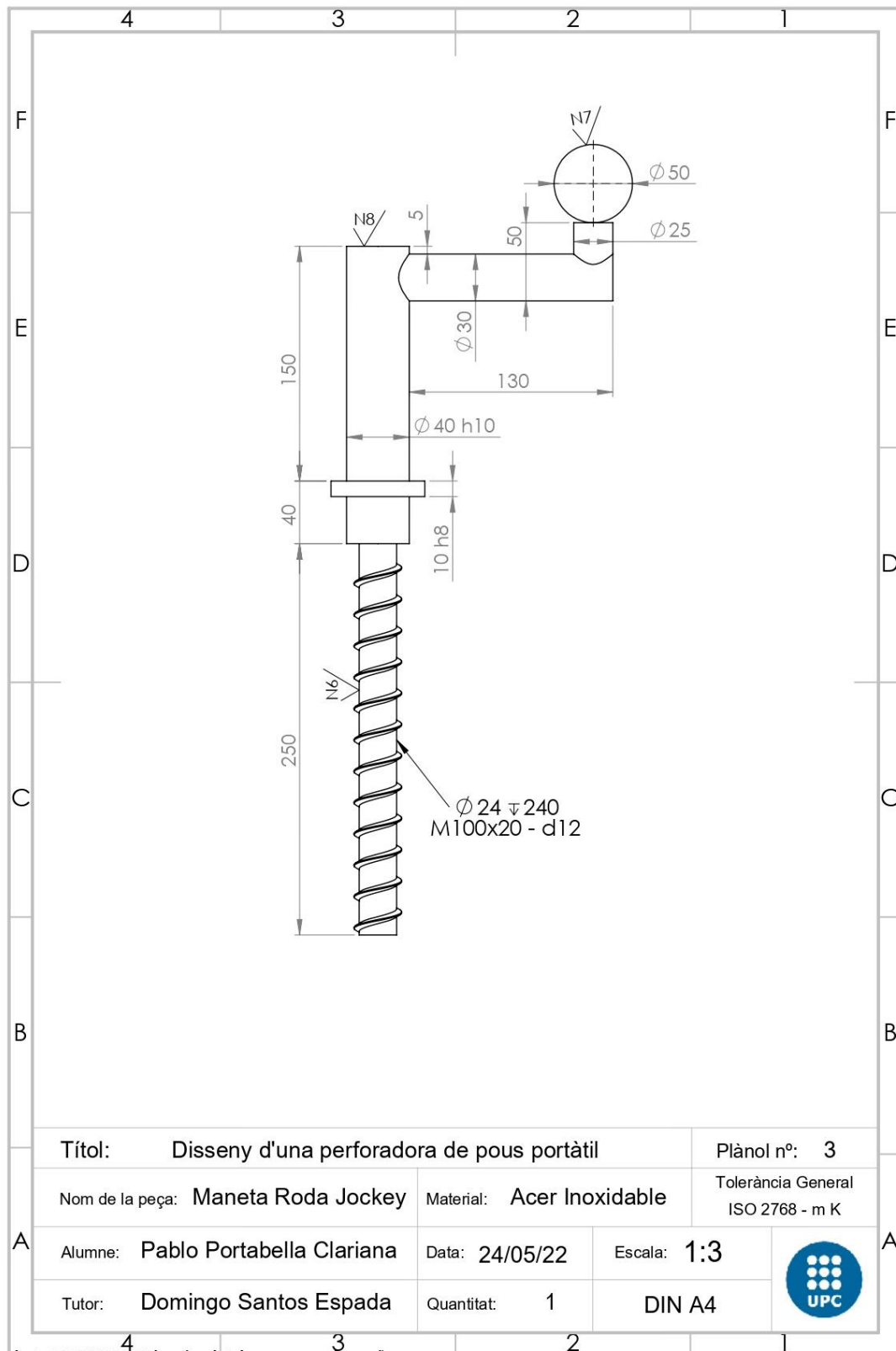
B2. Plànol 2: Roda Jockey



Producte SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



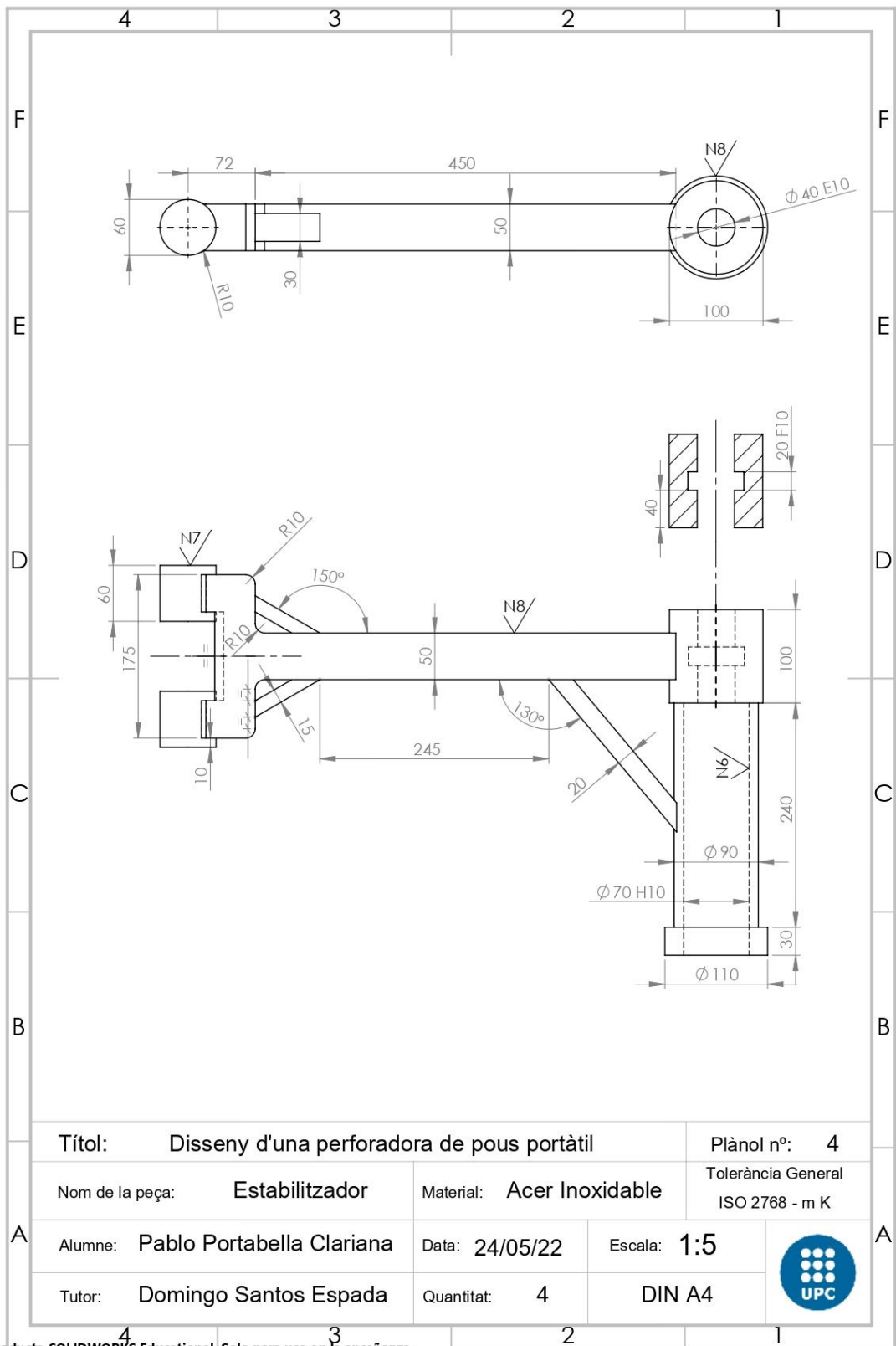
B3. Plànol 3: Maneta roda Jockey



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



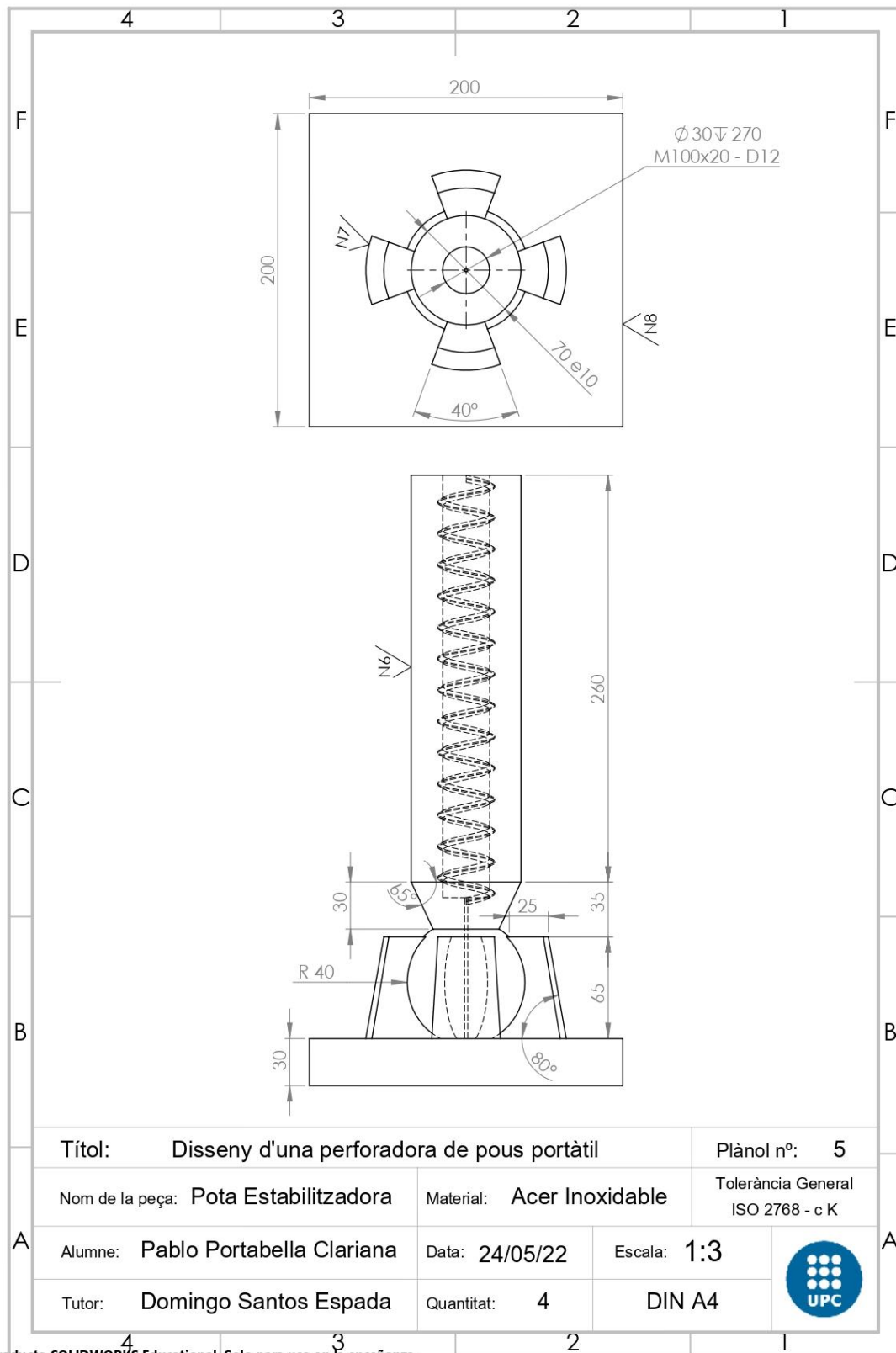
B4. Plànol 4: Estabilitzador



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



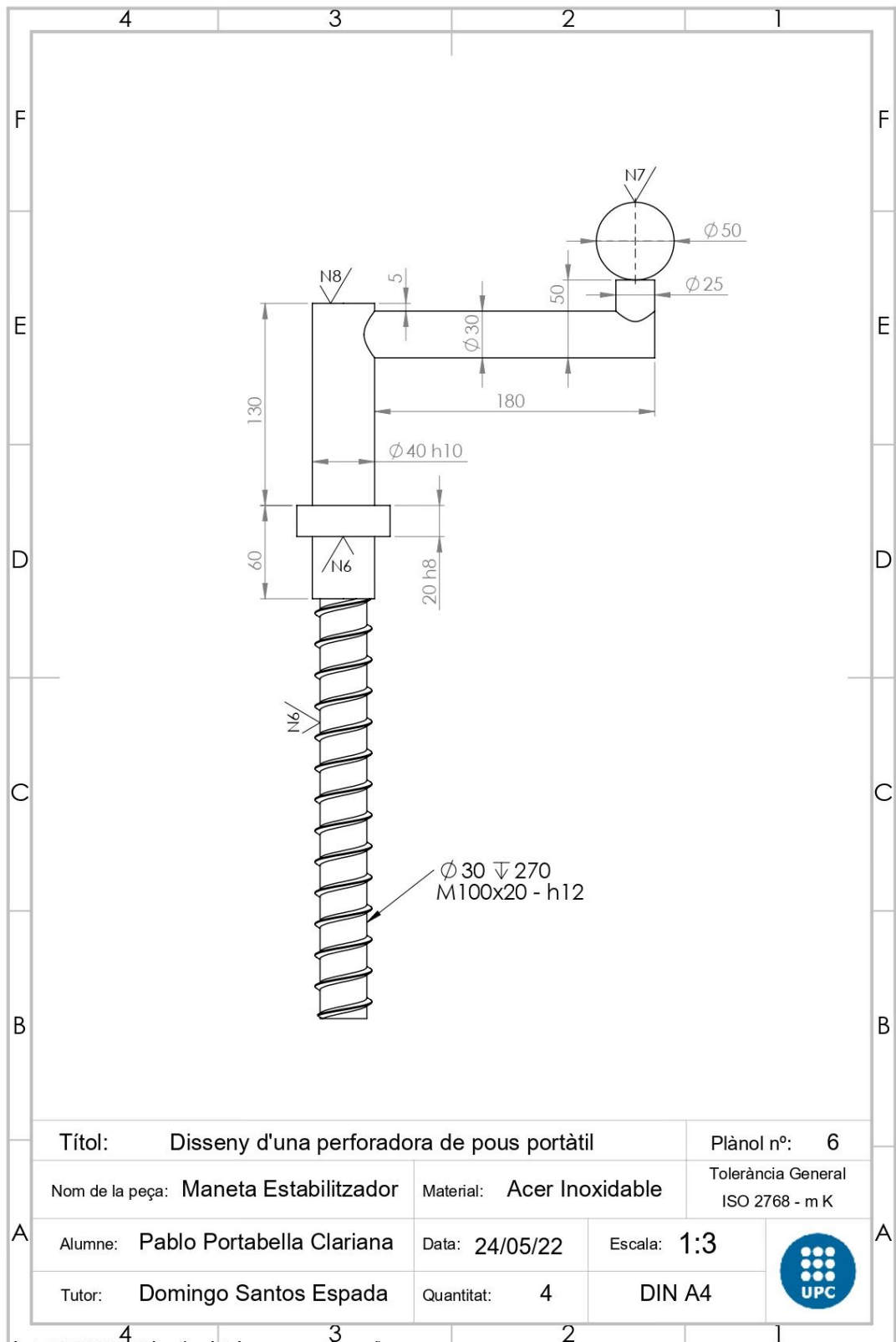
B5. Plànol 5: Pota estabilitzadora



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

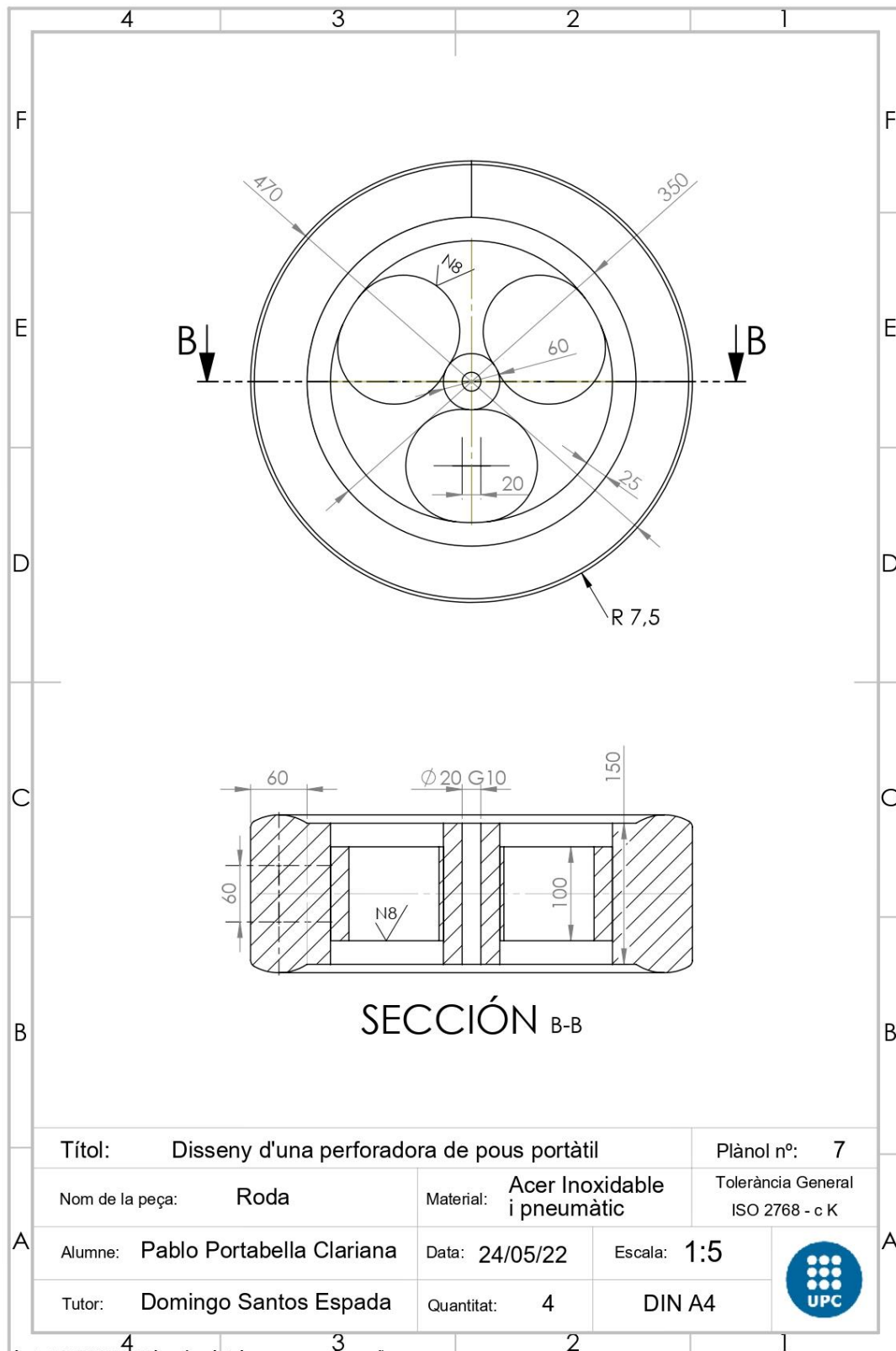


B6. Plànol 6: Maneta estabilitzador



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

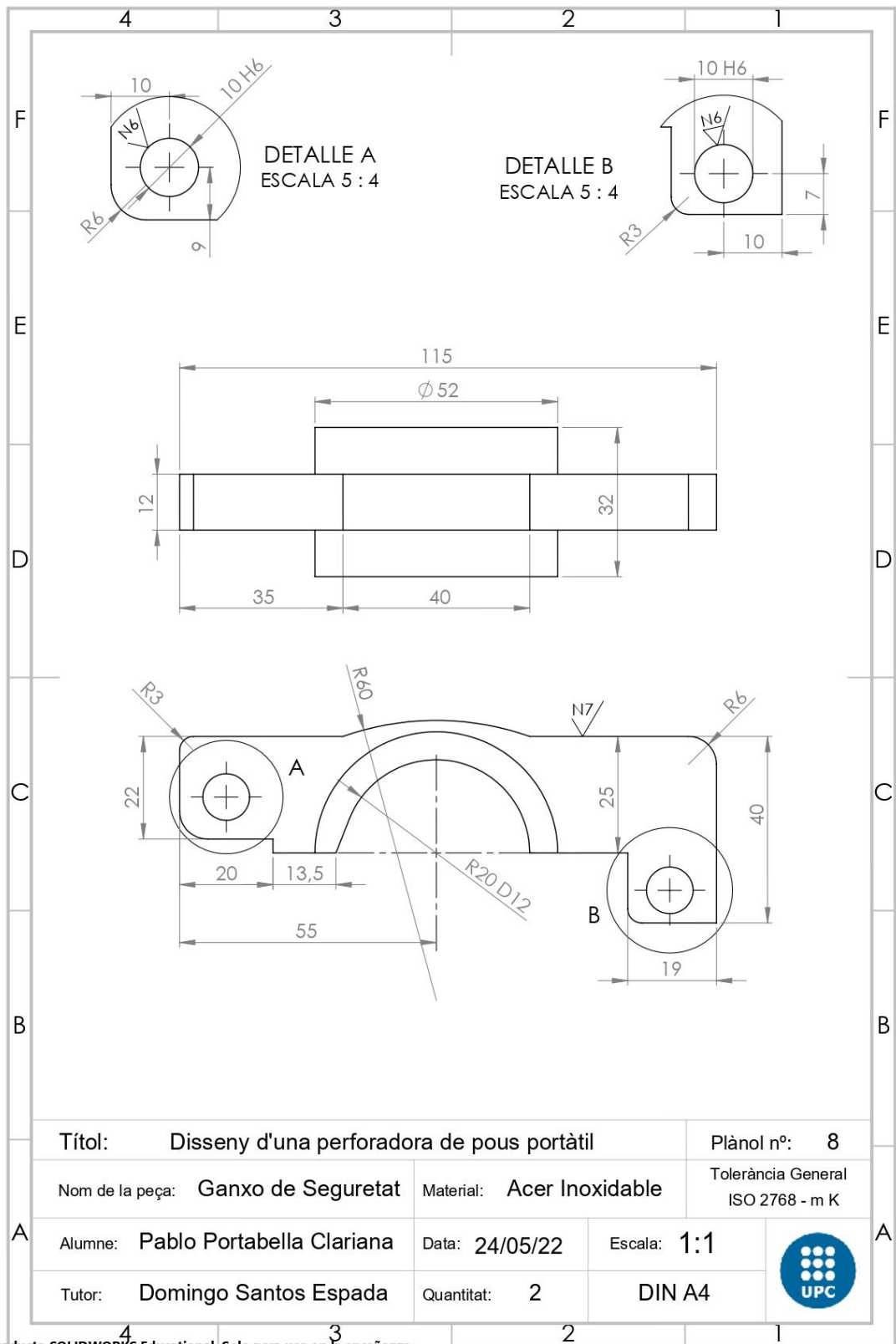
B7. Plànol 7: Roda



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

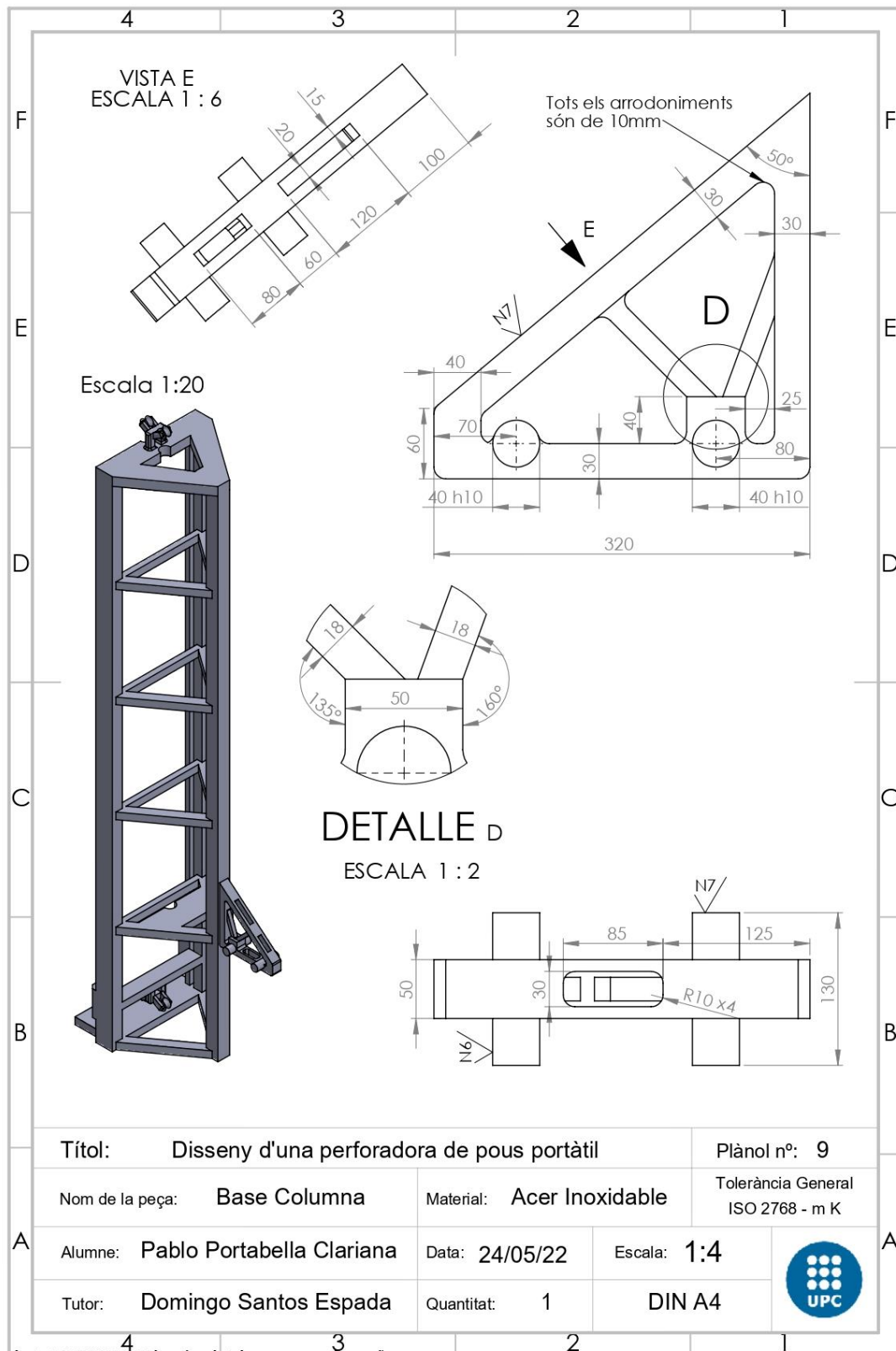


B8. Plànol 8: Ganxo de seguretat



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

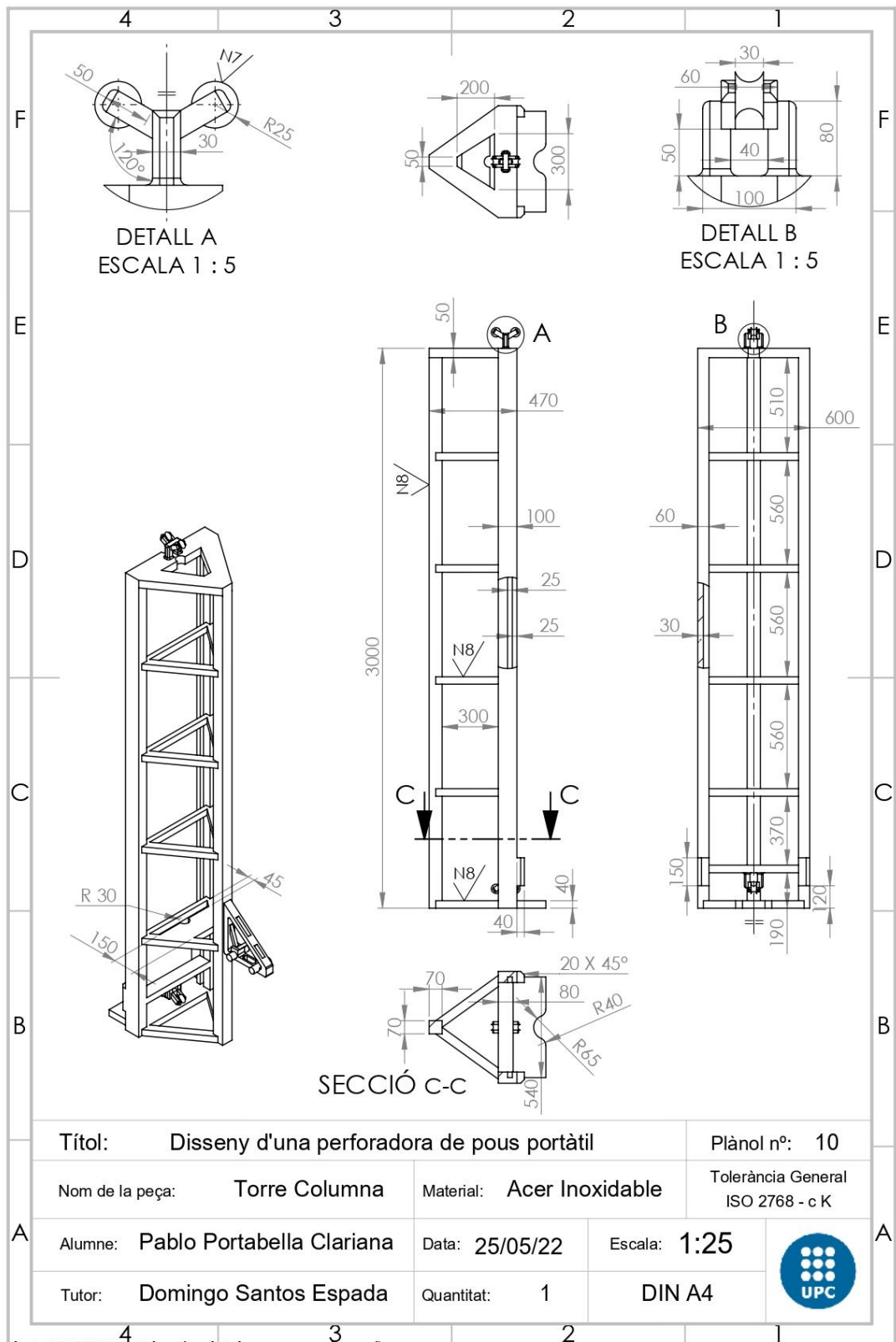
B9. Plànol 9: Base columna



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

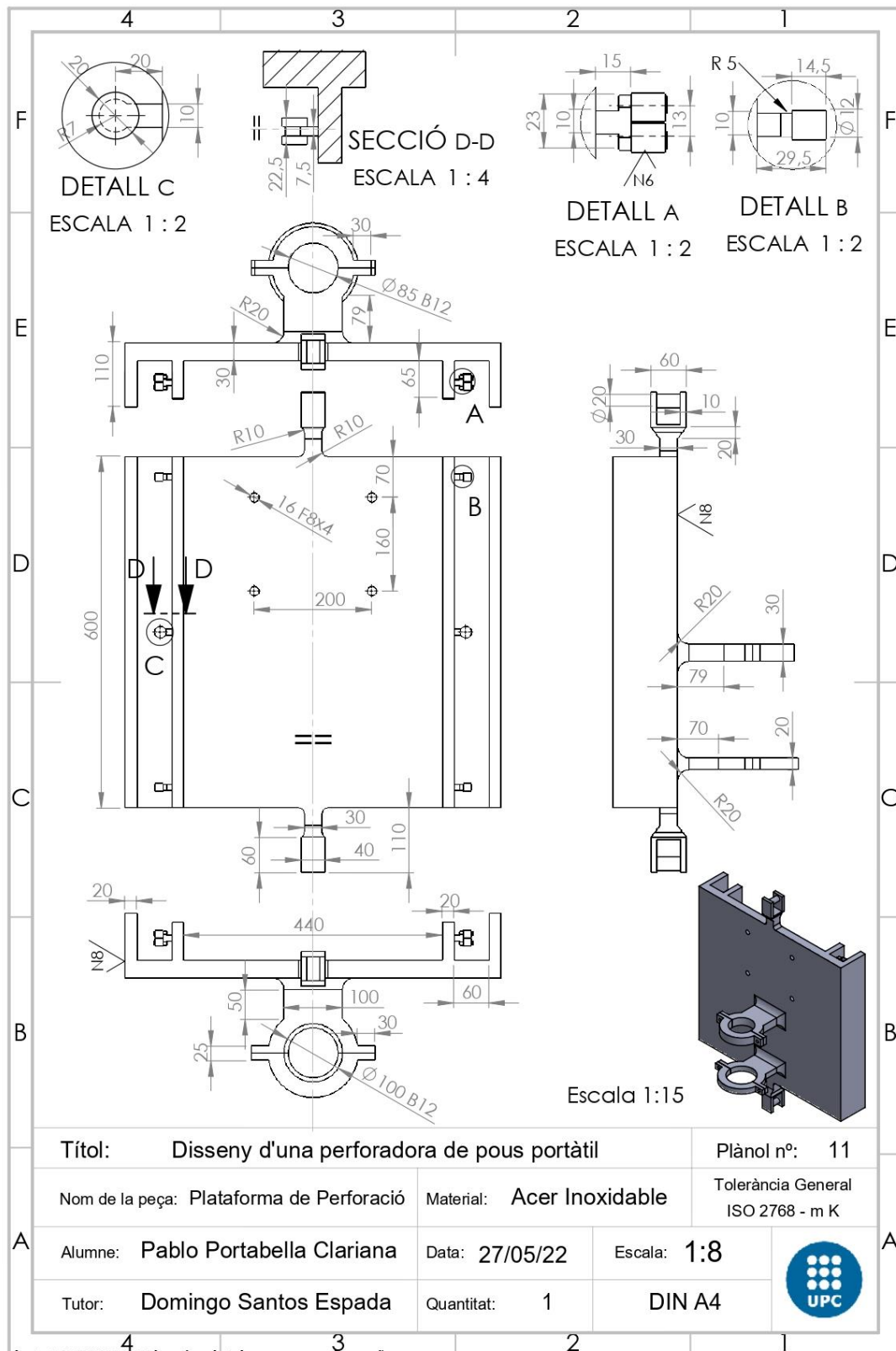


B10. Plànol 10: Torre columna



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

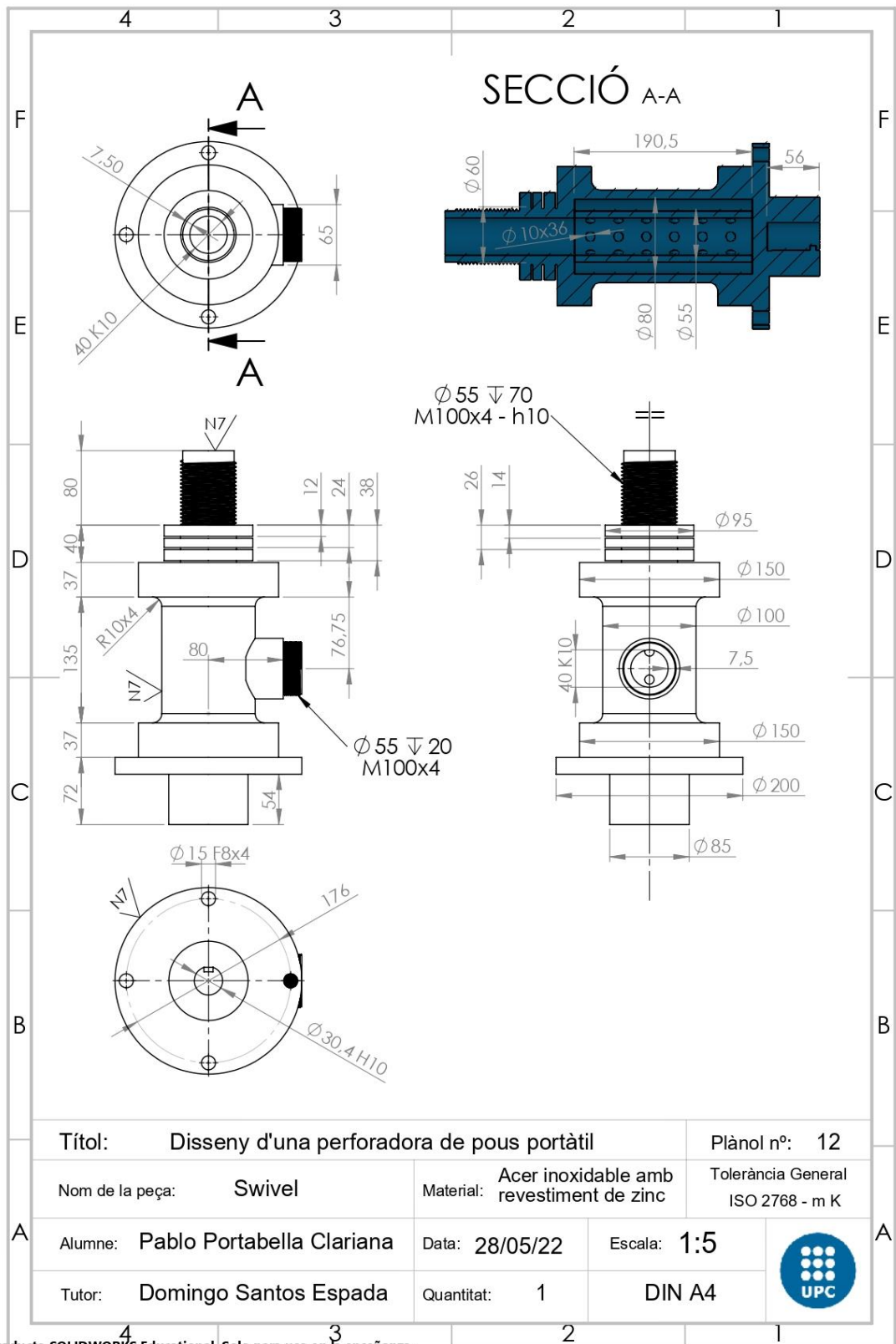
B11. Plànol 11: Plataforma de Perforació



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

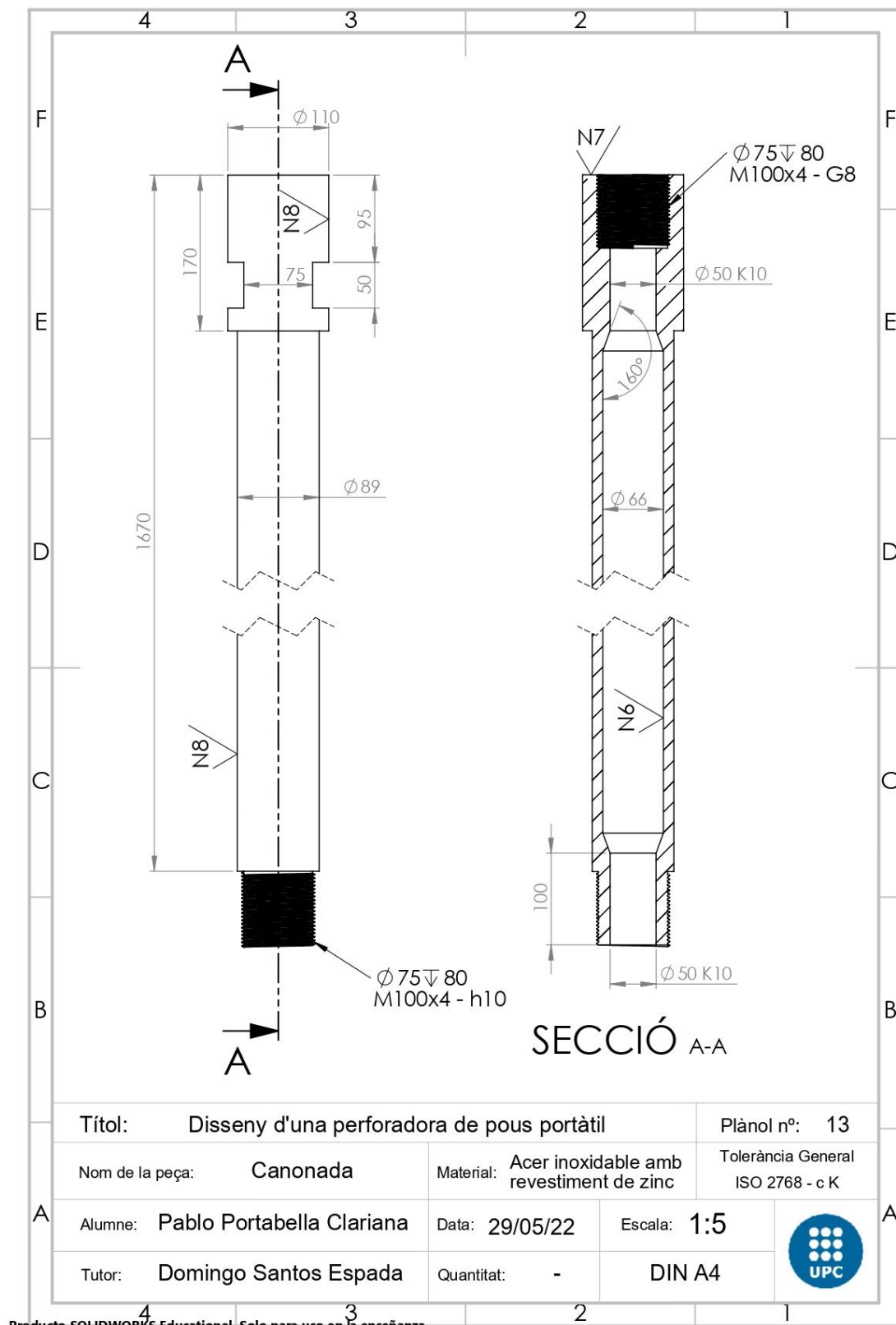


B12. Plànol 12: Swivel



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

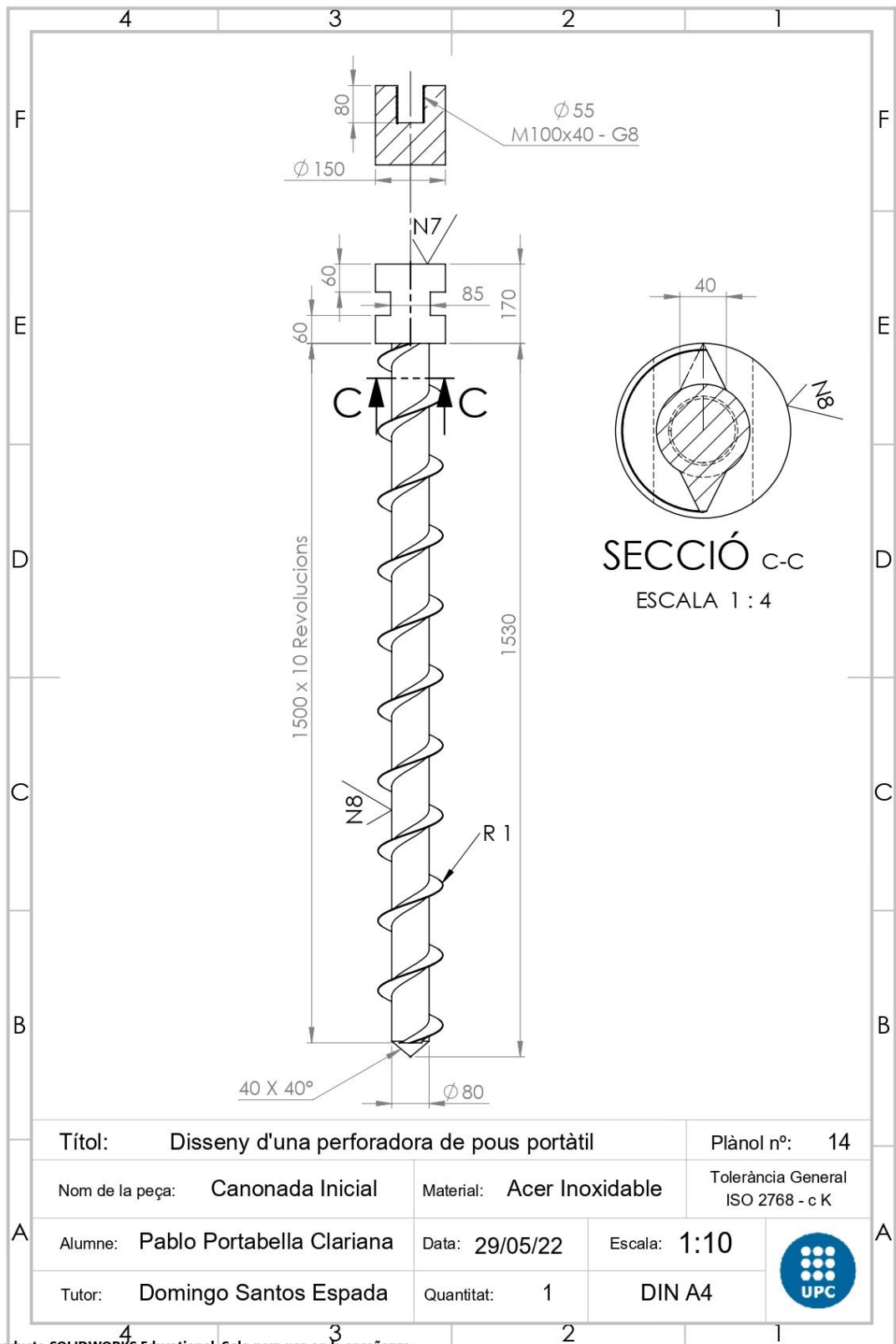
B13. Plànol 13: Canonada



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



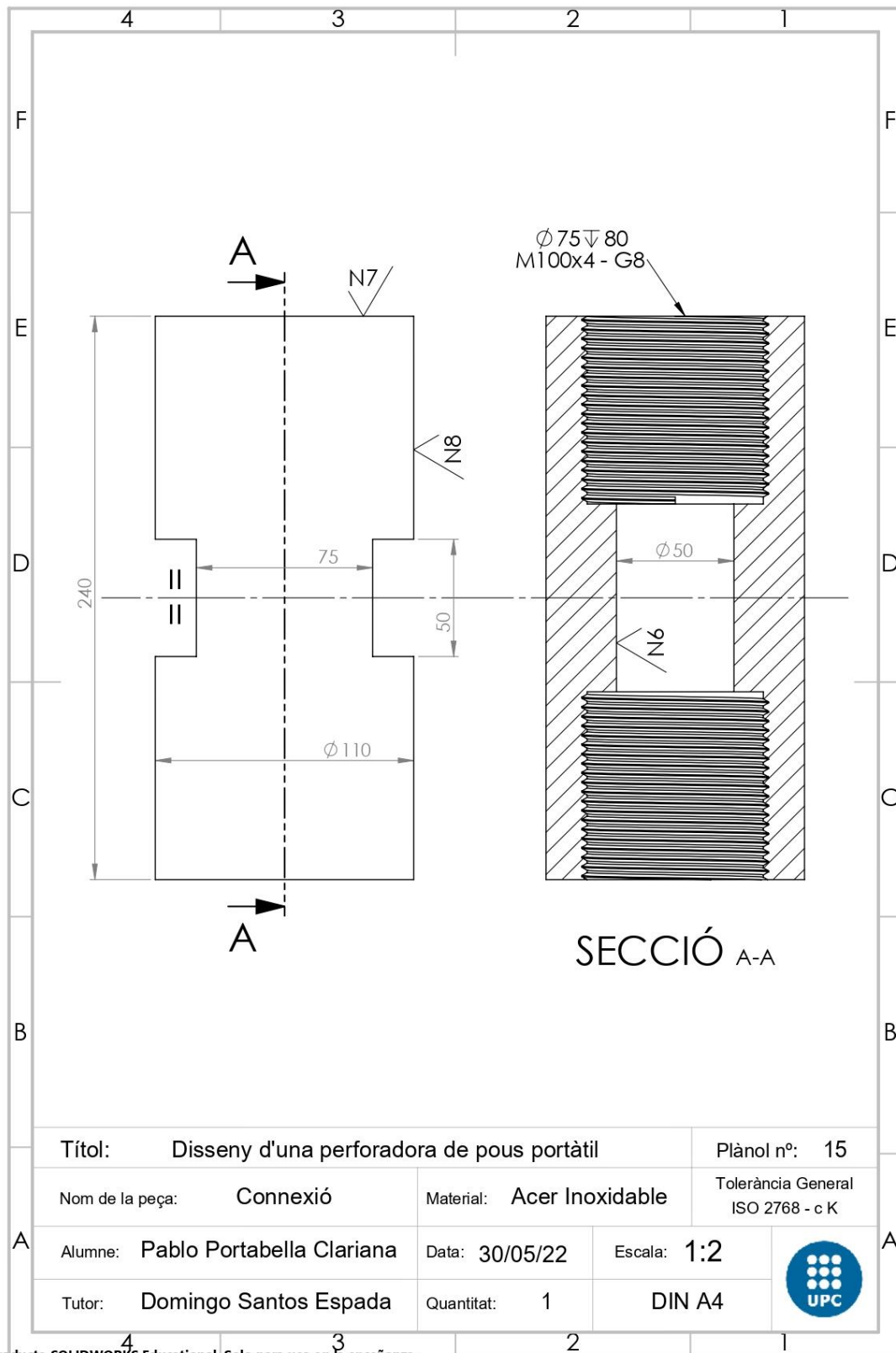
B14. Plànol 14: Canonada Inicial



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



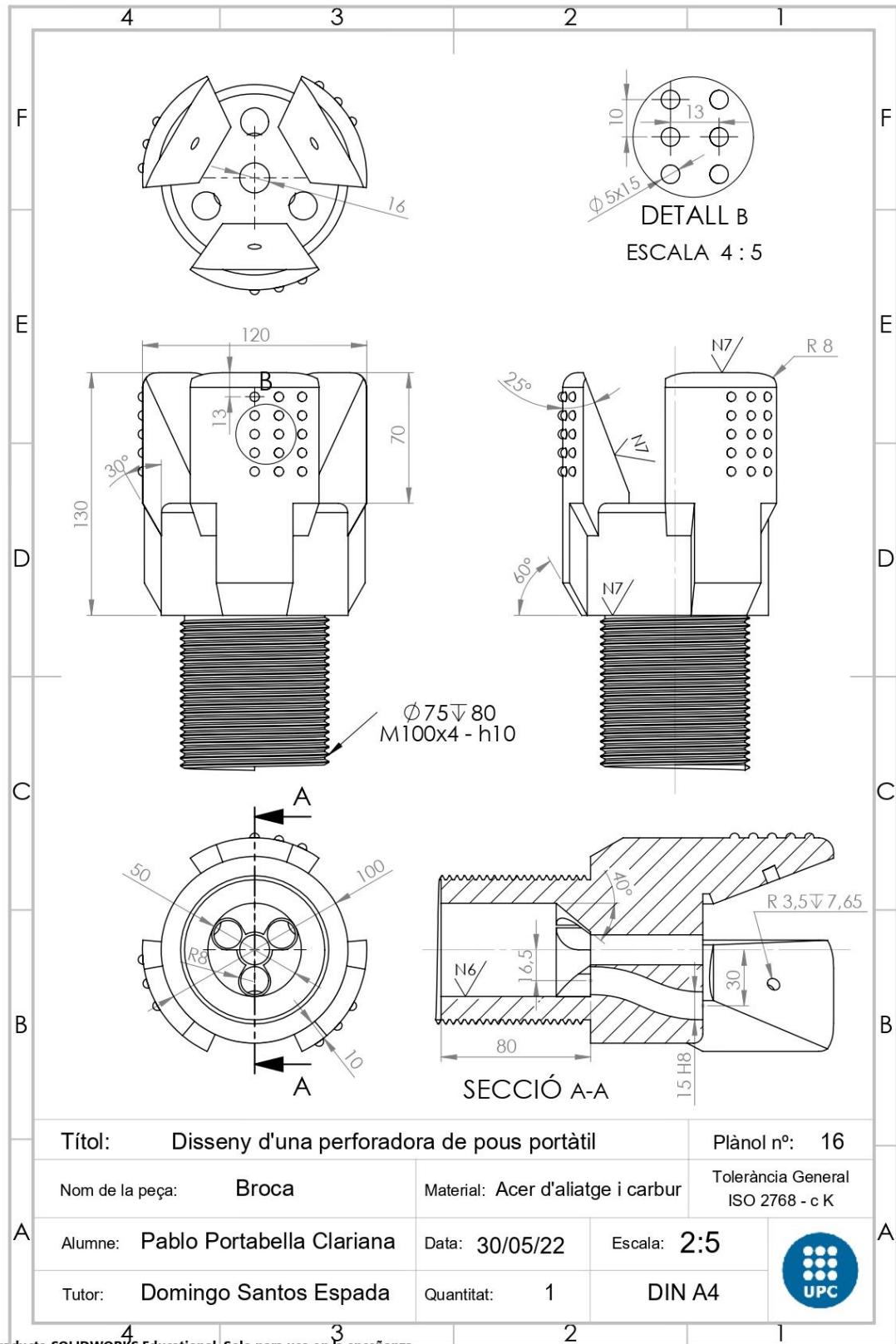
B15. Plànol 15: Connexió



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

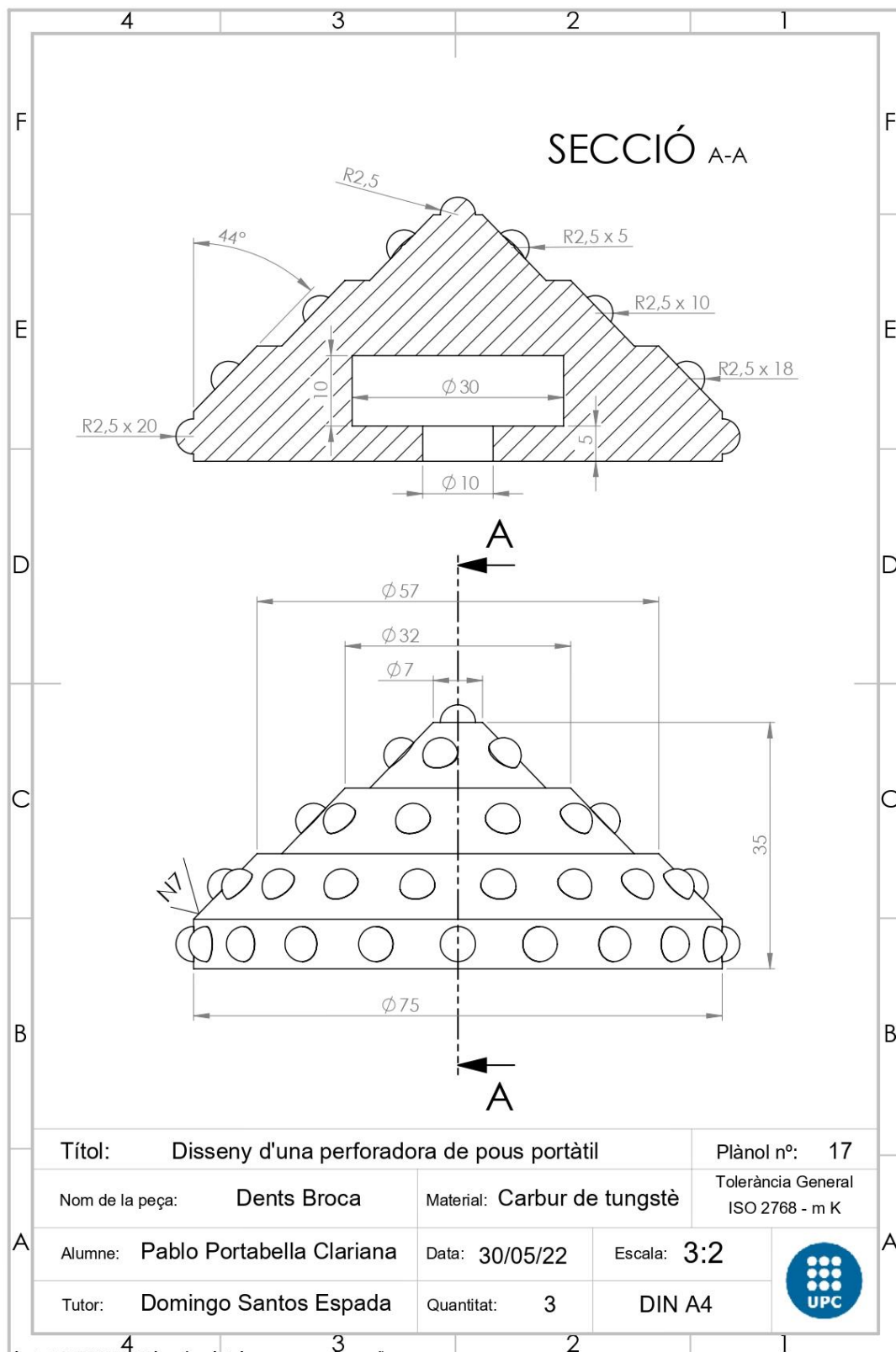


B16. Plànol 16: Broca



Producte SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

B15. Plànol 17: Dents Broca

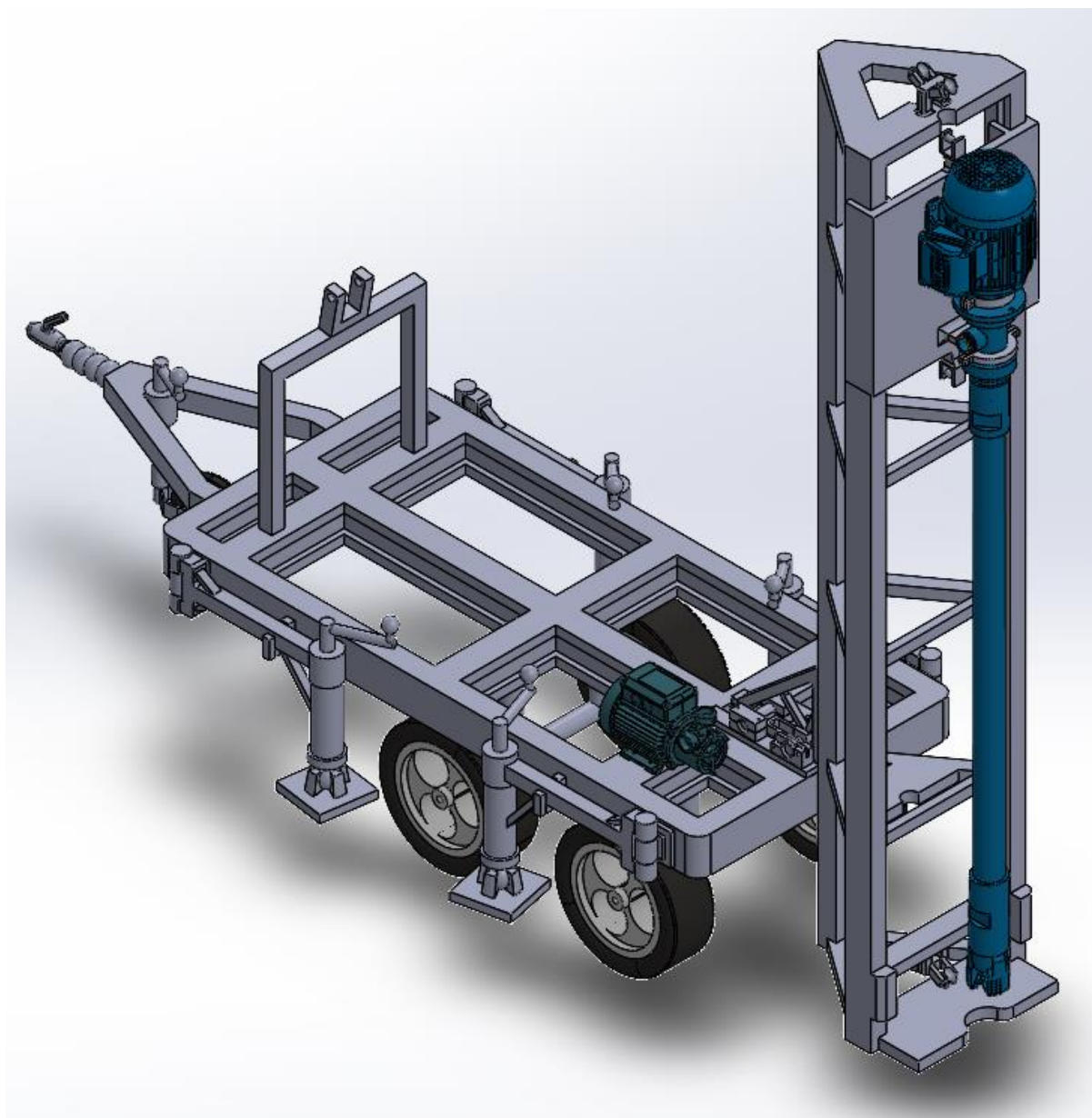


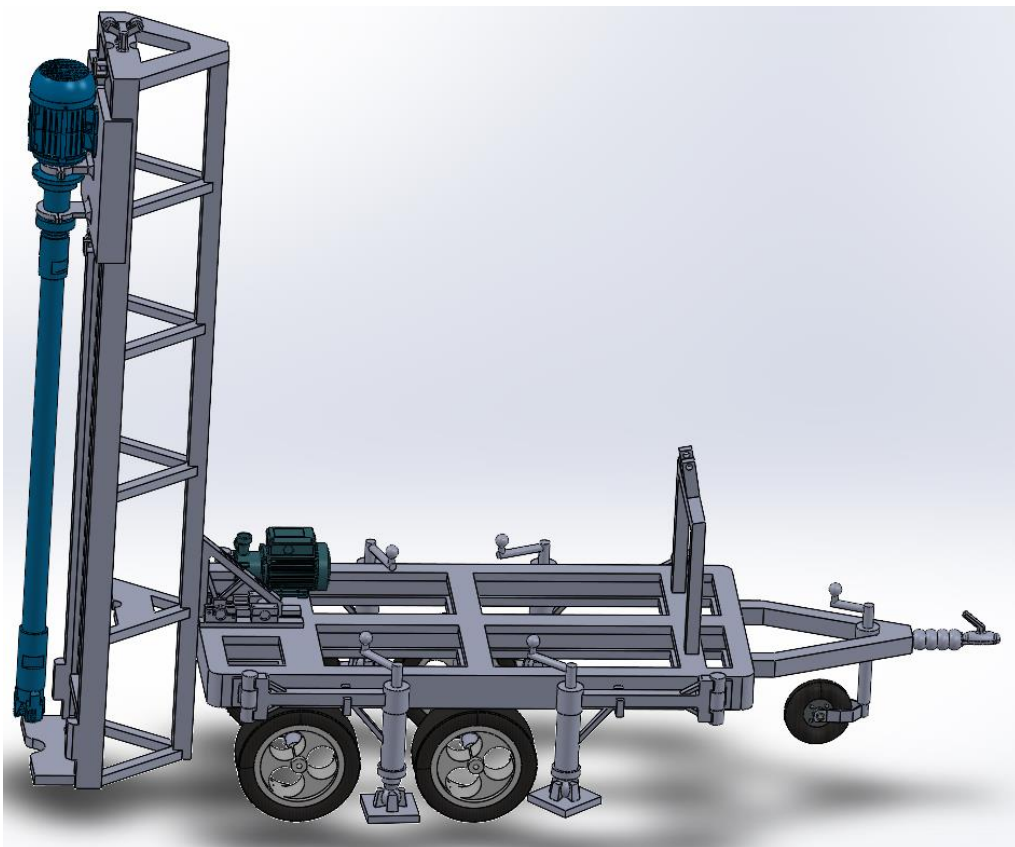
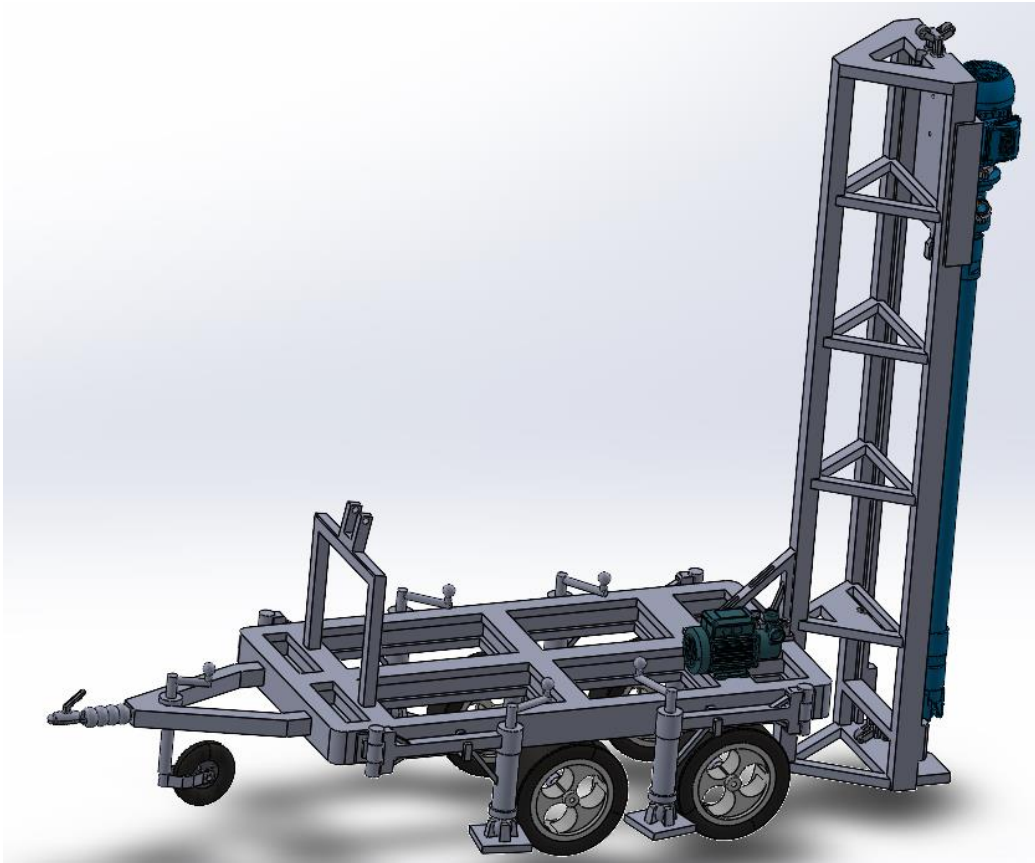
Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

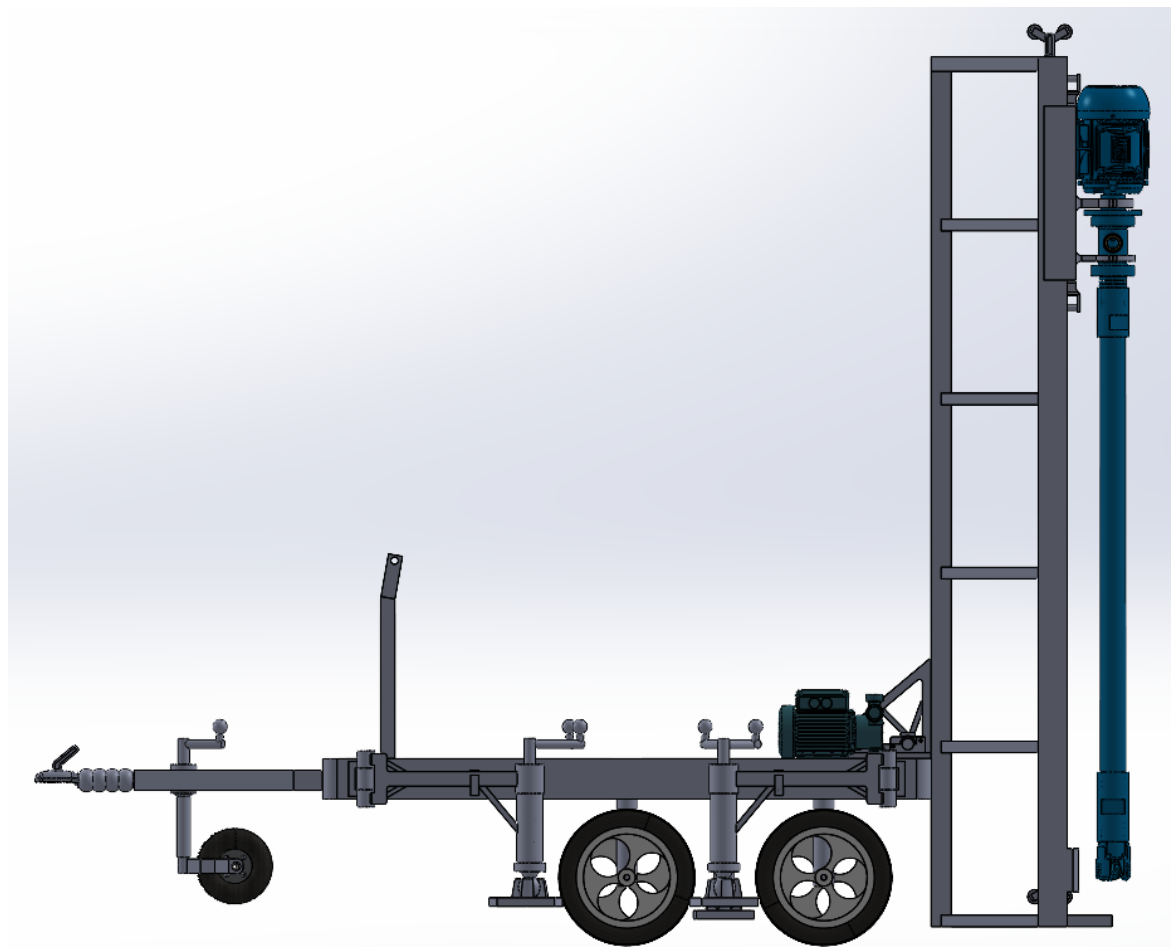


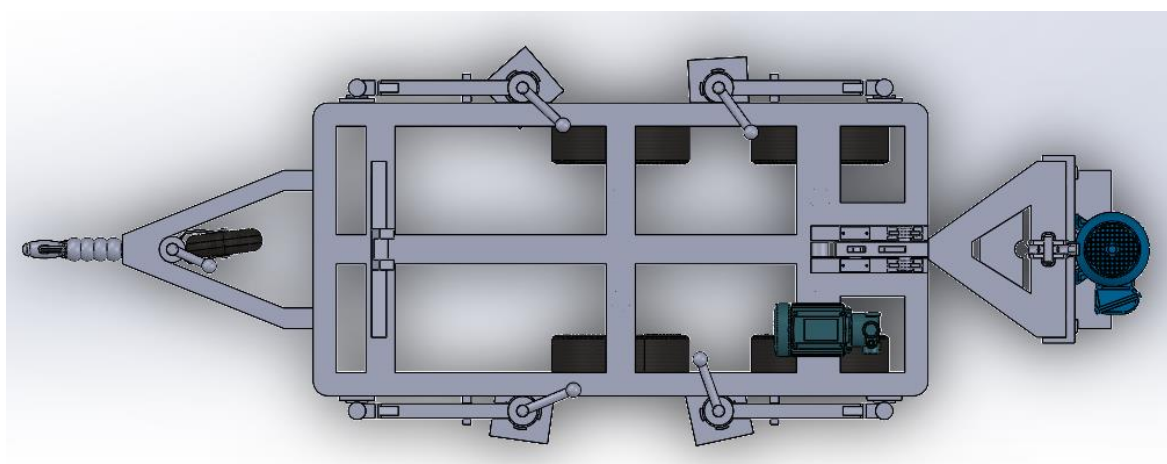
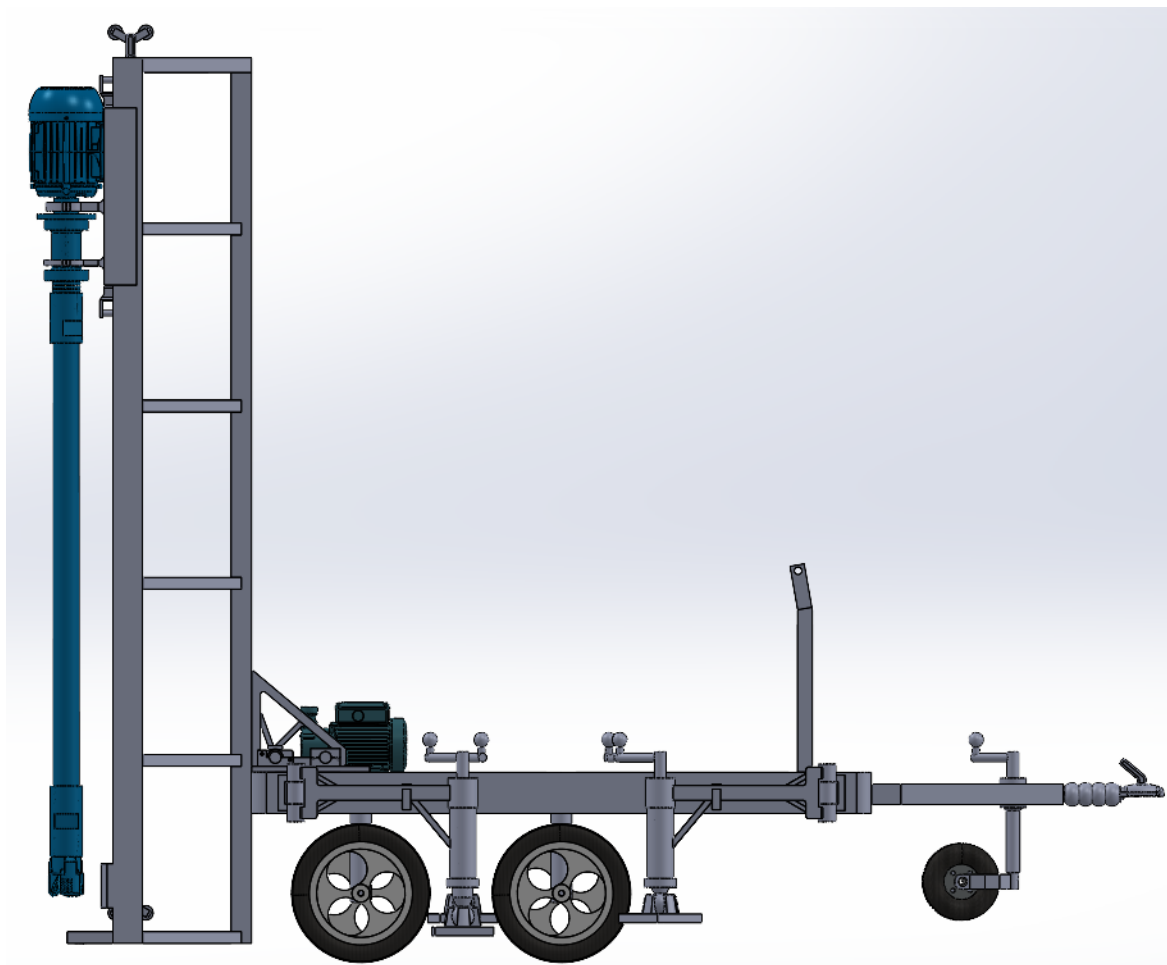
Annex C

C1. Imatges de la perforadora

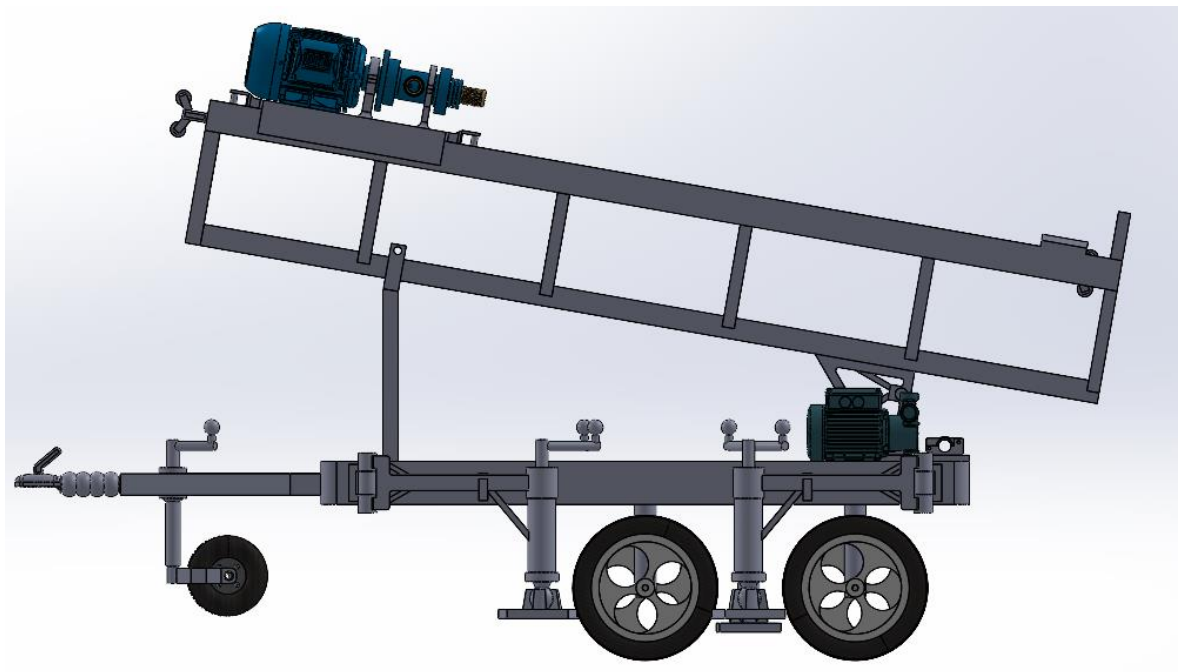
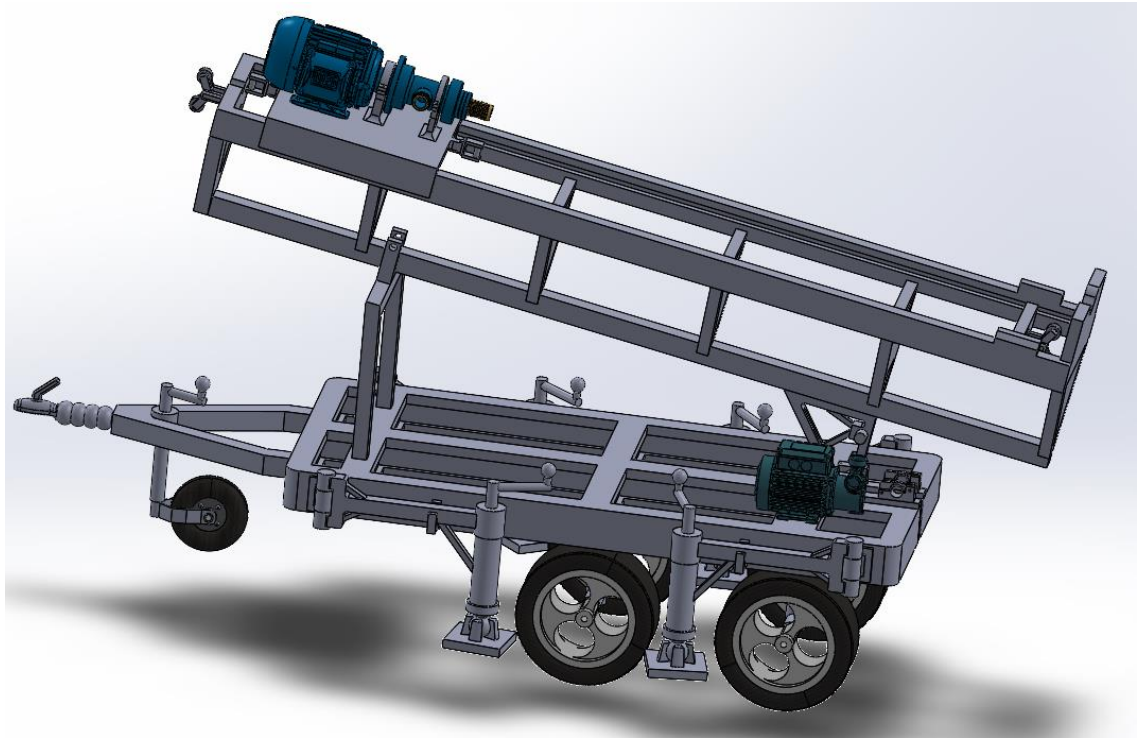


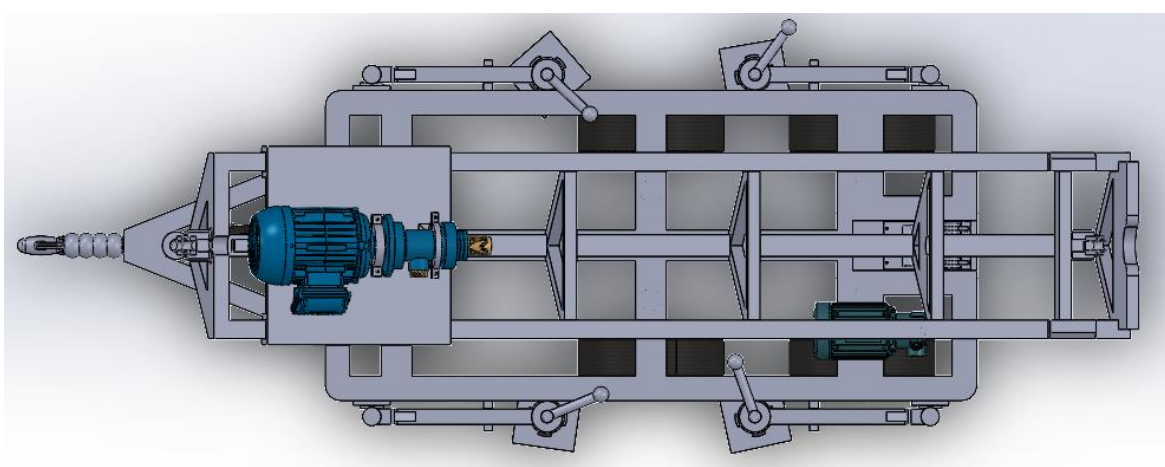
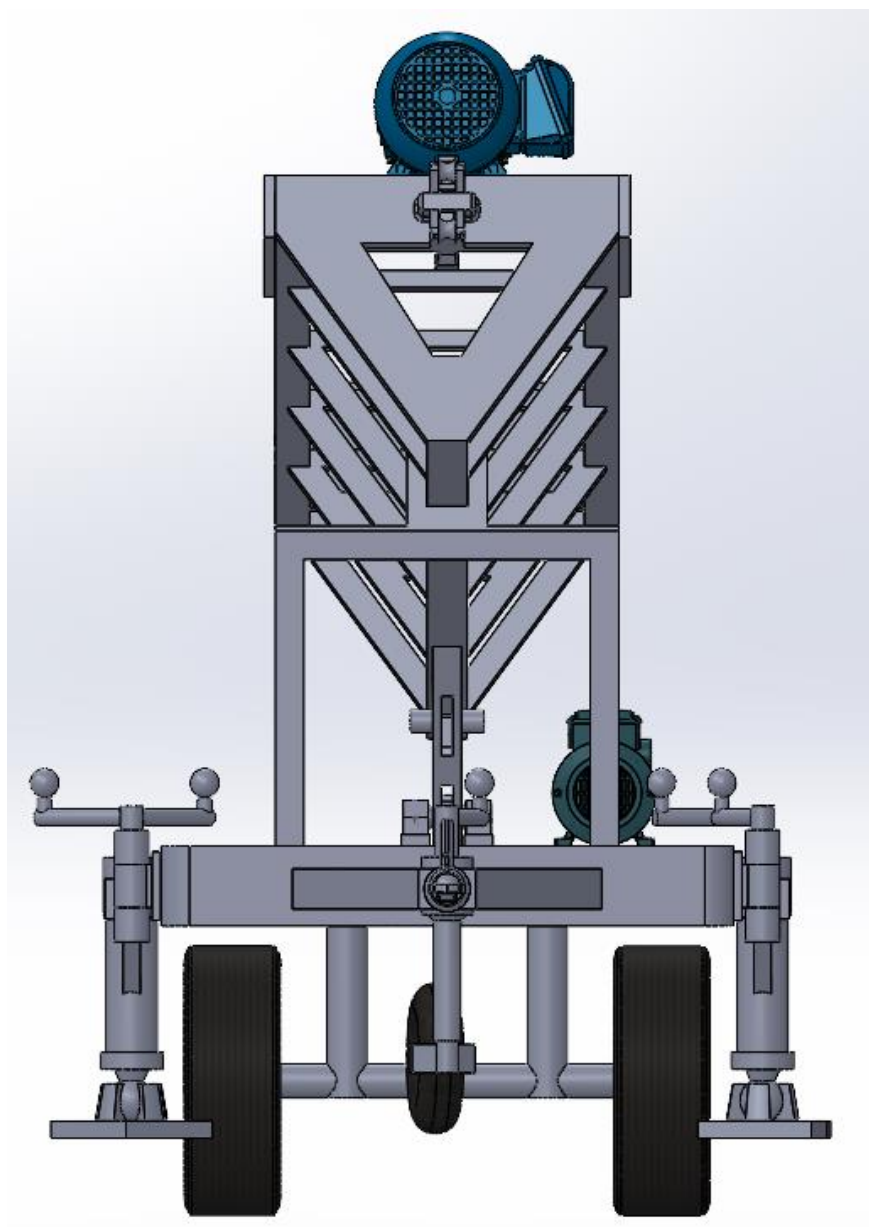






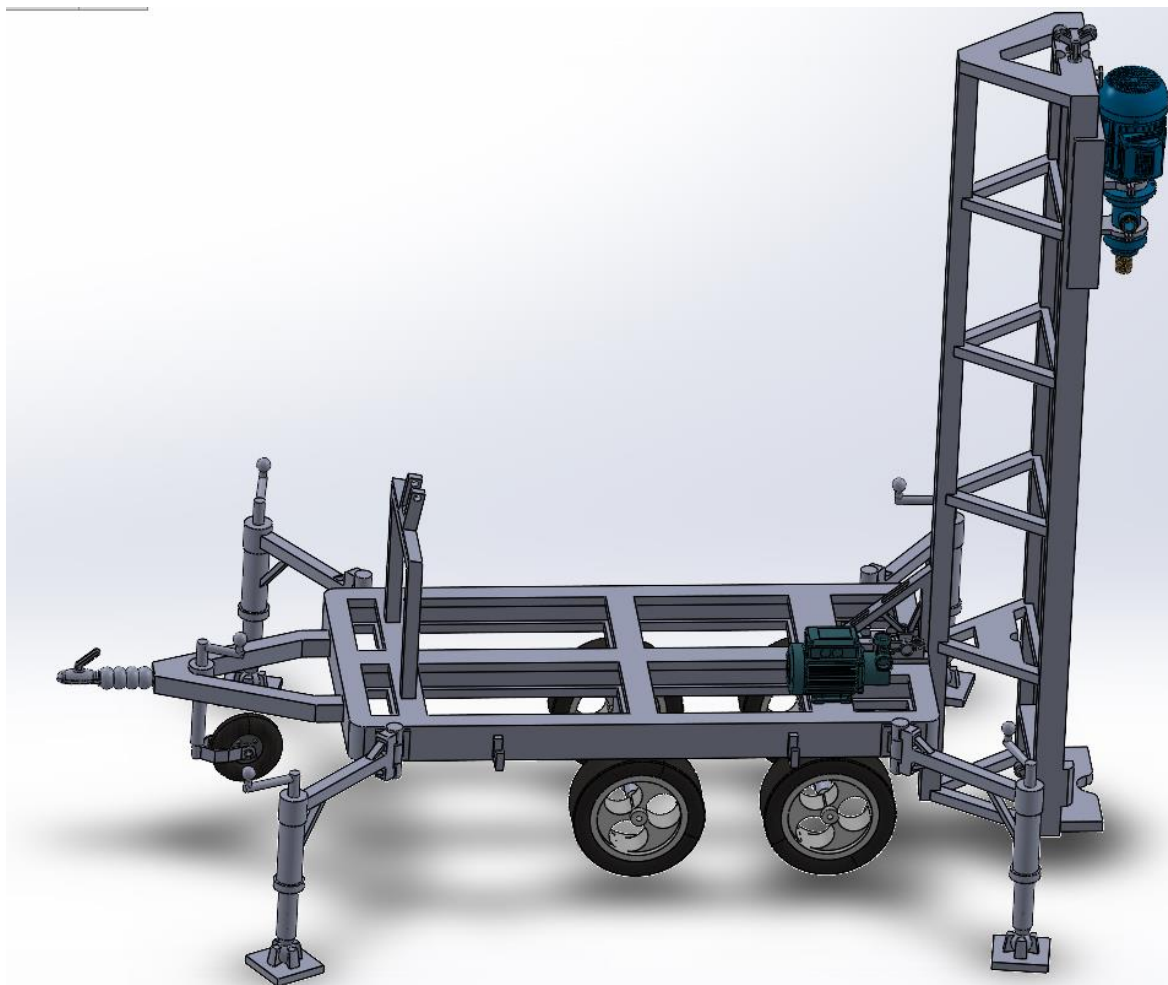
C2. Imatges de la perforadora en posició de transport

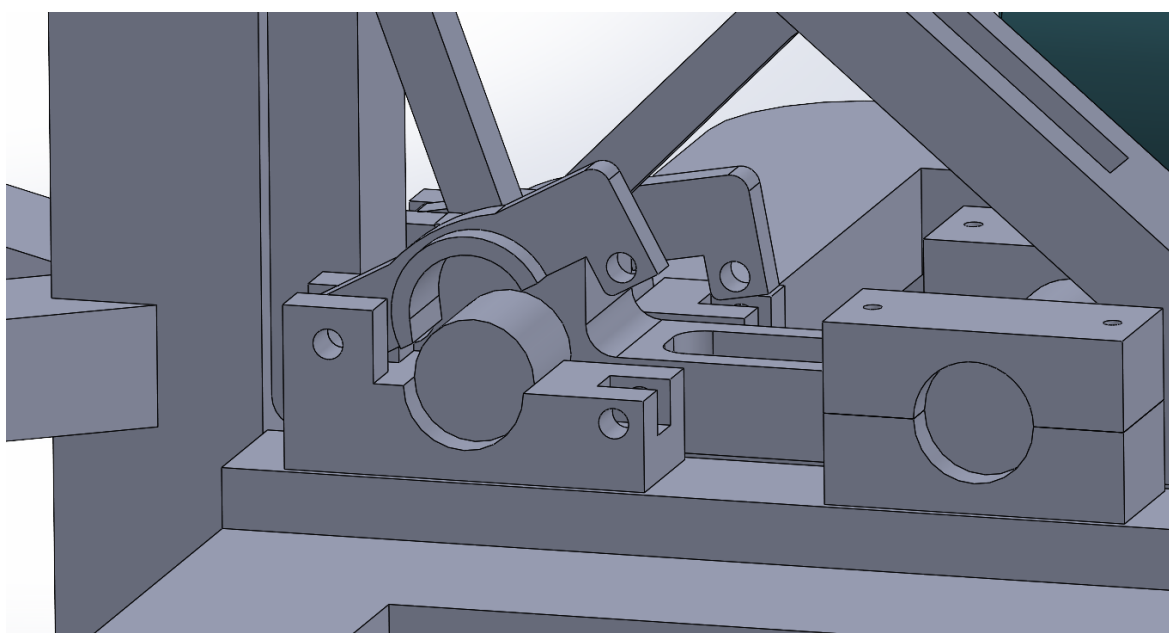


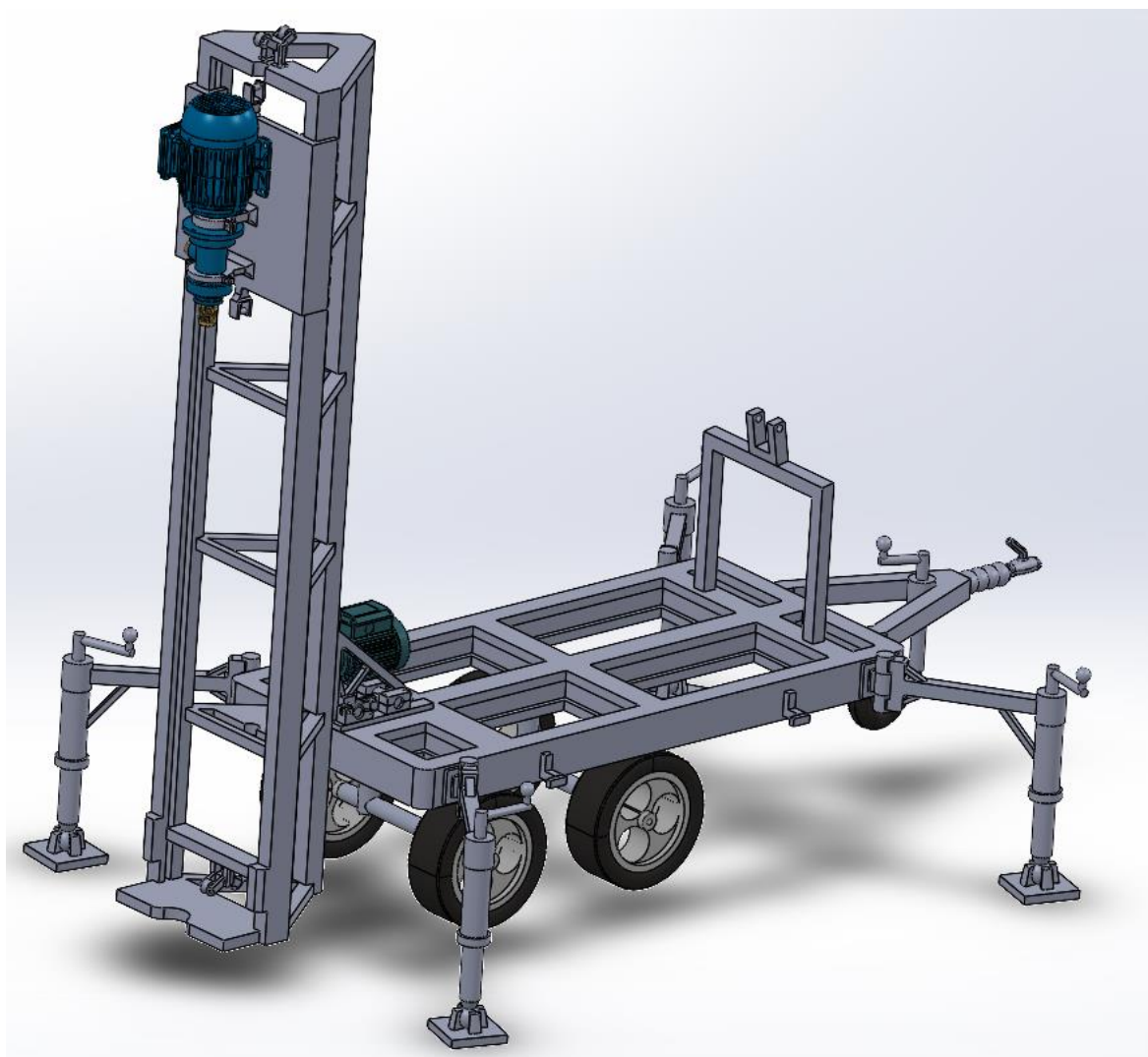


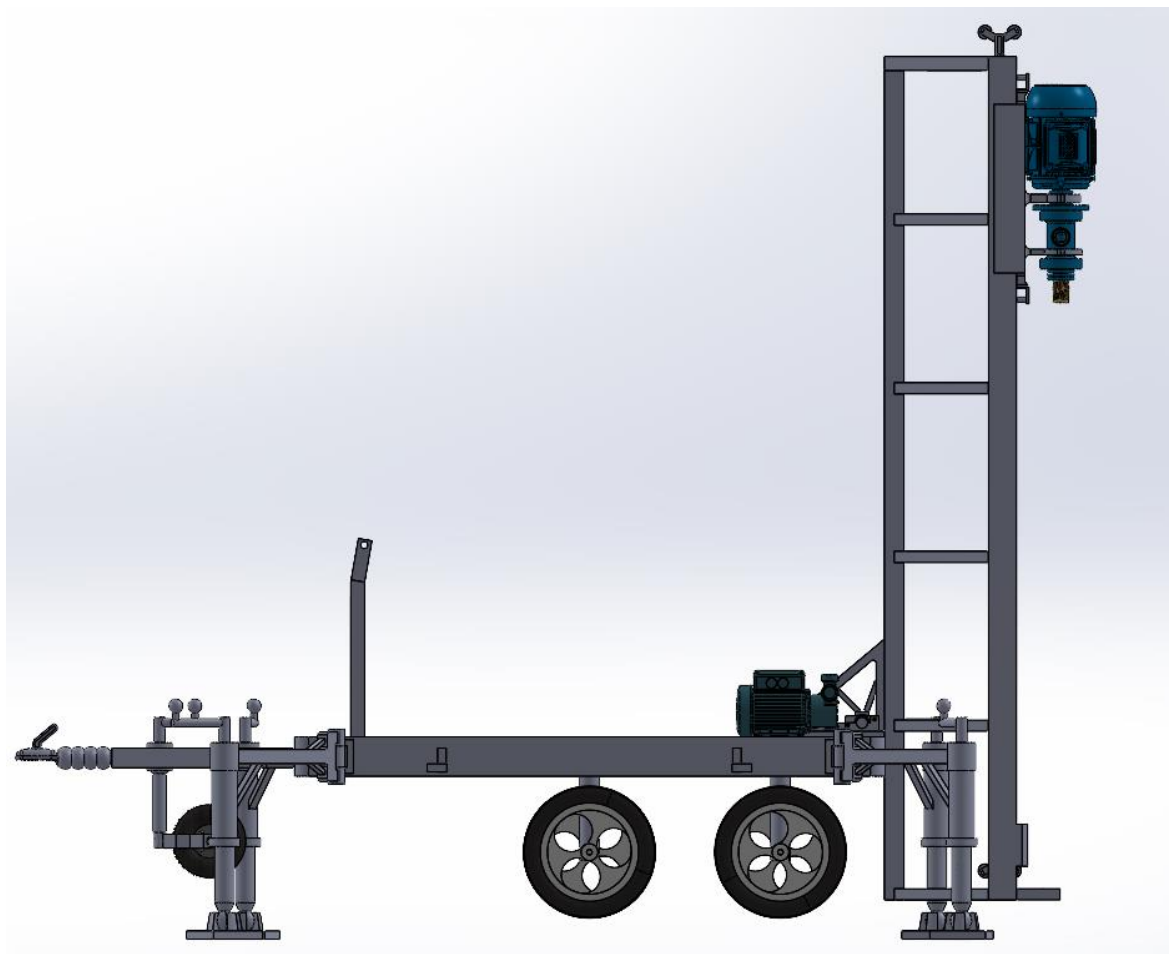
C3. Imatges de la perforadora assegurada

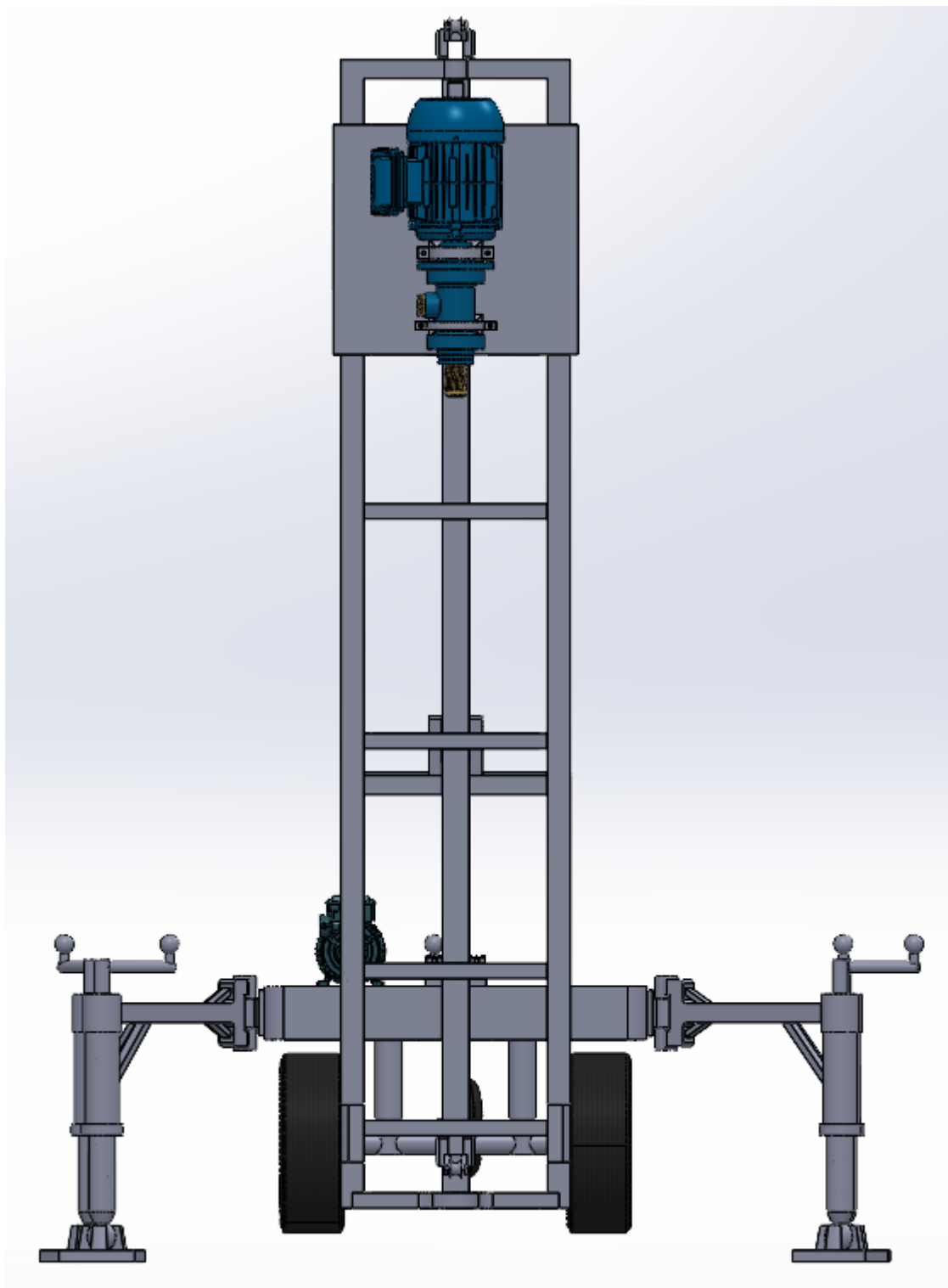






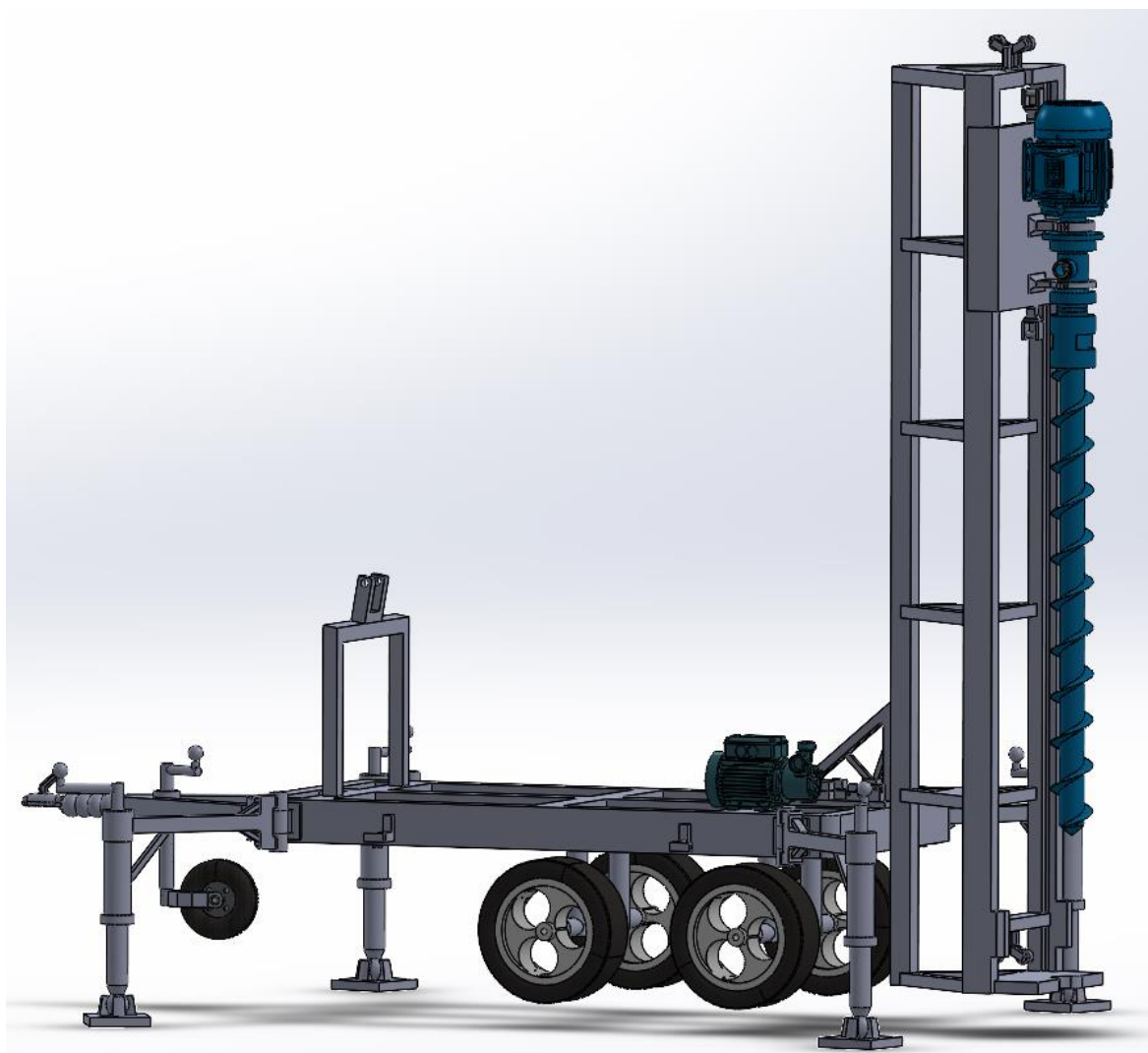


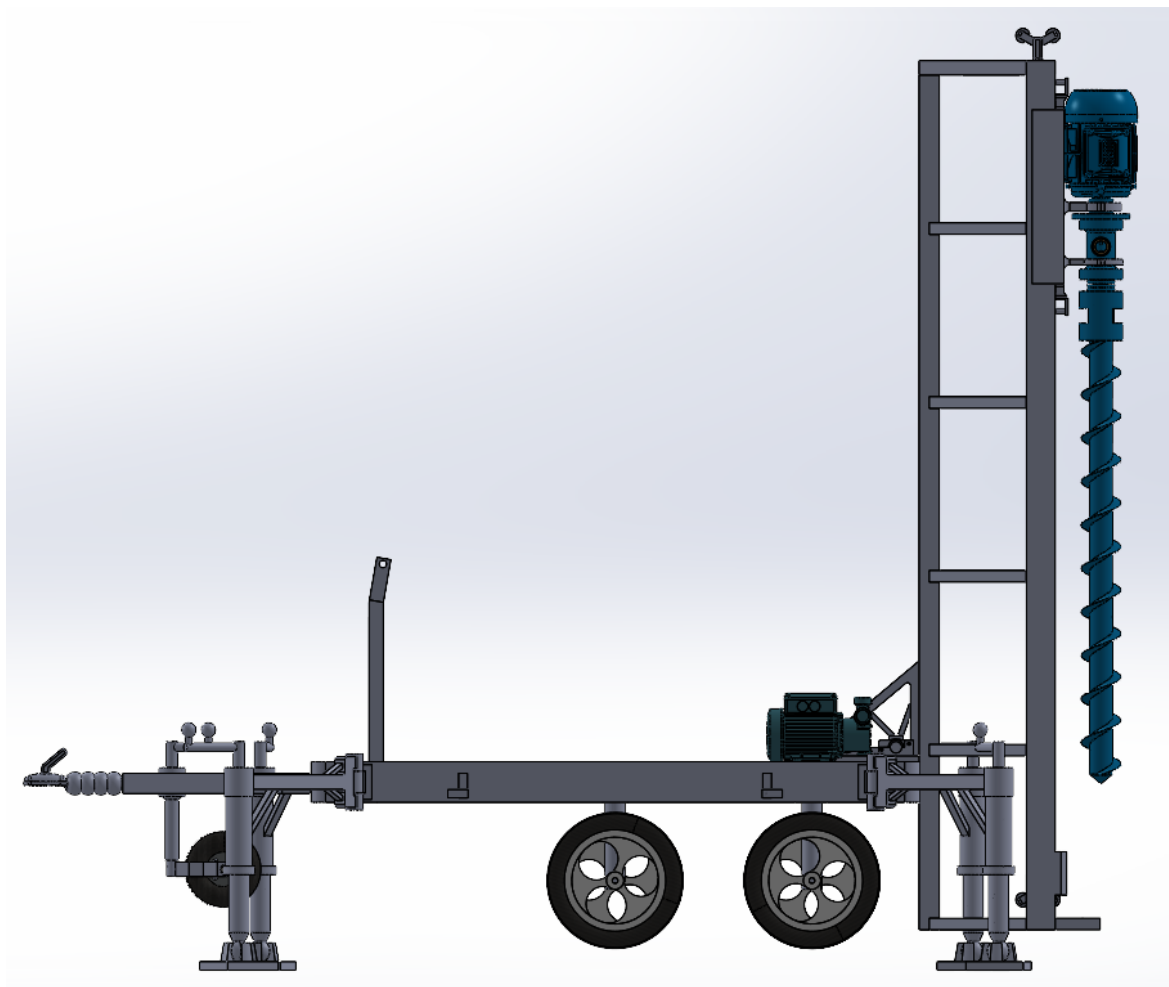


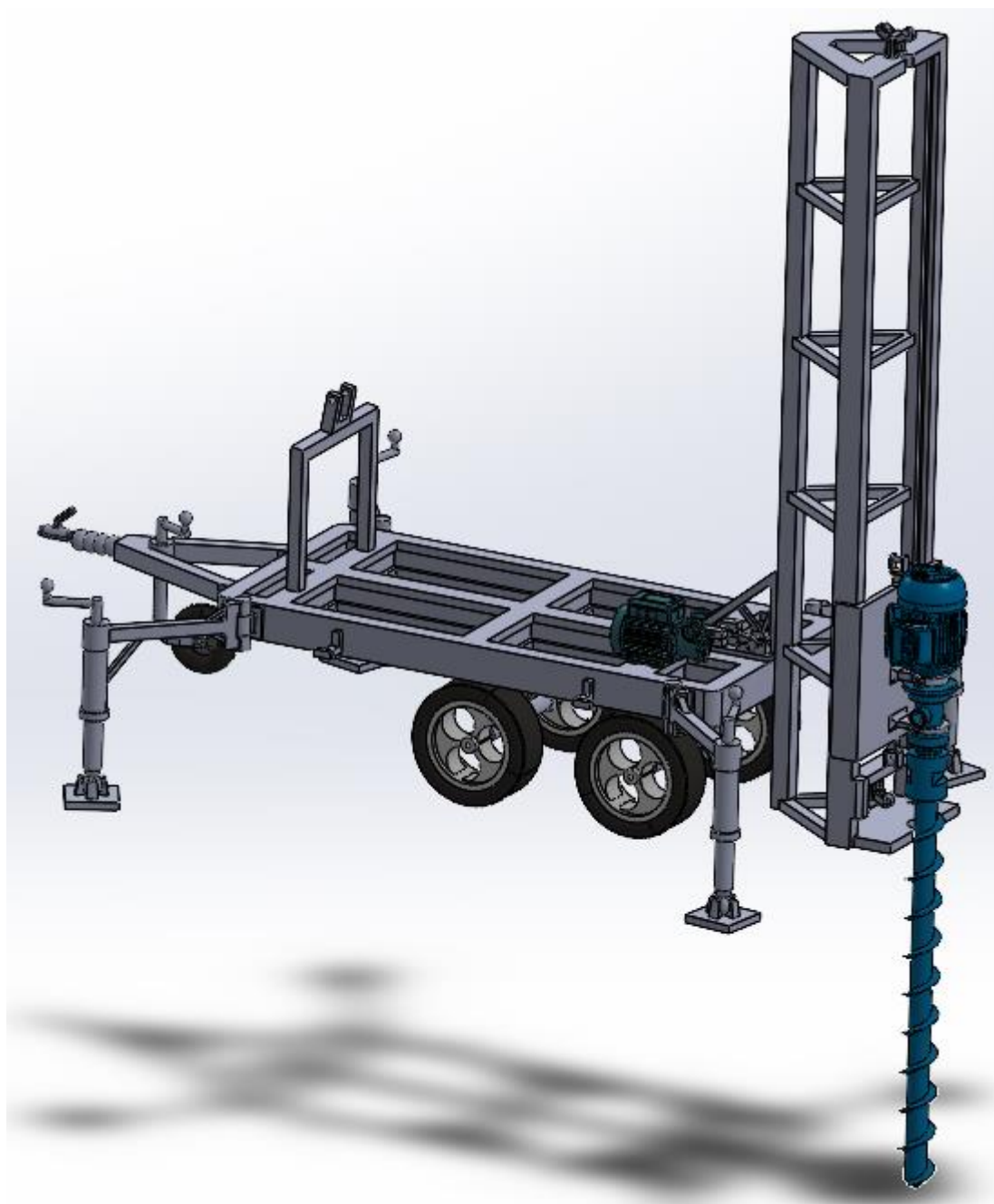


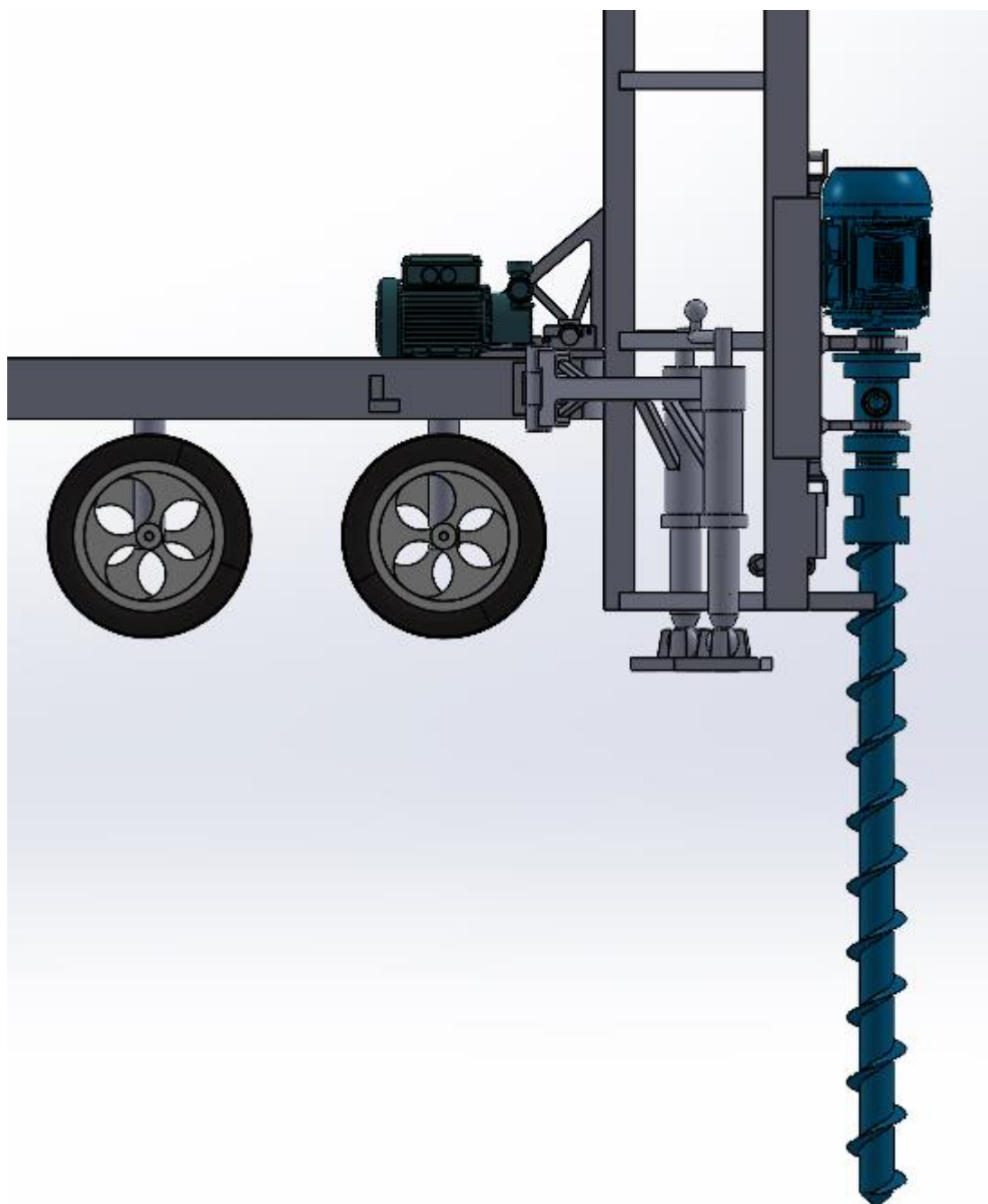


C4. Imatges de la perforadora amb la broca inicial









C5. Imatges de la perforadora en funcionament

