

Marc Alsina Gavarró

**ANÀLISI DE TOPOLOGIES DE CONVERTIDORS AC/DC, PER ESTACIONS DE
CÀRREGA RÀPIDA DE VEHICLES ELÈCTRICS I SEGONS XARXA
D'ALIMENTACIÓ EN BT O MT**

TREBALL DE FI DE GRAU

dirigit per José Antonio Barrado Rodrigo i Francisco González Molina

Grau d'Enginyeria Elèctrica



UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI

Tarragona

2021

ÍNDIX GENERAL

1. MEMÒRIA.....	7
1.1. INTRODUCCIÓ	10
1.2. JUSTIFICACIÓ DEL TREBALL	11
1.3. OBJECTIUS	11
1.4. METODOLOGIA EMPRADA	11
1.5. ANTECEDENTS I SITUACIÓ ACTUAL.....	12
1.5.1. Mobilitat Elèctrica	12
1.5.1.1. Avantatges.....	12
1.5.1.2. Inconvenients	13
1.5.2. Medi Ambient.....	13
1.5.2.1. Acord de París	14
1.5.3. Bateries	14
1.5.4. Xarxa elèctrica actual	16
1.5.4.1. Vehicle-to-grid (V2G).....	17
1.5.5. Smart Grids.....	18
1.5.5.1. Avantatges.....	19
1.5.5.2. Inconvenients	19
1.6. ESTACIONS DE CÀRREGA RÀPIDA	20
1.6.1. State-of-the-art.....	20
1.6.2. Carregadors.....	21
1.6.2.1. CHAdeMo	22
1.6.2.2. GB/T.....	23
1.6.2.3. CCS Type 1	23
1.6.2.4. CCS Type 2	24
1.6.2.5. Tesla	24
1.7. ANÀLISI DE LES OPCIONS	25
1.7.1. Opció 1	25
1.7.2. Opció 2	27
1.7.3. Opció 3	28
1.8. LA INSTAL·LACIÓ	31
1.8.1. Descripció.....	31
1.8.2. Ubicació.....	31
1.9. CONVERTIDORS AC/DC	32

1.9.1.	Rectificador Vienna.....	32
1.9.2.	Rectificador PWM trifàsic.....	35
1.9.3.	Rectificador trifàsic MMC-SST	39
1.9.3.1.	Conversió AC/DC	39
1.9.3.2.	Conversió DC/DC	44
1.10.	DESCRIPCIÓ DELS EQUIPS	45
1.10.1.	Centre de Transformació	45
1.10.2.	Transformador	45
1.10.3.	Cel·les	46
1.11.	CONCLUSIONS.....	47
1.12.	NORMES I REFERÈNCIES	49
1.12.1.	Normativa i legislació vigent.....	49
1.12.2.	Referències.....	50
1.12.3.	Webgrafia.....	50
1.12.4.	Programes utilitzats.....	51
2.	ANNEX DE CÀLCUL.....	52
2.1.	PREVISIÓ DE CÀRREGA	54
2.2.	CENTRE DE TRANSFORMACIÓ	54
2.2.1.	Intensitat nominal al circuit primari	54
2.2.2.	Intensitat nominal al circuit secundari.....	54
2.2.3.	Intensitat de curtcircuit al circuit primari	55
2.2.4.	Intensitat de curtcircuit al circuit secundari.....	55
2.2.5.	Proteccions d'Alta Tensió	56
2.2.6.	Proteccions de Baixa Tensió	56
2.2.7.	Posta a terra del CT	57
2.2.7.1.	Tensions de pas i contacte.....	57
2.2.7.2.	Resistència de posada a terra.....	58
2.2.7.3.	Tensió i corrent de defecte	59
2.2.7.4.	Posta a terra de protecció	61
2.2.7.5.	Posta a terra de servei.....	61
2.3.	ESCOMESA INTERIOR	61
2.3.1.	Intensitat nominal	61
2.3.2.	Secció mínima per caiguda de tensió màxima admissible	63
2.4.	CAIXA GENERAL DE PROTECCIÓ.....	63
2.5.	BUS DE CONTINUA	64

2.6.	POSTA A TERRA DE LA INSTAL·LACIÓ	64
3.	PLÀNOLS.....	65
3.1.	COMENTARIS	67
3.2.	SITUACIÓ.....	68
3.3.	EMPLAÇAMENT	69
3.4.	PUNTS DE CÀRREGA	70
3.5.	LÍNIA DE BT	71
3.6.	POSTA A TERRA DEL CT.....	72
3.7.	POSTA A TERRA DE LA INSTAL·LACIÓ	73
3.8.	ESQUEMA UNIFILAR	74
3.9.	CENTRE DE TRANSFORMACIÓ	75
3.9.1.	Planta	75
3.9.2.	Secció	76
3.9.3.	Façana.....	77
3.9.4.	Unifilar	78
3.10.	DETALL DE LA RASA	79

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Noves matriculacions de Vehicle Elèctric a Espanya.	12
Figura 2. Emissions globals de CO ₂ en mils de milions de tones per any.	13
Figura 3. Demanda de liti en GWh.....	15
Figura 4. Xarxa actual i Xarxa futura.	16
Figura 5. Esquema del V2G.	17
Figura 6. Esquema de les <i>Smart Grids</i>	18
Figura 7. Carregador d'1 mòdul amb convertidor DC/DC no aïllat.	20
Figura 8. Carregador d'1 mòdul amb convertidor DC/DC aïllat.	21
Figura 9. Connector del carregador CHAdeMo.	22
Figura 10. Connector del carregador GB/T.	23
Figura 11. Connector del carregador CCS Type 1.	23
Figura 12. Connector del carregador CCS Type 2.	24
Figura 13. Connector del carregador <i>Tesla</i>	24
Figura 14. Sistema connectat en alterna.	25
Figura 15. Estació Tesla Supercharger a Mountain View, Califòrnia.....	26
Figura 16. Estació Tesla Supercharger a La Boella, Tarragona.	26
Figura 17. Sistema connectat en continua.	27
Figura 18. SST d'una etapa.....	28
Figura 19. SST de 2 etapes amb LVDC.	28
Figura 20. SST de 2 etapes amb MVDC.	29
Figura 21. SST de 3 etapes.	29
Figura 22. Transformador d'estat sòlid de 3 etapes.	30
Figura 23. Estació de servei del Penedès.....	31
Figura 24. Rectificador Vienna.	32
Figura 25. Simulació de tensions i corrents.	33
Figura 26. Comparadors amb histèresis.	34
Figura 27. Simulació del comportament dels biestables.	34
Figura 28. Rectificador PWM trifàsic.	35
Figura 29. Simulació de tensió i corrent.....	36
Figura 30. Potència a la càrrega.	36
Figura 31. Commutació IGBT.....	37
Figura 32. Commutació IGBT en un cas de màxim.....	37
Figura 33. Commutació IGBT en un cas de mínim.	38
Figura 34. Senyals de modulació.....	38
Figura 35. Circuit rectificador AC/DC trifàsic MMC.....	39
Figura 36. Commutació dels IGBT del submòdul SM.....	40
Figura 37. Rectificador MMC-AC/DC monofàsic.....	41
Figura 38. Control dels transistors IGBT del rectificador MMC.	42
Figura 39. Senyals a comparar per obtenir la commutació dels IGBT.	42
Figura 40. Commutació dels IGBT.	43
Figura 41. Tensió i corrent de sortida.....	43
Figura 42. Circuit convertidor DC/DC amb HFT.	44

1. MEMÒRIA

ÍNDIX DE LA MEMÒRIA

1. MEMÒRIA.....	7
1.1. INTRODUCCIÓ	10
1.2. JUSTIFICACIÓ DEL TREBALL	11
1.3. OBJECTIUS	11
1.4. METODOLOGIA EMPRADA	11
1.5. ANTECEDENTS I SITUACIÓ ACTUAL.....	12
1.5.1. Mobilitat Elèctrica	12
1.5.1.1. Avantatges.....	12
1.5.1.2. Inconvenients	13
1.5.2. Medi Ambient.....	13
1.5.2.1. Acord de París	14
1.5.3. Bateries	14
1.5.4. Xarxa elèctrica actual	16
1.5.4.1. Vehicle-to-grid (V2G).....	17
1.5.5. Smart Grids.....	18
1.5.5.1. Avantatges.....	19
1.5.5.2. Inconvenients	19
1.6. ESTACIONS DE CÀRREGA RÀPIDA	20
1.6.1. State-of-the-art.....	20
1.6.2. Carregadors.....	21
1.6.2.1. CHAdeMo	22
1.6.2.2. GB/T.....	23
1.6.2.3. CCS Type 1	23
1.6.2.4. CCS Type 2	24
1.6.2.5. Tesla	24
1.7. ANÀLISI DE LES OPCIONS	25
1.7.1. Opció 1	25
1.7.2. Opció 2	27
1.7.3. Opció 3	28
1.8. LA INSTAL·LACIÓ	31
1.8.1. Descripció.....	31
1.8.2. Ubicació.....	31
1.9. CONVERTIDORS AC/DC	32
1.9.1. Rectificador Vienna.....	32

1.9.2.	Rectificador PWM trifàsic.....	35
1.9.3.	Rectificador trifàsic MMC-SST	39
1.9.3.1.	Conversió AC/DC	39
1.9.3.2.	Conversió DC/DC	44
1.10.	DESCRIPCIÓ DELS EQUIPS	45
1.10.1.	Centre de Transformació	45
1.10.2.	Transformador	45
1.10.3.	Cel·les	46
1.11.	CONCLUSIONS.....	47
1.12.	NORMES I REFERÈNCIES	49
1.12.1.	Normativa i legislació vigent.....	49
1.12.2.	Referències.....	50
1.12.3.	Webgrafia.....	50
1.12.4.	Programes utilitzats.....	51

1.1. INTRODUCCIÓ

Des de la invenció dels vehicles amb motor de combustió interna, el planeta s'ha vist afectat per diversos problemes de tipus mediambiental. La contaminació de l'aire, les emissions de CO₂ i l'efecte hivernacle no només perjudiquen el nostre ecosistema sinó que també posen fi a la vida de moltes persones al llarg dels anys.

En conseqüència d'aquests problemes, durant els últims anys s'ha intentat promoure una forma de vida compromesa amb el medi ambient. En aquesta manera de viure prèviament mencionada cal destacar-hi la mobilitat elèctrica, la qual és un model de transport sostenible que creix dia a dia.

A causa d'aquest creixement ha aparegut la necessitat d'una adequada infraestructura de càrrega de vehicles elèctrics. L'emergent tecnologia de càrrega ultraràpida disposa del potencial per produir una experiència similar a la de les gasolineres, en les quals el temps d'espera és molt reduït. Sobretot es pretén instaurar aquest tipus d'estacions de càrrega en zones on les travessies llargues són molt comunes.

A més, cal tenir en compte l'augment de demanda d'energia elèctrica que suposarà la mobilitat elèctrica. Per tant, és un fenomen que va lligat a la generació d'energia, la qual es precisa que sigui lliure d'emissions de CO₂.

Amb l'objectiu d'apostar per la mobilitat lliure d'emissions, cal adequar la xarxa elèctrica actual, ja que no està preparada per a un consum d'energia elevat com el que suposaria l'augment dels vehicles elèctrics.

1.2. JUSTIFICACIÓ DEL TREBALL

El present treball d'investigació pretén estudiar la viabilitat de les estacions de càrrega ràpida de vehicles elèctrics, ja que el temps de càrrega és un inconvenient que frena el creixement d'aquest tipus de vehicles.

Així doncs, el present projecte permetrà disposar d'informació per tal d'augmentar l'ús dels vehicles elèctrics i en conseqüència, reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle, el qual és de vital importància pel benestar del planeta.

1.3. OBJECTIUS

En aquest apartat es tractaran els diferents objectius del projecte:

- Analitzar la situació actual amb relació a la mobilitat elèctrica i la seva infraestructura.
- Realitzar estimacions de l'àmbit en el futur.
- Proposar i justificar solucions a la problemàtica actual.
- Analitzar diferents topologies de convertidors d'acord amb la càrrega ràpida de vehicles elèctrics.
- Dissenyar una línia per alimentar 4 punts de càrrega en una zona entre Tarragona i Barcelona.

1.4. METODOLOGIA EMPRADA

En aquest apartat es detallarà la metodologia utilitzada en la recerca del projecte, els procediments que s'han dut a terme i la finalitat dels mètodes emprats.

En primer lloc s'ha analitzat l'estat del vehicle elèctric a Espanya i les emissions de gasos d'efecte hivernacle.

S'han plantejat diferents opcions per a les estacions de càrrega ràpida de vehicles elèctrics, alimentades a mitja o a baixa tensió.

A més, s'han analitzat diverses topologies de convertidors AC/DC per tal de poder alimentar els carregadors de les estacions, tenint en compte la resposta del sistema, la complexitat del control, cost econòmic, etc.

Finalment, s'ha plantejat una opció d'estació de càrrega en una àrea de servei entre Tarragona i Barcelona.

1.5. ANTECEDENTS I SITUACIÓ ACTUAL

1.5.1. Mobilitat Elèctrica

Actualment, la mobilitat elèctrica és un model de transport sostenible considerat minoritari. Tanmateix, es troba en una fase de creixement exponencial.

Els fonaments d'aquest model de mobilitat recauen en el vehicle elèctric, el qual es considera la principal alternativa sostenible als vehicles de combustió interna.

En la següent il·lustració observem l'augment de noves matriculacions de vehicles elèctrics a l'estat espanyol:

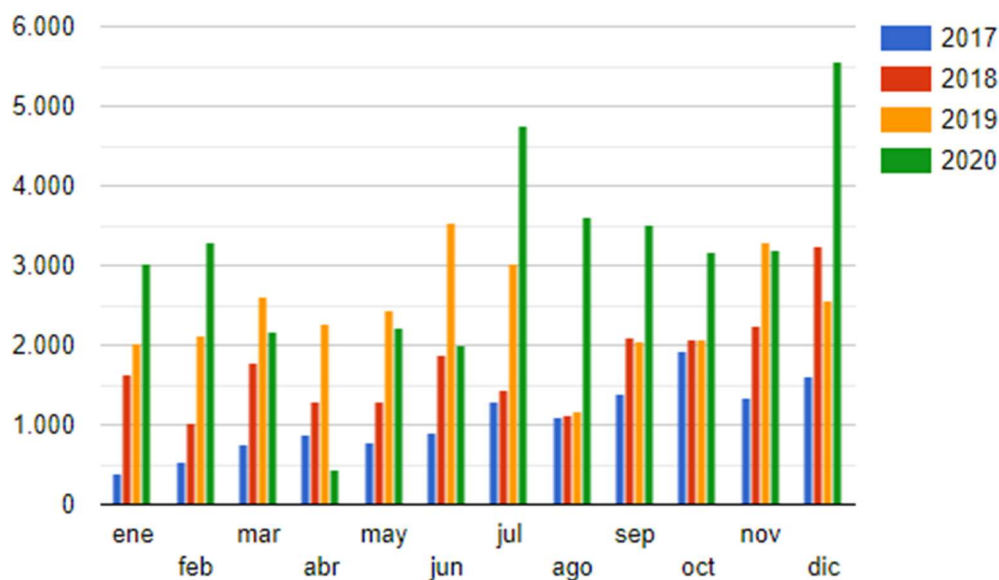


Figura 1. Noves matriculacions de Vehicle Elèctric a Espanya.

A simple vista es pot apreciar com la matriculació de vehicles elèctrics a l'estat espanyol ha anat augmentant amb el pas dels últims anys.

1.5.1.1. Avantatges

- Disminució de les emissions de CO₂ i contaminació acústica.
- Integració d'energies renovables.
- Manteniment dels vehicles i cost del combustible molt barat.
- L'eficiència energètica és del 90%, la qual és molt superior al 38% dels vehicles de combustió interna.
- Menys possibilitat d'averies mecàniques.

1.5.1.2. Inconvenients

- Els vehicles elèctrics són més cars que els cotxes amb motor de combustió convencionals.
- L'autonomia és limitada, tot i que cada vegada és major.
- La infraestructura de punts de recàrrega en espais públics és escassa.
- La demanda prevista d'energia elèctrica va en augment, per tant serà necessari invertir en generació d'energia.

1.5.2. Medi Ambient

Reduir les emissions en la indústria automobilística és un dels grans objectius en l'actualitat. Malgrat això, la velocitat prevista amb la qual es volen disminuir les emissions és molt elevada, de manera que cal incentivar l'ús del vehicle elèctric i la creació de noves infraestructures per a la càrrega.

En aquesta imatge es pot observar la tendència de creixement de les emissions de CO₂ de tot el món:

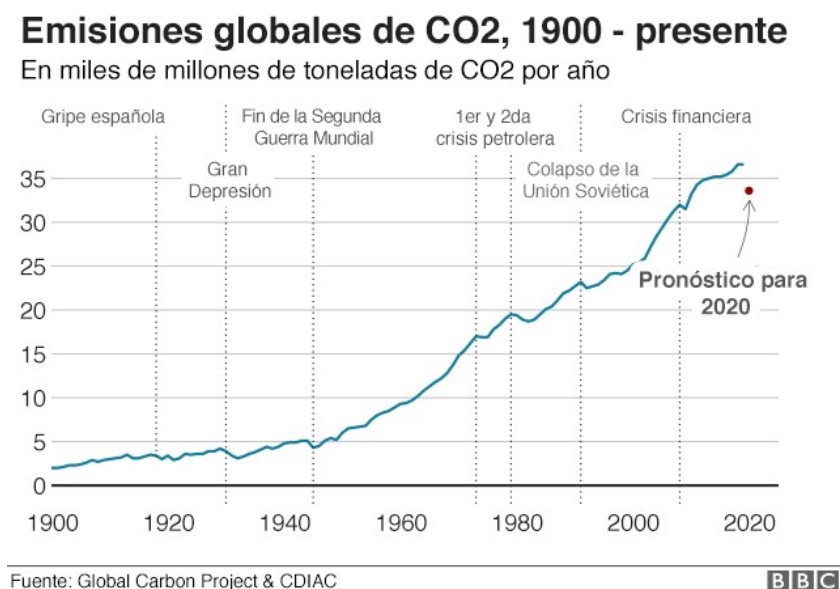


Figura 2. Emissions globals de CO₂ en mils de milions de tones per any.

El gràfic mostra les emissions totals de CO₂, no només les del sector de l'automoció. El transport representa un 30% de les emissions totals, del qual un 72% en fa referència al transport terrestre.

També cal tenir en compte que els actuals vehicles amb motor de combustió no només emeten CO₂, sinó que també emeten CO, òxids de nitrogen, etc. Per tant es reduirien altres tipus d'emissions perjudicials per als humans a més de les que perjudiquen l'atmosfera.

Per tal de corregir els augments d'emissions es va firmar l'*Acord de París*, el primer pacte mundial contra l'escalfament del planeta.

1.5.2.1. Acord de París

És un acord dins del Conveni Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic que estableix mesures per a la reducció de les emissions de gasos amb efecte hivernacle. Va ser adoptat l'any 2015 per 195 països.

Els seus objectius són:

- Mantenir l'augment de la temperatura mitjana global menys de 2 °C per sobre dels nivells preindustrials.
- Augmentar la capacitat d'adaptació als efectes adversos del canvi climàtic.
- Adaptar els fluxos financers per a fer-los compatibles amb un camí que porti cap a unes baixes emissions de gasos amb efecte hivernacle.

A més d'assumir objectius a llarg termini prèviament comentats, els països pretenen arribar a un pic d'emissions al més aviat possible, és a dir un màxim. A partir d'aquest moment s'intentarà arribar a un equilibri entre les emissions de gasos amb efecte hivernacle i l'absorció que en fan els boscos i l'agricultura.

1.5.3. Bateries

Des de l'inici dels sistemes elèctrics, aquests s'han caracteritzat per tenir un balanç instantani entre l'oferta i la demanda, o almenys aquest ha sigut el seu objectiu. Es produeix energia segons la qual es necessita, i es consumeix a l'instant.

En conseqüència, fa anys que es treballa intensament en el desenvolupament tecnològic en emmagatzematge d'electricitat. Es tracta d'un tema bastant complex ja que variarà en funció de l'aplicació. Es poden necessitar bateries des d'uns pocs kW fins a MW.

De fet, les bateries han sigut, molt probablement, una de les principals causes de la frenada en l'evolució del vehicle elèctric, donat que poden arribar a limitar molt la capacitat del cotxe. Tot i això, les vendes de vehicles elèctrics segueixen augmentant de manera exponencial amb el pas del temps, el qual presenta un altre problema: els materials de les bateries.

El principal material en l'elaboració de bateries és el liti. Molts experts parlen de la "Guerra del Liti" comparant-la amb la demanda de petroli de fa unes dècades.

En la següent figura es pot observar la demanda de liti dels últims anys i una projecció fins al 2030:

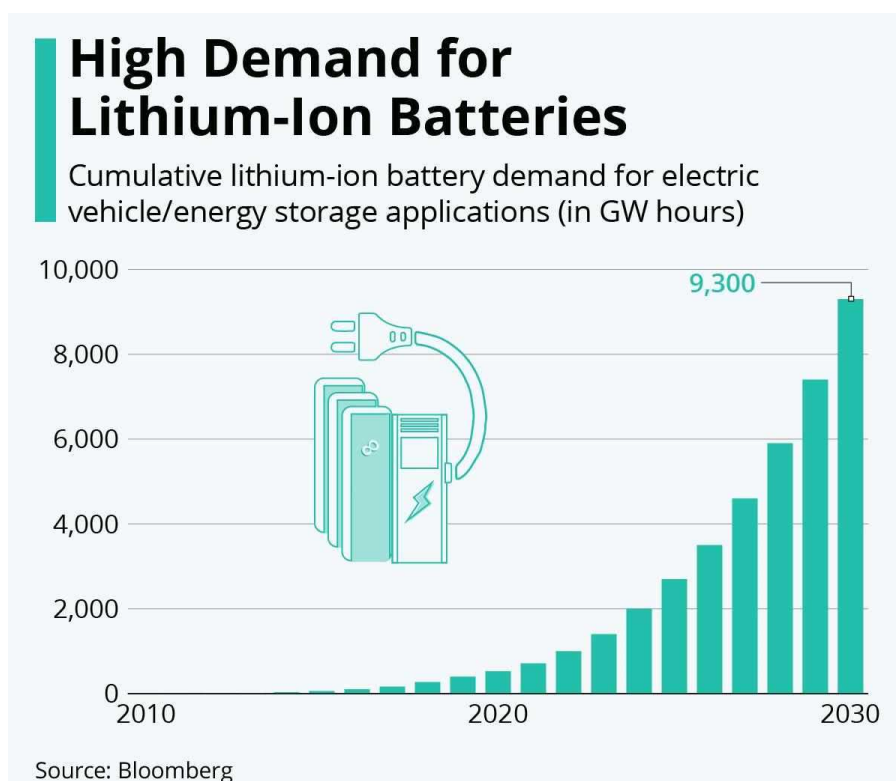


Figura 3. Demanda de liti en GWh.

Les bateries d'ió liti (Li-ion) són les més utilitzades, el principal motiu és que són les més avançades: un rendiment elevat, pesen poc en relació amb altres materials (a continuació es comentaran), una llarga vida útil, major densitat d'energia per centímetre cúbic i no presenten efecte memòria. L'efecte memòria permet un elevat nombre de cicles de càrrega.

Altres materials que s'utilitzen són:

- **Plom àcid:**
Són les que incorporen la major part dels vehicles amb motor tèrmic per arrancar. La tecnologia és antiga i el cost moderat. Són fiables i tenen una bona capacitat de càrrega i descàrrega. No obstant això, són molt voluminoses i pesades, a més que són lentes de carregar. Estan pràcticament en desús en els vehicles elèctrics actuals.
- **Níquel cadmi:**
Cada vegada s'usen menys. Tenen un cost elevat a causa dels seus elements i se solien utilitzar en aviació, gràcies al seu bon rendiment a temperatures baixes. Es van utilitzar en vehicles elèctrics en molt petita escala. Tenen efecte memòria, el que implica que la capacitat de la bateria disminueix amb cada recàrrega.
- **Níquel-hidrur metàl·lic:**
Són poc tòxiques i tenen un rendiment superior que la d'àcid de plom, però menor que la de ió liti. No són comunes en cotxes elèctrics però sí en cotxes híbrids. Com a curiositat, han estat molt populars durant anys per utilitzar-se en telèfons mòbils.

Actualment hi ha pocs vehicles que puguin oferir una gran autonomia, que ve limitada per les bateries. A més, els vehicles de més autonomia ronden els 600 km. Tanmateix, són vehicles cars, que costen al voltant dels 100000 €. Per tant si que existeixen vehicles elèctrics amb una autonomia similar a la dels cotxes amb motor de combustió. El principal inconvenient és el preu, ja que són molt difícils d'aconseguir per ciutadans de classe baixa o mitja.

La vida útil de les bateries és el que limitarà la del vehicle, i per ara oscil·la al voltant dels vuit anys.

1.5.4. Xarxa elèctrica actual

La xarxa elèctrica actual segueix el model dissenyat en els inicis, en els que no es tenien coneixements d'emmagatzematge d'energia ni d'electrònica de potència.

El sistema està pensat perquè sigui unidireccional. L'energia fluirà des de les centrals fins als consumidors, i el sistema no està preparat perquè s'injecti energia en grans quantitats a la xarxa.

Fins fa relativament pocs anys, l'ús de panells fotovoltaics estava únicament pensat per a autoconsum o per a sistemes aïllats de la xarxa. Aquest fet es deu que el fet d'injectar energia a la xarxa en grans quantitats podia provocar inestabilitats, ja que no estava dissenyat per a un sistema bidireccional.

Tot i això, aquest tema ha anat canviant en els últims anys. El canvi és lent i complicat, però tot apunta al fet que valdrà la pena. Cada vegada es creu més en el V2G (*Vehicle-to-grid*).

La següent figura resumeix de manera molt gràfica i entenedora la xarxa actual i el que es pretén aconseguir:

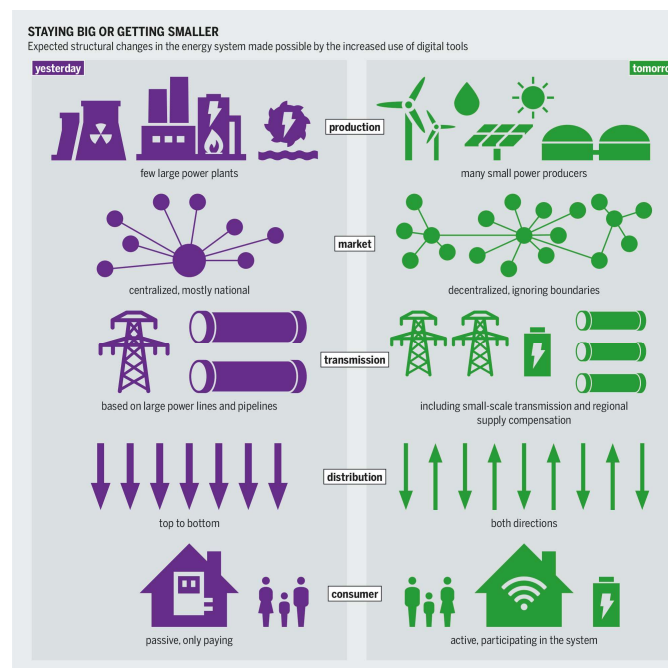


Figura 4. Xarxa actual i Xarxa futura.

1.5.4.1. *Vehicle-to-grid (V2G)*

El consum d'energia seguirà en augment a mesura que també guanyi popularitat el vehicle elèctric, provocant pics de demanda d'energia en moments determinats del dia. Per aconseguir i promoure aquest tipus de mobilitat, és fonamental replantejar la forma de producció de l'energia, enfocant-la en les energies renovables i mirant d'equilibrar la demanda i l'oferta en temps real.

Davant d'aquest repte, existeix una tecnologia que permet utilitzar el vehicle elèctric com a mitjà d'emmagatzematge d'electricitat, permeten que l'energia flueixi de manera bidireccional.

En un món on és necessari augmentar l'ús d'energies renovables per tal de reduir les emissions i combatre el canvi climàtic, es fa necessari comptar amb sistemes d'emmagatzematge d'energia per combatre el punt feble de les renovables: la variabilitat.

El conegut V2G és una tecnologia innovadora basada en la gestió de càrrega bidireccional, que bàsicament transforma els vehicles elèctrics en grans bateries mòbils.

Els vehicles extrauen energia de la xarxa per a carregar-se durant períodes de menor consum, i retornen l'energia quan la demanda és elevada, ajudant així a equilibrar l'oferta i la demanda. Proporcionen serveis que permeten flexibilitzar la xarxa i augmentar-ne l'estabilitat.

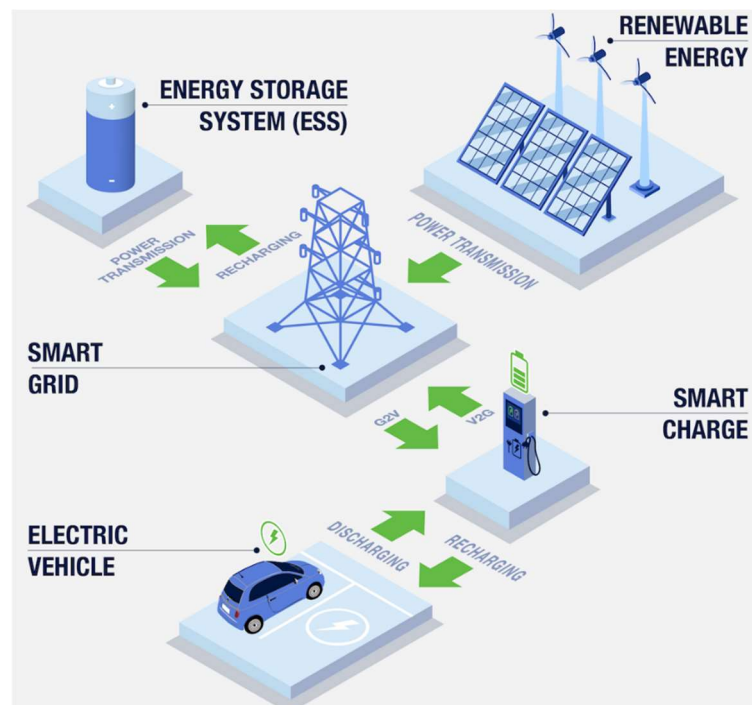


Figura 5. Esquema del V2G.

La tecnologia s'està desenvolupant de forma que eviti qualsevol inconvenient als usuaris. L'objectiu és que els usuaris deixin el vehicle connectat i indiquin quant de temps el volen deixar. D'aquesta manera serà el mateix sistema intel·ligent el que ajustarà els paràmetres

per rebre o entregar energia i que quan l'usuari vulgui tornar a la carretera el vehicle estigui carregat.

El V2G no només millorarà i tindrà beneficis en el rendiment i estabilitat de la xarxa, sinó que també crearà valor per als conductors, que podran amortitzar i optimitzar el cost dels seus vehicles, que com s'ha comentat és elevat.

És una iniciativa molt prometedora, ja que si som realistes, al llarg del dia els usuaris no passen tantes hores a la carretera. El 90% del dia el vehicle es troba estacionat, de manera que es podria contribuir a la xarxa gairebé tot el dia.

1.5.5. Smart Grids

El concepte de “*Smart Grid*” o xarxa elèctrica intel·ligent fa referència a un sistema integrat pels elements del sistema elèctric tradicional: generació, transmissió, distribució y comercialització de l'electricitat, a més d'un sistema de comunicacions.

L'objectiu d'una *Smart Grid* és aconseguir un subministrament elèctric més fiable, un servei de major qualitat, així com és eficient, segur i sostenible.

L'aportació d'intel·ligència a tota la xarxa elèctrica permet un intercanvi de dades entre les empreses generadores, els transportistes i distribuïdors d'electricitat, els proveïdors de nous serveis i els usuaris finals, i així integrar de forma eficaç les accions de tots els actors connectats. D'aquesta manera, les *Smart Grids* permeten nous serveis i funcionalitats en la xarxa intel·ligent d'electricitat, així com equilibrar millor l'oferta i la demanda entre productors i consumidors.

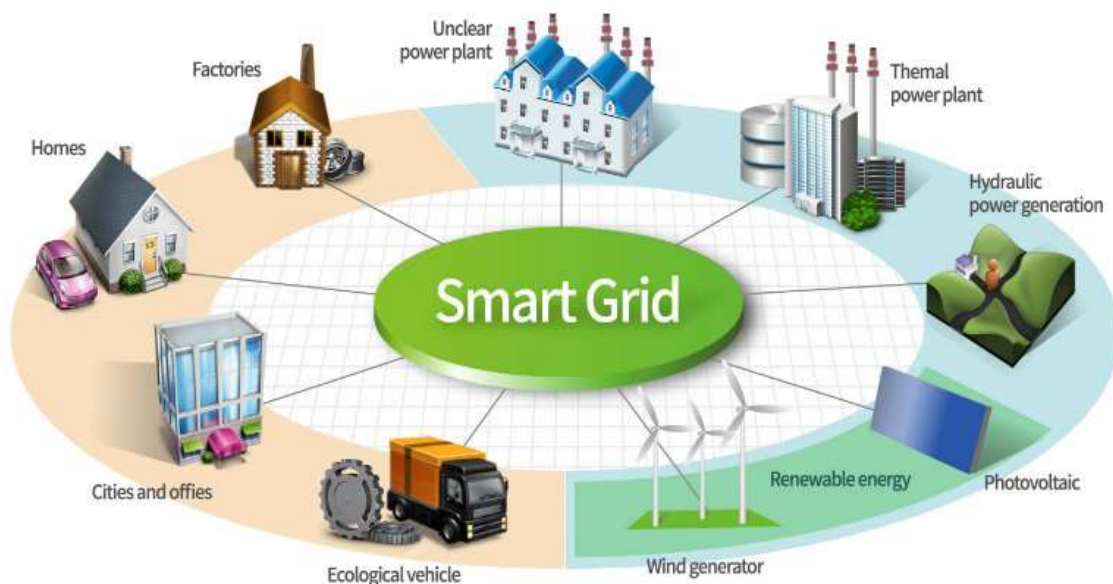


Figura 6. Esquema de les *Smart Grids*.

1.5.5.1. Avantatges

- Detectar i atendre problemes en el sistema des del seu inici abans que afectin el servei.
- Incorporar mesures, comunicacions ràpides, diagnòstics centralitzats avançats i controls que restableixin l'estat estable del sistema després d'interrupcions.
- Adaptar automàticament els sistemes de protecció a les noves topologies de la xarxa.
- Redirigir fluxos de potència, canviar patrons de càrrega, millorar perfils del voltatge.
- Proveir a l'operador sistemes avançats de visualització per millorar la seva capacitat de supervisar el sistema.
- Reducció de pics en la demanda i integració a gran escala de sistemes d'energies renovables.
- Beneficis econòmics com la creació de nous llocs de treball, optimització dels capitals d'inversió a causa de menors límits de disseny i a un ús molt més eficient de la xarxa, estalvi en impostos.
- Beneficis ambientals com la reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle i una major qualitat de l'aire en les zones urbanes.

1.5.5.2. Inconvenients

La implementació de les Smart Grids ve acompanyada d'un possible increment en la càrrega de línies de transmissió, de manera que els operadors dels sistemes elèctrics de potència es veuran forçats a treballar molt a prop dels límits d'estabilitat dels sistemes. De manera que caldrà treballar per mantenir els marges de seguretat.

Pel que fa a riscos cibernètics, cal ser conscients que tot dependrà dels sistemes de control basats en un ordinador. De manera que augmentarà la vulnerabilitat del sistema. Caldria assegurar uns mètodes d'criptació mínims per millorar la seguretat.

1.6. ESTACIONS DE CÀRREGA RÀPIDA

1.6.1. *State-of-the-art*

L'últim en tecnologia de carregadors ràpids converteix una tensió alterna trifàsica de fins a 480 V en una tensió contínua desitjada (en funció del tipus de carregador a utilitzar). Per fer-ho s'utilitzen 2 etapes convertidores de potència:

- Una etapa rectificadora d'alterna a contínua (AC/DC) amb correcció del factor de potència (PFC), que convertirà una tensió alterna trifàsica en una de contínua de nivell mitjà.
- Una etapa convertidora (DC/DC) d'aquesta tensió contínua intermèdia en la requerida per a carregar el vehicle elèctric.

Per corregir el factor de potència se sol connectar un condensador o bateria de condensadors en paral·lel a la càrrega, ja que es tracta d'un consumidor total d'energia reactiva. Així s'aconsegueix reduir l'angle de desfasament del corrent i s'augmenta la potència real.

L'aïllament galvànic entre la xarxa elèctrica i la bateria del vehicle elèctric es pot garantir mitjançant dos mètodes:

1. Utilitzar un transformador a freqüència de línia abans de l'etapa AC/DC per garantir l'aïllament de la xarxa. De manera que el convertidor DC/DC següent ja no estaria aïllat.

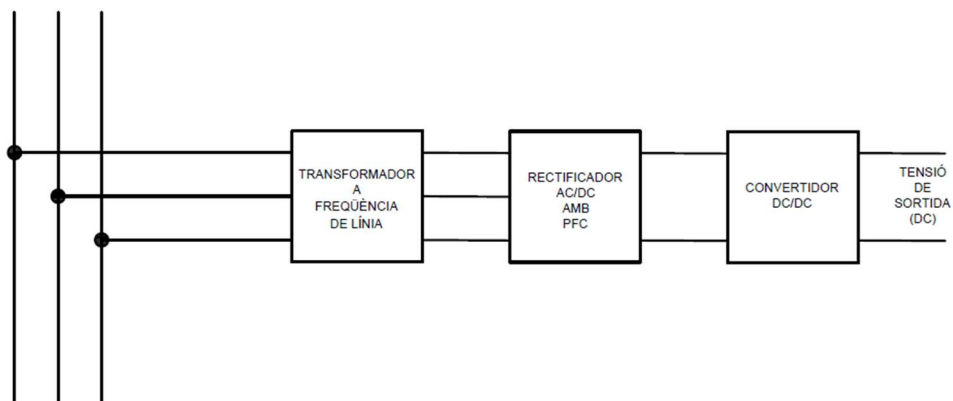


Figura 7. Carregador d'1 mòdul amb convertidor DC/DC no aïllat.

- Utilitzar un transformador d'alta freqüència dins un convertidor DC/DC aïllat. Primer de tot es converteix la tensió d'alterna a contínua i es corregeix el factor de potència. El transformador d'alta freqüència opera en AC, per tant caldria passar la tensió de DC a AC, col·locar el transformador, i convertir-la de nou d'AC a DC.

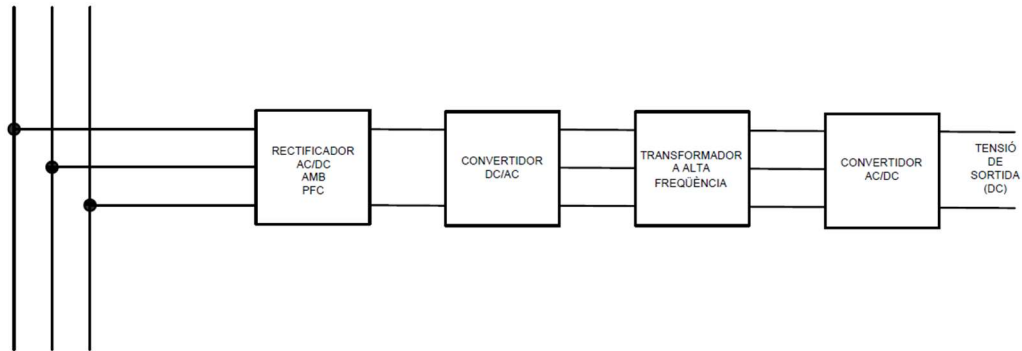


Figura 8. Carregador d'l mòdul amb convertidor DC/DC aïllat.

Si un sol convertidor no és suficient per aconseguir la potència requerida, que depèn del carregador, s'utilitzen més mòduls en paral·lel per augmentar la potència de sortida.

1.6.2. Carregadors

Amb la finalitat d'assegurar la compatibilitat, existeixen protocols estandarditzats i acobladors pels sistemes de càrrega ràpida.

Podem diferenciar 5 sistemes de càrrega ràpida de corrent continu estandarditzats. 4 d'ells vénen definits per la norma UNE-EN 62196-3, en la que es descriu 4 configuracions d'acoblament diferents per als carregadors. El 5è pertany a l'empresa *Tesla* i el seu ús és exclusiu per a vehicles de la seva marca.

En aquesta taula es pot veure una comparativa dels principals connectors:

Taula 1. Sistemes de càrrega ràpida estandarditzats.

Empresa	UNE-EN 62196-3	Configuració	Potència (kW)
CHAdMo	Sí	AA	400
GB/T	Sí	BB	120
CCS Type 1	Sí	EE	150
CCS Type 2	Sí	FF	175
Tesla	No	-	135

La potència lliurada al vehicle elèctric, dependrà doncs, de les bateries de cada cotxe i de la potència del carregador, a més a més del cable que uneix el carregador amb el vehicle.

A continuació es comenten les característiques de cadascun.

1.6.2.1. CHAdeMo

CHAdeMo és un acrònim de “Charge de move” que significa “càrrega per moure’s”. És una associació formada per *The Tokyo Electric Power Company*, *Nissan*, *Mitsubishi*, *Fuji Heavy Industries* i *Toyota*.

És compatible amb una àmplia quantitat de vehicles elèctrics com per exemple *Citroën*, *Fiat*, *Nissan*, *Toyota* i *Tesla* (amb adaptador necessari).



Figura 9. Connector del carregador CHAdeMo.

Els productes certificats de *CHAdeMo* s’ajusten a l’estàndard IEC 61851-23 per al sistema de càrrega, IEC 61851-24 per a la comunicació i IEC 62196-3 per al connector (configuració AA).

L’estàndard *CHAdeMo* suporta la potència més elevada de tots els estàndards diferents.

1.6.2.2. GB/T

Els estàndards *GB* són els estàndards nacionals de la Xina, els quals també s'anomenen *Guobiao Standards*. Es poden dividir en obligatoris i recomanats, de fet *GB/T* pertany als recomanats.

Correspon a la configuració BB i només es troba disponible a la Xina.

També s'ajusta a l'estàndard IEC 62196-3.



Figura 10. Connector del carregador GB/T.

1.6.2.3. CCS Type 1

CCS són les inicials de *Combined Charging System* i és un estàndard per carregar vehicles elèctrics.

El tipus 1 correspon a la configuració EE i s'utilitza a Nord Amèrica.



Figura 11. Connector del carregador CCS Type 1.

Sol utilitzar-se en punts de càrrega domèstics. Per a punts de càrrega en llocs públics com pàrquings, àrees de servei o supermercats normalment s'utilitza l'estàndard de tipus 2.

1.6.2.4. CCS Type 2

Aquest tipus de CCS s'utilitza majoritàriament a Europa i a Austràlia. S'acostumen a anomenar connectors *Mennekes*.

Correspon a la configuració FF i és la recomanada per la Unió Europea.



Figura 12. Connector del carregador CCS Type 2.

1.6.2.5. Tesla

El sistema desenvolupat per *Tesla Inc* i només funciona exclusivament en vehicles de l'empresa *Tesla*.

No pertany a cap configuració estandarditzada. Si es disposa d'un vehicle *Tesla* es pot utilitzar aquest tipus de sistema o bé utilitzar el *CHAdemo* amb un adaptador (permet poder carregar en més llocs a causa del fet que és més comú).



Figura 13. Connector del carregador Tesla.

1.7. ANÀLISI DE LES OPCIONS

La xarxa de distribució entre els diferents carregadors, les fonts d'energia renovable i l'emmagatzematge d'energia pot ser n'alterna o en contínua.

A continuació es comentaran aquestes opcions. Es compararan entre elles quant a operació, cost, manteniment, dimensions, eficiència, pes, etc.

Posteriorment es contemplarà l'opció d'un sistema connectat directament a la xarxa de MT, mitjançant un transformador d'estat sòlid (SST).

1.7.1. Opció 1

En aquesta opció es tractarà de les estacions de càrrega ràpida connectades n'alterna.

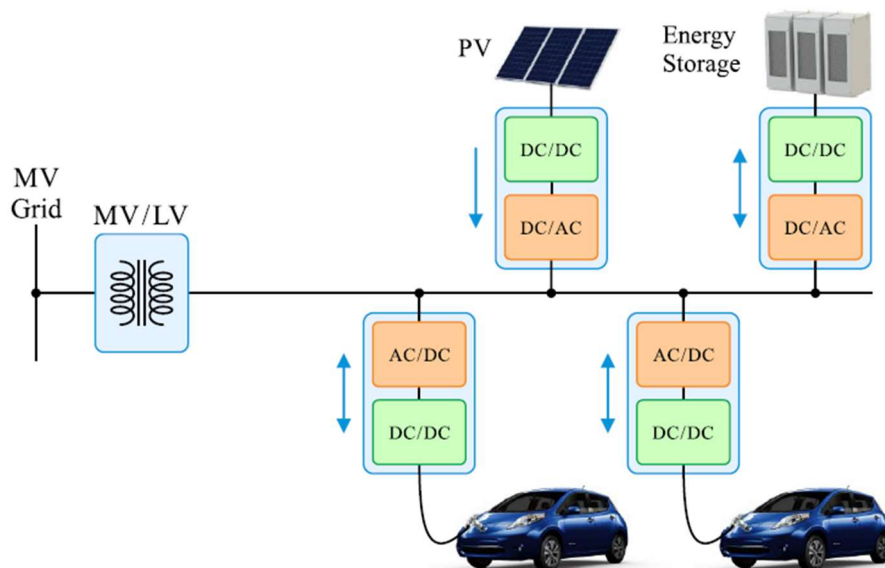


Figura 14. Sistema connectat en alterna.

S'utilitza un transformador MT/BT d'enllaç entre la xarxa elèctrica de MT i el bus d'alterna, el qual opera a 400 V. Aquest bus AC alimenta cada punt de càrrega de l'estació, de manera que cada punt necessitarà la seva conversió AC/DC.

El fet que es necessiti 2 convertidors per unir cada punt de càrrega o sistema d'emmagatzematge amb el bus d'alterna, fa que el nombre de convertidors a utilitzar augmenti significativament. Això implica un augment del cost i de la complexitat del sistema, de la mateixa manera que també en disminueix l'eficiència.

La majoria d'estacions de servei amb tecnologia de càrrega ràpida de vehicles elèctrics utilitzen la connexió n'alterna. Per exemple, una estació de *Tesla Supercharger* a Califòrnia amb 12 punts de càrrega, o a La Boella (Tarragona) on hi ha 2 punts de càrrega.



Figura 15. Estació Tesla Supercharger a Mountain View, Califòrnia.



Figura 16. Estació Tesla Supercharger a La Boella, Tarragona.

1.7.2. Opció 2

En aquesta opció, a diferència de l'anterior, es tracten les estacions connectades per un bus de contínua.

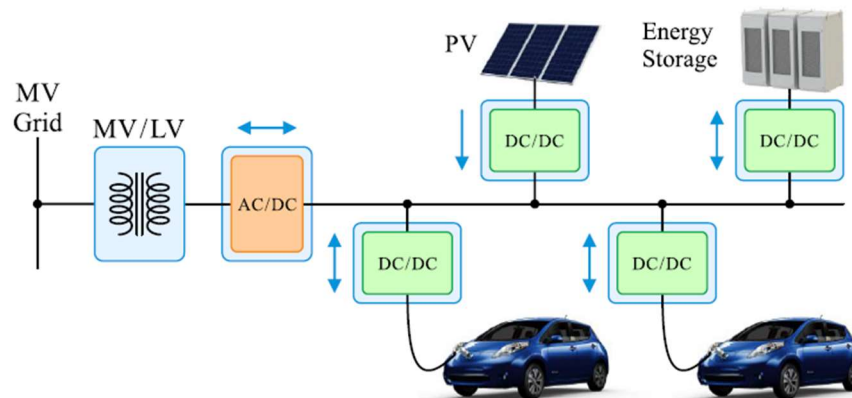


Figura 17. Sistema connectat en contínua.

A diferència de la topologia anterior, en els sistemes connectats en contínua, s'utilitza un convertidor AC/DC central per tal de crear el bus de contínua. Utilitzar tensió contínua en lloc d'alterna farà augmentar l'eficiència i disminuir-ne les pèrdues.

Igual que en el cas anterior s'utilitza un transformador a baixes freqüències, seguit d'una etapa rectificadora.

La tensió del bus de contínua sol trobar-se entre 600 i 1400 V, ja que en aquest valor de tensió, el sistema compleix els mateixos estàndards que el model en AC.

En aquest cas, s'elimina el convertidor AC/DC de cada carregador (ja que n'hi ha un de general), de manera que a cada carregador només n'hi haurà un DC/DC, per tal d'obtenir la tensió desitjada a cadascun.

Hi ha més avantatges dels sistemes DC respecte els AC, per exemple, l'absència d'energia reactiva al sistema en el bus de contínua, el qual facilita el control. A més, en tenir un únic rectificador general, es facilita l'aïllament del sistema respecte de la xarxa.

Un altre avantatge que ofereix és la possibilitat d'utilitzar convertidors de potència parcial per establir una comunicació entre el bus DC i el vehicle elèctric. Aquests convertidors de potència parcial només tracten una part de la potència lliurada al vehicle, d'aquesta manera es redueix el cost i augmenta l'eficiència. Fins que una part d'aquesta potència en aquests convertidors passa directament del bus al vehicle, aquests convertidors no poden garantir un aïllament galvànic entre els vehicles. Per tant, es requereix que cada circuit de sortida estigui aïllat de la resta en una estació de càrrega de vehicles elèctrics.

Malgrat els avantatges, els sistemes DC presenten dificultats com les proteccions o les mesures. Mentre que hi ha proteccions disponibles per BT com ara fusibles, disjuntors o

relés de protecció, no existeixen estàndards de protecció per a sistemes DC en estacions per a vehicles elèctrics. Per tant, el sistema de protecció és més complex, el qual ho és més si els convertidors són bidireccionals. En tenir una inèrcia limitada, són més sensibles, per tant el sistema es podria tornar inestable si es produïssin faltes excessivament altes. En conclusió, la velocitat al detectar faltes i l'aïllament són factors clau en els sistemes DC.

1.7.3. Opció 3

En aquesta opció es contemplarà el transformador d'estat sòlid com a alternativa a les 2 opcions anteriors.

Els transformadors d'estat sòlid (SST, "Solid-State Transformer") tindran un paper fonamental en el futur de la distribució elèctrica. No obstant això, més enllà de sistemes de transport, es poden utilitzar en la càrrega de vehicles elèctrics.

La idea inicial d'aquest transformador era realitzar una conversió AC/AC, similar a la conversió utilitzada per a la distribució d'energia elèctrica, amb transformadors a freqüència de línia. Va ser al 1970 quan W. McMurray va introduir per primera vegada el transformador d'alta freqüència vinculat al convertidor AC/AC, el qual és la base del transformador d'estat sòlid.

Existeixen diverses configuracions bàsiques del SST en funció de la seva aplicació, les quals es divideixen pel nombre d'etapes que les formen:

- 1) SST d'una sola etapa (sense unió de continua).

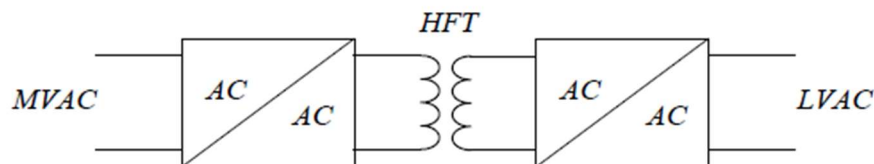


Figura 18. SST d'una etapa.

- 2) SST de 2 etapes (amb unió de continua al costat de baixa tensió).

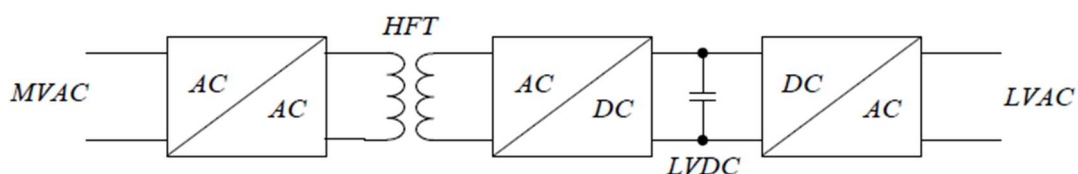


Figura 19. SST de 2 etapes amb LVDC.

3) SST de 2 etapes (amb unió de continua al costat de mitja tensió).

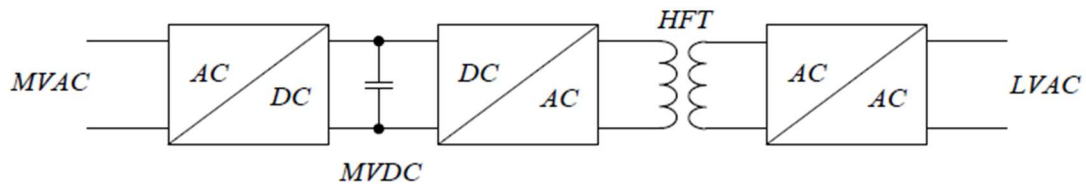


Figura 20. SST de 2 etapes amb MVDC.

4) SST de 3 etapes.

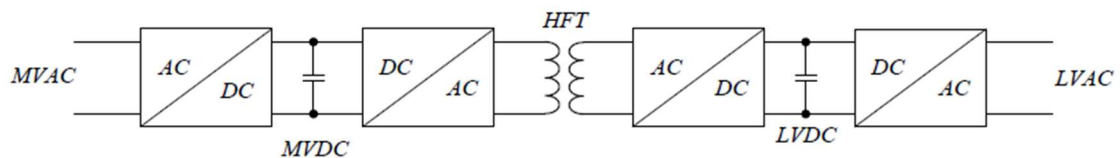


Figura 21. SST de 3 etapes.

El fet d'utilitzar una configuració o una altra dependrà de l'aplicació. Com major sigui el nombre d'etapes, menor serà la dificultat del control de cadascuna. A més, tenir unions de contínua ens permetrà disposar d'aquella tensió si escau.

El cas particular que es pretén utilitzar en la càrrega de vehicles elèctrics està format per un convertidor de corrent altern a continu (AC/DC), un etapa convertidora DC/DC mitjançant un transformador d'alta freqüència i un convertidor DC/AC per tal de tornar a tenir corrent altern a la sortida. A més, serà necessària una etapa de control per a poder fer commutar els diferents transistors de cada etapa convertidora.

Com que el SST anirà directament connectat a MT, l'etapa convertidora DC/DC haurà de ser necessàriament reductora, ja que la tensió a la sortida haurà de ser molt més petita.

Per a aquesta mateixa etapa reductora, en els SST es sol utilitzar un convertidor de pont dual actiu (DAB), ja que posseeix una estructura senzilla, una característica de voltatge zero en commutació (ZVS, "Zero Voltage Switching") i la capacitat de fluir potència de manera bidireccional.

Com que els vehicles elèctrics funcionen amb corrent continu ens estalviarem l'última etapa convertidora DC/AC. L'esquema és el següent:

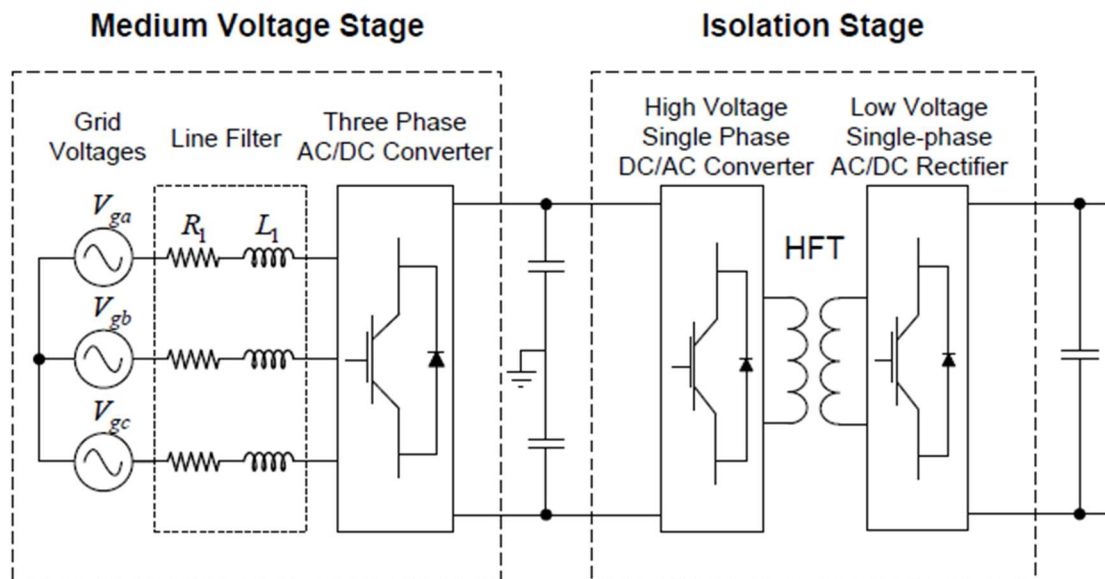


Figura 22. Transformador d'estat sòlid de 3 etapes.

A diferència dels clàssics convertidors AC/DC com els que s'analitzen en aquest document, en aquest cas la tensió d'entrada no és de 400 V trifàsics, es tracta d'una tensió entre 20 i 30 kV. Per tant no es poden utilitzar transistors IGBT com es faria en convertidors a baixa tensió.

La solució proposada és l'ús de convertidors multinivell (MMC). En l'apartat de simulacions es tractarà el rectificador MMC trifàsic basat en un SST en detall, a més del seu posterior anàlisi quant a estabilitat i resposta temporal.

1.8. LA INSTAL·LACIÓ

1.8.1. Descripció

La instal·lació proposada consta de 4 punts de càrrega per a vehicles elèctrics de 100 kW cadascun. Es vol situar en una via amb alt nivell de trànsit entre Tarragona i Barcelona.

En l'apartat "1.7. ANÀLISI DE LES OPCIONS" es comenten les diferents propostes d'instal·lació, que contemplaran diferents nivells de tensió, diferent organització i topologies de convertidors, ús de sistemes d'emmagatzematge d'energia, etc.

En els posteriors apartats s'inclourà, també, una descripció dels equips a utilitzar, simulacions de les diferents topologies de convertidors i el disseny de la línia elèctrica.

1.8.2. Ubicació

Tal com s'ha comentat en l'apartat anterior, els 4 punts de recàrrega s'ubicaran entre Tarragona i Barcelona. S'ha proposat l'estació de servei del Penedès situada a l'autopista AP-7, ubicada entre Banyeres del Penedès i Vilafranca del Penedès. S'ha escollit perquè és una de les vies més transitades del país, per tant s'ha considerat una ubicació necessària a implementar en un futur no gaire llunyà.

Les coordenades dels punts de recàrrega són: 41° 17' 19'' N 1° 35' 23'' E.

Pel que fa al centre de transformació, es contempla en 2 de les 3 opcions plantejades (apartat 7). Per tant, en l'opció 3, la línia de MT anirà directa de la Subestació Transformadora als punts de càrrega.



Figura 23. Estació de servei del Penedès.

1.9. CONVERTIDORS AC/DC

Els convertidors AC/DC connecten la xarxa amb el bus de contínua. Es pretén aconseguir una qualitat alta tant en la conversió com en l'exactitud de la tensió de sortida.

S'analitzaran 3 rectificadors, 2 dels quals treballen a baixa tensió i 1 basat en la tecnologia del transformador d'estat sòlid i que treballa directament a mitja tensió.

1.9.1. Rectificador Vienna

El rectificador *Vienna* és unidireccional. Consta de 6 transistors i 6 díodes i requereix un control un pèl complex. Té un THD molt baix.

Si només es requereix un flux de potència en una direcció és una bona solució, ja que consta d'un nombre reduït de transistors i de díodes.

El fet que sigui unidireccional és un desavantatge perquè no permet aplicar conceptes com el V2G (*Vehicle to Grid*), que consisteix en el fet que els vehicles elèctrics puguin subministrar energia a la xarxa en moments d'alta demanda. A més, el control de l'energia reactiva és molt limitat.

VIENNA Rectifier IA

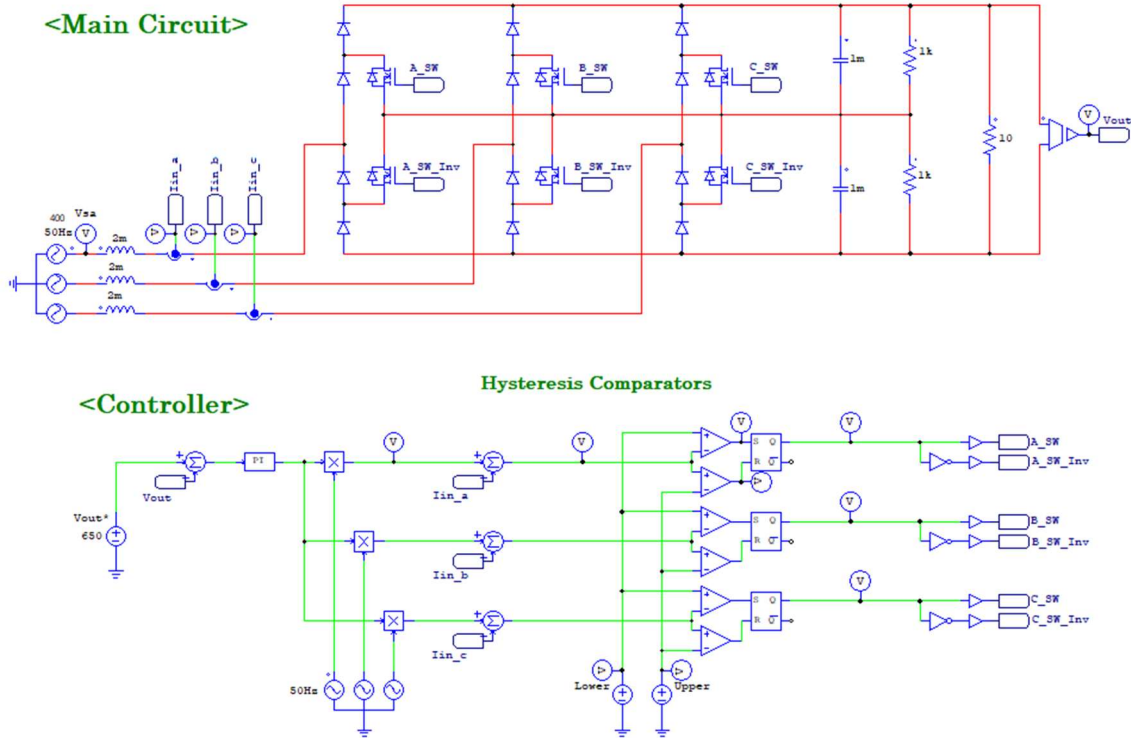


Figura 24. Rectificador Vienna.

Tal com s'ha comentat, l'etapa de control és més complexa en aquest tipus de convertidors. En aquest cas s'ha realitzat un control per histèresi mitjançant biestables de tipus R-S (Reset / Set).

A diferència del control realitzat en el rectificador PWM (vegeu el següent apartat), en aquest cas no existeix una freqüència fixa de commutació dels transistors. Si no que l'aparició de polsos i la seva durada seran causats pels propis biestables.

A més, s'ha realitzat un control de tensió i de corrent. Per tant la tensió de sortida hauria de ser la desitjada (en aquest cas s'ha escollit una tensió de 650 V). El corrent per cada fase hauria de seguir el de referència.

A l'etapa de control s'hi ha inclòs un bloc amb acció proporcional i integral per tal de millorar el règim transitori i l'error en règim permanent. S'ha escollit un guany $K = 1$ i una constant de temps d'1 ms. La simulació obtinguda és la següent:

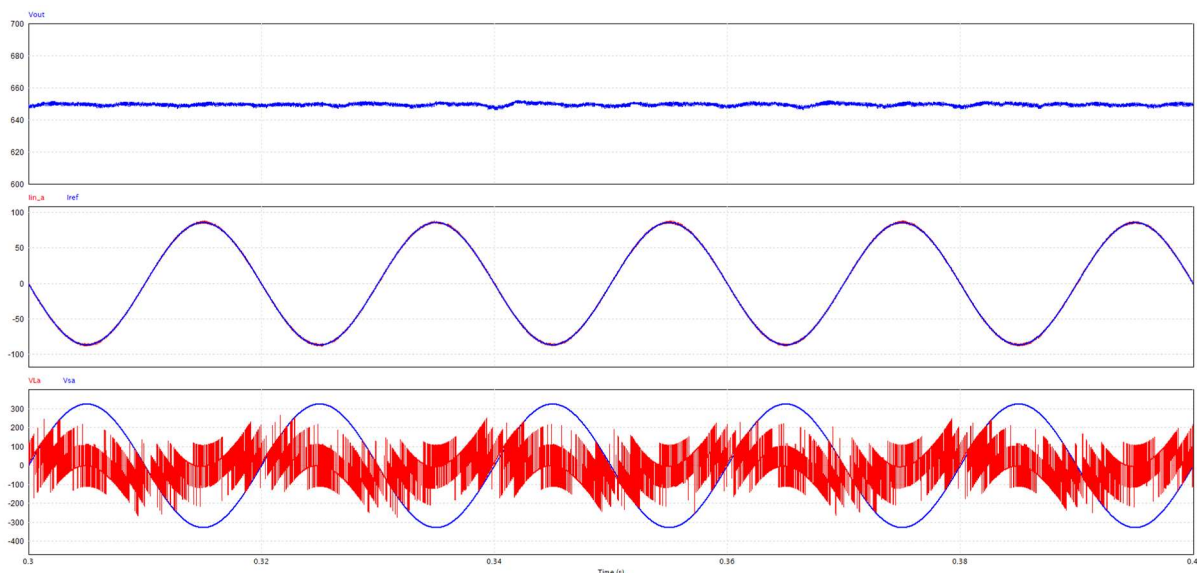


Figura 25. Simulació de tensions i corrents.

La tensió de sortida és la prevista (650 V). El corrent es bastant reduït (depèn dels altres paràmetres) però la idea del control de corrent és veure com el corrent que s'obté segueix al de referència.

Per altra banda també s'ha simulat la tensió a la bobina de la fase i obtenim una forma d'ona semblant a la sinusoidal però amb diferències a causa del tipus de control.

Cal recordar que el control per histèresi amb biestables funciona de la següent manera:

Es realitza una comparació entre el senyal de control i el màxim i mínim d'histèresi. D'aquestes 2 comparacions s'obtenen els senyals de "Set" i "Reset" que entren als biestables per obtenir el senyal de sortida "Q".

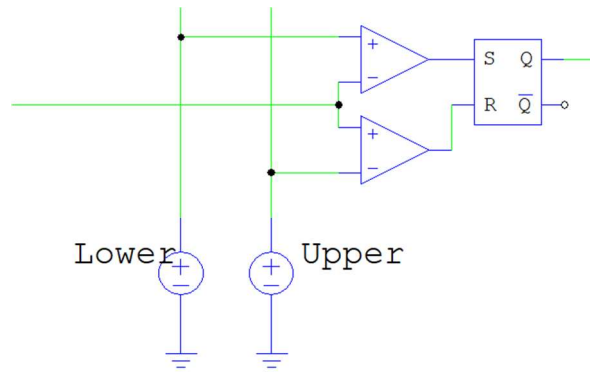


Figura 26. Comparadors amb histèresis.

La sortida Q dels biestables depèn de l'entrada Set i Reset, però també depèn de l'estat actual de Q. Per tant cal seguir aquesta taula per entendre-ho:

Taula 2. Biestables tipus R-S

S	R	Q^t	Q^{t+1}
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	X
1	1	1	X

Si obtenim la simulació referent als biestables és fàcil veure com es compleix la taula:

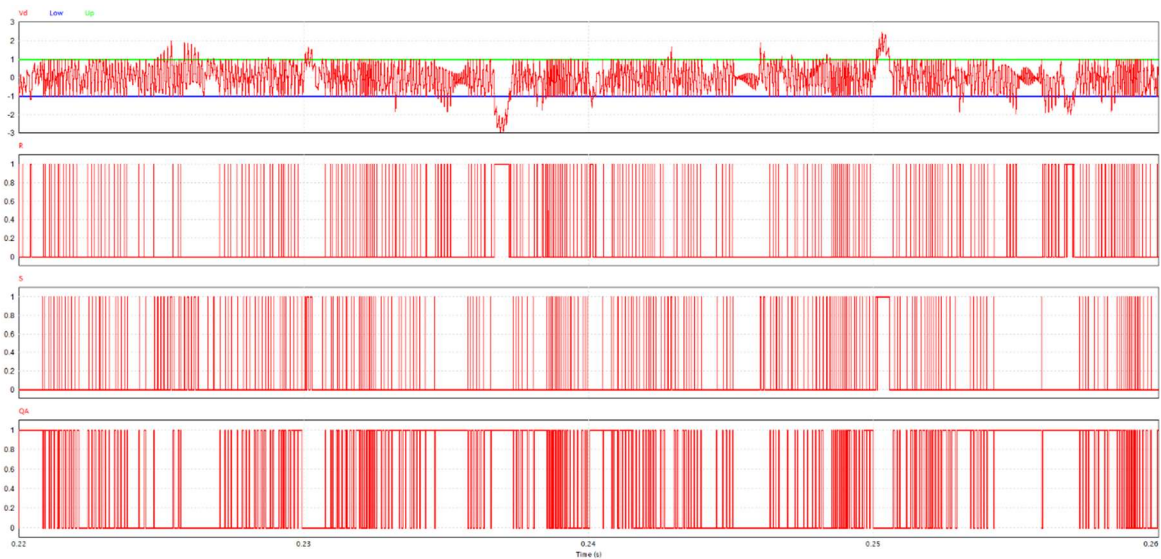


Figura 27. Simulació del comportament dels biestables.

1.9.2. Rectificador PWM trifàsic

A diferència del rectificador anterior, el PWM trifàsic és bidireccional. Això implica que pot transformar la tensió d'AC a DC per carregar vehicles elèctrics (per exemple) i també pot transformar una tensió DC a AC en cas de que es volgués proporcionar energia a la xarxa, com quan es parla de V2G (*Vehicle To Grid*).

De tots els rectificadors bidireccionals, el PWM, que vol dir modulació per amplitud de polsos, és el més utilitzat. En particular, la topologia més utilitzada és amb un filtre LCL.

Aquest convertidor de tipus Boost té una tensió de sortida superior a la tensió de línia d'entrada. En aquest cas i en la simulació s'ha considerat una tensió d'entrada de línia de 400 V trifàsica.

A causa de la simplicitat de l'estructura del circuit, l'ús de pocs components (no calen díodes com en el cas anterior, només transistors), la facilitat que suposa realitzar una etapa de control i el preu barat dels transistors IGBT, fan que sigui un model àmpliament utilitzat en els sistemes de càrrega ràpida de vehicles elèctrics.

El circuit que s'ha simulat és el següent:

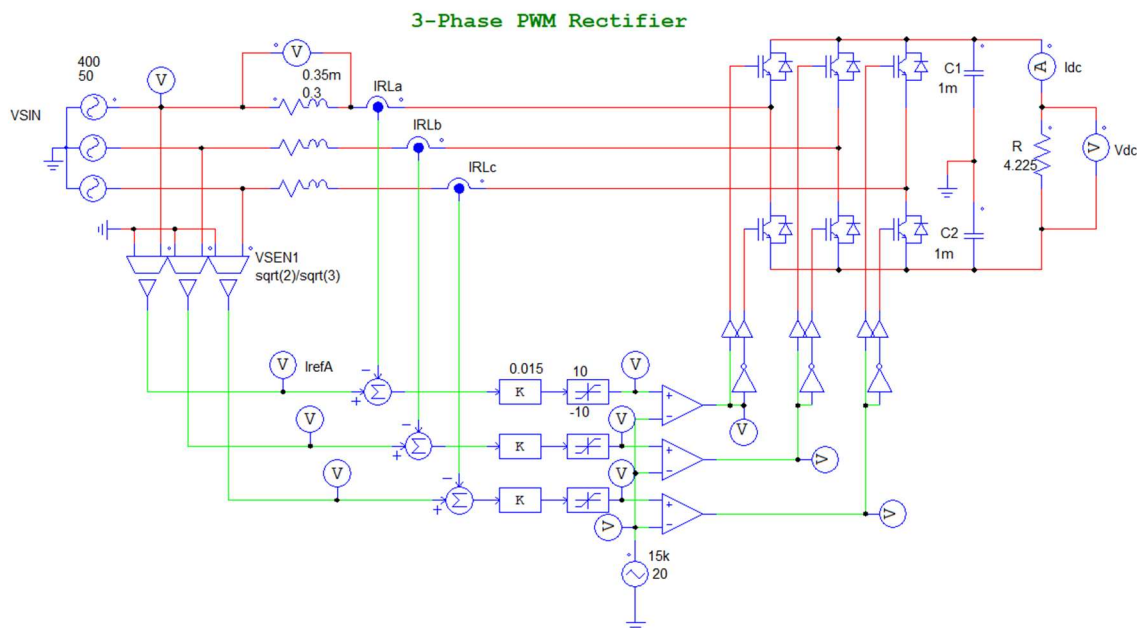


Figura 28. Rectificador PWM trifàsic.

En aquest cas s'han calculat els paràmetres per obtenir una tensió de sortida de 650 V, una potència de 100 kW i un corrent de 150 A.

La simulació obtinguda és la següent:

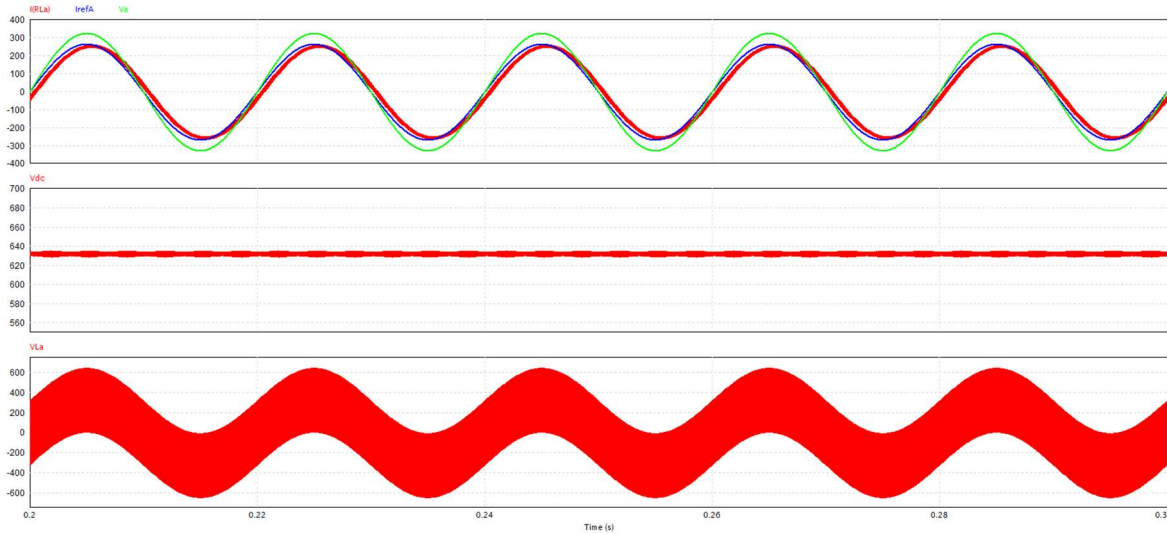


Figura 29. Simulació de tensió i corrent.

S’ha calculat la bobina per obtenir un arriestat en el corrent menor al 15% i la freqüència de commutació és de 15 kHz. Els condensadors s’han calculat per disminuir l’arriestat a la sortida.

L’ona de tensió VLa és la que cau a la bobina, es pot observar com la freqüència de línia de 50 Hz es manté, però també rep la influència de la commutació a 15 kHz, per això es produeix aquest gruix, que si es visualitza de més a prop es pot veure com és l’ona a alta freqüència.

També cal destacar que no hi ha desfasament entre tensió d’entrada i corrent.

Podem comprovar també com la potència de sortida és de 100 kW:

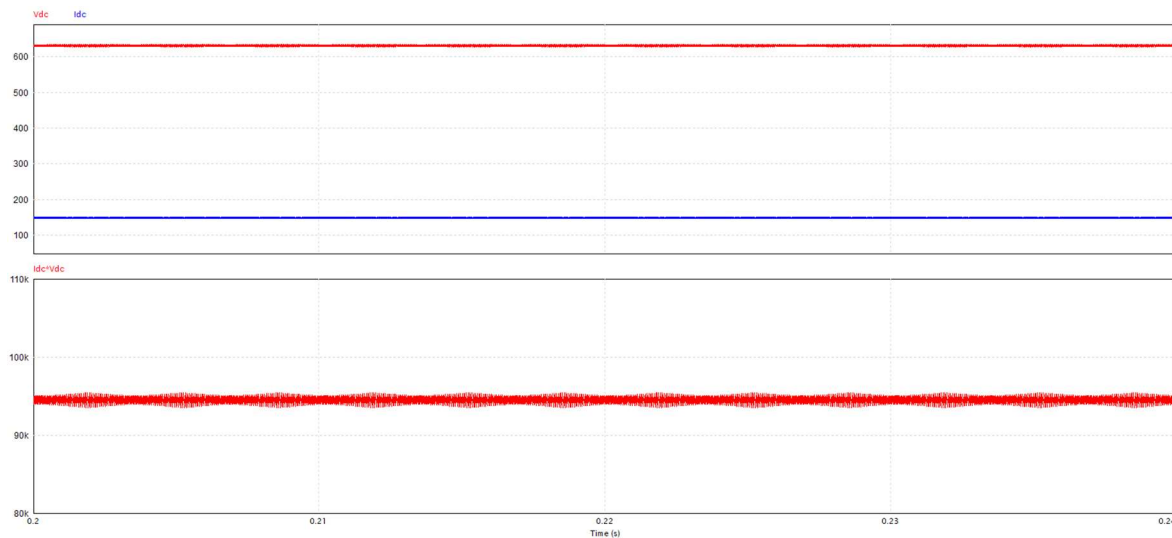


Figura 30. Potència a la càrrega.

Si s'observa la commutació dels IGBT:

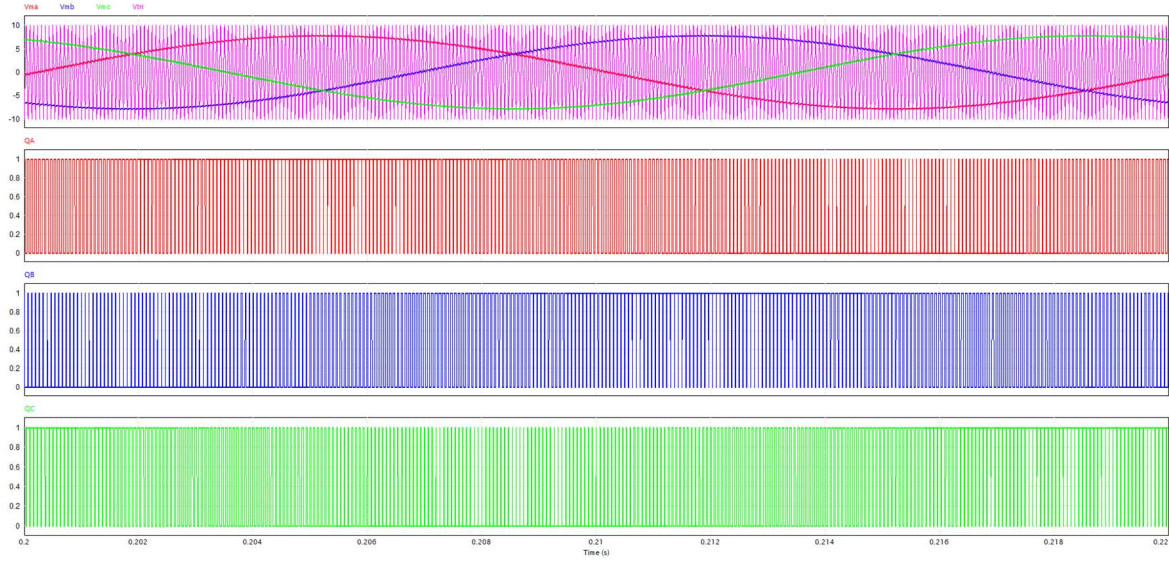


Figura 31. Commutació IGBT.

El senyal a modular es mou entre -10 i 10 V, que també és l'amplitud del senyal triangular. L'amplada dels polsos que activaran / desactivaran els IGBT dependrà del valor del senyal a modular. Per poder observar com es modula senyal s'ha ampliat aquesta gràfica:

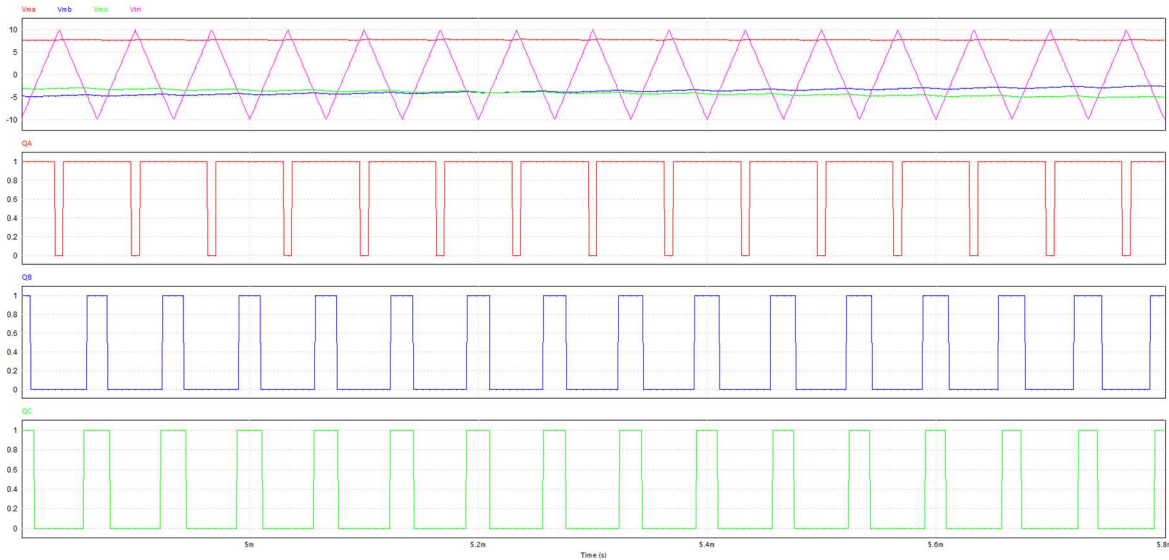


Figura 32. Commutació IGBT en un cas de màxim.

En aquest cas el senyal de la fase A és màxima i les altres 2 es creuen. Per tant l'amplada dels polsos que activen l'IGBT de la fase A és major que la dels altres, que al creuar-se són iguals.

Si es mostra el senyal en un interval de temps on és mínima:

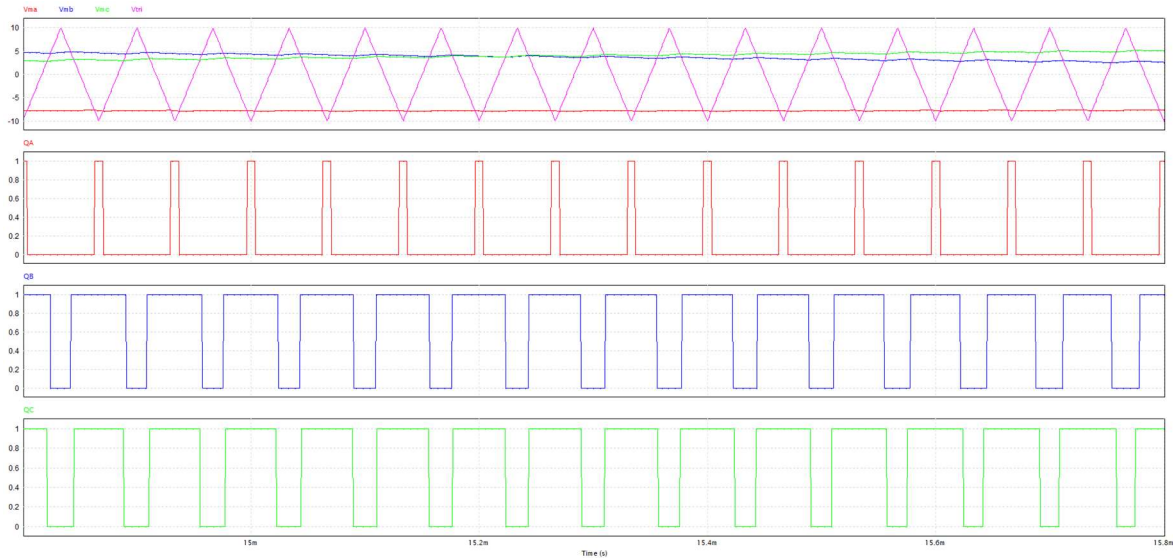


Figura 33. Commutació IGBT en un cas de mínim.

L'amplada dels polsos ara és petita, ja que es tracta d'un mínim. El senyal en B i C és igual perquè es tallen, però en aquest cas major que la de A.

Com que els 3 senyals de modulació mantenen el desfasament de la tensió d'entrada, mai es produirà un cas on totes els senyals tinguin poca amplada de modulació.

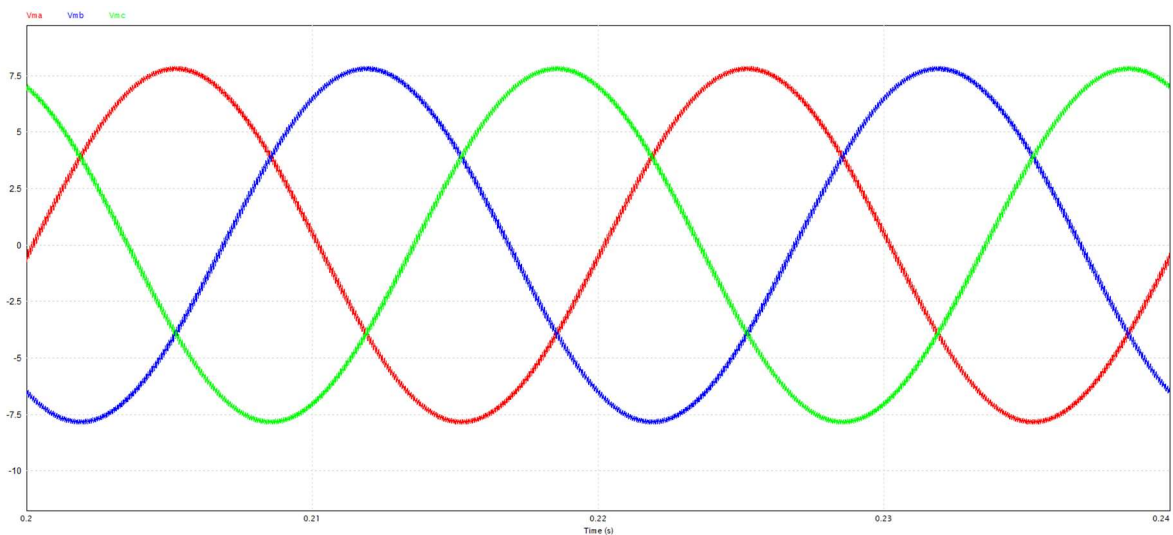


Figura 34. Senyals de modulació.

Quan un senyal es troba en un màxim i comença a disminuir en valor, el senyal que la segueix ocupa el màxim. El mateix passa en el mínim, ja que quan també s'ha d'assegurar la tornada del corrent per tancar el llaç.

1.9.3. Rectificador trifàsic MMC-SST

1.9.3.1. Conversió AC/DC

Els convertidors multinivell s'han consolidat en els últims anys com una opció més per convertir energia d'alterna a contínua i viceversa, sobretot en un rang de potència mitjana i alta. Es tracta d'un sistema bastant econòmic per realitzar aquest tipus de conversions.

En la següent figura es pot observar un exemple per tal de realitzar una conversió AC/DC. Cada branca del sistema trifàsic consisteix en N submòduls (SM), una resistència i una inductància. Existeixen diferents tipus de configuracions dels submòduls, com per exemple el convertidor de mig pont o el pont complet.

En aquest exemple s'utilitzarà la configuració de mig pont, que constarà de 2 transistors IGBT i 1 condensador.

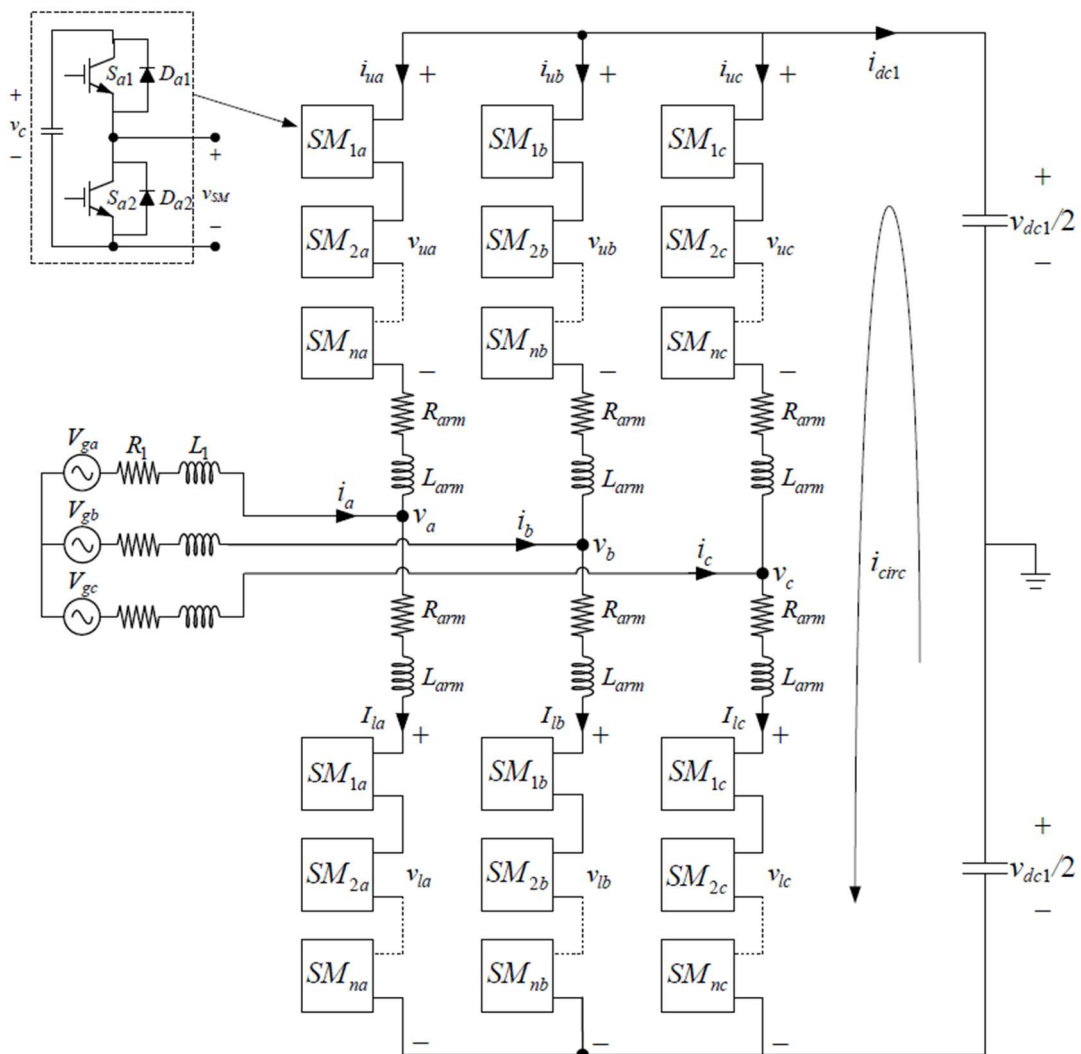


Figura 35. Circuit rectificador AC/DC trifàsic MMC.

En la següent figura es pot observar la commutació dels IGBT:

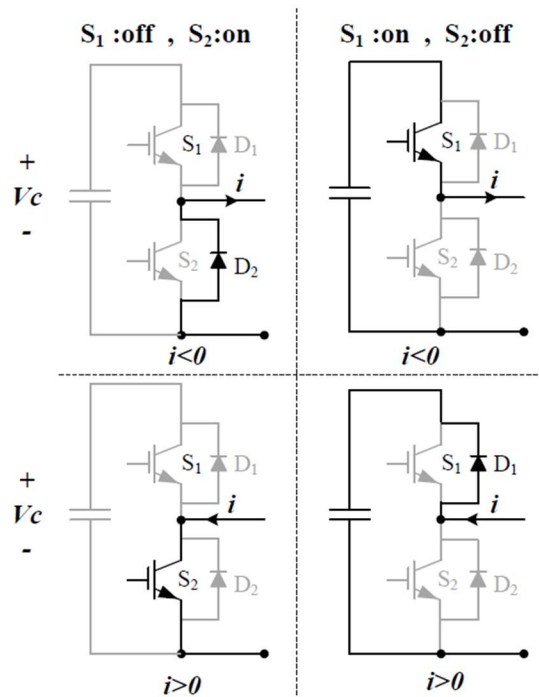


Figura 36. Commutació dels IGBT del submòdul SM.

Quan el transistor S_1 està en ON la tensió del submòdul SM val V_c . Quan és el transistor S_2 el que està en ON la tensió de SM val 0. A més, quan el corrent és positiu, és a dir, entra pel pol positiu del condensador, aquest es carrega. Anàlogament, quan el corrent és negatiu, el condensador es descarrega.

Cada branca del convertidor MMC ha de poder garantir la tensió total de contínua, de manera que la tensió de cada submòdul serà definida per l'equació següent:

$$v_{cSM} = \frac{v_{DC}}{n} \quad [1]$$

Per realitzar la simulació pertinent i tenint en compte que el programa PSIM és limitat, s'ha optat per utilitzar un model amb les següents característiques:

- Només s'utilitzaran 2 submòduls.
- Només se simularà una sola fase (sistema monofàsic).

Amb aquestes modificacions, el circuit de PSIM a simular és el següent:

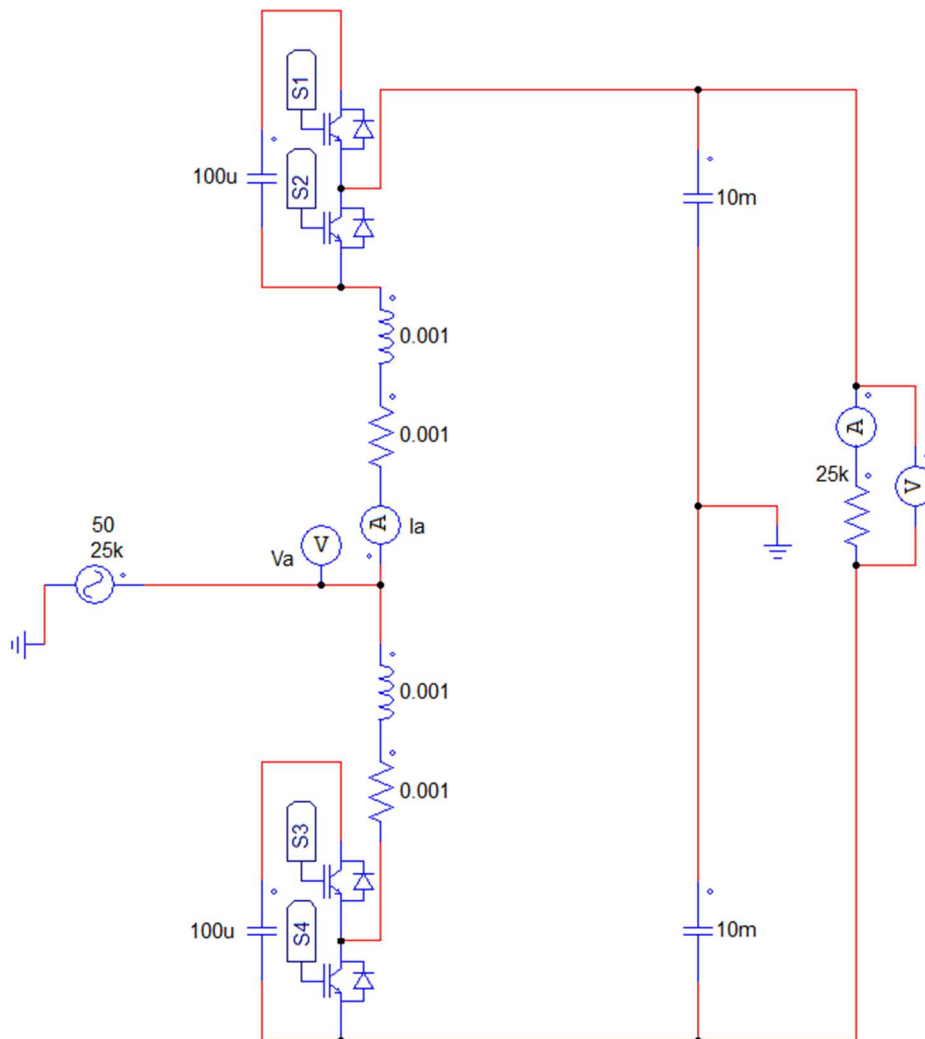


Figura 37. Rectificador MMC-AC/DC monofàsic.

En tractar-se d'un circuit de 2 nivells, la commutació dels IGBT s'ha de realitzar amb 2 fonts triangulars simulant els 2 nivells. Es compararan aquests 2 nivells amb una ona de referència, d'aquesta manera s'obtidran les commutacions dels transistors. L'esquema d'aquesta etapa és el següent:

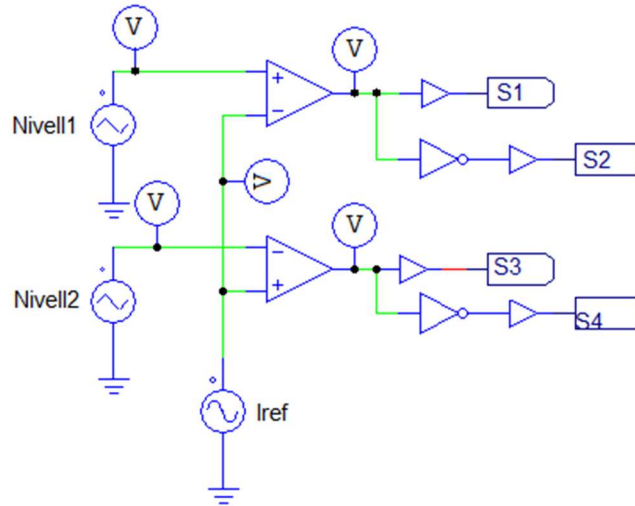


Figura 38. Control dels transistors IGBT del rectificador MMC.

Un exemple del que s'obtidria es pot observar en la següent imatge. La freqüència de commutació serà de 50 kHz. Malgrat això, en les 2 següents figures s'ha reduït a 1 kHz per facilitar-ne la comprensió:

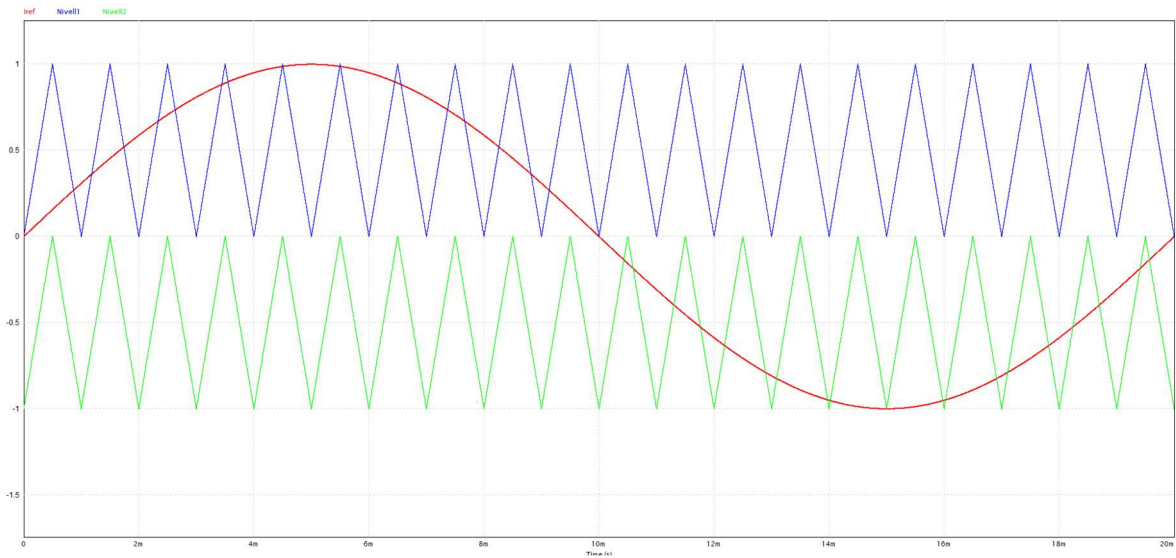


Figura 39. Senyals a comparar per obtenir la commutació dels IGBT.

El resultat a la sortida del comparador és el següent:

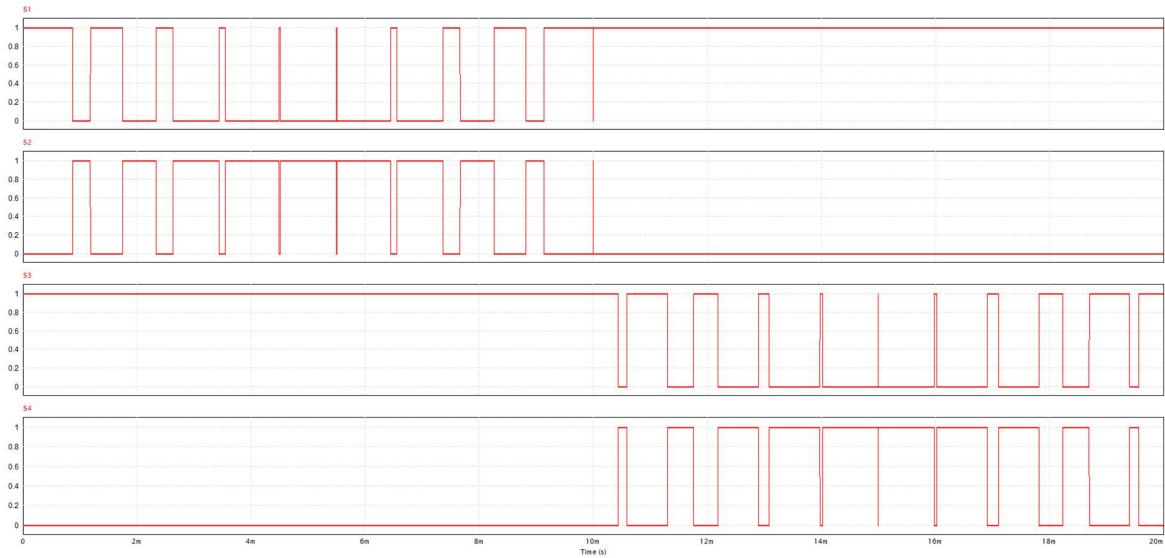


Figura 40. Commutació dels IGBT.

D'aquesta manera es pot observar com la tensió de sortida ara és contínua:

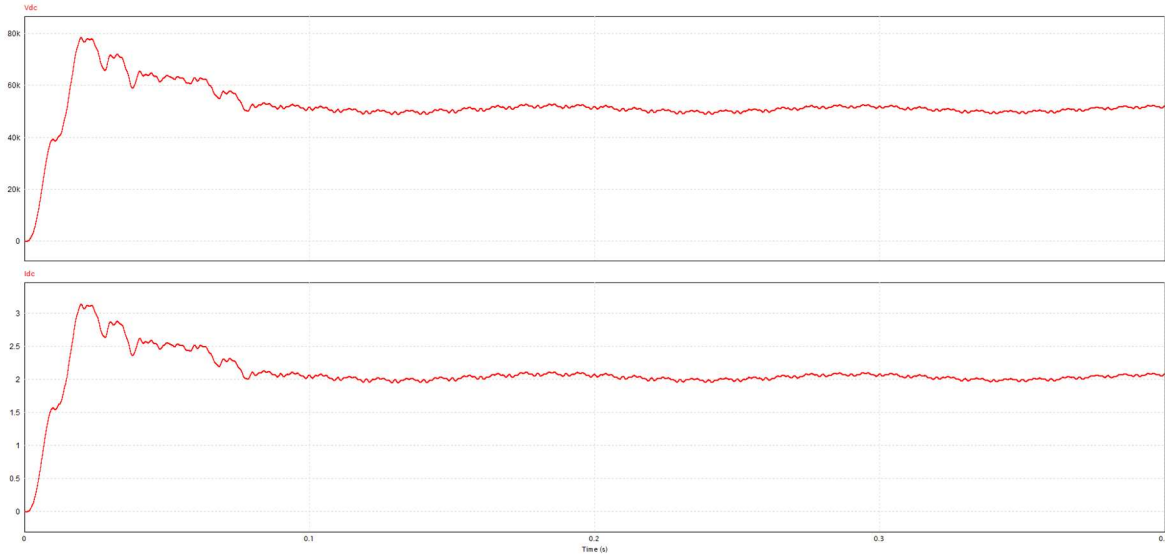


Figura 41. Tensió i corrent de sortida.

El corrent obtingut és de 2 A, que com es pot apreciar en la següent figura, implica que la potència sigui de 100 kW.

Per tal de simular el circuit no s'ha realitzat etapa de control, però caldria fer-ne una d'integral i derivativa per tal de reduir el pic inicial i el temps de resposta.

1.9.3.2. Conversió DC/DC

Per la 2a etapa, es realitza una primera conversió DC/AC per tal de poder utilitzar el transformador d'alta freqüència. En aquest cas la diferència és que s'obindrà una tensió monofàsica, el qual facilita càlculs i simplifica el circuit. Posteriorment es col·loca una etapa rectificadora AC/DC però que no requereix convertidors multinivell, ja que la tensió obtinguda és baixa. La figura següent il·lustra l'explicació anterior:

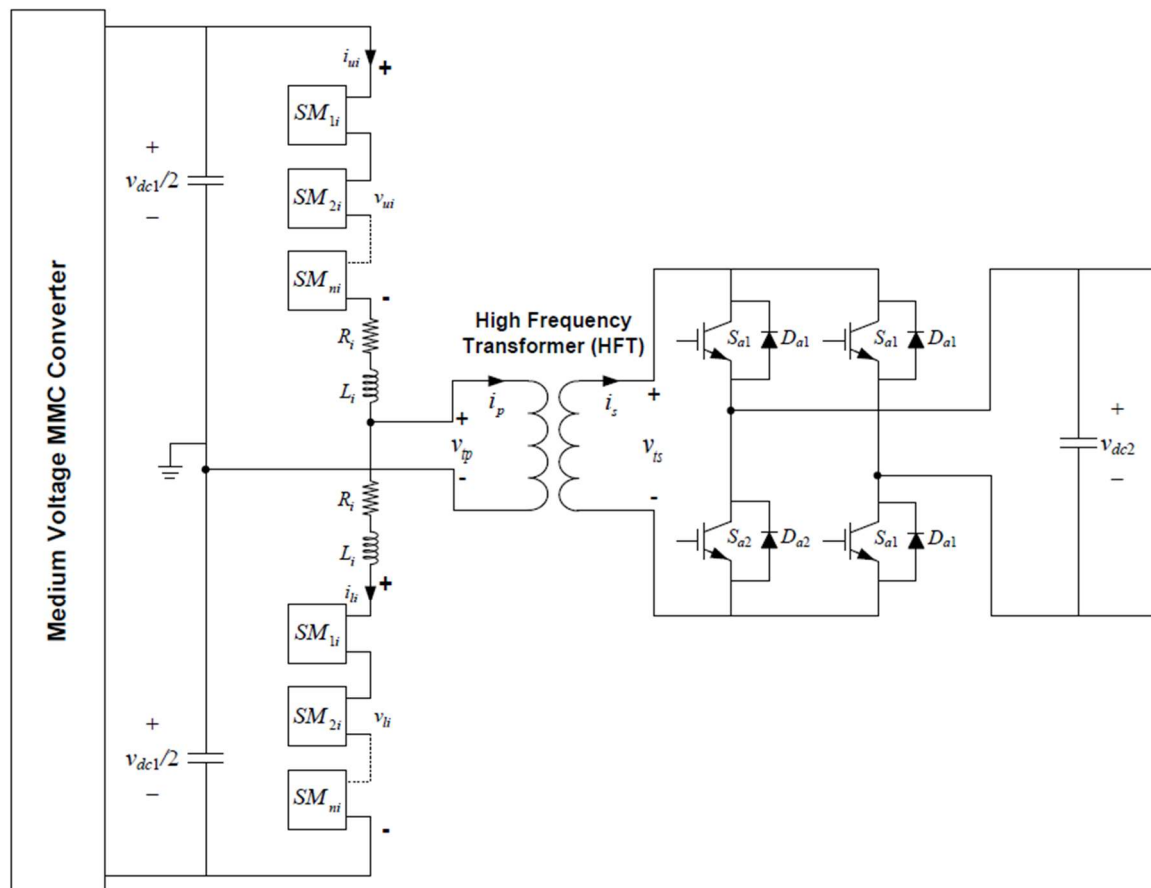


Figura 42. Circuit convertidor DC/DC amb HFT.

Pel que fa als submòduls SM, la configuració és exactament igual que en l'anterior conversió, s'utilitza un pont mig format per 2 transistors IGBT i un condensador.

Pel que fa a la simulació d'aquesta etapa, no s'ha realitzat per falta de temps. Les proves realitzades amb PSIM no han estat satisfactòries a causa de la complexitat tant del mateix circuit, com del control dels transistors.

1.10. DESCRIPCIÓ DELS EQUIPS

1.10.1. Centre de Transformació

El centre de transformació estarà ubicat en una caseta destinada únicament a aquesta finalitat. En ella s'ha instal·lat tot l'aparellatge i altres equips elèctrics.

Es tracta d'un centre de transformació prefabricat, de manera que es pugui transportar com un únic bloc. El material emprat en la fabricació del bloc és formigó armat. Estarà dissenyat de tal forma que es garantirà una total impermeabilitat ni equipotencialitat del conjunt, així com una elevada resistència mecànica.

A la part inferior de les parets frontal i posterior se situen els forats per als cables de MT, BT i posades a terra.

A la paret frontal se situen les portes d'accés a vianants, portes del transformador i reixetes de ventilació. Aquests materials estan fabricats en xapa d'acer galvanitzat.

Les portes d'accés disposen d'un sistema de tancament a fi d'evitar obertures intempestives de les mateixes i la violació del centre de transformació. Estaran dissenyades perquè puguin obrir-se 180° cap a l'exterior, i podran mantenir-se amb una obertura de 90° amb un retenidor metàl·lic.

Les reixetes estan formades per làmines en forma de "V" invertida, per evitar l'entrada d'aigua de pluja al centre de transformació.

Al ser prefabricat no són necessaris càlculs de ventilació ni refrigeració, ja que vénen determinats per l'empresa fabricant.

Serà de la casa Ormazabal i constarà de 2 cel·les de línia i 1 de protecció. A més d'un espai destinat al transformador.

1.10.2. Transformador

El transformador és de 630 kVA de tipus sec encapsulat amb refrigeració natural a l'aire.

Les seves característiques elèctriques i mecàniques s'ajustaran a la norma UNE 20138 i UNE 20178. Són les següents:

- Potència nominal: 630 kVA.
- Grup de connexió: Dy11.
- Tensió nominal primària: 25 kV.
- Intensitat nominal màxima primària: 18,48 A.
- Tensió nominal secundària: 400 V.
- Intensitat nominal secundària: 1977 A.
- Nivell d'aïllament sèrie: 36 kV.
- Pèrdues al ferro i al coure: 7,1 kW.
- Pes màxim: 3000 kg.

Està instal·lat en el centre de transformació. Està separat de les parets laterals a una distància mínima de 32 centímetres i de les reixes de protecció de 40 centímetres.

En el seu funcionament normal, el transformador disposa d'un sistema de bloqueig de les rodes mitjançant falques fixes, que impediran un moviment del transformador a causa de vibracions o altres factors externs. D'aquesta manera s'eviten efectes mecànics no desitjats sobre els borns d'alta i baixa tensió.

Als plànols ve detallat com encaixa el transformador dins el centre de transformació.

1.10.3. Cel·les

Es disposa de 2 cel·les de línia (entrada i sortida) i 1 cel·la de protecció. Seran de la casa Ormazabal. Tindran una tensió admissible de fins a 36 kV.

Cel·la d'entrada de línia: encarregada de rebre el conductor que alimenta el CT, està equipada amb un interruptor de tall en càrrega i 1 seccionador de posta a terra.

Cel·la de sortida de línia: encarregada d'interrompre el conductor de sortida a altres centres. Està equipada amb un interruptor de tall en càrrega i un seccionador de posta a terra.

Cel·la de protecció del transformador: encarregada d'allotjar els elements de seccionament i protecció individuals del transformador- Està equipada amb un interruptor i fusibles.

1.11. CONCLUSIONS

Actualment, l'ús del vehicle elèctric continua en augment. No obstant això, la necessitat de reduir els temps de càrrega és cada vegada més notable, ja que la gran diferència de temps respecte dels clàssics motors de combustió, fa que molts usuaris no optin per deixar enrere aquest model de vehicle més contaminant.

Pel que fa a les opcions de les estacions de càrrega:

- L'opció 1 és utilitzada per estacions de càrrega ultraràpida com la de *Tesla*. Tanmateix, com que no s'utilitza bus de continua sinó bus d'alterna augmentaria el cost econòmic, ja que són necessaris més convertidors.
- L'opció 2 és molt utilitzada. És més eficient i més barata ja que calen menys convertidors. Utilitzar un bus de continua també en facilita el control.
- L'opció 3, a diferència de les altres 2, s'alimenta a mitja tensió. Utilitza transformadors d'estat sòlid, el qual és un sistema molt pioner, ja que es sol utilitzar en transport d'energia i no en sistemes de càrrega de vehicles elèctrics.

Les 2 primeres opcions, a l'estar connectades a la xarxa de baixa tensió, requereixen un centre de transformació, un transformador a freqüència de línia i dles proteccions pertinents.

Per contra, l'opció 3 no requereix de centre de transformació, ja que utilitza directament un SST. Calen menys components, de manera que és més econòmic.

Respecte als convertidors utilitzats:

- El rectificador Vienna és unidireccional, el qual impedeix que la potència flueixi del vehicle a la xarxa. Per tant s'elimina la possibilitat d'utilitzar el sistema V2G (Vehicle-to-grid), el qual és un clar desavantatge. El control del rectificador és més complicat que en altres, de manera que és més complex d'utilitzar.
- El rectificador PWM trifàsic és bidireccional i l'etapa de control és bastant més senzilla que en el cas anterior. A més la resposta temporal té una major estabilitat. És una molt bona opció per a sistemes connectats a baixa tensió.
- El rectificador trifàsic amb convertidors multinivell ofereix bidireccionalitat. Malgrat això, el control és més complicat, ja que consta de diverses etapes. De manera que s'ha de dissenyar un control per cadascuna.

En conclusió, totes 3 opcions són vàlides per a estacions de càrrega ràpida de vehicles elèctrics. El fet que totes 3 tinguin configuracions diferents permet una gran variabilitat de solucions, de manera que poden adaptar-se a la necessitat de cada aplicació.

Es pot decidir la configuració en funció de les característiques de la zona, si es disposa o no de centre de transformació, el nombre de carregadors a col·locar, etc.

A continuació, s'ha proposat el disseny d'una estació amb 4 punts de càrrega en una àrea de servei entre Tarragona i Barcelona.

Per acabar, m'agradaria fer una reflexió una mica més personal.

S'ha aconseguit complir amb els objectius plantejats a l'inici, el qual ha estat tot un repte per mi.

No ha estat un any fàcil per circumstàncies òbvies com la pandèmia de la COVID-19, però estic molt satisfet amb els resultats aconseguits tant del present projecte com en altres assignatures de la carrera. Ha estat una llàstima no haver pogut implementar l'última simulació del convertidor multinivell, però això permet poder-la realitzar en un projecte futur.

1.12. NORMES I REFERÈNCIES

1.12.1. Normativa i legislació vigent

- Reial Decret 1955/2000 de l'1 de desembre, pel qual es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'autorització d'instal·lacions d'energia elèctrica.
- Reial Decret 661/2007 del 25 de maig, pel qual es regula l'activitat d'energia elèctrica en règim especial.
- NTP d'Endesa de Catalunya.
- Reial Decret 337/2014 del 9 de maig, pel qual s'aproven el Reglament sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en instal·lacions elèctriques d'alta tensió i les seves Instruccions Tècniques Complementàries ITC-RAT 01 fins 23.
- NTE-IEP. Norma tecnològica del 24-03-1973, per Instal·lacions Elèctriques de Posta a Terra.
- Codi Tècnic de l'Edificació: CTE-DB-SI i CTE-DB-HS.
- La norma UNE 157001 que estableix les condicions generals que han de precisar els projectes d'instal·lacions, obres i edificis.
- Llei 20/2009, del 4 de desembre, de prevenció i control ambiental de les activitats.
- REBT-2002: Reglament electrotècnic de baixa tensió i instruccions tècniques complementàries.
- Instruccions Tècniques Complementàries en Baixa Tensió (ITC BT).
- Normes Tècniques Particulars de Fecea Endesa.
- UNE 20138 sobre Transformadors trifàsics per a distribució en baixa tensió, de 25 a 2500 kVA.
- UNE 20178 sobre Transformadors de potència de tipus sec.

1.12.2. Referències

- Eshkevari, A. L., Mosallanejad, A., & Sepasian, M. (2019). In-depth study of the application of solid-state transformer in design of high-power electric vehicle charging stations. *The Institution of Engineering and Technology*.
- Habib, S., Khan, M. M., Abbas, F., Ali, A., Faiz, M. T., Ehsan, F., & Tang, H. (s.f.). Contemporary Trends in Power Electronics Converters for Charging Solutions of Electric Vehicles.
- Tu, H., Feng, H., Srdic, S., & Lukic, S. (2019). Extreme Fast Charging of Electric Vehicles: A Technology Overview. *IEEE TRANSACTIONS ON TRANSPORTATION ELECTRIFICATION*.

1.12.3. Webgrafia

- <http://www.icc.cat/vissir3/>
- <https://elperiodicodelaenergia.com/el-v2g-llega-a-espana-la-primer-estacion-se-instala-en-cataluna-de-la-mano-de-la-portuguesa-magnum-cap/>
- <http://www.sitiosolar.com/el-autoconsumo-fotovoltaico-inyectado-a-red/>
- <https://forococheselectricos.com/2020/12/que-es-como-funciona-el-v2g-y-por-que-es-importante-para-la-gestion-de-flotas.html>
- <https://www.autobild.es/listas/10-coches-electricos-autonomia-comprar-2021-840769>
- <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/baterias-litio-coche-electrico-contaminacion-reciclaje>
- <https://movilidadelectrica.com/>
- <https://news.un.org/es/story/2020/12/1485312>
- https://www.areatecnologia.com/electricidad/factor-de-potencia.html#Correcci%C3%B3n_del_Factor_de_Potencia
- <https://www.autofacil.es/coches-electricos-e-hibridos/tipos-baterias-coches-electricos-existen/192306.html>
- <https://www.autofacil.es/tecnica/funciona-motor-arranque/197251.html>

- <https://www.nueva-iso-14001.com/2018/11/cuales-son-los-principales-beneficios-que-trae-consigo-la-smart-grid/>
- <https://www.blogenergiasostenible.com/ventajas-inconvenientes-smart-grid/>

1.12.4. *Programes utilitzats*

- Microsoft Word, per a la redacció del projecte.
- Microsoft Excel, per a elaborar càlculs.
- AutoCAD, per a l'elaboració dels plànols.
- PSIM, per a les simulacions dels circuits.

2. ANNEX DE CÀLCUL

ÍNDEX ANNEX DE CÀLCUL

2.	ANNEX DE CÀLCUL.....	52
2.1.	PREVISIÓ DE CÀRREGA.....	54
2.2.	CENTRE DE TRANSFORMACIÓ	54
2.2.1.	Intensitat nominal al circuit primari	54
2.2.2.	Intensitat nominal al circuit secundari.....	54
2.2.3.	Intensitat de curtcircuit al circuit primari	55
2.2.4.	Intensitat de curtcircuit al circuit secundari.....	55
2.2.5.	Proteccions d'Alta Tensió	56
2.2.6.	Proteccions de Baixa Tensió	56
2.2.7.	Posta a terra del CT	57
2.2.7.1.	Tensions de pas i contacte.....	57
2.2.7.2.	Resistència de posada a terra.....	58
2.2.7.3.	Tensió i corrent de defecte	59
2.2.7.4.	Posta a terra de protecció	61
2.2.7.5.	Posta a terra de servei.....	61
2.3.	ESCOMESA INTERIOR	61
2.3.1.	Intensitat nominal	61
2.3.2.	Secció mínima per caiguda de tensió màxima admissible	63
2.4.	CAIXA GENERAL DE PROTECCIÓ.....	63
2.5.	BUS DE CONTINUA	64
2.6.	POSTA A TERRA DE LA INSTAL·LACIÓ	64

2.1. PREVISIÓ DE CÀRREGA

Tal com s'ha descrit la instal·lació, l'objectiu és tenir 4 punts de càrrega de 100 kW cadascun. Per tant la potència total dels punts de càrrega serà de **400 kW**.

Com que la instal·lació es construirà en una àrea de servei en la que ja hi ha una gasolinera, il·luminació i un local per realitzar compres i efectuar els pagaments relacionats amb la gasolinera; no es tindran en compte totes les potències que aquests fets afegirien.

2.2. CENTRE DE TRANSFORMACIÓ

2.2.1. Intensitat nominal al circuit primari

La intensitat nominal al circuit primari vindrà donada per la següent expressió, ja que es tracta d'un sistema trifàsic:

$$I_{NP} = \frac{(S \cdot \cos \varphi) + W_{Fe} + W_{Cu}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad [2]$$

On:

- I_{NP} és la intensitat nominal del primari [A].
- S és la potència del transformador [kVA].
- U és la tensió del primari [kV].
- W_{Fe} són les pèrdues al ferro [kVA].
- W_{Cu} són les pèrdues al coure [kVA].
- $\cos \varphi$ és el factor de potència.

Sabent que la tensió del primari és de 25 kV i la potència del transformador és de 630 kVA. Segons les especificacions del fabricant les pèrdues totals són de 7,1 kVA i el factor de potència és de 0,95. S'obté de l'equació [2]:

$$I_{NP} = 13,98 \text{ A}$$

2.2.2. Intensitat nominal al circuit secundari

La intensitat nominal al circuit secundari vindrà donada per la següent expressió:

$$I_{NS} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad [3]$$

On:

- I_{NS} és la intensitat nominal del secundari [A].
- S és la potència del transformador [kVA].
- U és la tensió del secundari [kV].

La tensió del secundari és de 400 V i la potència del transformador segueix sent 630 kVA. Per tant:

$$I_{NS} = 909,33 \text{ A}$$

2.2.3. Intensitat de curtcircuit al circuit primari

El càlcul de la intensitat de curtcircuit al costat d'alta tensió es realitzarà mitjançant la següent equació:

$$I_{CCP} = \frac{S_{cc}}{\sqrt{3} \cdot U} \quad [4]$$

On:

- I_{CCP} és la intensitat de curtcircuit del primari [kA].
- S és la potència de curtcircuit de la xarxa de distribució [MVA].
- U és la tensió del primari [kV].

Segons la companyia elèctrica, la potència de curtcircuit de la xarxa de distribució és de 500 MVA. Es tracta de la potència màxima que pot desenvolupar la xarxa en una instal·lació quan es produeix un defecte. Per tant:

$$I_{CCP} = 11,547 \text{ kA}$$

2.2.4. Intensitat de curtcircuit al circuit secundari

La intensitat de curtcircuit al costat de baixa tensió vindrà determinada per la següent equació:

$$I_{CCS} = \frac{100 \cdot S}{\sqrt{3} \cdot U \cdot U_{cc}} \quad [5]$$

On:

- I_{ccS} és la intensitat de curtcircuit del secundari [kA].
- S és la potència del transformador [kVA].
- U és la tensió del secundari [V].
- U_{cc} és la tensió de curtcircuit del transformador [%].

La potència del transformador són 630 kVA, la tensió del secundari és de 400 V i la tensió de curtcircuit és del 4 %.

$$I_{ccS} = 22,73 \text{ kA}$$

2.2.5. Proteccions d'Alta Tensió

Els transformadors estan protegits tant pel costat d'alta tensió com pel de baixa. En alta tensió la protecció és efectuada per les cel·les associades al transformador.

La protecció general en AT del CT es realitza utilitzant una cel·la d'interruptor amb fusibles combinats, sent aquests els que efectuen la protecció davant de curtcircuits. Són limitadors de corrent que es fonen abans que el corrent de curtcircuit arribi al seu valor màxim.

Els fusibles han de permetre el pas de la punta de corrent produït en la connexió del transformador en buit i han de suportar la intensitat nominal de servei.

Segons les NTP d'Endesa, si la potència del transformador és de 630 kVA i la tensió de 25 kV, el calibre del fusible és de 50 A.

Taula 3. Calibre dels fusibles.

Potència del transformador	11 kV	25 kV
160	25	10
250	50	25
400	50	25
630	100	50

2.2.6. Proteccions de Baixa Tensió

Al circuit de baixa tensió del transformador s'instal·larà un quadre de distribució homologat per la companyia subministradora.

Com que posteriorment serà necessari l'ús dels convertidors analitzats en apartats anteriors, només hi haurà una única sortida en baixa tensió.

2.2.7. Posta a terra del CT

2.2.7.1. Tensions de pas i contacte

La tensió de contacte admissible a la que pot ser sotmès el cos humà, segons la ITC-RAT-13 del Reial Decret 337/2014, haurà de ser (per una falta de duració de 0,1 segons i considerant únicament la impedància del cos humà) de 633 V. La tensió de pas serà 10 vegades la de contacte, és a dir, 6330 V.

Es pot comprovar a la següent taula:

Taula 4. Tensió de contacte aplicada admissible segons durada del corrent de falta.

Durada del corrent de falta, t_f (s)	Tensió de contacte aplicada admissible, U_{ca} (V)
0,05	735
0,10	633
0,20	528
0,30	420
0,40	310
0,50	204
1,00	107
2,00	90
5,00	81
10,00	80
> 10,00	50

Els valors màxims admissibles d'aquestes tensions que poden aparèixer en la instal·lació es poden calcular amb les fórmules donades al reglament prèviament mencionat:

$$U_c = U_{ca} \cdot \left[1 + \frac{1,5 \cdot \rho_s}{1000} \right] \quad [6]$$

$$U_p = 10 \cdot U_{ca} \cdot \left[1 + \frac{6 \cdot \rho_s}{1000} \right] \quad [7]$$

On:

- U_c és la tensió de contacte màxima admissible en la instal·lació que garanteix la seguretat de les persones [V].
- U_p és la tensió de pas màxima admissible en la instal·lació que garanteix la seguretat de les persones [V].

- U_{ca} és la tensió de contacte aplicada admissible, la tensió a la que pot estar sotmès el cos humà entre una mà i els peus[V].
- ρ_s és la resistivitat superficial aparent del terreny [$\Omega \cdot m$].

Per calcular ρ_s calcularem primer un coeficient reductor:

$$C_s = 1 - 0,106 \cdot \left[\frac{1 - \frac{\rho}{\rho^*}}{2h_s + 0,106} \right] \quad [8]$$

On:

- ρ és la resistivitat del terreny natural [250 $\Omega \cdot m$].
- ρ^* és la resistivitat de la capa superficial (Formigó o grava) [3000 $\Omega \cdot m$].
- h_s és l'espessor de la capa superficial [0,1 m].

Substituint s'obté:

$$C_s = 0,67$$

De manera que ρ_s serà:

$$\rho_s = C_s \cdot \rho^* \quad [9]$$

S'obté que:

$$\rho_s = 2010 \Omega \cdot m$$

Ara ja es poden calcular les tensions de pas i contacte màximes substituint valors a les equacions 6 i 7. S'obté:

$$U_c = 2576,6 V$$

$$U_p = 84075,1 V$$

2.2.7.2. Resistència de posada a terra

La resistència de posada a terra vindrà donada per la següent equació:

$$R_t = \rho \cdot K_r \quad [10]$$

On:

- R_t és la resistència de posta a terra [Ω].
- ρ_s és la resistivitat del terreny natural [$\Omega \cdot m$].
- K_r és un coeficient que depèn del tipus de pica i la seva disposició [m^{-1}].

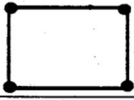
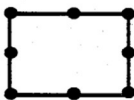
La disposició de les piques serà en quadrat de 5x5 metres (4 piques) i tindran 14 mm de diàmetre i 2 metres de longitud. Aquesta configuració es deu al fet que amb menys distància no es compleixen les condicions de la tensió de contacte, de manera que es comenta directament el cas que compleix. Amb aquestes consideracions, es pot determinar el coeficient amb la següent taula:

Taula 5. Coeficients de la posta a terra.

Cuadrado de 5.0 m x 5.0 m.

Sección conductor = 50 mm².
Diámetro picas = 14 mm.
 L_p = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0.5 m

CONFIGURACION	L_p (m)	RESISTENCIA K_r	TENSION DE PASO K_p	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.102	0.0203	0.0605	50-50/5/00
4 picas 	2	0.080	0.0177	0.0390	50-50/5/42
	4	0.067	0.0143	0.0288	50-50/5/44
	6	0.058	0.0119	0.0227	50-50/5/46
	8	0.051	0.0102	0.0185	50-50/5/48
8 picas 	2	0.072	0.0154	0.0322	50-50/5/82
	4	0.057	0.0115	0.0212	50-50/5/84
	6	0.048	0.0091	0.0155	50-50/5/86
	8	0.042	0.0076	0.0120	50-50/5/88

Per tant, $K_r = 0,08$ i la resistivitat del terreny és coneguda ($250 \Omega \cdot m$) S'obté:

$$R_t = 20 \Omega$$

2.2.7.3. Tensió i corrent de defecte

El corrent de defecte vindrà donat per la següent expressió:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_t + R_n)^2 + X_n^2}} \quad [11]$$

On:

- I_d és el corrent de defecte [A].
- U és la tensió de servei de la xarxa [V].
- R_t és la resistència de la posta a terra [Ω].
- R_n és la resistència de la posta a terra del neutre de la xarxa [Ω].
- X_n és la reactància de la posta a terra del neutre de la xarxa [Ω].

Els paràmetres de la xarxa són: $U = 25 \text{ kV}$, $R_n = 25 \text{ } \Omega$ i $X_n = 25 \text{ } \Omega$.

S'obté:

$$I_d = 280,38 \text{ A}$$

Ara ja es pot calcular la tensió de defecte, amb la següent equació:

$$V_d = I_d \cdot R_t \quad [12]$$

Substituint els valors calculats:

$$V_d = 10234,6 \text{ V}$$

Com que la tensió de defecte és superior a 1000 V, la posta a terra de protecció ha d'anar separada de la de servei.

Les tensions de pas i contacte real vindran donades per les següents equacions:

$$U_c = K_c \cdot I_d \cdot \rho \quad [13]$$

$$U_p = K_p \cdot I_d \cdot \rho \quad [14]$$

Prenent com a valors de K_c i K_p els que apareixen a la Taula 6 amb la configuració corresponent, s'obté:

$$U_c = 2520 \text{ V} < 2576,6 \text{ V}$$

$$U_p = 1078 \text{ V} < 84075,1 \text{ V}$$

2.2.7.4. *Posta a terra de protecció*

És la calculada en l'apartat anterior. 4 piques disposades en forma de quadrat de 5x5 metres, de 14 mm de diàmetre i 2 metres de llargada cadascuna. El cable serà de coure nu de 50 mm².

2.2.7.5. *Posta a terra de servei*

La resistència de posta a terra de servei ha de ser inferior a 37 Ω segons la normativa. Si es considera la mateixa configuració que en la posta a terra de protecció i substituint a [9]:

$$R_t = 20 \Omega$$

És inferior a 37 Ω.

2.3. ESCOMESA INTERIOR

2.3.1. *Intensitat nominal*

$$I_{calc} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} \quad [15]$$

On:

- I_{calc} és el corrent pel conductor [A].
- P és la potència activa trifàsica [W].
- V és la tensió de línia entre 2 fases [V].
- $\cos \varphi$ és el factor de potència (s'ha suposat 0,95).

La potència correspon a la previsió de càrrega calculada en apartats anteriors (400 kW) i la tensió són 400 V.

Substituint obtenim:

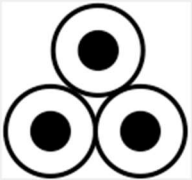


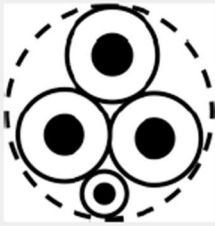
$$I_{calc} = 607,74 A$$

S'ha decidit col·locar 2 conductors en lloc d'un, de manera que la intensitat nominal es dividirà entre els 2. Per tant passa a ser de 303,87 A.

L'aïllament serà de tipus XLPE i s'usaran 3 cables unipolars per conductor. Tal com s'ha vist a les simulacions no s'utilitza el neutre, de manera que no es col·locarà.

A la següent taula es pot veure la secció del conductor:

Taula 6. Intensitat màxima admissible segons la secció del conductor.

Sección nominal mm ²	Terna de cables unipolares (1) (2)			1 cable tripolar o tetrapolar (3)		
						
						
Tipo de aislamiento						
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	72	70	63	66	64	56
10	96	94	85	88	85	75
16	125	120	110	115	110	97
25	160	155	140	150	140	125
35	190	185	170	180	175	150
50	230	225	200	215	205	180
70	280	270	245	260	250	220
95	335	325	290	310	305	265
120	380	375	335	355	350	305
150	425	415	370	400	390	340
185	480	470	420	450	440	385
240	550	540	485	520	505	445
300	620	610	550	590	565	505
400	705	690	615	665	645	570
500	790	775	685	-	-	-
630	885	870	770	-	-	-

Per tant s'escull una secció de 185 mm², donat que podrà suportar la intensitat nominal i té un marge ampli per si es produís alguna falta no desitjada. A més, es tracta d'un conductor normalitzat i àmpliament utilitzat.

Falta verificar que compleix la condició de la caiguda de tensió màxima admissible.

2.3.2. Secció mínima per caiguda de tensió màxima admissible

$$\Delta U = \frac{\rho \cdot P \cdot L}{S \cdot V} \quad [16]$$

On:

- S és la secció del conductor [mm^2].
- P és la potència activa trifàsica [W].
- ρ és la resistivitat del conductor a la temperatura de servei ($90 \text{ }^\circ\text{C}$) [$1/44 \text{ } \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$].
- L és la longitud del conductor [m].
- ΔU és la caiguda de tensió màxima admissible [V].
- V és la tensió de línia entre 2 fases [V].

La secció és l'obtinguda a l'apartat anterior i la longitud és de 100 metres. S'obté:

$$\Delta U = 6,14 \text{ V}$$

El REBT estableix que la caiguda de tensió màxima admissible ha de ser inferior al 5 %, per tant:

$$\frac{6,14}{400} \cdot 100 = 1,53 \% < 5 \%$$

La secció de 185 mm^2 és correcta.

S'usaran 2 conductors de $3 \times 185 \text{ mm}^2$. El diàmetre exterior del tub serà de 120 mm.

2.4. CAIXA GENERAL DE PROTECCIÓ

S'escull una caixa general de protecció amb una càrrega prevista màxima de 400 kW. L'escollida segons les normes tècniques particulars d'Endesa és una CGP-9 630 A.

2.5. BUS DE CONTÍNUA

Per dimensionar el bus de contínua es faran servir les mateixes taules com si es tractés de corrent altern. Al no produir-se efecte “skin”, el cable resultant aguantarà més corrent del calculat, de manera que no serà un problema.

El corrent que circularà pel cable serà definit per la següent equació:

$$I = \frac{P}{V} \quad [17]$$

On:

- I és la corrent [A].
- P és la potència prevista [W].
- V és la tensió [V].

Per a la tensió s’ha suposat 650 V i la potència són 200 kW, ja que s’usaran 2 línies.

Substituint s’obté:

$$I = 307,7 \text{ A.}$$

Segons la Taula 7 s’usarà un cable de 185 mm² de secció. L’interruptor de maniobra serà de 350 A.

Per a cada carregador individual el corrent serà la meitat (150 A), per tant la secció escollida serà de 95 mm². El PIA serà de 200 A.

2.6. POSTA A TERRA DE LA INSTAL·LACIÓ

La posta a terra de la instal·lació s’ha fet seguint el mateix procediment que en el cas del centre de transformació.

La resistivitat del terreny és la mateixa i les característiques de la línia són menors (la tensió ara és de 400 V en lloc de 25 kV).

S’ha optat per agafar un rectangle de 8x15 metres, per tal de poder englobar tota la instal·lació. Com que la tensió és menor i les dimensions són més grans, la posta a terra complirà amb els requisits. Les piques que formaran el rectangle seran de 2 metres de profunditat.

3. PLÀNOLS

ÍNDIX DE PLÀNOLS

3. PLÀNOLS.....	65
3.1. COMENTARIS	67
3.2. SITUACIÓ.....	68
3.3. EMPLAÇAMENT	69
3.4. PUNTS DE CÀRREGA	70
3.5. LÍNIA DE BT	71
3.6. POSTA A TERRA DEL CT	72
3.7. POSTA A TERRA DE LA INSTAL·LACIÓ	73
3.8. ESQUEMA UNIFILAR	74
3.9. CENTRE DE TRANSFORMACIÓ	75
3.9.1. Planta	75
3.9.2. Secció	76
3.9.3. Façana.....	77
3.9.4. Unifilar	78
3.10. DETALL DE LA RASA	79

3.1. COMENTARIS

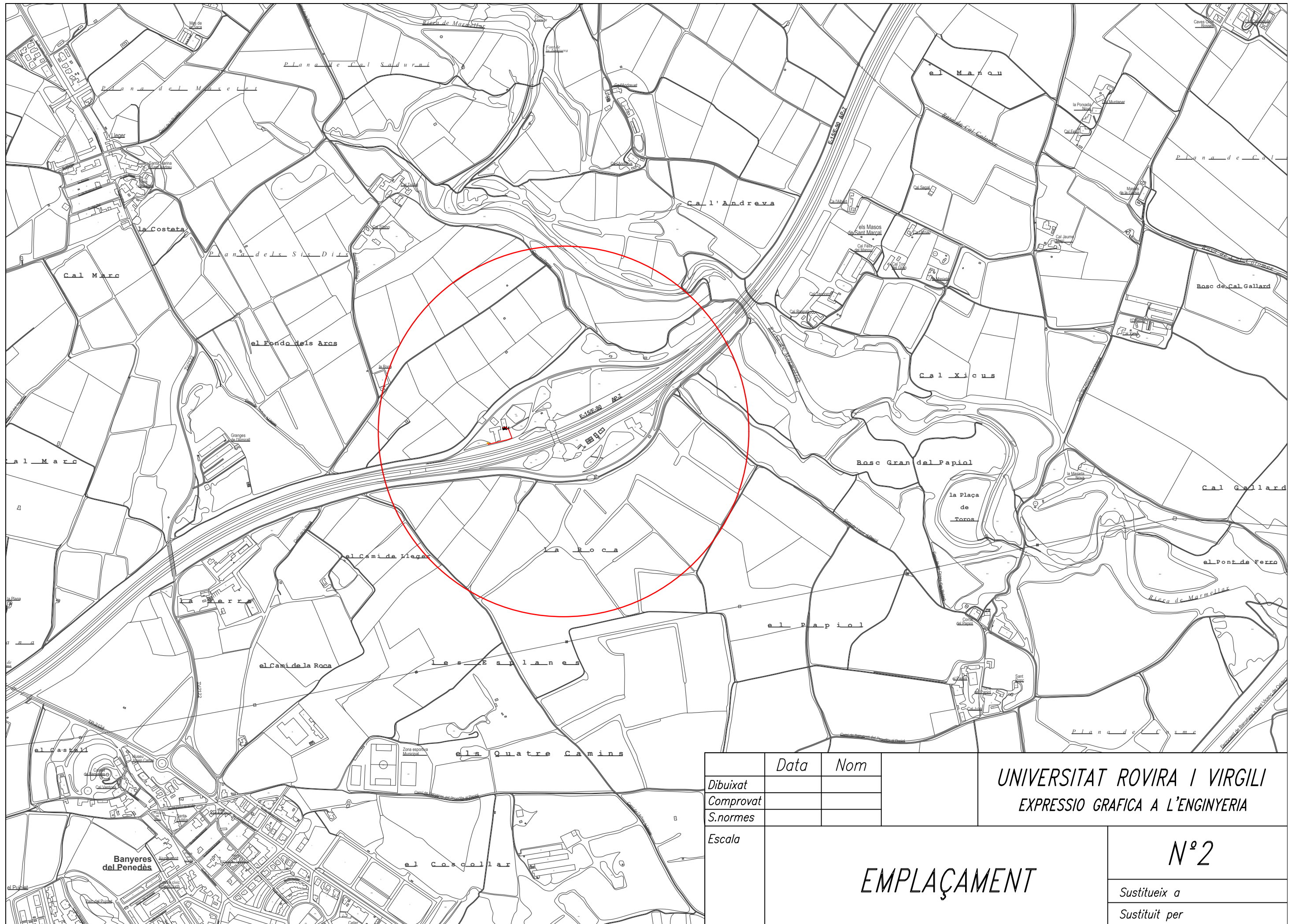
Els plànols realitzats estan pensats per les opcions 1 i 2 de l'apartat 1.7.

S'ha dissenyat una línia tenint en compte el centre de transformació i que alimentarà 4 punts de càrrega.

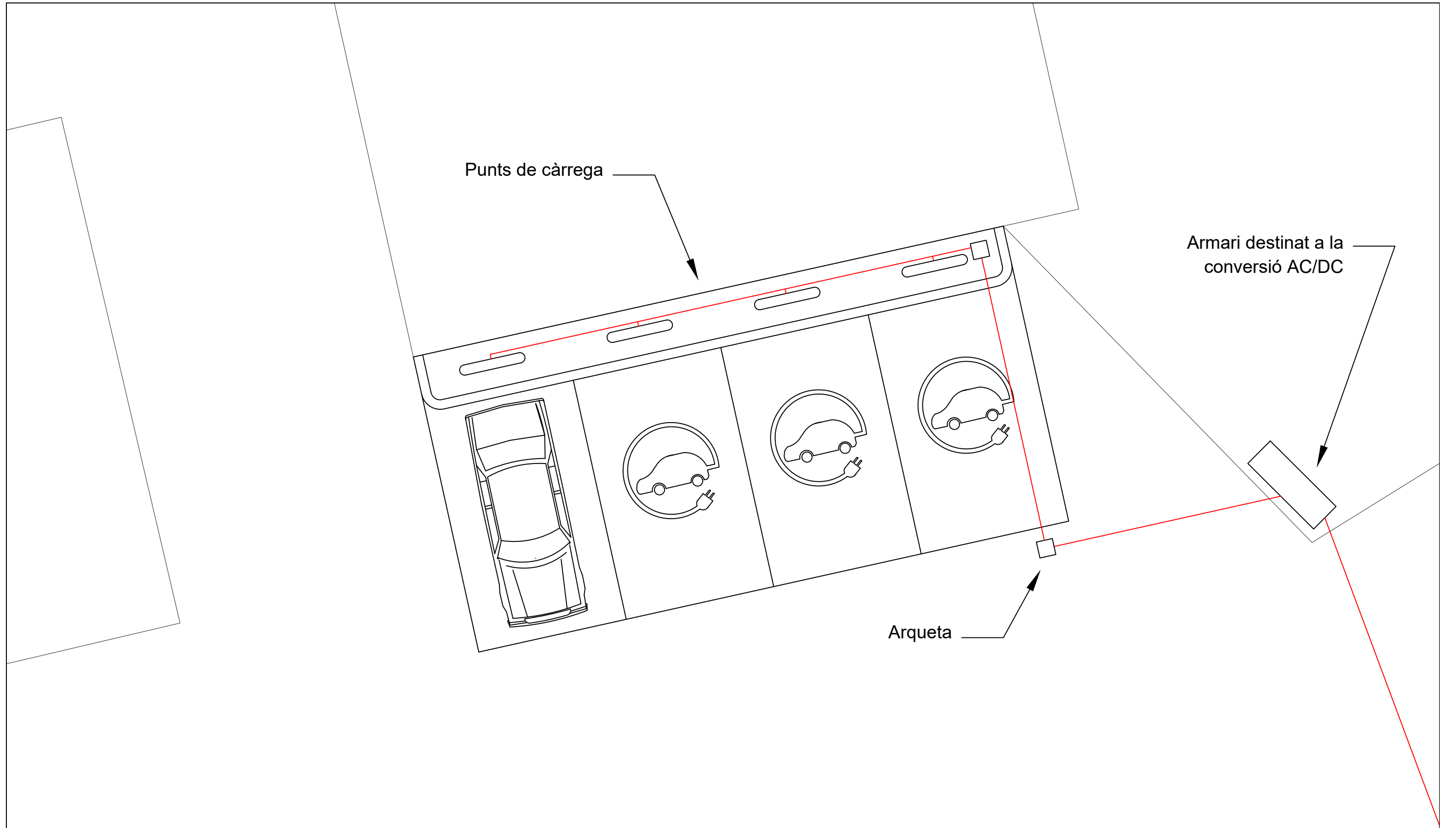
No s'ha tingut en compte l'opció 3, que estava caracteritzada per estar alimentada directament a mitja tensió i utilitzant un transformador d'estat sòlid.

TM DE BANYERES DEL PENEDÈS

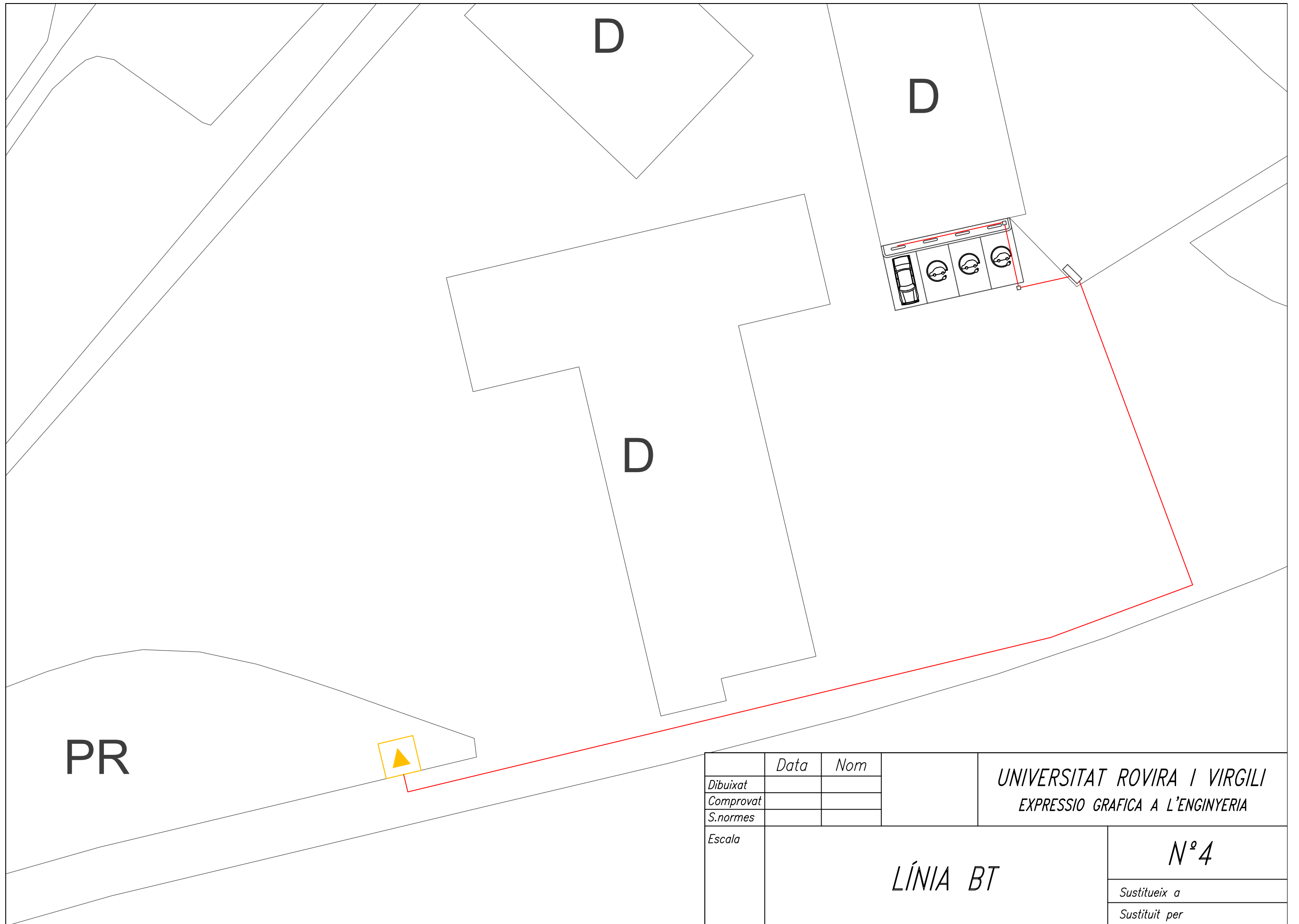




	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	EMPLAÇAMENT		Nº 2
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>



	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA</i>
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	<i>PUNTS DE CÀRREGA</i>		<i>Nº 3</i>
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>



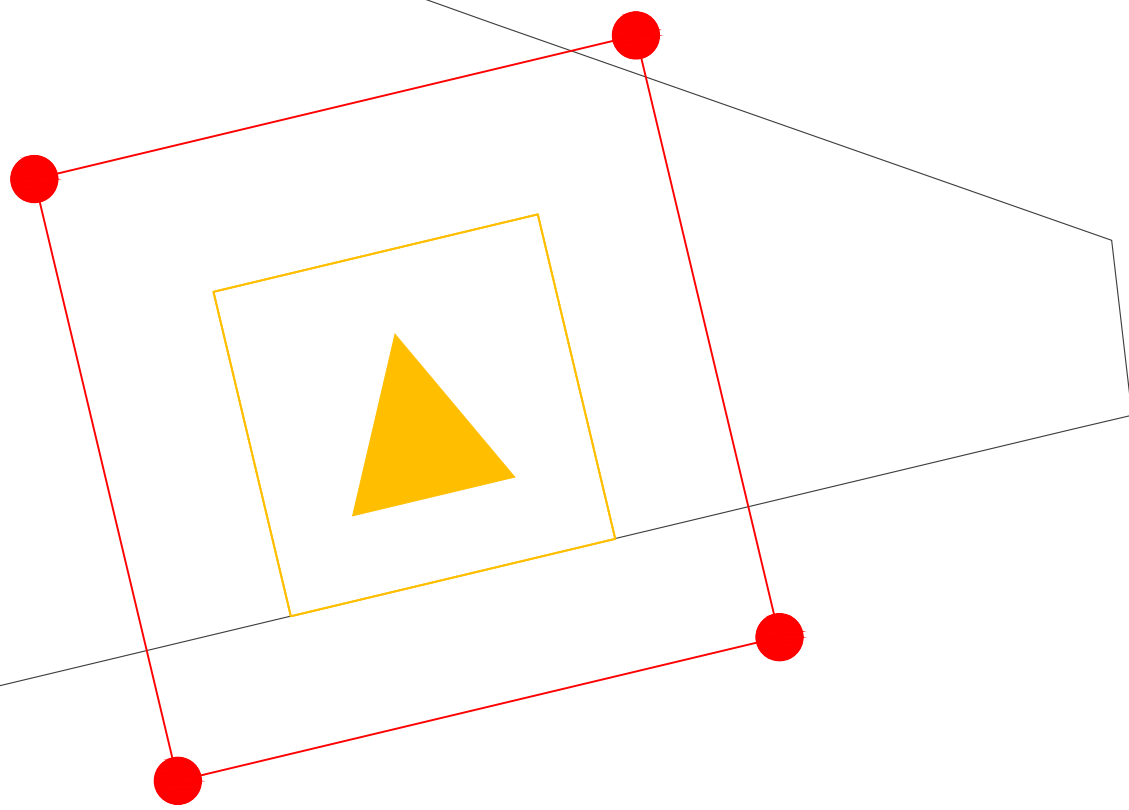
PR

D

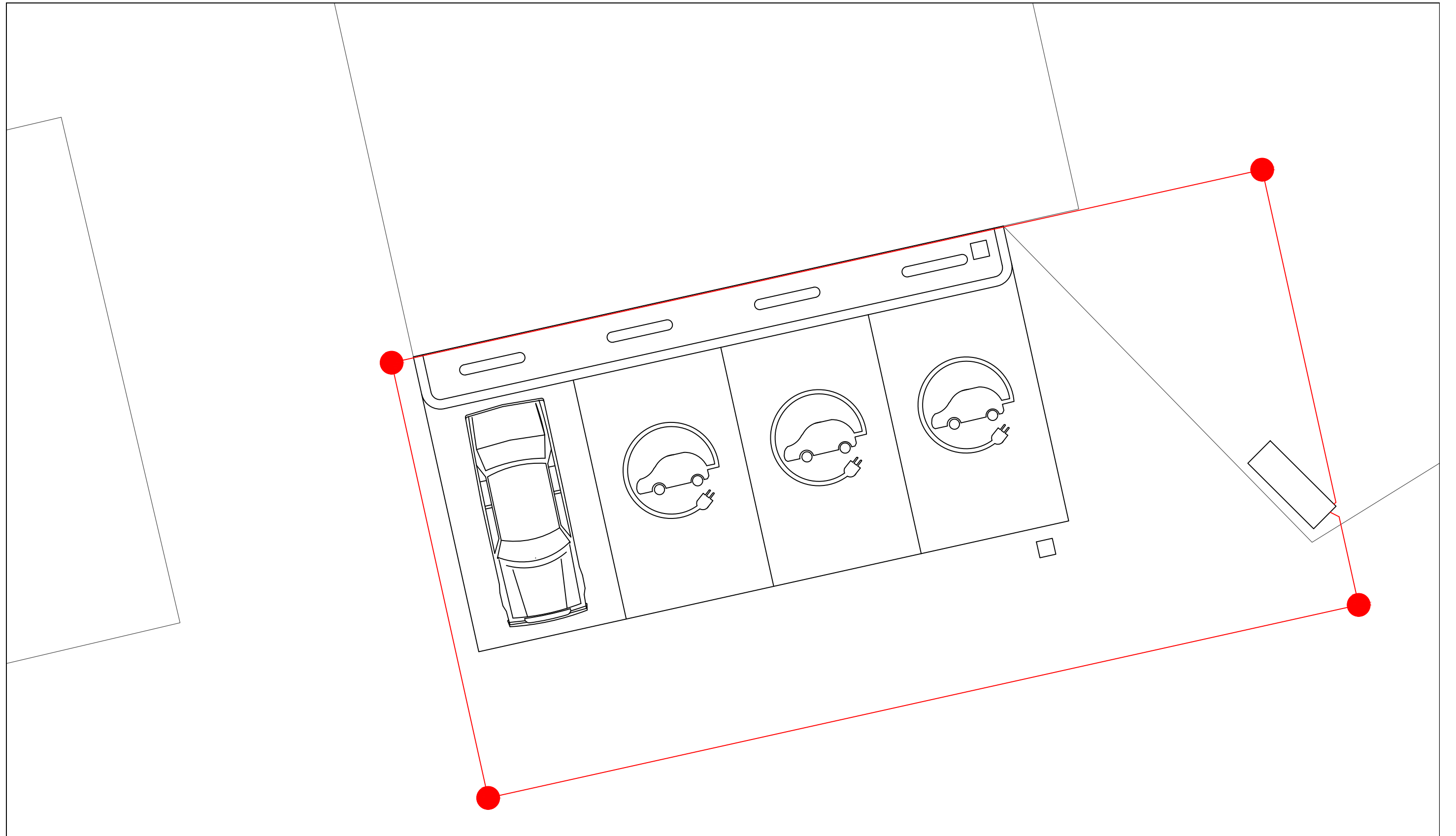
D

D

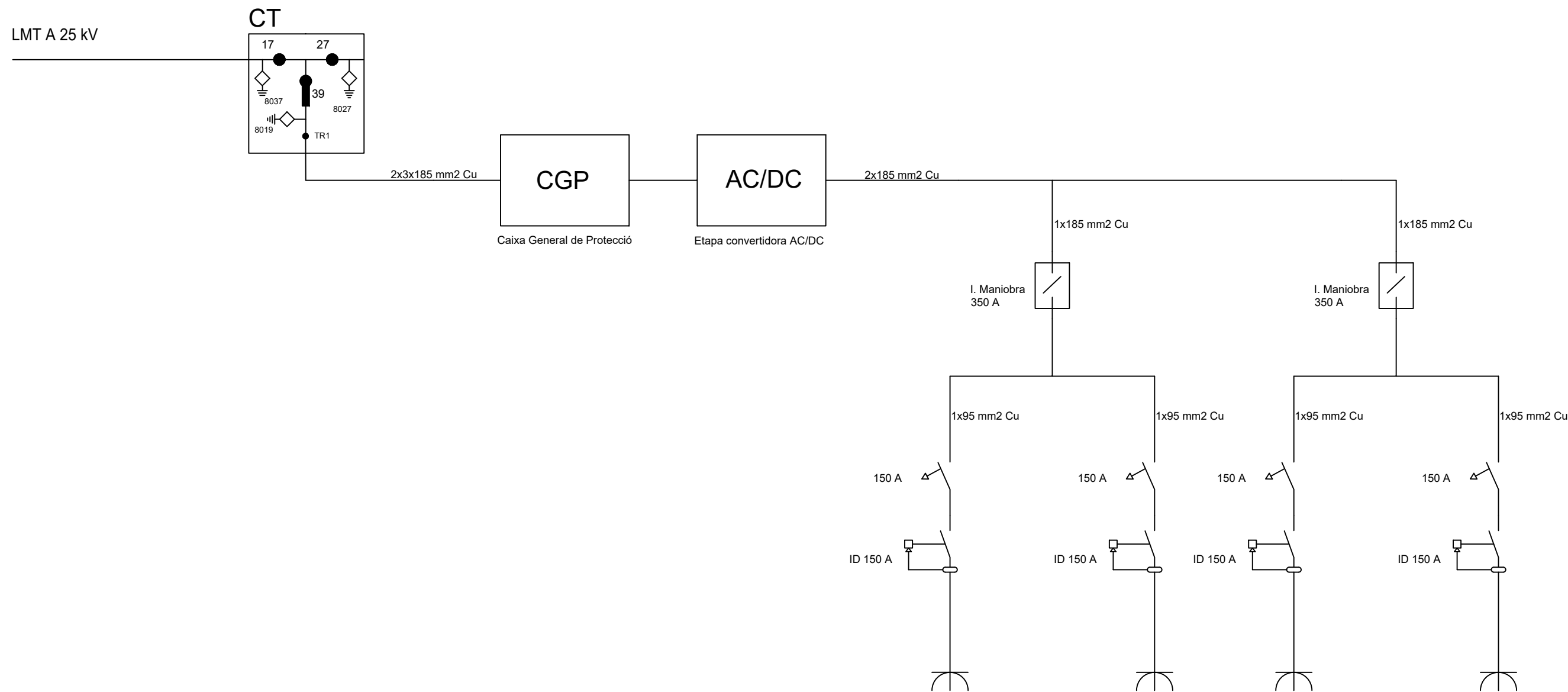
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	LÍNIA BT		Nº 4
			Sustitueix a
		Sustituit per	



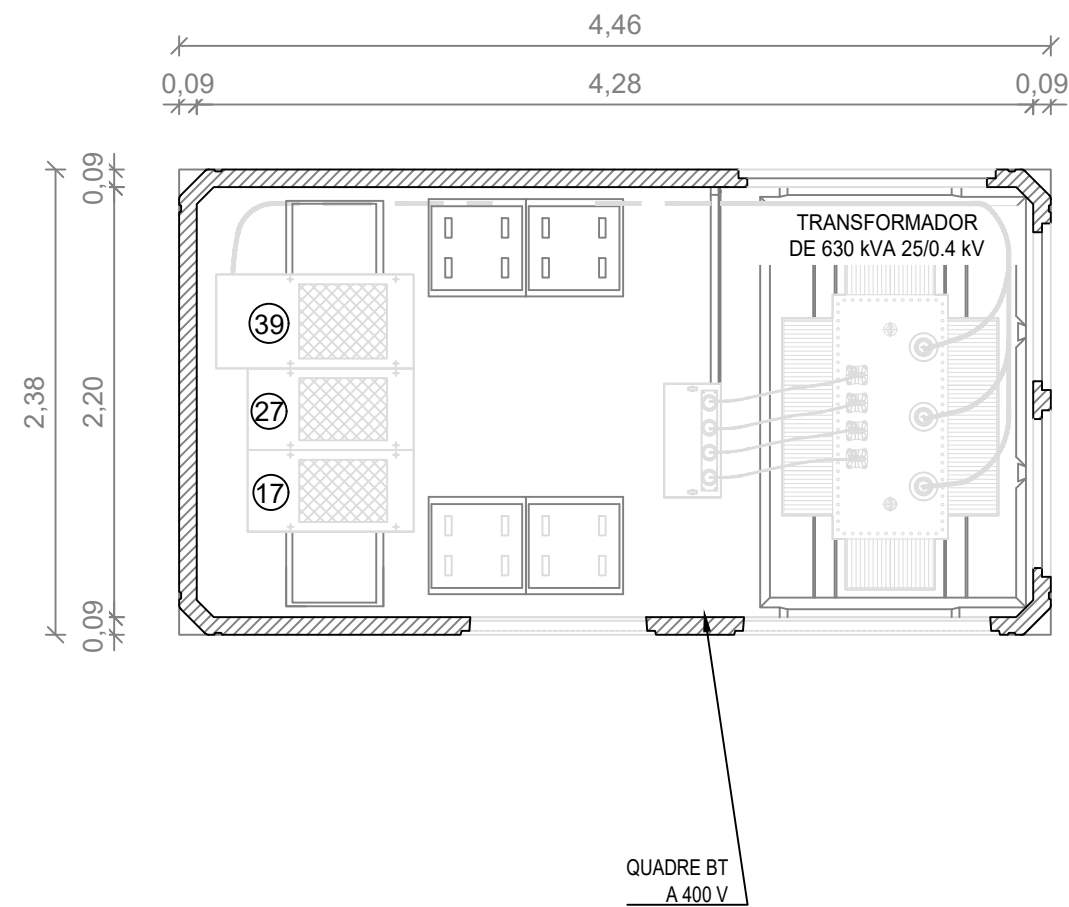
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA</i>
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	<i>POSTA A TERRA CT</i>		<i>Nº5</i>
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>



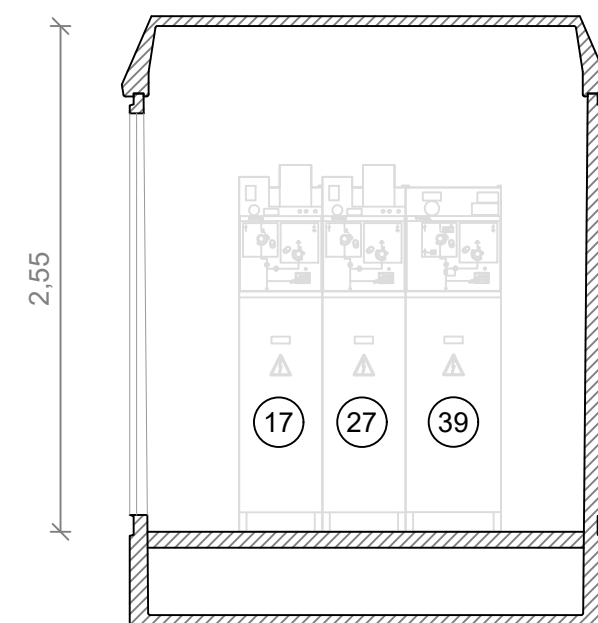
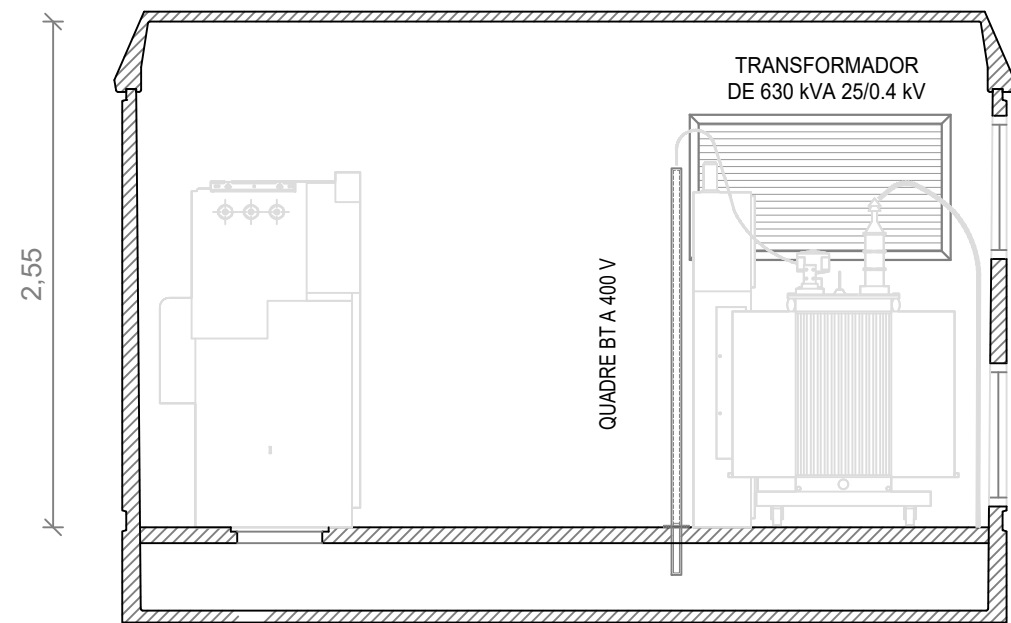
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA</i>
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	<i>POSTA A TERRA</i> <i>INSTAL.LACIÓ</i>		<i>Nº6</i>
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>



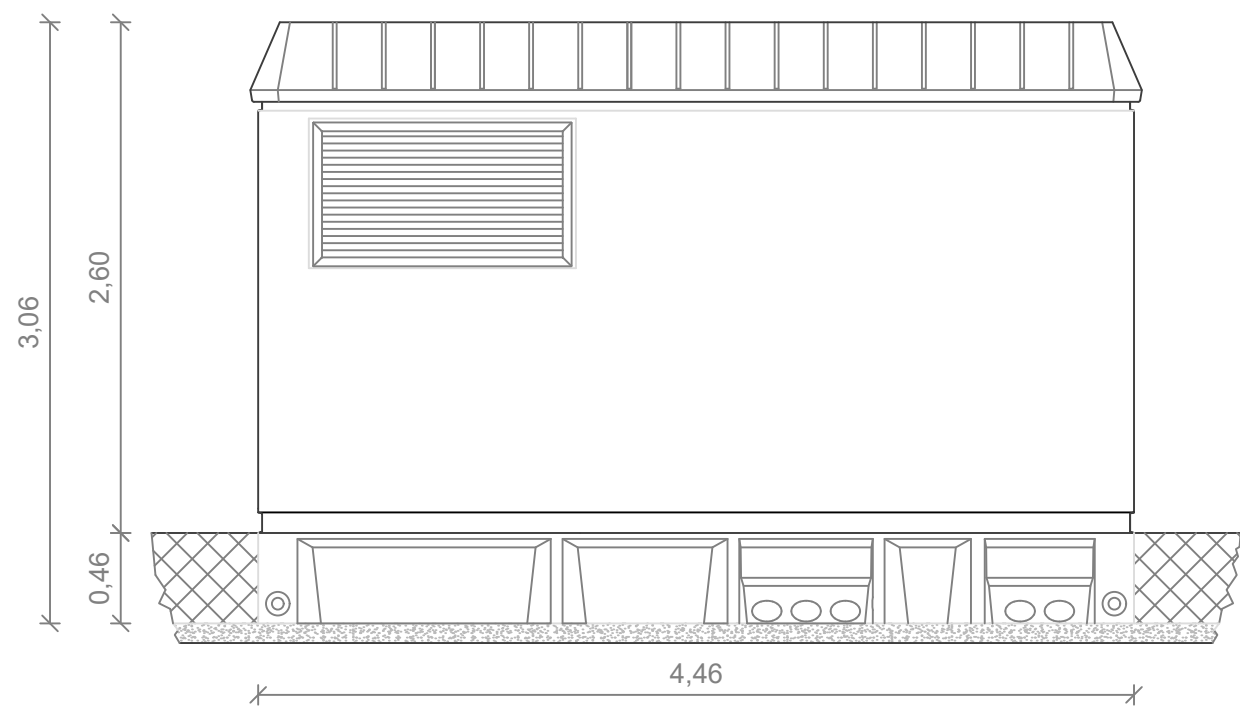
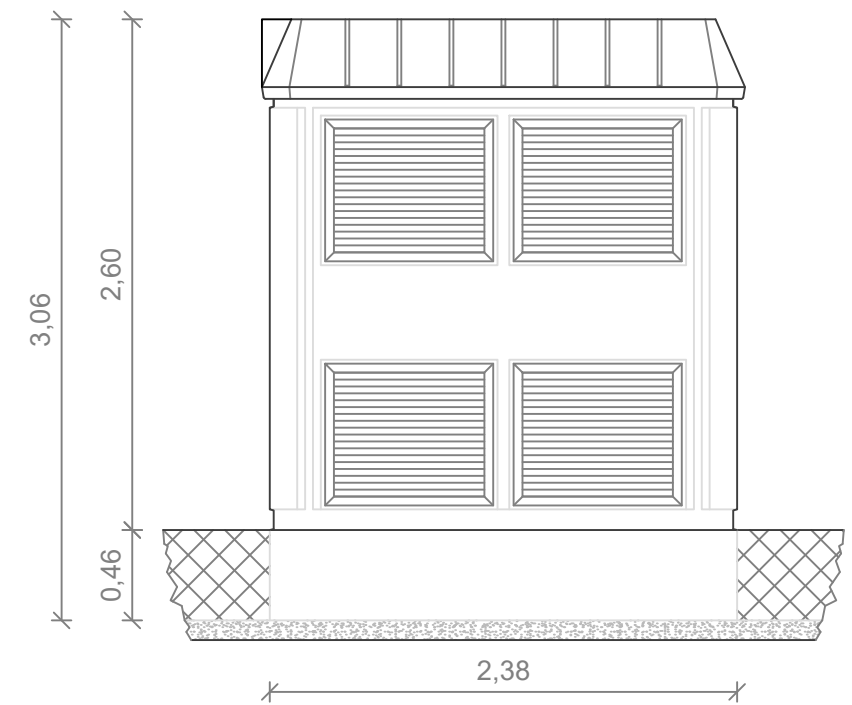
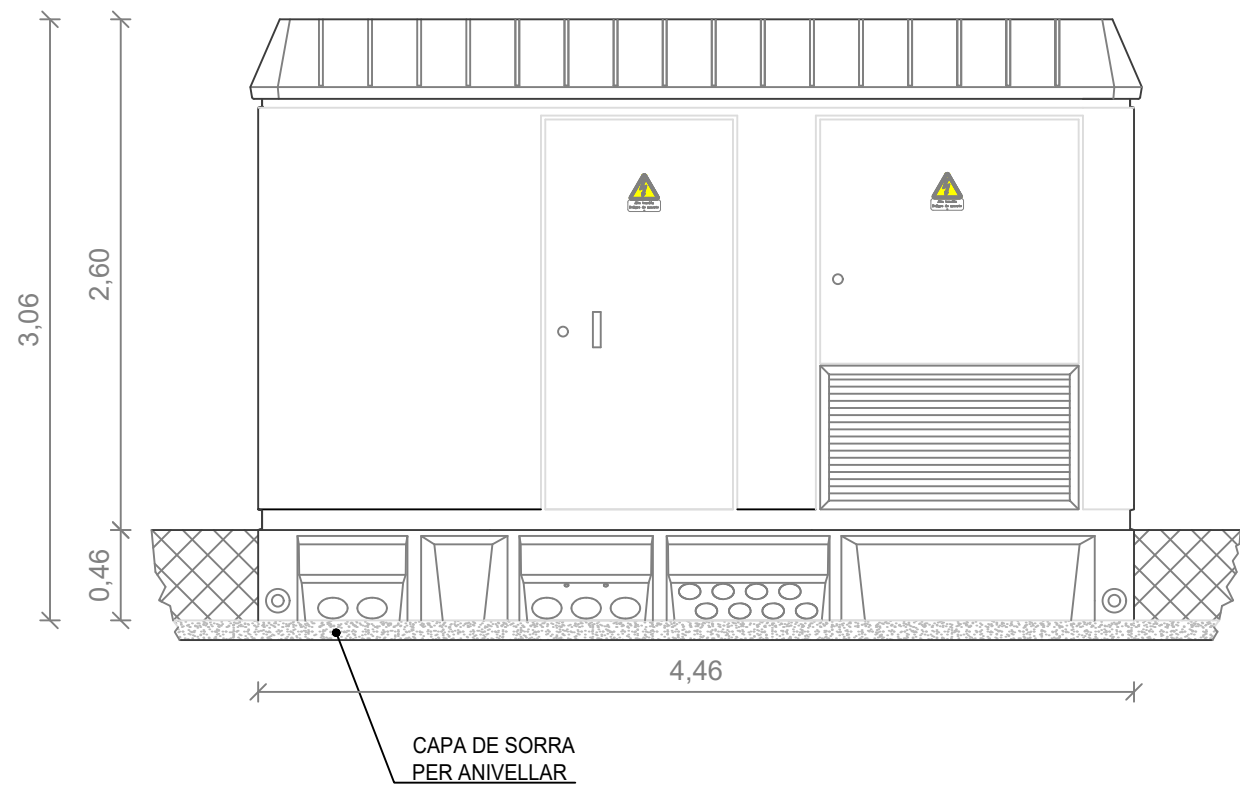
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA</i>
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	<i>ESQUEMA UNIFILAR</i>		<i>Nº 7</i>
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>



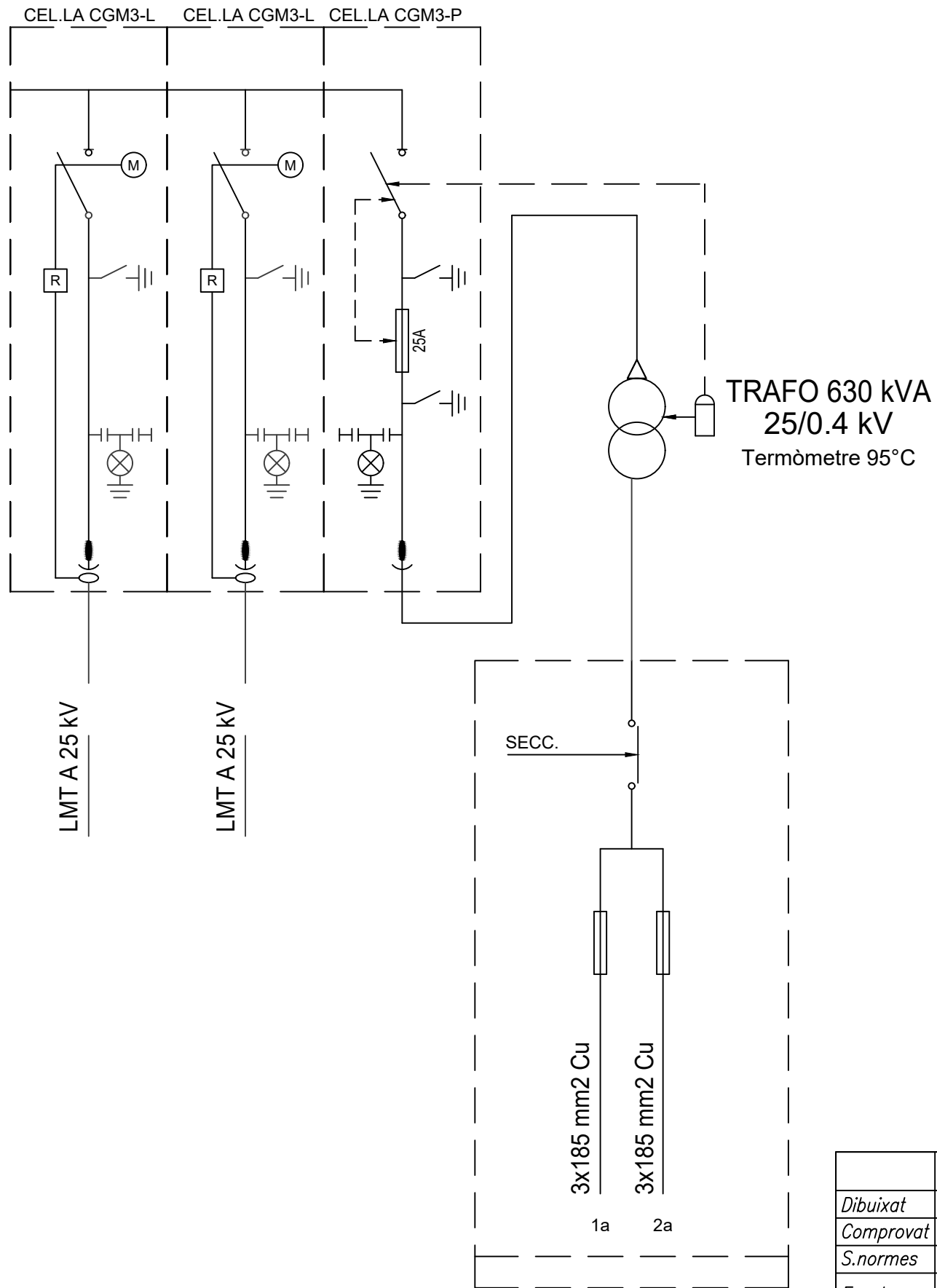
	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA</i>
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	<i>PLANTA CT</i>		<i>Nº 8</i>
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>



	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA</i>
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	<i>SECCIÓ CT</i>		<i>Nº 9</i>
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>

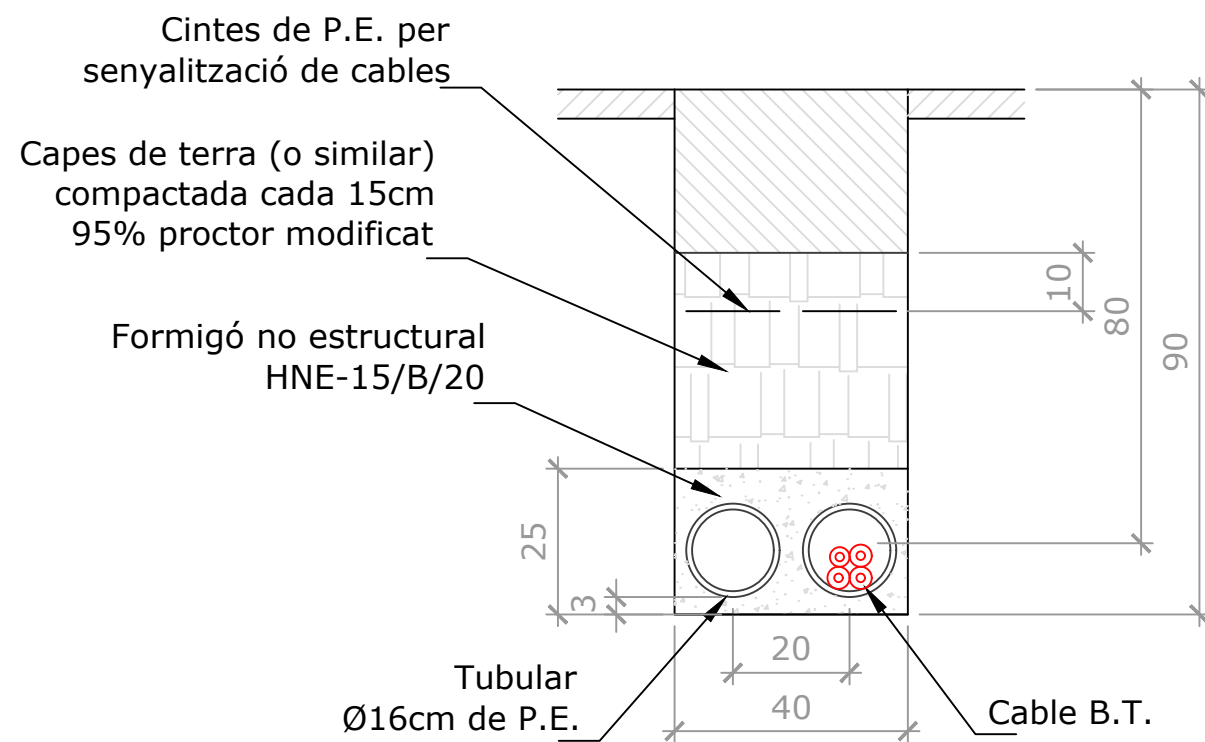


	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	
<i>Dibuixat</i>			UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	FAÇANA CT		Nº 10
			Sustitueix a
			Sustituit per

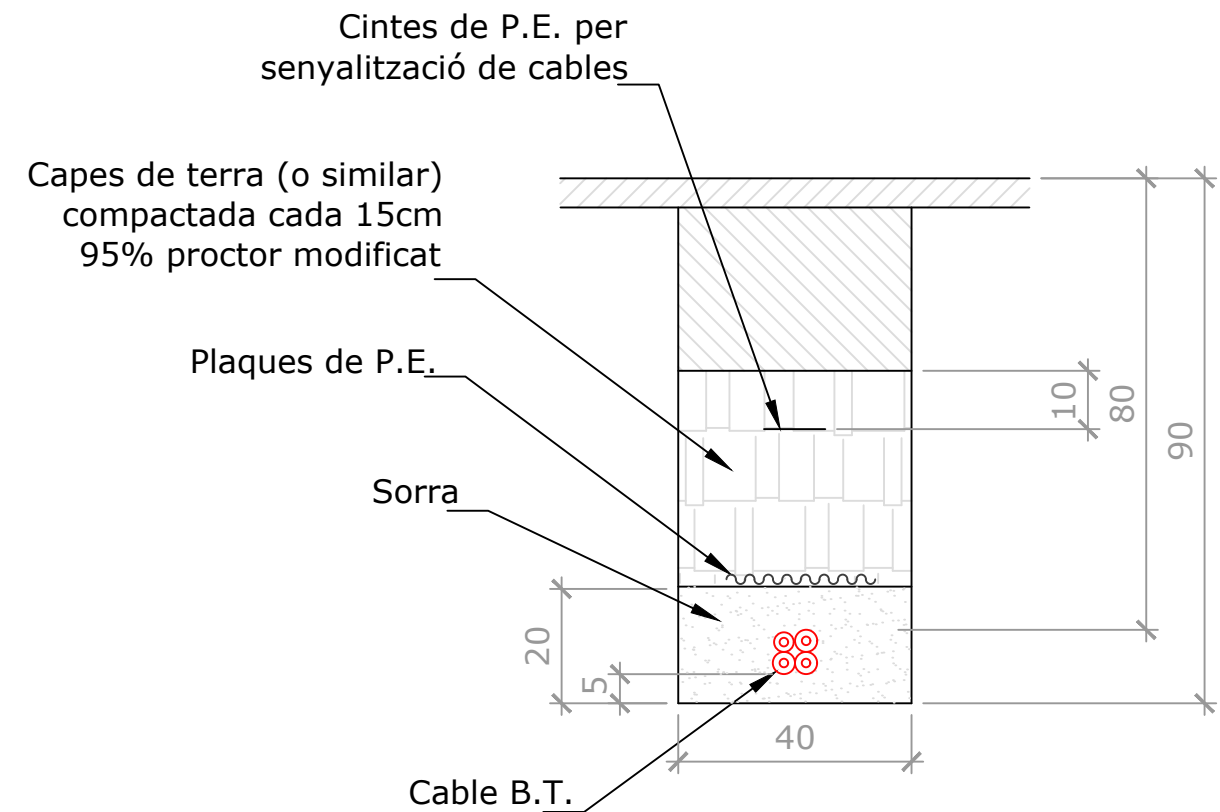


	Data	Nom	
Dibuixat			UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA
Comprovat			
S.normes			
Escala	UNIFILAR CT		Nº 11
			Sustitueix a
			Sustituit per

RASA 1C. B.T.
EN CALÇADA
(ACABAT ASFALT)



RASA 1C. B.T.
EN CALÇADA
(ACABAT ASFALT)



NOTA: A UTILITZAR EN RASA PARAL·LELA A LA VORERA

	<i>Data</i>	<i>Nom</i>	<i>UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI</i> <i>EXPRESSIO GRAFICA A L'ENGINYERIA</i>
<i>Dibuixat</i>			
<i>Comprovat</i>			
<i>S.normes</i>			
<i>Escala</i>	<i>DETALL RASA</i>		<i>Nº 12</i>
			<i>Sustitueix a</i>
			<i>Sustituit per</i>