

# **Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya**



Generalitat de Catalunya  
Departament de Treball, Indústria,  
Comerç i Turisme

# **Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya**



Generalitat de Catalunya  
Departament de Treball, Indústria,  
Comerç i Turisme

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP:

Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya. - (Estudis monogràfics; 13)  
Bibliografia  
I. Institut Català d'Energia II. Catalunya. Direcció General d'Energia i Mines III. Catalunya.  
Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme IV. Col·lecció: Estudis monogràfics (Institut  
Català d'Energia); 13  
1. Línies elèctriques - Catalunya 2. Línies elèctriques subterrànies - Catalunya  
621.315(467.1)

Direcció:

Albert Mitjà i Sarvisé

Director general d'Energia i Mines i de l'Institut Català d'Energia

Equip de Treball:

Agustí Andreu – Direcció General d'Energia i Mines

Joan Esteve – Institut Català d'Energia

Òscar Jordi – Institut Català d'Energia

Jaume Margarit – Institut Català d'Energia

Josep Maria Marín – Direcció General d'Energia i Mines

Francesc Sabio – Direcció General d'Energia i Mines

Alfredo Mas – Ingenieros Emetres

Jordi Flores – Ingenieros Emetres

Josep Casals – Ingenieros Emetres

Equip de col·laboració:

Ricard Bosch, enginyer industrial, membre de la Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió.

Alicia Granados, doctora en medicina i cirurgia, membre de la Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió.

Jaume Gratacós i Prats, enginyer industrial, consultor.

Paulino Montané, enginyer industrial, membre de la Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió.

Antoni Perramón, enginyer industrial, membre de la Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió.

Josep Maria Serena, enginyer industrial, membre de la Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió.

Primera edició: Febrer 2003

Tiratge: 5.000 exemplars

Generalitat de Catalunya. Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme

Disseny i maquetació: New Roman, S.L.

Impressió: Viking, S.A.

## Introducció

L'objectiu d'aquesta publicació, editada conjuntament per la Direcció General d'Energia i Mines i l'Institut Català d'Energia, és oferir una informació objectiva sobre els diferents avantatges i inconvenients de les línies elèctriques aèries i subterrànies, segons el nivell de tensió (alta tensió, mitjana tensió i baixa tensió), i atenent a un ampli conjunt de criteris de caire econòmic, tècnic i mediambientals.

El contingut de la publicació és eminentment didàctic, per a que la ciutadania, els responsables de les diferents administracions, grups ecologistes, partits polítics, etc. disposin d'una informació tècnica suficient per a analitzar, en termes generals, la conveniència de la instal·lació d'una línia elèctrica subterrània o aèria. Les conclusions de l'estudi són coherents amb els criteris establerts per la Direcció General d'Energia i Mines pel que fa al soterrament de les línies elèctriques segons el nivell de tensió i la zona on passa la línia (rural o urbana).

La necessitat d'una publicació com aquesta s'accentua degut a l'actual polèmica existent sobre la conveniència de soterrar les línies elèctriques a Catalunya, sobretot arran de l'anomenada "Declaració de Rubí", signada per nombrosos alcaldes i responsables municipals de l'àmbit metropolità de Barcelona, i que feia referència a la necessitat de racionalitzar els traçats elèctrics existents, així com a les recents resolucions del Parlament de Catalunya en aquesta matèria.

## Índex

1. Objecte	9
2. Terminologia i nomenclatura utilitzada	10
3. La xarxa elèctrica catalana	14
4. Línies aèries	16
4.1 Consideracions prèvies	16
4.2 Tipologia de línies aèries	16
4.2.1 Tipologia segons el tipus de conductor	16
4.2.2 Tipologia segons el suport	17
5. Línies subterrànies	20
5.1 Consideracions prèvies	20
5.2 Tipologia de línies subterrànies	20
6. Condicionants de les instal·lacions aèries i de les subterrànies.	
Avantages i inconvenients	25
6.1 Condicionants tècnics	25
6.2 Condicionants de qualitat del servei	27
6.3 Condicionants mediambientals	32
6.3.1 Aspectes generals	32
6.3.2 Camps electromagnètics	38
6.3.3 Quantificació de l'impacte ambiental	44
6.4 Condicionants legals	46
6.5 Condicionants econòmics	47
6.5.1 Cost de construcció de noves instal·lacions	47
6.5.2 Costos de manteniment	49
6.5.3 Retribució econòmica	52
7. Situació comparativa de Catalunya	
amb Espanya i altres països europeus	54
8. Conclusions	58
9. Bibliografia i referències	60

## 1 OBJECTE

Aquest informe ha estat elaborat per la Direcció General d'Energia i Mines i l'Institut Català d'Energia del Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme de la Generalitat de Catalunya.

L'elaboració d'aquest informe està motivada per la necessitat que des de les institucions públiques es donés a la ciutadania en general prou informació per poder avaluar correctament la temàtica associada al soterrament de les línies elèctriques.

En efecte, l'increment de la sensibilitat mediambiental de la societat ha comportat el qüestionament des de diferents grups d'opinió de les pràctiques històriques de les empreses elèctriques a l'hora de decidir si una línia havia de ser subterrània o no.

Per altra banda, l'administració competent, en aquest cas la Generalitat de Catalunya, ha d'establir els criteris que permetin a les empreses elèctriques dur a terme les seves inversions d'una manera estable i, a més, aconseguir un equilibri entre el servei del

subministrament elèctric i el respecte al medi ambient.

Aquest informe presenta les tipologies més comunes de línies elèctriques aèries i subterrànies i en realitza un estudi comparatiu d'avantatges, inconvenients i viabilitat, d'acord amb els seus condicionants tècnics, de qualitat en el servei, mediambientals, legals i econòmics.

Així, doncs, és un document divulgatiu que ha de servir per informar, formar i establir uns criteris generals d'aplicació dels diferents tipus de línies aèries i subterrànies, així com exposar l'estat actual de la xarxa elèctrica de Catalunya i les previsions de futur.

No s'ha pretès fer una anàlisi tècnica aprofundida, que faria complicada la seva lectura i no aportaria valor didàctic complementari, ja que es pretén que vagi adreçat a entitats oficials i administracions que puguin estar interessades en aquesta temàtica, sense necessitat de tenir coneixements tècnics específics i profunds.

## 2 TERMINOLOGIA I NOMENCLATURA UTILITZADA

Com que és inevitable utilitzar terminologia tècnica específica per al seu desenvolupament, es relaciona a continuació tota aquella nomenclatura tècnica utilitzada que es considera d'interès. A més, se'n dóna una definició que ajuda que el document sigui més entenedor.

### • Alta tensió (A.T.):

Reglamentàriament, es considera alta tensió tota tensió nominal superior o igual a 1 kV. Malgrat això, en la terminologia del sector elèctric es considera alta tensió tota tensió nominal superior o igual a 110 kV.

### • Aparellatge:

Conjunt d'aparells complementaris i necessaris a una línia elèctrica o centre de transformació. Comprèn elements de maniobra (interruptors i seccionadors), de mesura i de protecció.

### • Baixa tensió (B.T.):

Reglamentàriament i en la terminologia del sector elèctric es considera baixa tensió tota tensió nominal inferior a 1 kV.

### • Bobina de cable:

Element utilitzat per al transport de cables elèctrics enrotllats fins al seu punt d'instal·lació. Normalment, estan construïdes de fusta i elements metàl·lics (*veure fotografia 1*).

### • Bobina de compensació:

Element per contrarestar o compensar els efectes capacitius d'una línia elèctrica.

### • Cadena d'aïllament:

Conjunt de materials i peces especials per fixar un conductor a un suport amb l'aïllament adequat a la tensió de la línia (*veure figura 1*).

### • Cadireta:

Suport metàl·lic construït amb perfils normalitzats, que s'emprava en línies aèries de B.T. per fixar els conductors en nuclis urbans i industrials.

### • Central elèctrica:

Lloc i conjunt d'instal·lacions utilitzades per a la producció d'energia elèctrica.



Fotografia 1. Bobina de cable

- **Centre de transformació:**

Instal·lació destinada a la transformació d'energia elèctrica proveïda d'un o diversos transformadors reductors d'alta a baixa tensió, amb l'aparellatge de maniobra, protecció i mesura; i obra civil necessaris, utilitzada per alimentar xarxes de baixa tensió (*veure fotografia 2*).

- **Circuit elèctric:**

És un conjunt de materials elèctrics (conductors, aïllament, etc.) de diferents fases o polaritats que serveix per portar l'energia elèctrica d'un lloc a un altre. Generalment, és un sistema trifàsic amb tres conductors actius, i ocasionalment amb conductor neutre i terres (*veure definicions*).

- **Conductor aïllat unipolar:**

És aquell que, a part del conductor actiu, normalment de coure o alumini, incorpora unes capes externes que li donen l'aïllament necessari d'acord amb el nivell de tensió de servei. Aquesta coberta de material aïllant pot anar associada o no a una coberta addicional de protecció mecànica (*veure figura 2*).

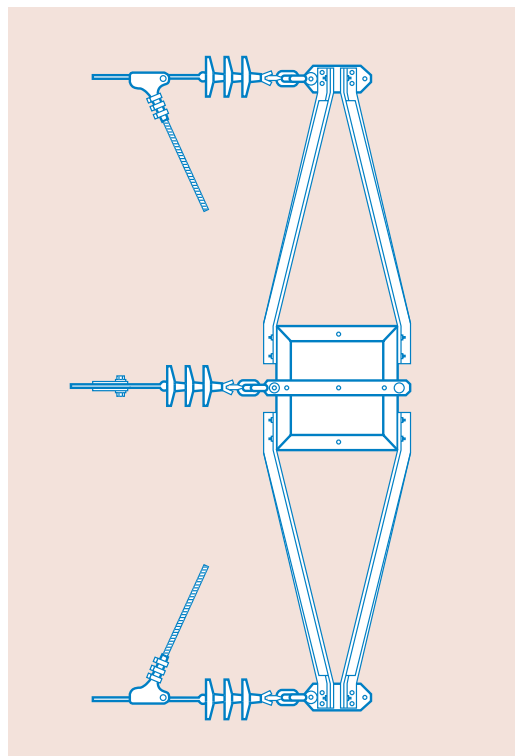


Figura.1 Vista en planta d'un suport metàl·lic amb les cadenes d'aïllament

- **Conductor aïllat multipolar:**

Igual que l'unipolar, però amb diversos conductors actius dins d'una mateixa coberta exterior única (*veure figura 3*).



Fotografia 2. Centre de transformació. Vista exterior i interior.

- **Conductor aïllat trenat:**

És un conjunt de diversos conductors aïllats unipolars, que formen un circuit elèctric, disposats de forma trenada, normalment per a instal·lacions de B.T. (veure figura 4).

- **Conductor nu:**

Un conductor nu o despulat és un cable, normalment de coure o alumini, sense cap tipus de protecció o aïllament extern incorporat. L'aïllament respecte a altres conductors és l'aire mateix, i l'aïllament respecte als seus suports s'aconsegueix amb la instal·lació de peces especials.

- **Línia aèria:**

Les línies aèries són aquelles en què tots els seus elements estan per sobre de la superfície del terreny.

- **Línia elèctrica:**

És un conjunt de materials de diferents fases o polaritats que serveix per portar l'energia elèctrica d'un lloc a un altre. Aquest concepte, però, té un abast més ampli que el circuit elèctric, ja

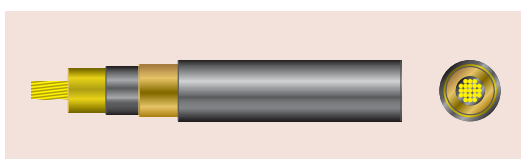


Figura 2. Conductor aïllat unipolar

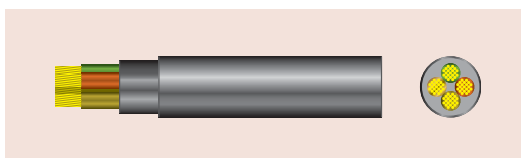


Figura 3. Conductor aïllat multipolar (tetrapolar)

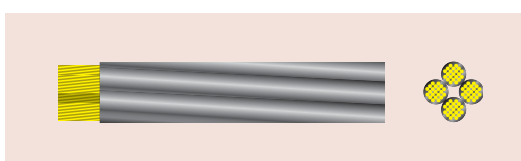


Figura 4. Conductor trenat

que també engloba els elements de suport dels conductors i pot estar formada per un o diversos circuits.

- **Línia subterrània:**

Les línies subterrànies són aquelles en què tots els seus elements estan sota la superfície del terreny.

- **Línies de distribució:**

Línies elèctriques destinades a portar l'energia elèctrica, en distàncies curtes o moderades, des de les subestacions o centres de transformació fins als consumidors finals.

Segons la Llei 54/97 del sector elèctric, són aquelles línies de tensió nominal inferior a 220 kV. Malgrat això, les línies de 66, 110 i 132 kV tenen una funció de subtransport.

- **Línies de transport i subtransport:**

Línies elèctriques destinades a portar l'energia elèctrica, a grans distàncies, des dels punts de producció fins a les subestacions.

Segons la Llei 54/97 del sector elèctric, les línies elèctriques de transport són aquelles línies de tensió nominal igual o superior a 220 kV.

Les línies elèctriques de 66, 110 i 132 kV tenen una missió de subtransport.

- **Mitjana tensió (M.T.):**

Reglamentàriament, no existeix el concepte de mitjana tensió. En la terminologia del sector elèctric es considera mitjana tensió tota tensió nominal superior o igual a 1 kV i inferior a 110 kV. A Catalunya, la xarxa de mitjana tensió més habitual és la de 25 kV.

- **Neutre:**

En un sistema trifàsic, és el conductor que du la tensió promig de les tres fases.

• **Subestació de transformació (S.E.):**

Instal·lació destinada a la transformació d'energia elèctrica proveïda d'un o diversos transformadors reductors d'alta a alta tensió o d'alta a mitjana tensió, amb l'aparellatge de maniobra, protecció i mesura; i obra civil necessaris, utilitzada per alimentar altres subestacions o centres de transformació (*veure fotografia 3*).

• **Suport d'una línia:**

Element portant d'una línia aèria, fixat sobre el terreny, d'alçada i materials segons la tipologia dels conductors i del territori. Els suports normalitzats estan construïts de xapa metàl·lica, perfils metàl·lics (gelosia), formigó o fusta.

Són suports d'angle aquells en què la línia canvia de direcció. Per aquest motiu, estan subjectes a uns esforços mecànics superiors.

• **Terra:**

Conductor que pren el potencial de la terra a través d'uns electrodes clavats en el sòl.

• **Tram:**

Tros de línia aèria que està compresa entre dos punts de suport.

• **Zona rural:**

S'entén per zona rural aquella amb una baixa densitat de població.

A efectes de la qualitat del servei d'energia elèctrica, el Decret 329/2001 defineix com a zona rural aquell conjunt de municipis d'una comarca amb menys de 2.000 subministraments, excloent-hi les capitals de comarca. Amb el llindar dels 200 subministraments es diferencia entre zona rural concentrada i dispersa.

• **Zona semiurbana:**

S'entén per zona semiurbana aquella amb una densitat mitjana de població.

A efectes de la qualitat del servei d'energia elèctrica, el Decret 329/2001 defineix com a zona semiurbana aquell conjunt de municipis d'una comarca comprès entre 2.000 i 20.000 subministraments, excloent-hi les capitals de comarca.

• **Zona urbana:**

S'entén per zona urbana aquella amb una alta densitat de població.

A efectes de la qualitat del servei d'energia elèctrica, el Decret 329/2001 defineix com a zona urbana aquell conjunt de municipis d'una comarca amb més de 20.000 subministraments, incloent-hi les capitals de comarca, encara que no superin la xifra anterior.



Fotografia 3. Subestació de transformació. Vista aèria.

### 3 LA XARXA ELÈCTRICA CATALANA

Des del punt de vista elèctric, Catalunya es caracteritza per tenir unes zones de generació d'energia que no coincideixen geogràficament amb les zones de consum.

Les grans zones de consum elèctric a Catalunya se centren bàsicament en l'àrea de Barcelona i la seva perifèria, els polígons industrials de la zona del Baix Camp de Tarragona i altres zones puntuals amb activitats econòmiques importants (Costa Brava o Costa Daurada per la seva activitat turística, zones específiques del sector terciari, industrial, etc.).

Els principals punts de generació d'energia elèctrica de Catalunya se centren en la zona de les nuclears de Tarragona (Ascó-Vandellòs, amb una potència de l'ordre de 3.000 MW), la zona litoral central de Catalunya (on es concentren la major part de centrals tèrmiques convencionals, amb una potència de l'ordre de 2.000 MW) i la zona de producció hidràulica del Pirineu lleidatà (amb una potència de l'ordre de 1.600 MW). I també altres punts de generació de potències menys significatives.

La separació entre les grans zones productores d'energia elèctrica i les zones on es concentra el seu consum fa necessària l'existència d'una xarxa de línies elèctriques que connecti els centres generadors amb les zones de demanda.

A diferència del que passa amb altres energies, l'energia elèctrica té la singularitat que no es pot emmagatzemar, perquè la seva generació, transport, distribució i consum

funcionen en temps real. Per tant, aquesta xarxa de línies elèctriques ha de poder garantir les connexions necessàries entre la generació i els consums i, a més, les interconnexions a escala nacional i internacional que permetin l'intercanvi d'energia i regulació òptima del conjunt del sistema elèctric.

Segons la tensió de funcionament de les línies i de la seva funció específica, la xarxa elèctrica es classifica en:

#### • Línies de transport:

La xarxa de transport té la funció de portar a grans distàncies l'energia elèctrica generada a les centrals i des de les subestacions fins als punts de transformació per a distribució. Aquest transport s'ha de fer a un nivell de tensió elevat per minimitzar les pèrdues. Un major nivell de tensió també permet que la línia de transport tingui unes dimensions inferiors (secció i pes dels cables, etc.) i, per tant, que sigui una infraestructura més econòmica i amb un menor impacte ambiental. Normalment, el nivell de tensió d'aquestes línies de transport se situa entre els 220 kV i els 400 kV, amb longituds típiques de centenars de quilòmetres.

#### • Línies de subtransport:

De forma similar a les xarxes de transport, les xarxes de subtransport serveixen per portar energia des dels centres de generació i subestacions fins als punts de transformació per a distribució, però a distàncies més curtes. Normalment, el nivell de tensió d'aquestes línies se situa en els 66, 110 i 132 kV, amb longituds típiques inferiors als cent quilòmetres.

• **Línies de distribució:**

Sota les xarxes de transport i subtransport, hi ha les xarxes de distribució, que són les xarxes finals per fer arribar l'energia elèctrica des de les subestacions o des dels centres de transformació fins al consum. A Catalunya, aquesta xarxa elèctrica té bàsicament dos nivells de tensió:

- Distribució en alta tensió a 25 kV (puntualment a 15 kV i 11 kV).
- Distribució en baixa tensió a 380 V (puntualment a 220 V).

Aquestes línies porten l'energia fins al consum final en l'àmbit local. Així, subministren directament a clients d'alta tensió o a centres de transformació alta/baixa tensió i també a clients de baixa tensió. Les longituds típiques màximes de les línies d'alta tensió per a distribució a 25 kV poden ser de l'ordre de 30 quilòmetres i les de baixa tensió normalment són com a màxim de fins a 1 quilòmetre (en casos puntuals poden sobrepassar aquesta longitud).

Per fer més entenedor aquest concepte, es podria fer un símil amb la xarxa viària, en què les línies de transport equivaldrien a les autopistes, les línies de subtransport a les autovies i les línies de distribució a les carreteres comarcals i locals. I en termes numèrics es pot simplificar dient que la longitud habitual de les línies és d'1 km per kV, i la capacitat d'1 MW per kV.

La xarxa elèctrica catalana té un total de gairebé 100.000 quilòmetres de línies elèctriques, amb 52.000 quilòmetres de baixa ten-

sió (inferior a 1 kV) i 46.000 quilòmetres d'alta tensió (superior a 1 kV), dels quals 9.000 quilòmetres corresponen a la xarxa de transport i subtransport. En conjunt, un 27,5% del total d'aquestes línies elèctriques de Catalunya són subterrànies. La resta són de tipus aeri.

Per poder interconnectar les instal·lacions esmentades, a causa de l'existència de diferents tensions de funcionament, es construeixen les anomenades subestacions i centres de transformació, que possibiliten la transició entre diferents nivells de tensió. A Catalunya, hi ha al voltant de 700 transformadors en subestacions (amb una potència instal·lada de més de 24.500 MVA) i més de 40.000 centres de transformació (amb una potència instal·lada d'uns 15.000 MVA).

### 4.1 CONSIDERACIONS PRÈVIES

Les instal·lacions aèries per al transport i distribució d'energia elèctrica, com ja s'ha definit, són aquelles en què tots els seus elements estan per sobre de la superfície del terreny. A Catalunya, pràcticament tota la xarxa de transport és aèria (línies d'alta tensió), així com la major part de la xarxa de distribució (línies de mitjana i baixa tensió). Així mateix, s'observa una forta relació entre la densitat de població i el nivell de soterrament de les línies elèctriques.

Tot seguit, es fa una descripció de les línies aèries tenint en compte diferents aspectes, com ara la seva tipologia i classificació, segons el seu nivell de tensió.

### 4.2 TIPOLOGIA DE LES LÍNIES AÈRIES

Les línies aèries estan constituïdes pels conductors i els suports, on se subjecten els conductors a través de les cadenes d'aïllament. Aquesta configuració ve determinada per un estricte compliment de criteris i requeriments tècnics (càlculs elèctrics i mecànics,

distàncies de seguretat, etc.) recollits en la reglamentació vigent.

D'acord amb el seu nivell de tensió, es classifiquen en línies de transport (tensions de 220 kV i 400 kV), subtransport (tensions de 66 kV, 110 kV i 132 kV) i distribució (alta tensió, generalment a 25 kV, i baixa tensió, generalment a 380 V).

#### 4.2.1 TIPOLOGIA SEGONS EL TIPUS DE CONDUCTOR

Segons la configuració esmentada, les línies aèries poden desglossar-se en dos grans grups, segons el tipus de conductor emprat:

- **Línies aèries de conductor nu.**

En aquest cas, l'aïllament està assegurat per l'aire. Així, cal assegurar una distància de separació entre els conductors i els elements que els suporten a través de cadenes d'aïllament. Aquesta distància dependrà de la tensió de servei de la línia (a més tensió, més distància). En aquest grup hi trobaríem gairebé totes les línies de transport i distribució d'alta i mitjana tensió i algunes línies de baixa tensió.



Fotografia 4. Línia A.T., 400 kV dúplex (dos fils per fase) sobre suports metàl·lics de gelosia.

- **Línies aèries de conductor aïllat.**

En les quals el conductor porta incorporat un material de recobriment aïllant, de manera que els conductors poden estar en contacte i també es poden fixar directament sobre un suport sense utilitzar cap element especial que proporcioni un aïllament. La majoria d'aquestes línies són de baixa tensió; excepcionalment i en trams molt concrets són línies aèries de mitjana tensió (situacions provisionals i/o en casos singulars acordats amb l'administració competent).

#### 4.2.2 TIPOLOGIA SEGONS EL SUPORT

Segons la tipologia del suport a emprar, les línies aèries poden classificar-se en:

- **Línies aèries sobre suports metàl·lics de gelosia.**

Els suports utilitzats per estendre els conductors estan construïts amb perfils metàl·lics d'acer amb tractaments anticorrosius (generalment, galvanitzat) units entre si, per cargolam o per soldadura, de manera que formen una estructura metàl·lica de

gelosia. Per les seves característiques mecàniques, aquests suports s'utilitzen en casos de sol·licitacions mecàniques elevades i alçàries considerables, i per la seva facilitat de transport i muntatge s'utilitzen en llocs de difícil accés. Això permet realitzar línies amb un menor nombre de suports (trams més llargs), sempre que l'orografia del terreny ho permeti. La pràctica totalitat de les línies aèries de transport són amb suports metàl·lics de gelosia (*veure fotografia 4*).

La utilització d'aquests suports en línies de distribució de mitjana tensió respon a criteris tècnics (esforç mecànic, separació de conductors...) (*veure fotografia 5*). En línies de distribució a baixa tensió el seu ús es limita a trams molt concrets i situacions amb característiques molt específiques (encreuaments de vials i rius amb trams llargs) en què d'altres tipus de suports no són adients.

- **Línies aèries sobre suports metàl·lics de xapa.**

Els suports utilitzats en aquest cas estan formats per una estructura tubular troncopiramidal, de secció rectangular o rodona, de



Fotografia 5. Línies M.T., 25 kV doble circuit sobre suports metàl·lics de gelosia.

xapa d'acer galvanitzat. La seva utilització no està tant estesa com la dels suports metàl·lics de gelosia. El criteri per a la seva utilització és similar en ambdós casos, i es diferencien únicament per criteris estètics. El suport de xapa és molt més esvelt que el de gelosia i, en la gamma de suports de gran esforç i alçària, comporta una menor ocupació de terreny. La seva menor utilització davant dels suports de gelosia obeeix també a criteris econòmics i a impacte visual (superfície opaca).

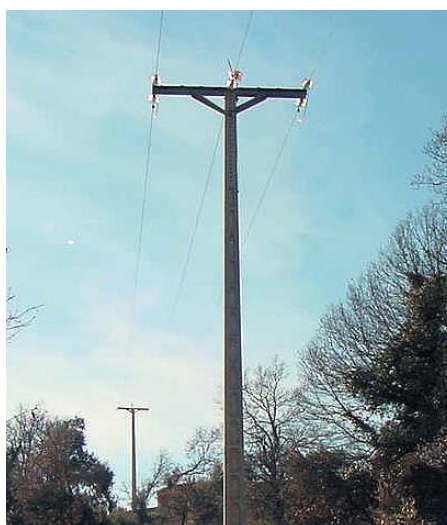
• **Línies aèries sobre suports de formigó.**

Els suports sobre els quals es recolzen els conductors són de formigó armat vibrat. Aquests suports són d'esforç mecànic i alçàries petites (fins a 15 m i 1.600 kg) i, per tant, la seva utilització es limita a casos determinats i per a trams de distàncies mitjanes. Per al seu transport i col·locació s'han de preveure accessos per a vehicles pesants, però, en canvi, l'ocupació de superfície és reduïda. El seu ús es limita a línies de distribució en mit-

jana i baixa tensió, on els esforços mecànics i alçàries necessàries fan possible la seva utilització (*veure fotografia 6*).

• **Línies aèries sobre suports de fusta.**

Els suports estan constituïts per troncs de fusta corresponent a espècies de pi, amb tractament adient per a la seva conservació contra agents externs, com ara humitat, insectes i fongs. Per les seves característiques mecàniques, només admeten trams de distàncies molt curtes (esforç molt reduït i alçàries petites). Actualment, la seva utilització se centra en línies aèries de baixa tensió en zones rurals, però eventualment es poden trobar línies de mitjana tensió. La seva utilització i facilitat de transport (fins i tot pot ser manual) permet la seva col·locació en llocs sense accés rodat (*veure fotografia 7*).



Fotografia 6. Línia M.T., 25 kV sobre suports de formigó.

TIPOLOGIA	Transport i subtransport	Distribució en alta tensió (fins a 30 kV)	Distribució en baixa tensió (< 1 kV)
Sobre suports metàl·lics de gelosia	Molt habitual, en línies existents i de nova construcció.	Molt habitual, sobretot en línies de nova construcció.	Poc habitual. Només en punts concrets (encreuaments).
Sobre suports metàl·lics de xapa	En alguns indrets per condicionants de l'entorn.	Poc habitual, només en casos molt concrets i sempre en substitució dels de formigó.	Gens habitual. En qualsevol cas, en suports d'angle o amb derivacions.
Sobre suports de formigó	Poc habitual en nova construcció.	Poc habitual en nova construcció. Habitual en línies antigues.	Poc habitual. Només en suports d'angle o amb derivacions.
Sobre suports de fusta	Mai.	Excepcionalment en línies de nova construcció. Habitual en línies antigues.	Molt habitual en zones rurals. En nucli urbà, només quan no es pot posar sobre façana.
Sobre façana	Mai.	Mai.	Molt habitual i sempre en zones urbanes.

Taula 1. Tipologies més habituals de línies elèctriques aèries segons el suport.

#### • Línies aèries trenades posades sobre façana.

En aquest cas, el suport dels conductors són les façanes dels edificis. Aquest tipus de línia aèria només és factible en zones urbanes i se'n pot distingir dos tipus: les esteses sobre cadiretes i les grapades directament sobre façana. La primera opció ja no es considera en els nous projectes, malgrat que encara n'hi ha en molts indrets. En el segon cas, els

conductors es fixen directament a les parets de façana dels edificis mitjançant abraçadores i respectant les distàncies reglamentàries als elements constructius i altres serveis. Aquesta disposició permet una ordenació visual menys impactant que les línies esteses sobre cadireta.

A la taula 1 es mostra un quadre resum on es pot apreciar, segons el nivell de tensió de la línia aèria, quina tipologia és la més habitual.



Fotografia 7. Línia B.T., amb conductor nu (també anomenat cable convencional)

## 5 LÍNIES SUBTERRÀNIES

### 5.1 CONSIDERACIONS PRÈVIES

Les instal·lacions subterrànies per al transport i distribució d'energia elèctrica, com ja s'ha exposat, són aquelles en què tots els seus elements estan sota la superfície del terreny. A Catalunya, el nivell de soterrament de la xarxa de transport és reduït i quasi sempre en zones urbanes. La xarxa de distribució presenta un nivell de soterrament al voltant del 30%, tant per al nivell d'alta tensió com per al de baixa tensió, i també en zones urbanes i semiurbanes.

Tot seguit, es fa una descripció de les línies subterrànies, igual que s'ha fet per a la xarxa aèria, tenint en compte diferents aspectes, com ara la seva tipologia i classificació, segons el seu nivell de tensió.

### 5.2 TIPOLOGIA DE LÍNIES SUBTERRÀNIES

La classificació segons el nivell de tensió per a les línies subterrànies correspon al mateix ordre que les aèries, que ja s'ha descrit en l'apartat 4.2 d'aquest estudi.

Les línies subterrànies, bàsicament, estan constituïdes per uns conductors aïllats col·locats al fons d'una rasa, prèviament oberta, i recoberts per capes de sorra i terres cribades de la mateixa excavació o de nova aportació i amb les senyalitzacions i proteccions adequades (de tipus mecànic, com ara unes plaques de polietilè). La fondària a la qual van col·locats els cables depèn del nivell de tensió de la línia i oscil·la des dels 70 cm en baixa tensió fins a l'1,5-2 m en alta tensió (veure figura 5).

Els cables soterrats es poden col·locar també en l'interior de tubs de polietilè, amb protecció exterior addicional de formigó si cal en trams amb trànsit rodat per sobre. En qualsevol dels dos casos és obligat col·locar una

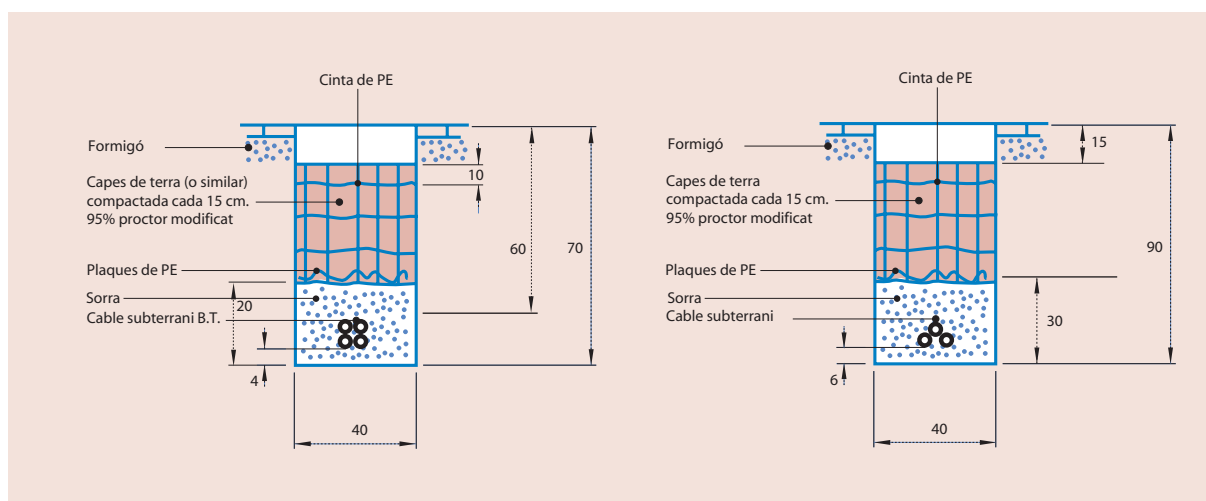


Figura 5. Detall rasa línia subterrània B.T. (esquerra) i línia subterrània M.T. (dreta) amb cables col·locats directament amb sorra, placa de protecció de polietilè i cinta de senyalització. (Unitats en centímetres)

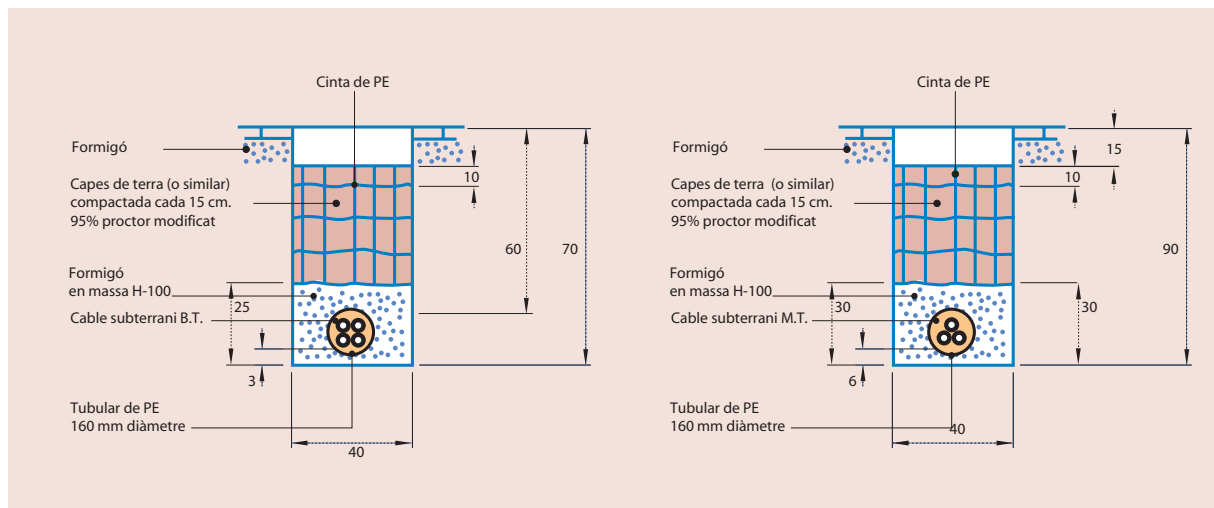


Figura 6. Detall rasa línia subterrània B.T. (esquerra) i línia subterrània M.T. (dreta) amb cables col·locats en tub de polietilè i formigonats i cinta de senyalització. (Unitats en centímetres)

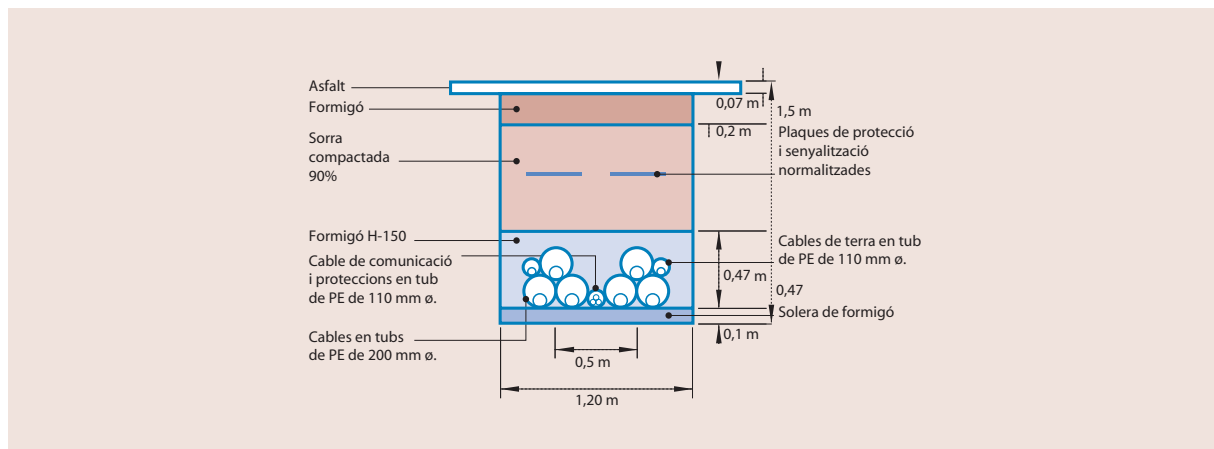


Figura 7. Detall rasa línia subterrània A.T. amb cables col·locats en tub de polietilè i formigonats i plaques de senyalització.

senyalització de la línia subterrània consistent en unes cintes plàstiques que segueixen la mateixa traça, per damunt d'ella i a una fondària que varia segons l'acabat superficial del terreny (generalment, entre 10 i 15 cm de distància per sota l'acabat superficial) (veure figures 6 i 7).

També hi ha línies subterrànies que transcorren per l'interior de galeries de servei generalment transitables. Aquestes requereixen un control de la seva temperatura interior, sistemes de ventilació, enllumenat normal i d'emergència. És una solució practicada en zones urbanes perquè redueix l'ocupació del terreny, tot i que la inversió és molt elevada (veure figures 8 i 9, i fotografia 8).

Tots els cables de potència tenen en comú tres components essencials:

- Un conductor metàl·lic, que facilita el pas del corrent elèctric.
- L'aïllament del cable, també anomenat dielèctric, que protegeix contra els contactes directes.
- La protecció exterior, per evitar les agressions mecàniques, químiques, foc, etc. procedents de l'exterior.

En els cables subterranis, l'aïllament està assegurat per un material específic. En un principi, van ser el paper impregnat en oli i l'oli mateix, i posteriorment es van incorporar els aïllaments sintètics i els cables en tub.

Amb el nivell de tensió augmenta el gruix de l'aïllament necessari, que en el cas dels cables amb aïllament sintètic va des de 2 mm per a una tensió de 380 V, 40 mm per a una de 220 kV i fins a 80 mm per a una tensió de 400 kV. Aquest és el motiu pel qual

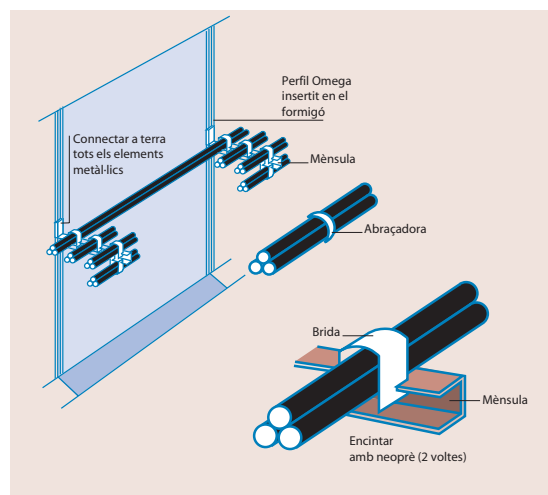


Figura 8. Detall disposició de línies a l'interior d'una galeria de serveis de secció rectangular.

amb l'augment del nivell de tensió també augmenta el volum del cable i, per tant, també es limita el metratge de les bobines pel seu transport i emmagatzematge.

Pel que fa als tipus de cable per a línies subterranies, les solucions tecnològiques més conegudes actualment per a cables unipolars són les següents:



Fotografia 8. Línies elèctriques subterranies a l'interior d'una galeria de serveis

- Cables amb aïllament per paper impregnat amb oli
- Cables amb aïllament per dielèctrics sintètics o cable sec [el més habitual és el de polietilè reticulat extrudit (XLPE)].
- Cables en tub, amb circulació d'oli o gas a pressió (poden ser amb hexafluorur de sofre, freó, nitrogen o barreges d'aquests gasos)

Els d'utilització més estesa, però, són els d'aïllament per dielèctrics sintètics o cables d'aïllament secs, per a tensions d'utilització fins a 220 kV. (veure fotografia 9 i figura 10). En aquest cas, les solucions tècniques de les unions, imposades per les limitacions de metratge de les bobines, són relativament fàcils d'efectuar i amb un nivell de fiabilitat elevat.

En canvi, en altres tipus de cable com els d'aïllament amb oli, amb unions mixtes, es

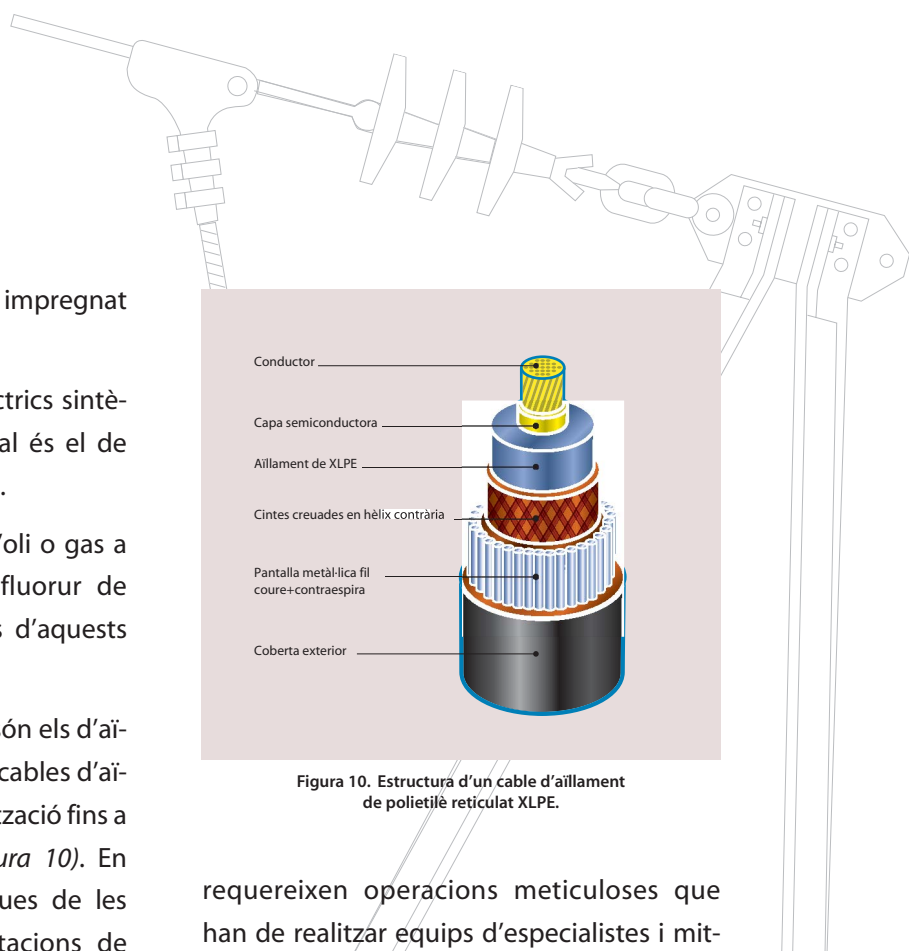


Figura 10. Estructura d'un cable d'aïllament de polietilè reticulat XLPE.

requereixen operacions meticuloses que han de realitzar equips d'especialistes i mitjans tècnics molt més complexos, amb un cost molt superior.

L'estructura dels cables amb aïllament per paper impregnat amb oli és bàsicament la dels d'aïllament sec, però la diferència és que

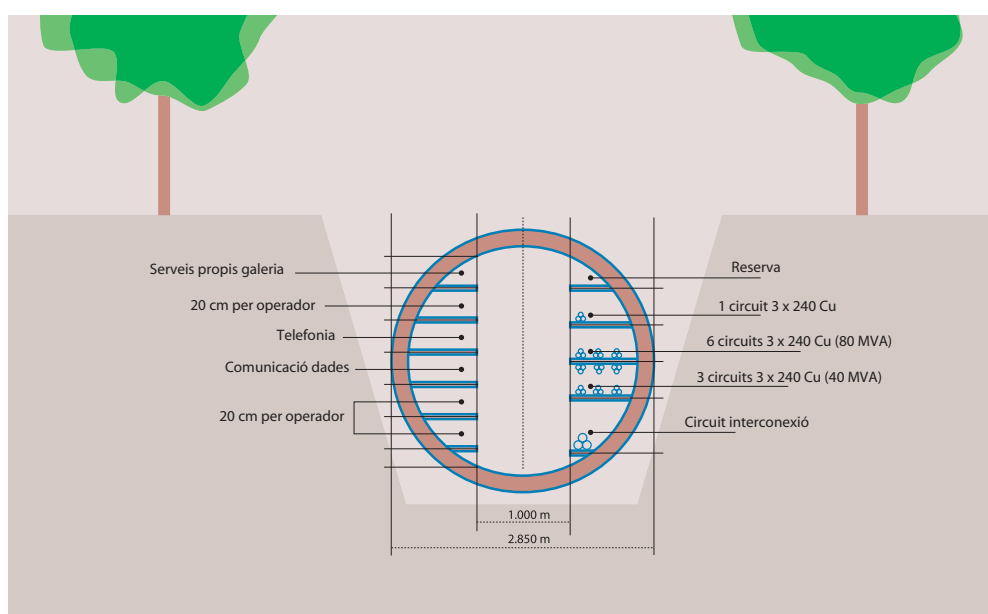
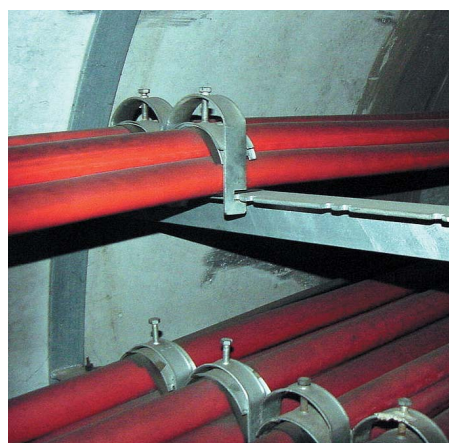


Figura 9. Detall de secció tipus d'una galeria de serveis de secció circular.

la capa aïllant està formada per làmines de paper impregnat, que li confereix les propietats dielèctriques. En els que hi ha circulació d'oli, el cable va disposat a l'interior d'un tub per on es fa circular aquest refrigerant a pressió. Així, per a aquests tipus de cable es requereixen instal·lacions auxiliars per controlar i forçar la circulació del líquid.

Els cables en tub amb circulació de gas consisteixen en un conductor encapsulat a l'interior d'aquest de forma que ambdós es disposen concèntricament, i mantenen aquesta disposició gràcies a un sistema de suports axials i radials instal·lats cada certs metres. L'interior de tub de la coberta s'omple de gas a baixa pressió.



Fotografia 9. Composició. Detall de galeria de serveis. Les dues fotografies superiors mostren circuit de 25 kV. A les dues inferiors s'aprecia el detall d'una caixa d'empalmaments d'una línia de 220 kV. Tots els conductors són de cable sec XLPE.

## 6 CONDICIONANTS DE LES INSTAL·LACIONS AÈRIES I DE LES SUBTERRÀNIES. AVANTATGES I INCONVENIENTS

Per tal de dur a terme una comparativa entre les línies aèries i les subterrànies, cal fer una anàlisi des de diferents perspectives i assegurar l'homogeneïtat de la comparació. El resultat serà, per a cada un dels aspectes analitzats, els avantatges o els inconvenients d'una i altra solució constructiva.

A continuació, s'exposen els condicionants més significatius que cal tenir en compte.

### 6.1 CONDICIONANTS TÈCNICS

Des d'un punt de vista tècnic, l'aïllament i la capacitat de transport són els aspectes més significatius en l'anàlisi comparativa entre una solució aèria o subterrània.

En una línia aèria, l'aïllament del conductor nu està assegurat per l'aire. Cal respectar sempre les distàncies de seguretat marcades pels reglaments tècnics, que augmenten amb la tensió de la línia. En canvi, en una línia subterrània l'aïllament s'assegura per un revestiment de material aïllant, el gruix del qual augmenta també amb la tensió.

És important destacar que l'aïllant ha de cobrir absolutament tota la longitud del cable sense el més mínim defecte.

Aquest aspecte és de gran rellevància, ja que condiona el procés constructiu i imposa limitacions tècniques que comporten solucions més complexes a mesura que augmenta el nivell de tensió de la línia.

A continuació, es relacionen els inconvenients tècnics d'una línia subterrània davant d'una d'aèria:

#### • Dissipació de la calor:

La intensitat màxima admissible en un conductor depèn directament de la temperatura màxima que pot assolir. En els cables aïllats aquest fet imposa una limitació del corrent màxim o bé un augment de la secció.

Aquesta temperatura està influïda per fenòmens com l'efecte Joule, existents tant en els cables aeris com en els subterrànies, però amb la diferència que en aquests últims s'agreuja pels efectes d'escalfament de l'aïllament en estar sotmès a camps elèctrics, que augmenten amb la tensió aplicada.

També es produeix un escalfament en les pantalles del cable d'un sistema trifàsic per les variacions del camp magnètic produïdes pels conductors, que produeixen corrents induïts a les parts metàl·liques de les pantalles.

En les línies subterrànies, generalment es disposen diversos circuits junts i, per tant, sofreixen un escalfament mutu, que comporta una reducció en el transport de corrent.

En una línia aèria, la calor produïda es dissipa per convecció de l'aire que l'envolta, que és un medi ideal de refrigeració. Al contrari, en una línia subterrània, l'evacuació de la calor produïda a l'exterior es realitza amb molta més dificultat a través del material aïllant i de la protecció externa, ja que malauradament aquests materials també tenen propietats d'aïllament tèrmic.

Tot el que s'ha exposat es tradueix en un augment de la secció de cable per a una línia subterrània de l'ordre de 2 a 4 vegades superior a l'equivalent en una línia aèria, per mantenir la mateixa capacitat de transport. Per això els cables subterrànics són més voluminosos i pesants, amb limitacions en la seva construcció i transport.

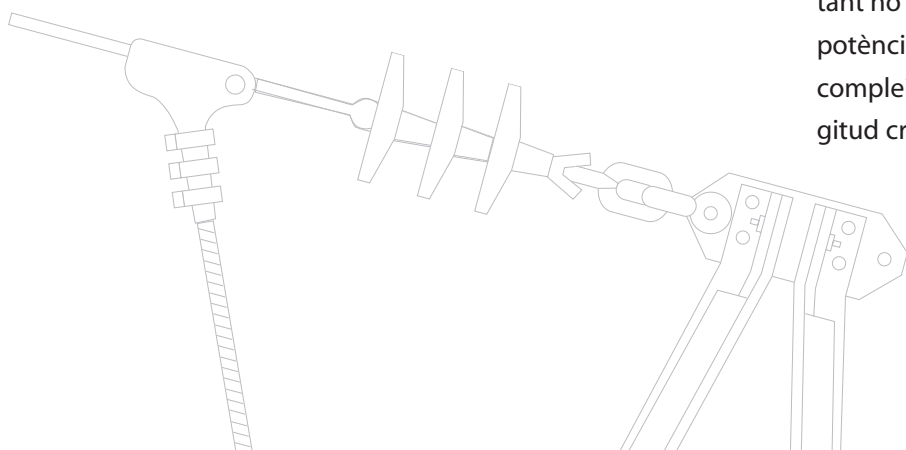
Això significa, per una altra banda, que a igualtat de potència transportada i tensió, les pèrdues elèctriques són inferiors en les línies subterrànies, ja que la resistència del conductor disminueix amb la secció.

#### • Efecte capacitiu i longitud crítica:

El cable que s'utilitza en les línies subterrànies es comporta com un condensador tipus, amb dues armadures constituïdes, d'una banda, pel conductor central i, de l'altra, per la pantalla metàl·lica col·locada a l'exterior de l'aïllant, i separades per aquest. Una línia aèria amb conductor nu presenta una certa analogia amb el cable subterrani, ja que hi trobem igualment la presència de dues armadures (el conductor i el terra) separades per un aïllant (l'aire).

Com que les línies es troben sota una tensió alterna, hi ha un intercanvi d'energia amb la font de tensió deguda a la capacitat elèctrica del cable. Això es tradueix en una circulació de corrent paràsit, que és proporcional a la freqüència i amplitud d'ona, a la longitud del cable i a una constant (capacitat del cable) que depèn de la naturalesa i gruix de l'aïllant. Aquest corrent paràsit o capacitiu és de l'ordre de 10 a 40 vegades major en una línia subterrània que l'equivalent en línia aèria, de manera que aquest efecte és més acusat en línies subterrànies.

És per tot el que s'ha exposat anteriorment que, en el cas de cables subterrànics, pot passar que la intensitat de corrent capacitiu sigui tan alta que, per a certa llargària de cable, assoleixi un valor límit i provoqui l'escalfament màxim admissible d'aquest, i per tant no es pugui transportar energia activa o potència "útil". La longitud que fa que es compleixi el fenomen descrit s'anomena longitud crítica.



La longitud crítica depèn de les característiques elèctriques i de si es troba directament soterrat en rasa o bé està disposat dintre d'una galeria de serveis. A la taula 2 es mostra la longitud crítica orientativa per als cables a alta tensió:

Les longituds anteriors, per tant, no permetrien la vehiculació de potència. Per altra banda, la potència que es podria vehicular és inversament proporcional a la longitud del cable, i arriba a un valor nul amb la longitud crítica.

En longituds llargues és imprescindible, per compensar l'efecte capacitiu del cable, disposar de bobines de compensació a aquest efecte, per disminuir així el corrent parasitari que hi circula. Hi ha cables, com els de tub amb gas a pressió (PGC), que tenen menys pèrdues capacitives i, per tant, la seva longitud crítica augmenta, de manera que es redueix la necessitat d'instal·lar bobines de compensació.

• **Unions (empalmaments):**

Com ha quedat palès, la limitació de la longitud dels trams transportables de cable subterrani exigeix la realització d'unions molt més freqüents que en les línies aèries.

D'altra banda, aquestes unions poden presentar problemes pràctics per mantenir la continuïtat elèctrica, evitar la introducció d'humitat i assegurar el nivell necessari d'aïllament. Per a cables d'aïllament sec, la solució tecnològica és relativament senzilla davant dels cables aïllats amb oli i de cables amb tub, però no deixa de ser una operació

Tensió d'operació (kV)	Tipus d'aïllament	Longitud crítica en rasa (km)	Longitud crítica en galeria (km)
66	Polietilè	230	160
66	Paper impregnat d'oli	90	70
110	Polietilè	150	100
132	Polietilè	130	80
220	XLPE	100	65
400	XLPE	40*	25**
400	XLPE	30*	20**

Taula 2. Longitud crítica d'un tram de cable subterrani.

\*Segons seccions.

\*\*La longitud crítica depèn del tipus de refrigeració del cable (s'ha de distingir entre ventilació natural o forçada).

complexa, i qualsevol unió pot constituir un punt feble de la instal·lació.

## 6.2 CONDICIONANTS DE QUALITAT DEL SERVEI

S'entén com a qualitat del servei, segons la definició del Reial decret 1955/2000, el conjunt de característiques, tècniques i comercials, inherents al subministrament elèctric exigibles pels subjectes, consumidors i pels òrgans competents de l'Administració. La qualitat del servei elèctric es configura sobre la base de la continuïtat del subministrament, la qualitat del producte i la qualitat en l'atenció i relació amb el client. A efectes d'aquest estudi comparatiu, s'analitzen els factors que influeixen directament en la continuïtat de subministrament, ja que la resta de factors no es veuen afectats per la tipologia de la instal·lació.

Cal dir que els indicadors registrats de qualitat del servei elèctric estan regulats i limitats en el Reglamento de transporte i distribución de energía eléctrica (Real Decreto 1955/2000) i pel Reglament del subministrament elèctric (Decret 329/2001) i, per tant, la qualitat del servei elèctric és un aspecte de gran transcendència en una anàlisi comparativa de línies aèries en relació amb les subterrànies i cal valorar les diferents implicacions que comporta cadascuna de les solucions sobre aquest aspecte.

Tant en les línies aèries com en les subterrànies es produeixen incidències que originen interrupcions en el subministrament elèctric. En les xarxes del sistema de distribució en mitjana i baixa tensió es produeixen incidents amb efectes permanents (o avaries) i transitoris, que comporten interrupcions en el subministrament de diversa durada. En xarxes aèries, el 85% de les incidències són de curta durada i es resolen en temps inferiors al minut i fins i tot, en la majoria dels casos, en un temps inferior al segon; el 15% restant són de llarga durada (superior a 3 minuts). En canvi, en les línies subterrànies, generalment, es presenten interrupcions llargues causades per avaries en un dels seus trams.

Les causes bàsiques són obvies; per una part, les línies aèries estan sotmeses a l'acció d'inclemències meteorològiques (llamps, vent, neu...), així com a l'acció humana o de tercers (contacte amb grues, impactes de vehicles...). Generalment, en cas d'un incident, es detecten els defectes des dels despatxos de maniobra i centres de control de forma instantània per l'actuació de les proteccions de les capçaleres de les línies. Un cop les proteccions han aïllat el defecte, desconnectant la línia, s'intenta la reconexió assumint, a priori, que el defecte no és permanent (no hi ha avaria), fet que suposa interrupcions de l'ordre de segons. Si el defecte és permanent (s'ha produït una avaria), les proteccions tornen a actuar i es produeix la desconexió de la línia fins que el defecte és aïllat i reparat.

En canvi, en el cas de línies subterrànies, les inclemències meteorològiques no tenen incidència (excepte en el cas que estiguin connectades a línies aèries i no tinguin instal·lats para-llamps en les conversions aerosubterrànies) i normalment no es produeixen defectes fugitius, sinó avaries. Tant en el cas de defectes interns (cas poc freqüent) com en el cas d'avaries provocades per l'acció de tercers (normalment excavadores, pics...), l'avaría comporta un temps elevat d'indisposició del circuit afectat, de l'ordre d'hores. Les estadístiques actuals, a títol orientatiu, pel que fa a xarxes subterrànies urbanes, xifren en una contribució del 25% de les avaries de cables pels treballs d'infraestructura de l'obra civil, que a més a més comporten per als tercers un elevat risc de mort en aquests tipus d'accidents.

També cal fer algunes apreciacions pel que fa als temps de reposició del servei o reparació de l'avaria. El procés de reposició dels serveis consta de tres parts ben diferenciades: localització de l'avaria en la xarxa, aïllament del tram afectat i reconexió a la xarxa.

• **Localització de l'avaria:**

En cas que el defecte s'hagi produït per l'acció de tercers, els temps de localització en ambdós casos, aeri i subterrani, és mínim, ja que es coneix a priori el lloc exacte i només cal avaluar l'abast dels danys.

En cas d'un defecte produït per un incident de tipus meteorològic o per l'envelliment o defectes dels materials que formen la xarxa, el temps de localització en un circuit subterrani és molt més gran que en un circuit aeri. La raó és que en un circuit aeri la localització és visual i facilitada per equips indicadors, fet que pot comportar un temps de l'ordre de minuts. En canvi, en el cas d'un circuit subterrani, es requereixen equips especials i posteriorment l'obertura de prospeccions fins a trobar el lloc exacte, fet que pot comportar un temps de l'ordre d'hores.

Cal distingir entre una línia subterrània directament soterrada (la majoria de vegades en els nivells de mitjana o baixa tensió) i per galeria de serveis, en la qual la localització es pot efectuar visualment o amb equips indicadors i sense necessitat d'efectuar moviments de terra. En aquest cas, el temps és similar al de les línies aèries. D'altra banda, aquest temps difereix en ambdós casos si el defecte s'ha produït en un entorn urbà o rural. En un entorn urbà, l'accés és millor i el

temps necessari per desplaçar els mitjans de localització és inferior al necessari en un entorn rural.

• **Aïllament del tram afectat:**

Un cop localitzada l'avaria, es procedeix a aïllar el tram afectat. En aquest aspecte hi ha dos factors claus, l'estructura de la xarxa i el punt d'aquesta on es produeix.

En entorns urbans, les xarxes presenten un estructura mallada, però d'exploració radial, en zones urbanes amb trams aeris i subterranis i, per tant, en cas d'avaria, normalment es podrà aïllar la zona afectada i traspasar la càrrega afectada a la línia connectada que configura la malla, o bé, en cas de bucle, l'alimentació es realitza per l'altra banda. D'aquesta forma es pot reposar el servei sense necessitat d'esperar a la reparació del tram afectat.

En canvi, en zones rurals, les xarxes de distribució presenten generalment una disposició radial amb estructura arborescent i, per tant, una avaria comporta uns temps d'indisposició més alts, ja que no es restableix el servei fins que no s'ha efectuat la reparació. Tanmateix, en les xarxes hi ha punts crítics, bé perquè no disposen de doble alimentació o alimentació alternativa, o bé perquè tot i disposar-ne, aquesta no pot suportar la sobrecàrrega, i per tant no es pot aïllar el defecte. Així, el temps d'afectació es perllonga i l'abast de l'incident és major (més usuaris amb interrupció del servei).

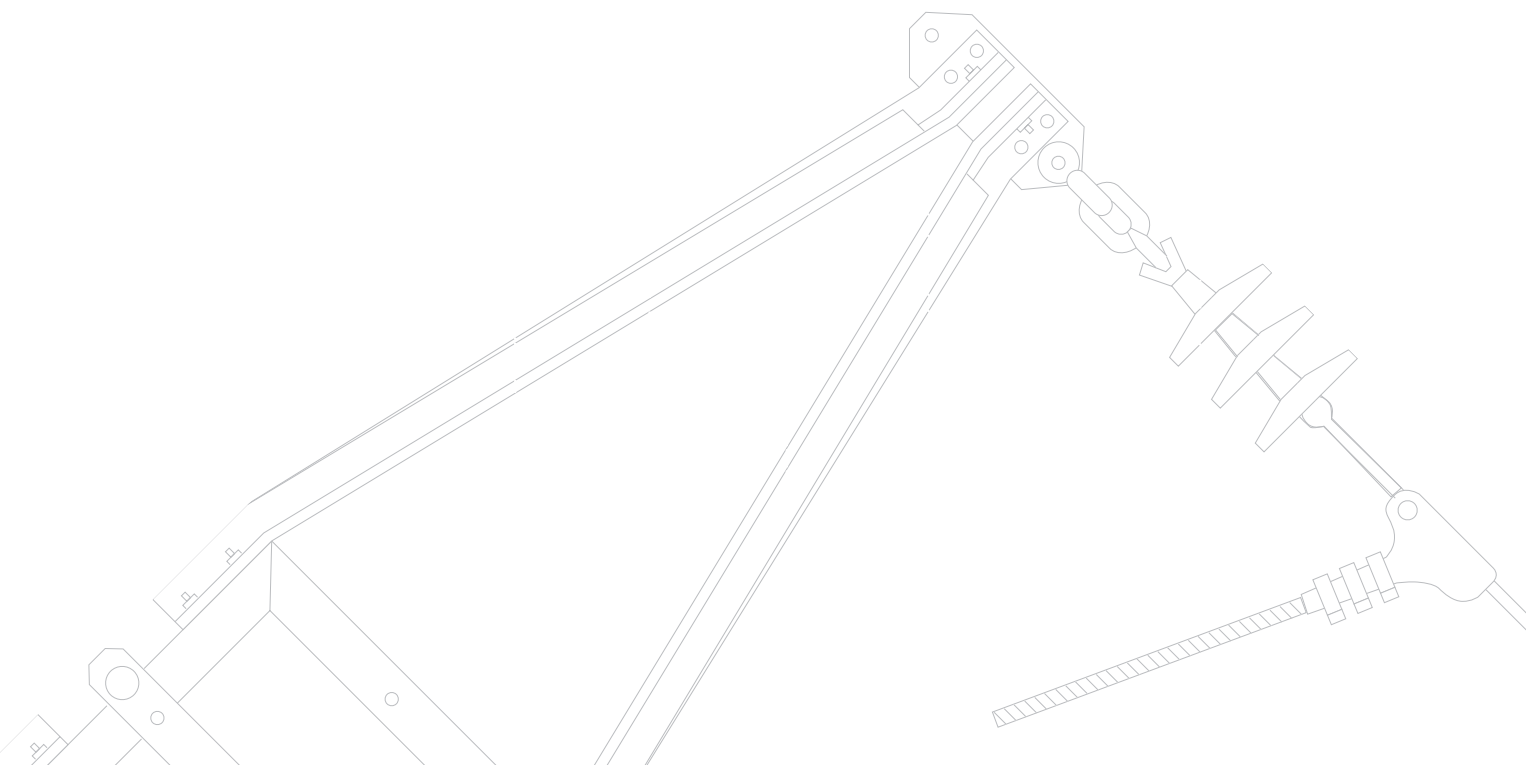
#### • Reparació de l'avaria:

En cas de línies aèries, les reposicions dels elements afectats comporten operacions fàcils i amb temps d'execució baixos comparats amb els d'un cable subterrani. La reparació d'un tram subterrani comporta l'obertura de la rasa i la reposició del tram afectat, amb la conseqüent realització d'empalmaments i reposició del paviment, operacions que òbviament requereixen temps d'execució més alts.

Les línies de transport tenen un comportament diferenciat pel que fa a l'aspecte de la qualitat del servei elèctric. La transcendència que pot tenir una avaria en una línia de transport, ja sigui aèria o subterrània, és d'una magnitud tan gran que en el seu disseny s'introdueixen elements que intenten minimitzar el risc d'avaries i augmenten la seva fiabilitat (cables de terra, etc.), de forma que la taxa anual d'incidències és molt reduïda tant en les aèries, que són la majoria, com en les subterrànies, i les incidències es redueixen a microtallades que comporten

interrupcions de durades molt curtes (inferiors al segon) i quasi sempre produïdes per inclemències atmosfèriques (llamps). A més a més, el seu disseny en xarxa mallada, amb criteris de manteniment del servei en cas de fallada simple o múltiple de diferents elements de la xarxa, significa que tot i que es produeixin avaries, en la majoria dels casos no es produeix interrupció del subministrament al mercat.

D'altra banda, les subestacions de transport i de distribució generalment tenen doble alimentació, i per tant poden absorbir una eventual avaria d'una de les línies que l'alimenten, però sempre per un espai de temps no gaire llarg, per tal de no saturar el sistema. Els punts febles de la xarxa de transport són els elements de maniobra i protecció situats en les subestacions i les transicions o unions aerosubterrànies, que han d'estar protegits contra sobretensions, i per tant la realització de trams subterranis intercalats amb trams aeris pot afectar negativament la fiabilitat global d'una línia de transport.



A continuació, es mostra a la taula 3 un quadre amb valors orientatius de la relació dels temps mitjans requerits per a reposició del servei en cas d'avaría per a cada tipus d'instal·lació, per esglaons de tensió i amb diferenciació d'un entorn urbà o rural. Com que els temps varien àmpliament segons les condicions particulars de cada cas, els valors que aquí es presenten indiquen només de forma orientativa el quocient entre el temps en el cas de xarxa subterrània i el temps per al cas de xarxa aèria.

Per altra banda, i des d'un punt de vista conceptual, les línies aèries presenten taxes d'incidències en valor mitjà superiors a les línies subterrànies. En una xarxa de distribució en mitjana tensió i baixa tensió els valors orientatius estadístics de les taxes d'avaries són de 5-6 avaries/100 km·any per a una xarxa subterrània i de 15-20 avaries/100 km·any per a la xarxa aèria.

I com s'ha mostrat anteriorment a la taula 3, per a xarxes de mitjana i baixa tensió, el temps mitjà d'interrupció per avaría d'una línia subterrània és de l'ordre de 2 vegades al corresponent a una xarxa aèria.

Per tant, i centrant-nos en la xarxa de mitjana i baixa tensió (la principal responsable de les incidències que afecten la qualitat del servei del subministrament elèctric), la taxa d'avaries en el cas de línies subterrànies és de l'ordre del 30% de la taxa de les línies aèries, però el temps mitjà d'interrupció en una línia subterrània és el doble del temps mitjà d'interrupció d'una línia aèria, de manera que el temps mitjà total anual d'interrupció d'una xarxa subterrània és de l'ordre del 60% del d'una xarxa aèria.

Tot i així, existeixen solucions aplicades en xarxes aèries que permeten arribar a nivells de qualitat (temps mitjà d'interrupció anual) similars als que s'aconsegueixen amb una xarxa totalment subterrània. Aquestes solucions consisteixen en l'automatització de la xarxa aèria mitjançant punts intermedis de seccionament, localització de trams avariats, etc. Aquesta solució comporta un cost menor que el que representaria disposar d'una xarxa en subterrani, així com una millor accessibilitat en àrees rurals.

TEMPS MITJÀ	ENTORN URBÀ (o les seves proximitats)			ENTORN RURAL		
	AT Subt. / Aeri	MT Subt. / Aeri	BT Subt. / Aeri	AT Subt. / Aeri	MT Subt. / Aeri	BT Subt. / Aeri
LOCALITZACIÓ (hores)	4/1	1,5/1	1,5/1	6/1	2/1	2/1
AÏLLAMENT (seg. o min.)	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1	1/1
REPARACIÓ (hores)	8/1	1,5/1	1,5/1	12/1	2/1	2/1
<b>TOTAL</b>	<b>6/1</b>	<b>1,5/1</b>	<b>1,5/1</b>	<b>9/1</b>	<b>2/1</b>	<b>2/1</b>

Taula 3. Temps mitjà de reposició del servei en línies aèries i subterrànies segons el nivell de tensió i ubicació territorial. Valors orientatius.

## 6.3 CONDICIONANTS MEDIAMBIENTALS

### 6.3.1 ASPECTES GENERALS

El tractament que generalment es dona en una anàlisi mediambiental comparativa entre línies aèries i subterrànies es limita majoritàriament a aspectes visuals i a camps electromagnètics, que si bé són importants, no haurien de ser determinants a l'hora de decantar la balança cap a una banda o altra en la seva concepció o disseny, sinó que hauria de ser la combinació i valoració de tots els factors, inclosos els que no es veuen.

S'ha de dir, en tot cas, que l'argument mediambiental principal en contra de les línies aèries és l'impacte visual. Tot i així, en general, una línia elèctrica aèria no genera especials problemes, però sí una elevada concentració de línies aèries.

I davant de situacions de fort impacte visual per concentració de línies elèctriques, és evident que abans de la solució del soterrament, existeixen d'altres de reducció d'aquest impacte amb la disminució d'aquesta concentració.

A continuació, s'exposa un llistat de condicionants mediambientals i s'inclou els diferents impactes que produeix cada solució.

#### • Utilització del sòl:

L'aprofitament del sòl pel qual ha de transcorrer una línia és fonamental a l'hora de decidir la seva configuració.

L'ús de sòl urbà o urbanitzable és cada dia més restrictiu per utilitzar-lo per ubicar-hi suports on es recolzen els conductors, per l'alta concentració d'elements urbans, com ara edificacions, serveis viaris o espais reservats al lleure. D'altra banda, en les grans ciutats hi ha un gran aprofitament del subsòl, que pot condicionar en un grau alt la utilització de línies subterrànies. De tota manera, en aquest àmbit, l'avantatge de la línia subterrània és ben clar, fins i tot davant de solu-



Fotografia 10. Línia elèctrica amb suport tubular.

cions alternatives de configuracions de línia aèria amb la utilització d'esvelts suports de xapa plegada amb restriccions mínimes d'ocupació de terreny i únicament amb servituds en la seva ocupació aèria, encara que es resolguin, en ocasions, aspectes funcionals i estètics (*veure fotografia 10*).

En aquestes zones, el principal avantatge de la línia subterrània davant de la línia aèria és l'eliminació de superfícies d'ocupació (no hi ha suports), ja que tots els elements de registre s'efectuen en vials públics. A més, s'elimina l'impacte visual, s'eliminen els accidents per contactes directes amb grues, camions, etc. i finalment es redueix el soroll per descàrregues disruptives en aïlladors i conductors.

En el cas que el sòl per on passa la línia sigui d'utilització eminentment agrícola, la configuració de la línia ha de ser d'una manera que:

- permeti una utilització màxima del terreny.
- afavoreixi la utilització de maquinària agrícola.
- eviti problemes de contacte o de camps electromagnètics que provoquin potencials indesitjables, que poden comportar situacions perilloses, en els sistemes de reg.

En aquest cas, els avantatges d'una línia subterrània es redueixen a la millora dels dos últims aspectes, ja que per motius de servitud no permet una utilització màxima del terreny, si el seu traçat no es fa per camins, la qual cosa no sempre és possible. En canvi, amb la línia aèria, amb una configuració adequada en la qual tant les alçàries lliures utilitzades, des del conductor inferior fins al terreny, com la superfície ocupada pels

suports siguin compatibles amb les tasques agrícoles, fan que aquesta solució superi àmpliament les premisses exposades.

Per a un aprofitament del sòl de caràcter de sotabosc o d'arbrat de creixement lent (alzines, oliveres, etc.), on s'ha d'evitar la tala d'arbres i la desforestació del sòl, la línia aèria no només presenta avantatges evidents, sinó que, a excepció de la no-execució, és l'única solució viable per tal de preservar la vegetació, ja que amb el respecte de les distàncies reglamentàries i amb un manteniment adequat aquesta vegetació es pot mantenir sota una línia aèria. Utilitzant suports d'alçada suficient es pot sobrevolar les zones amb vegetació amb el mínim dany possible, i segons la configuració dels suports utilitzats es minimitza l'impacte visual relatiu de la línia sobre la superfície boscosa. Aquesta preservació és del tot impossible en el projecte de les línies subterrànies, en les quals, independentment de no poder-se fer en zones on les rasants no estan perfectament definides, fet que dificultaria la posterior localització de la línia, tant per a la realització com per a l'explotació d'aquesta, cal la no-existència de vegetació per sobre del seu traçat.

En el cas de terrenys amb explotació forestal, cal procurar que l'impacte visual de la tala sigui el menys lesiu possible i útil com a configuració de tallafoc. En aquest cas, per a les línies subterrànies també és necessària la tala d'arbrat, igual que en les aèries. Únicament es minimitza l'impacte visual per a tensions de distribució, però s'empitjora en tensions de transport, ja que la tala d'arbrat

és molt més lesiva puntualment al llarg de la traça que en el cas d'una línia aèria.

#### • **Servitud de pas**

A priori, sembla que la línia subterrània elimina les servituds, però aquesta consideració resulta errònia. La línia subterrània només elimina les servituds visibles, però que no són efectives a nivells de liberalització total del sòl, ja que mantenen una servitud d'exploració i una prohibició de la utilització del sòl que la cobreix, excepte en el cas que sigui per vials.

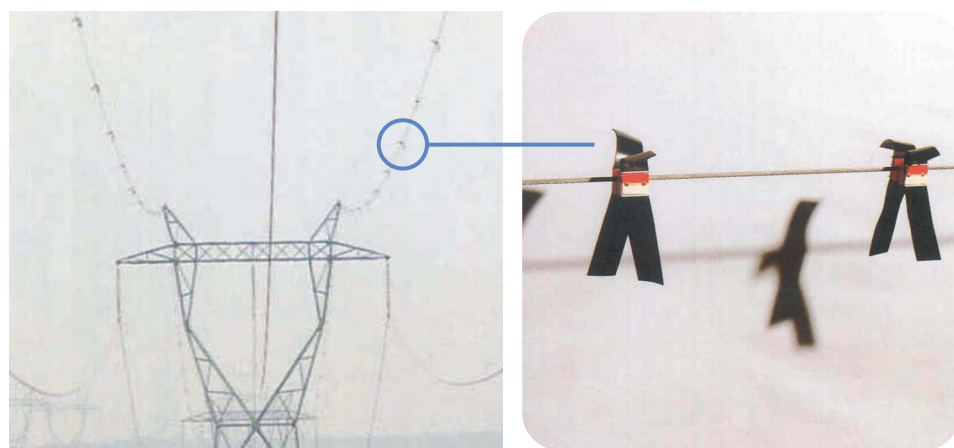
En terrenys urbans o urbanitzables, sí que elimina les servituds en propietats particulars, ja que els traçats, encara que augmentant la seva llargària, s'efectuen per vials i zones de serveis amb rasants definides.

En terrenys de conreu i zones de bosc, l'impacte sobre el medi ambient d'una línia subterrània és igual o superior, en proporció directa amb l'increment del seu nivell de tensió, al de les línies aèries.

En línies de transport, l'impacte d'eventuals estacions de compensació d'efecte capacitiu i de les estacions de pas d'aeri a subterrani, les pertorbacions causades per la mateixa obra i les dificultats de reposició del terreny per causar el mínim d'impacte són indiscutibles i incompatibles en particular amb la preservació i conservació d'un medi natural de valor. Aquest impacte s'accentua pel fet de la prohibició de l'existència d'arbres i la seva plantació per sobre de la traça d'una línia subterrània, per raons òbvies d'agressions externes i la possibilitat de malmetre la instal·lació i, a més, cal reservar permanentment vies d'accés per als mitjans necessaris per a una eventual reparació o pel sol fet de la seva vigilància i manteniment, extrem que portat a les línies aèries no és necessari, ja que es pot dur a terme amb mitjans no tan agressius per al medi (l'helicòpter, per exemple).

#### • **Protecció de l'avifauna**

En aquest aspecte és obvi que l'existència d'elements que puguin interferir en el vol de les aus o simplement elements que comporten un perill a l'hora de posar-se sobre punts



Fotografia 11. Línia elèctrica amb elements de protecció de l'avifauna. Detall.

elevats constitueix un problema. La millor manera d'eliminar aquesta possibilitat seria soterrar les línies que transcorren per indrets amb avifauna protegida.

Malgrat això, mitjançant dissenys adequats de les línies aèries, l'impacte sobre l'avifauna es pot minimitzar, per exemple, amb disposicions horitzontals dels conductors, configurats en el mínim nombre de capes, o bé, amb la senyalització dels cables de forma que aquests resultin més visibles, augmentant-ne el volum aparent. També hi ha elements i disposicions per subjectar els conductors als suports que impossibiliten que les aus que s'hi posin efectuïn curtcircuits fase-terra (veure fotografia 11).

Tot i així, no tots els aspectes són negatius. Cal destacar que moltes aus rapinyaires entren als suports i les línies aèries com a llocs de guaita, les cigonyes fan nius a les torres de les línies de transport, estols d'ocells s'escalfen les potes aprofitant la calor que desprenen els conductors per efecte joule, etc...

#### • Aspectes contaminants

Els aspectes més oblidats a l'hora d'avaluar la disjuntiva entre línies aèries o subterrànies són els contaminants, ja sigui directament, per les matèries primeres emprades en el seu procés constructiu o al final del seu cicle de vida. Entre aquests podem destacar que:

- Una línia subterrània requereix una major utilització de matèries primeres, aproximadament el doble de coure o alumini que l'equivalent per a una línia aèria.

- En una línia subterrània s'utilitzen els mateixos quilos de materials plàstics en materials aïllants que els quilos d'acer dels suports en una línia aèria.

- Quant a moviment de terra, la quantitat de materials de rebliment i el formigó utilitzats en la construcció d'una línia subterrània és de l'ordre de 10 a 20 vegades superior a la d'una línia aèria. Així el moviment de terra que provoca la construcció d'un quilòmetre de línia elèctrica subterrània equival al volum de terra contingut en una superfície equivalent a una illa de l'exemple de Barcelona i d'una alçada de 3,7 m (veure taula 4).

- Els processos de fabricació dels cables subterrànies consumeixen molta més energia que els cables per a una línia aèria equivalent, ja que per a un cable subterrani cal fabricar els materials aïllants i després col·locar-los sobre els conductors.

Impacte directe en la construcció*	Línia subterrània en galeria de serveis	Línia Aèria
Moviment de terres	37.000 m <sup>3</sup> /Km	237,5 m <sup>3</sup> /Km
Volum formigó	3.060 m <sup>3</sup> /Km	238,3 m <sup>3</sup> /Km
Ferro	65.000 Kg/Km	35.250 Kg/Km

Taula 4. Exemple comparatiu de l'impacte que provoca la construcció d'un quilòmetre d'infraestructura elèctrica segons sigui aèria o subterrània.

\* La Taula està calculada pel cas de 2 circuits de 220 kV i 2 circuits de 110 kV.

- Els materials plàstics termostables que s'utilitzen habitualment en l'aïllament dels cables subterranis (polietilè reticulat i etilè-propilè) i per a la seva coberta protectora (PVC) són molt difícils de reciclar. En canvi, els utilitzats en les línies aèries són gairebé tots metalls altament reciclables, excepte els fonaments.
- Els residus generats en el procés de fabricació dels cables subterranis, com són els olis de les màquines per a la seva fabricació, els olis de l'aïllament i els lubricants dels processos de trefilats de metalls, que tenen un tractament específic i amb una major problemàtica, són superiors als dels cables aeris.
- Els cables subterranis, com que tenen un volum major que els aeris, requereixen més bobines de fusta per al seu embalatge. Aquestes bobines, si bé són reutilitzables diverses vegades, esdevenen inutilitzables pel seu ús continu. Això provoca la generació de milers de tones a l'any de fusta vella, que s'han d'eliminar per un gestor autoritzat. A més, a causa de la presència de parts metàl·liques no són reutilitzables i l'únic tractament possible és la incineració.
- Els cables subterranis dissipen la calor generada pel pas de corrent elèctric a través del sòl que els envolta, extrem que es tradueix en la seva possible dessecació i, per tant, en un augment de la seva resistivitat tèrmica.

Altres aspectes contaminats que s'han de destacar són els relatius al soroll que poden provocar les línies aèries, així com el fet que les línies aèries provoquen més pèrdues elèctriques que les línies subterrànies, pel fet de tenir menys secció a igualtat de capacitat de potència de transport.

#### • Incendis forestals

Un altre dels possibles impactes a considerar de les línies elèctriques és la possibilitat que una línia elèctrica aèria que travessi el bosc pugui ocasionar un incendi forestal.

En les condicions adequades de funcionament, una línia elèctrica no deu ser mai la causa d'un incendi forestal. No obstant això, existeix la possibilitat que una línia elèctrica pugui arribar a afavorir un incendi forestal en determinades condicions ambientals molt desfavorables de temperatura i sequedat, si aquestes condicions ambientals es produeixen simultàniament amb alguna anomalia en la línia, com ara:

- Contactes directes entre el conductor despallat d'una línia aèria i la massa forestal (branques d'arbres, etc.). Aquest fet és molt poc probable, ja que d'acord amb la normativa vigent (Decret 268/1996, de 23 de juliol, del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya, pel qual s'estableixen les mesures per a tala periòdica i selectiva de la vegetació), les distàncies establertes entre els conductors i la vegetació garanteixen que aquest fet no es pugui donar en condicions normals de servei de la línia.

- Explosions d'algun tipus de material antic (autovàlvules, fusibles, etc.), que poden produir projeccions de materials calents sobre la massa forestal. Aquest fet és també molt poc probable, ja que els materials normalitzats actualment són antiexplosius i el material antic és gairebé inexistent.
- Trencament d'un conductor, que pot caure directament a terra o sobre un altre conductor, amb l'aparició de guspies. Aquestes situacions es controlen amb una correcta actuació de les proteccions de capçalera de les línies.

Per evitar aquestes situacions, les companyies elèctriques porten a terme les actuacions preventives necessàries i reglamentàries, com ara:

- Revisions periòdiques de les línies, segons el Decret 328/2001 del Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme, que actualitza i millora el Decret 191/1993.
- Reparació de trams malmesos per agents externs.
- Tala i poda de vegetació d'acord amb la normativa d'aplicació.
- Realització de termografies a les línies per detectar punts calents (avaries potencials).
- Instal·lació de materials normalitzats moderns (antiexplosius, etc.).

És obvi que totes aquestes apreciacions són vàlides per a les línies aèries, ja que en les subterrànies, per les seves condicions de muntatge, no hi ha possibilitat que es produeixi cap dels supòsits abans esmentats,

excepte en el cas de cables soterrats d'alumini, en el que en determinats casos, un curtcircuit intern pot arribar a projectar un raig d'alumini fos a través de la superfície del terreny.

Per una altra banda, cal també assenyalar que la integració de les línies aèries en l'entorn pot significar un increment del risc dels equips d'extinció d'incendis, que requeririen que les torres elèctriques fossin més fàcilment identificades en el paisatge.

## 6.3.2 CAMPS ELECTROMAGNÈTICS

A banda dels aspectes mediambientals ja exposats, un altre aspecte que per la seva rellevància social s'ha volgut tractar específicament en aquest document és la influència dels camps electromagnètics generats per les línies elèctriques sobre l'entorn.

Cal però recordar que existeix un camp magnètic natural que és aquell que provoca el desviament de les agulles a les brúixoles per indicar el nord i té una intensitat de l'ordre de 40  $\mu$ T. També existeix un camp elèctric natural, i que en bon temps oscil·la entre 50 i 400 V/m segons dia i lloc, i pot assolir valors, en cas de tempestes, 10 o més vegades superiors, doncs el potencial dels núvols és molt alt.

### 6.3.2.1 Factors que influeixen en els camps electromagnètics generats per una línia elèctrica

El fenomen físic de la generació dels camps electromagnètics de baixa freqüència (50 Hz) al voltant de les línies elèctriques està causat per l'existència d'una tensió entre els conductors i un corrent que hi circula. Aquestes perturbacions es comporten com ones formades per un camp elèctric i un de magnètic, ambdós oscil·lants, perpendiculars entre si i que es propaguen a la velocitat de la llum.

El camp elèctric generat per una línia depèn bàsicament de la tensió entre els seus conductors i és relativament estable, ja que la tensió no varia gaire al llarg del temps. En canvi, el camp magnètic generat per una línia elèctrica depèn de la intensitat que circula pel conductor i, per tant, no serà estable. Depèn en última instància dels consumidors.

El camp elèctric de baixa freqüència (o freqüència industrial) a una altura pròxima a terra és predominantment vertical i perpendicular a terra. Els objectes en contacte directe amb el terra, com poden ser arbres, edificis o fins i tot persones, el distorsionen i actuen de pantalla, de manera que la càrrega es concentra en la seva superfície i amb poca incidència a l'interior. Per contra, el camp magnètic de baixa freqüència pot induir tensions, i conseqüentment corrents, en circuits pròxims, fins i tot en el mateix terreny i en persones, i aquest acostuma a travessar els objectes i és molt més difícil d'apantallar o aïllar.

En les línies aèries, ambdós camps són funció d'una sèrie de paràmetres, com ara:

- Disposició física dels conductors.
- Disposició de les fases en les configuracions de línies de doble circuit.
- Distància entre les fases.
- Distància entre les fases i terra.
- Diàmetre del conductor de fase.
- Composició del conductor (nombre de cables).
- Presència de cable de terra.

A continuació es fa una breu descripció de com varien els camps generats per una línia aèria en relació amb aquests factors:

- **Disposició física dels conductors.**

Típicament els conductors d'una línia solen estar situats en una disposició horitzontal plana, vertical o triangular, també denominada delta. Per a un mateix nivell de tensió i amb la mateixa intensitat, es produeix una reducció més gran en els camps elèctric i magnètic en les configuracions en què la distància entre fases és més compacta, com ara la disposició triangular, encara que aquestes disposicions requereixen suports d'una major alçària i, per tant, representen un major cost econòmic i impacte visual.

- **Disposició de les fases en les configuracions de línies de doble circuit.**

En les línies aèries de doble circuit, un dels paràmetres que afecta el nivell del camp generat, tant magnètic com elèctric, és la disposició de les fases dins de la configuració de la línia. Les disposicions més freqüentment utilitzades són les denominades Super Haz, on un circuit es disposa amb les fases ABC i el seu paral·lel es disposa amb les fases A'B'C', anomenades sempre en el sentit vertical de cada circuit i des de dalt cap a baix, i Baixa Reactància, on la disposició d'un circuit és ABC i la del seu paral·lel és C'B'A', amb el mateix criteri d'anomenar les fases que l'anterior disposició.

S'observa una reducció significativa del camp elèctric (aprox. 30-40% del valor màxim) i del camp magnètic amb la distàn-

cia (aprox. 50% a 20 m) per al cas de la disposició de Baixa Reactància davant de la de Super Haz. Hi ha altres disposicions de les fases, però els valors de camps generats es troben en el marge definit per aquestes dues configuracions extremes.

- **Distància entre les fases.**

Un dels paràmetres que més influeix en la generació dels camps és la distància entre les fases, ja que tant el camp elèctric com el magnètic són menors com més compacta és la línia; és a dir, com més pròximes són les fases, menors són els camps generats. Òbviament, cal tenir present les distàncies mínimes necessàries per assegurar l'aïllament fase-fase i fase-terra.

- **Distància entre les fases i el terreny.**

L'alçària dels conductors sobre el terreny és un dels paràmetres amb més influència en el disseny de les línies aèries en general, i en particular en relació amb els camps magnètics generats, ja que com més gran és l'alçària dels conductors sobre el terreny menor és el camp existent a nivell de terra o pròxim a ell. En el centre del tram (punt equidistant de cada suport) és on generalment els conductors es troben més pròxims al terreny i, per tant, és on el camp elèctric i magnètic assolix nivells més alts.

Així, a les figures 11 i 12 es pot apreciar la variació del camp elèctric i magnètic, respectivament, en una línia de circuit simple d'una tensió de 400 kV i amb una intensitat de 500 A per fase per a unes distàncies fase-terra (F-T) de 10, 14 i 18 m.

- **Diàmetre dels conductors.**

L'elecció del diàmetre dels conductors de fase és un compromís entre la capacitat tèrmica del conductor i el seu cost econòmic. El seu efecte sobre els camps generats, a igualtat de tensió i potència transportada, resulta inapreciable per al camp elèctric i nul per al camp magnètic.

- **Composició del conductor (nombre de fils).**

L'ús de més d'un cable per fase en les línies trifàsiques està bastant estès, ja que comporta avantatges com ara l'augment de la capacitat de transport, que s'incrementa amb el major nombre de fils per conductor.

L'efecte es produeix normalment sobre el camp elèctric, que s'incrementa amb el major nombre de fils per conductor. Aquest increment s'explica perquè com major és la superfície exterior total dels conductors per

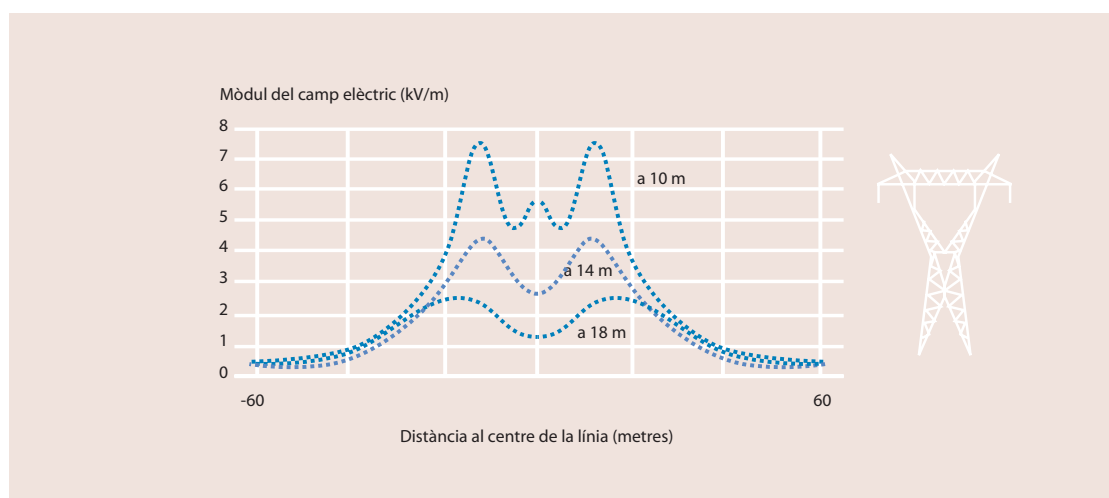


Figura 11. Magnitud màxima del camp elèctric (kV/m) a un metre d'alçada per a una línia elèctrica de circuit simple de 400 kV amb una intensitat de 500 A per fase segons la distància entre les fases i el terreny.

fase per mantenir el mateix potencial fase-fase i fase-terra és necessari que el nivell de camp elèctric sigui més alt.

L'efecte sobre el camp magnètic és nul, ja que se suposa que hi circula la mateixa intensitat per fase en ambdós casos.

• **Presència de cable de terra.**

La presència de cable de terra redueix el camp elèctric. La seva influència, de l'ordre d'un 1% a un 2%, en la reducció del camp elèctric serà major segons la seva proximitat als cables de fase, amb la limitació que imposa l'aïllament elèctric.

D'altra banda, la influència dels cables de terra sobre el camp magnètic és funció dels corrents que hi circulen, ja que recullen possibles corrents harmònics. El seu efecte d'augment o reducció del camp magnètic serà funció de l'amplitud i desfasament d'aquests harmònics. No existeix una regla general que ajudi en el seu disseny, tot i que el seu efecte és petit.

En resum, la magnitud dels camps electro-magnètics generats per una línia elèctrica depèn bàsicament de la tensió de la línia i de la intensitat del corrent que hi circula. Així, els camps elèctrics seran fonamentalment funció de la tensió de la línia, i com més elevada sigui la tensió major serà el camp elèctric. Pel que fa als camps magnètics, a igualtat de condicions, el camp magnètic generat serà bàsicament proporcional a la intensitat que circula per la línia, tot mantenint la seva distribució en l'espai.

Pel que fa a la resta de factors que influeixen en el camp electromagnètic, des del punt de vista del disseny de línies aèries, l'ordre d'importància és el següent:

- Alçada dels conductors sobre el terreny.
- Disposició física dels conductors.
- Disposició de fases en les línies de doble circuit.
- Distància entre les fases.
- Nombre de conductors per fase.
- Diàmetre del conductor per fase.

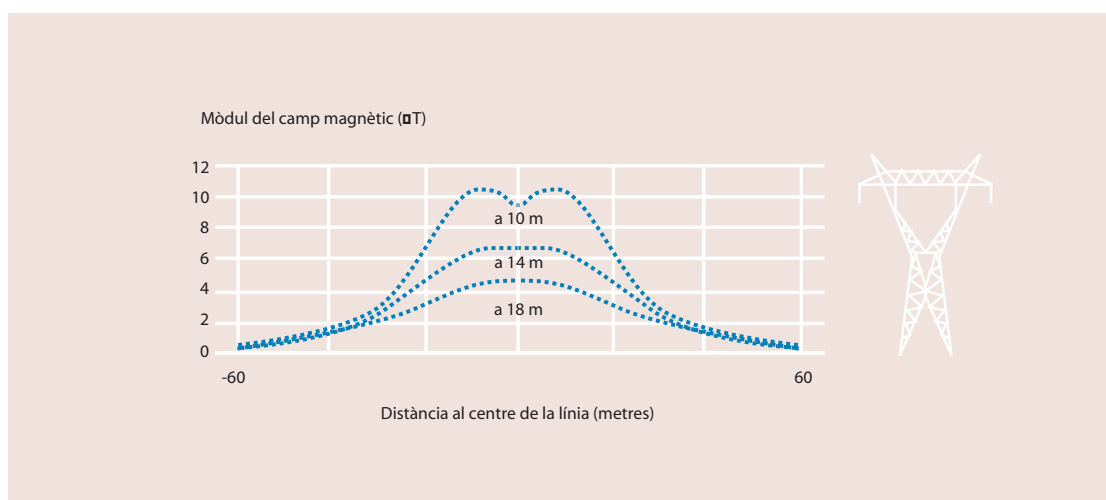


Figura 12. Magnitud màxima del camp magnètic (mT) a un metre d'alçada per a una línia elèctrica de circuit simple de 400 kV amb una intensitat de 500 A per fase segons la distància entre les fases i el terreny.

Així, per afavorir la reducció del camp elèctric i magnètic, les solucions que millor es comporten són la disposició en doble circuit en Baixa Reactància, configuració en triangle, configuracions amb els conductors molt elevats sobre el terreny i configuracions tan compactes com sigui possible, sempre amb el respecte de les distàncies per a aïllament. Pel que fa a les línies subterrànies, el camp elèctric és nul, ja que aquest queda eliminat per les pantalles associades a la coberta aïllant. El mateix terreny apantalla els conductors si són de BT.

Per altra banda, el camp magnètic no és apantallat i, per tant, afecta l'exterior. El valor del camp magnètic en les línies subterrànies no depèn de la gran majoria de factors esmentats anteriorment per a les línies aèries, ja que les fases dels conductors, amb el seu aïllament, estan totes gairebé en contacte. Per tant, el cable subterrani es comporta com un únic conductor. El fet més relle-

vant és que un cable subterrani està més pròxim a terra que una línia aèria i, per tant, per proximitat el camp magnètic és superior, tot i que amb la distància disminueix més ràpidament que en el cas d'una línia aèria.

Podem concloure, doncs, que en una línia subterrània el camp elèctric queda apantallat i no s'emet a l'exterior i, per tant, aquest aspecte és més favorable que en una línia aèria. A més a més, el camp elèctric es pot aïllar, i a l'interior d'habitatges propers a les línies és pràcticament nul.

En canvi, en una línia subterrània el camp magnètic no queda apantallat i els nivells que es poden assolir són superiors als d'una línia aèria en les proximitats de la línia, ja que la distància dels conductors a la superfície del terreny és inferior en una línia subterrània que en una d'aèria. A més a més, la intensitat del camp magnètic disminueix, a mesura que ens allunyem de la línia, més ràpida-

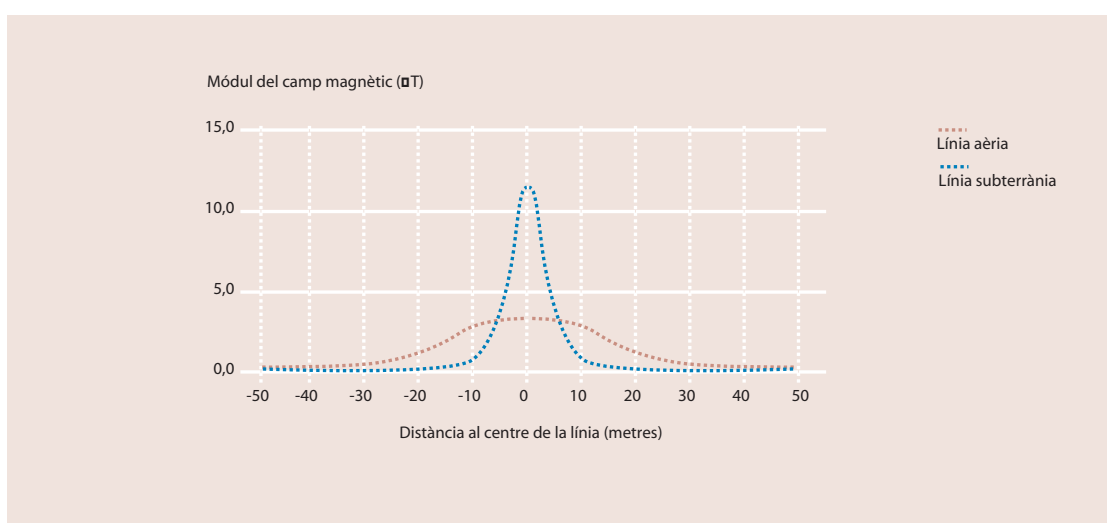


Figura 13. Comparació del camp magnètic sota una línia aèria i sobre una línia subterrània.

ment en una línia subterrània que en una d'aèria. A continuació, a la figura 13 es mostren els valors teòrics del camp magnètic sobre una línia subterrània i sota una línia aèria estandarditzada de 400 kV, sota condicions equivalents.

### 6.3.2.2 Efectes dels camps electromagnètics en els éssers humans

Els camps elèctrics de baixa freqüència influeixen en el cos humà, igual que ho faria sobre qualsevol altre element constituït de partícules carregades, de manera que concentra la càrrega en la superfície i té poca incidència en les parts internes del cos, pel fet que aquest fa de pantalla del camp.

En canvi, els camps magnètics són molt més difícils d'apantallar, i els efectes sobre el cos humà són les forces que es poden produir sobre les molècules i les estructures cel·lulars dels teixits. Aquestes forces poden provocar el moviment de partícules carregades elèctricament, deformar estructures cel·lulars o fins i tot induir voltatges en les membranes cel·lulars. Aquest moviment de partícules no és més que un corrent elèctric que es provoca en el cos humà i que depèn de diversos factors, com ara el moviment de fluids en l'interior de l'organisme, la distància de l'organisme i la font del camp, la presència d'estructures que es puguin considerar pantalles o que poden concentrar el camp, la posició de la persona en relació amb el camp, les característiques de la persona (edat, pes, etc.).

S'han efectuat nombrosos estudis de tipus epidemiològic, experimental in vivo i experimental in vitro. Tots ells van ser analitzats i recollits en l'Informe final de la Comissió d'experts en matèria de línies elèctriques d'alta tensió, sol·licitat pel Parlament de Catalunya.

Els estudis epidemiològics intenten relacionar l'exposició als camps magnètics amb diferents patologies humanes o efectes nocius sobre la salut humana. Aquests estudis s'enfronten a problemes per la imprecisió a l'hora de caracteritzar l'exposició, el reduït nombre de casos (malalts) i la dificultat d'aïllar l'aportació del camp electromagnètic d'altres causes potencials de malaltia, entre altres. Per totes aquestes limitacions en els mètodes d'estimació d'exposició no hi ha coincidències en els resultats obtinguts i aquests són de poca consistència o bé no donen arguments prou sòlids per establir una relació causal entre camps electromagnètics i determinats tipus de patologies.

En els estudis amb animals en laboratori i en els estudis cel·lulars, no s'ha pogut demostrar la relació dels camps amb els efectes nocius plantejats. Per tant, davant l'absència d'evidència científica que estableixi la relació causal, es recomana l'actitud d'evitació prudent.

A nivell normatiu, pel que fa a legislació europea, s'ha emès una recomanació del Consell de la Unió Europea, publicada al Diari Oficial de les Comunitats Europees de 12 de juliol de 1999, relativa a l'exposició del públic en general a camps electromagnètics (0 Hz a

300 GHz), basada en els límits marcats pel Comitè Científic Director de la Comissió i que limita les emissions de camp electromagnètic a una freqüència de 50 Hz, a valors de 100  $\mu$ T per a la densitat de camp magnètic i 5 kV/m per a la intensitat de camp elèctric. Aquests mateixos valors límit han estat establerts per la International Commission Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP) i la International Radiation Protection Association (IRPA), sense restricció de temps.

Cal també fer referència al Reial decret 1066/01 que estableix, entre altres aspectes, mesures de protecció sanitària davant les emissions radioelèctriques. Tot i que les disposicions d'aquest R.D. s'apliquen a emissions produïdes per estacions radioelèctriques de radiocomunicacions (alta freqüència), al seu annex II, quadre 2 es fixen els nivells de referència límit per camps electromagnètics entre 0 i 300 GHz, incloent els 50 Hz de les línies elèctriques. Aquest quadre és una còpia de les limitacions fixades per la recomanació europea de l'any 1999.

Així, doncs, es pot concloure que els nivells dels camps electromagnètics als quals estan sotmeses les persones a Catalunya, provocats per les línies elèctriques, estan molt per sota dels límits establerts.

### 6.3.3 QUANTIFICACIÓ DE L'IMPACTE AMBIENTAL

Els programes de la Unió Europea sobre medi ambient estableixen la prevenció com una de les prioritats en política ambiental. L'objectiu d'aquesta política és evitar els danys ecològics amb anterioritat a la producció, en lloc de basar-se a combatre'n posteriorment els efectes.

Els efectes d'un determinat projecte o actuació sobre el medi han de ser avaluats per protegir la salut humana, contribuir a la qualitat de vida millorant l'entorn, vetllar pel manteniment de la diversitat de les espècies i conservar la capacitat de reproducció del sistema com a recurs fonamental de vida.

L'eina bàsica que permet d'avaluar els efectes d'un projecte o actuació sobre el medi és l'Estudi d'Impacte Ambiental (EIA), que inclou aquests punts:

- Anàlisi detallada de l'indret i l'entorn on és prevista l'obra, l'activitat o la instal·lació.
- Examen de les alternatives tècnicament viables i justificació de la solució adoptada.
- Inventari ambiental i descripció de les interaccions ecològiques i ambientals clau.
- Identificació i valoració d'impactes, tant en la solució proposada com en les alternatives corresponents.
- Establiment de mesures protectores i correctores.
- Programa de vigilància ambiental.
- Document de síntesi.

De l'anàlisi de l'Estudi d'Impacte Ambiental, es pot determinar el grau d'impacte que el

projecte suposa per al medi: compatible, moderat, sever o crític. Posteriorment, l'autoritat competent de Medi Ambient fa un pronunciament (declaració d'impacte) en què determina, pel que fa als previsibles efectes ambientals, la conveniència o no de dur a terme l'activitat projectada i, si s'escau, les condicions que cal establir per protegir convenientment el medi i els recursos naturals.

L'eina fonamental a l'hora d'avaluar l'impacte ambiental a Catalunya per a projectes d'obres i instal·lacions és el Decret 114/1988, de 7 d'abril, d'avaluació d'impacte ambiental. L'annex d'aquest decret, que recull les obres, instal·lacions i activitats subjectes obligatòriament a l'avaluació de l'impacte ambiental, no fa cap menció expressa a les línies aèries d'energia elèctrica.

Tanmateix, el punt 12 de l'annex del Decret 114/1988 estableix que qualsevol actuació o instal·lació que pugui perjudicar notòriament un espai natural protegit s'ha de subjectar a una avaluació d'impacte ambiental. Per això, les línies aèries superiors a 66 kV que puguin afectar un espai d'aquestes característiques se sotmeten automàticament a una avaluació de l'impacte ambiental.

En aquest sentit, cal posar de manifest que la Llei 12/1985 d'espais naturals protegits, aprovada amb anterioritat al Decret 114/1988 i encara vigent, ja contenia unes previsions específiques per minimitzar els impactes ambientals derivats de l'execució de projectes per establir vials permanents i línies elèctriques d'alta tensió que afectessin espais naturals o zones d'alta muntanya.

Pel que fa a la normativa estatal, la Directriu 85/337/CEE es va transposar mitjançant el Reial decret legislatiu 1302/1986, de 28 de juny, sobre avaluació d'impacte ambiental, i el Decret 1131/1988, de 30 de setembre, que estableix el Reglament pel qual es desenvolupa l'anterior Reial decret legislatiu.

A través del Reial decret Llei 9/2000, de 6 d'octubre de 2000, l'Estat espanyol materialitza la transposició de la Directriu 97/11/CE, de 3 de març, que modifica la Directriu 85/337/CEE. L'adequació del marc legal vigent es fa efectiva introduint diverses modificacions en el Reial decret legislatiu 1302/1986, de 26 de juny, d'avaluació d'impacte ambiental.

El RDLL 9/2000 distingeix dues categories de projectes o actuacions, que són aquestes:

- **Annex I:** Projectes que se subjecten obligatòriament a una avaluació de l'impacte ambiental.

Aquest annex, en el seu grup 3, apartat g, recull expressament els projectes consistents en la construcció de línies aèries per al transport d'energia elèctrica amb un voltatge igual o superior a 220 kV i una longitud

superior a 15 km. Igualment, el grup 10, apartat b8, inclou les línies aèries per al transport d'energia elèctrica amb una longitud superior a tres quilòmetres que es desenvolupin en zones especialment sensibles, designades en aplicació de les Directrius 79/409/CEE i 92/43/CEE, o en aiguamolls inclosos en la llista del Conveni de Ramsar. Així, la construcció d'aquestes tipologies de línies se subjecta preceptivament a una avaluació de l'impacte ambiental.

- **Annex II:** Projectes que requeriran una avaluació de l'impacte ambiental quan així ho decideixi l'òrgan ambiental competent, d'acord amb els criteris objectius recollits en l'annex III, que fan referència a les característiques individuals del projecte, emplaçament, afectacions, etc.

El grup 3, apartat a, d'aquest annex II preveu els projectes de construcció de línies aèries per al transport d'energia elèctrica, amb una longitud entre 15 km i 3 km, que no afectin cap zona especialment sensible. La inclusió d'aquesta tipologia d'instal·lacions en aquest annex significa que la subjecció al procediment d'avaluació de l'impacte ambiental no és preceptiva.

## 6.4 CONDICIONANTS LEGALS

Un altre dels aspectes a analitzar en la comparació d'avantatges i desavantatges entre línies aèries i subterrànies és el legal. El principal aspecte que aquí es té en compte és la normativa que determina la forma d'execució de les instal·lacions elèctriques.

Les línies aèries d'alta tensió estan regulades per una normativa tècnica que compta amb més de 30 anys de vigència (Decret 3151/68, de 20 de novembre). En aquest reglament, s'estableixen els criteris per projectar les línies aèries, condicions tècniques per al càlcul dels elements que la formen (mecàniques i elèctriques), les distàncies de seguretat, els criteris en relació amb les característiques del terreny i les interaccions amb d'altres serveis o prescripcions especials, com distàncies en encreuaments i paral·lelismes amb altres línies elèctriques, de telecomunicacions, carreteres, ferrocarrils, rius o canals, pas per zones de bosc o arbres, zones edificades i altres aspectes.

Pel que fa a línies subterrànies d'alta tensió, existeixen uns estàndards de construcció validats per l'organisme oficial competent. Els criteris a adoptar en matèria de distàncies de seguretat entre circuits subterranis (d'igual o diferent tensió) o respecte d'altres serveis pròxims (aigua, gas, línies de telecomunicació...), així com altres aspectes constructius (perfil de la rasa, elements de protecció, materials de rebliment...), estan fixats pels estàndards propis de les companyies elèctriques i per les recomanacions que la Direcció General d'Energia i Mines estableix, o en

casos que s'afecti algun servei públic (carrers, carreteres...), els requeriments que imposa l'administració local o l'organisme oficial afectat.

Les distàncies reglamentàries establertes entre les línies aèries i les edificacions fan que sovint les línies soterrades siguin l'única alternativa possible d'electrificació de determinades zones.

Per altra banda, tot i que no està establert reglamentàriament quan una línia elèctrica ha de fer-se aèria o subterrània, la Generalitat de Catalunya sí que ha establert el criteri de no autoritzar noves línies elèctriques aèries d'alta tensió en nuclis urbans i promou el soterrament progressiu de les línies d'alta tensió en sòl urbà.

Per últim, cal destacar els condicionants legals que es deriven de la normativa sobre qualitat del servei del subministrament elèctric (ja comentat amb més profunditat en el punt 6.2 del document), que fan que la solució tècnica més adient (aèria o subterrània) per garantir la millor qualitat al mínim cost variï segons la xarxa a alimentar (zona urbana, semiurbana o rural) i el seu nivell de tensió (A.T., M.T. o B.T.). Per això s'ha de tenir en compte factors com les taxes d'averies o incidències, el nombre d'interrupcions en el subministrament, el grau d'exposició a inclemències meteorològiques i agressions externes o de tercers de la xarxa en qüestió, el temps necessari per solucionar, aïllar l'avaría o incidència i restablir la continuïtat del servei.

## 6.5 CONDICIONANTS ECONÒMICS

### 6.5.1 COST DE CONSTRUCCIÓ DE NOVES INSTAL·LACIONS

Un altre aspecte important en l'anàlisi comparativa entre línies aèries i subterrànies és la inversió necessària per dur-les a terme.

En aquest sentit, la taula 4 mostra el cost base orientatiu l'any 2002 per a la construcció d'un quilòmetre de línia per a diferents tipus de línies elèctriques, aèries o subterrànies, segons el seu nivell de tensió i prenent en cada cas l'estàndard constructiu actual. Cal aclarir que segons la zona on es construeixi la línia, tant per diferències en el cost de la mà d'obra com per la seva dificultat pel tipus de terreny, els preus de cost base expressats a la taula 4 poden ser notablement diferents als costos finals reals de la instal·lació. De tota manera, són vàlids a efectes comparatius.

Cal així mateix assenyalar que el fet d'existir una limitació tècnica de les línies subterrànies ("longitud crítica") fa que la comparativa només sigui vàlida per a curtes distàncies, pel fet de tenir que considerar addicionalment les inversions en bobines de compensació en cas de longituds més importants.

Les tipologies de línies elèctriques comparades són les de construcció més habitual, a fi de poder tenir ordres de magnitud de les inversions necessàries en cada cas:

- **Línies aèries**

- Transport i subtransport. En aquest cas es consideren quatre tipus de línies de circuit simple: una línia aèria a 400 kV per a un transport de l'ordre de 550 MVA de potència, una línia aèria de 220 kV per a un transport de l'ordre de 300 MVA de potència, una línia aèria de 110 kV per a un transport d'una potència de l'ordre de 150 MVA i una línia aèria de 66 kV per a un transport de potència de l'ordre de 50 MVA. En els quatre casos s'han considerat suports metàl·lics de gelosia i conductors tipus LA-545 per als tres primers i tipus LA-180 per a l'últim. En tots aquests casos, el cost aproximat, en cas que es construís amb suports metàl·lics tubulars en lloc de torres de gelosia, s'incrementaria en un 20% aproximadament.

- Distribució. Per al cas de línies d'alta tensió, es considera una línia aèria a 25 kV de circuit simple amb una distribució normal de suports metàl·lics de gelosia i formigó, per a una potència de 12 MVA (conductor tipus LA-110). Per al cas de línies de baixa tensió, es considera una línia aèria a 380 V amb cable trenat RZ-150 d'un circuit amb suports de formigó i suports de fusta, amb una distribució normal, per a una potència d'uns 0,2 MVA.

- **Línies subterrànies**

- Transport i subtransport. En aquest cas es consideren quatre tipus de línies de circuit simple: una línia subterrània a 400 kV per a un transport de l'ordre de 550 MVA de potència, una línia subterrània de 220 kV per a un transport de l'ordre de 300 MVA de potència, una línia subterrània de 110 kV per al transport d'una potència de l'ordre de 150 MVA i una línia subterrània de 66 kV per a un transport de l'ordre de 50 MVA de potència. En els quatre casos s'ha considerat cable sec XLPE en rasa i conductors de 1.000 mm<sup>2</sup> de coure en els tres primers i de 400 mm<sup>2</sup> d'alumini en l'últim cas. En tots aquests casos, si en lloc de rasa es realitza la instal·lació en galeria de serveis, el cost podria ser de l'ordre d'un 40% superior.

- Distribució. Per al cas de línies d'alta tensió, es considera una línia de 25 kV subterrània en rasa amb circuit simple de cable sec XLPE, per a una potència de l'ordre de 12 MVA i conductor d'alumini de 240 mm<sup>2</sup>. Per al cas de línies de baixa tensió, es considera una línia de 380 V subterrània en rasa, amb circuit

simple de cable sec d'aïllament amb polietilè reticulat, per a una potència de l'ordre de 0,2 MVA i conductor d'alumini de 240 mm<sup>2</sup>.

Finalment, la taula 5 resumeix els diferents costos, tot calculant una ràtio de cost subterrani/aeri. Aquesta ràtio, que és el quocient entre el cost de la línia aèria i la línia subterrània de circuit simple, permet avaluar d'una forma ràpida i senzilla la dimensió del sobre-cost d'una línia subterrània en cada nivell de tensió. Cal tenir en compte que la comparació s'ha fet dins d'uns marges d'homogeneïtat, en la mesura possible, i salvant aspectes tan diferencials com ara la zona on s'executen (urbana, semirural o rural), entre d'altres.

En el cas de línia de doble circuit es mantenen aquestes ràtios, però inversament incrementades en aproximadament un 20%.

## 6.5.2 COSTOS DE MANTENIMENT

Qualsevol infraestructura, sigui del tipus que sigui, un cop executada requereix unes tasques de manteniment preventiu i, si s'escau, de manteniment correctiu. La no-observació d'aquest requisit suposaria un envelliment prematur i conseqüentment una reducció significativa de la seva vida útil. En el cas de les línies elèctriques, aquest requisit es fa doblement necessari. Primer, per allargar la vida útil de les instal·lacions i evitar així un increment de les despeses per actualitzar les instal·lacions i rendibilitzar al màxim la inversió inicial i, en segon lloc, per poder garantir una bona qualitat del subministrament i conèixer l'estat real de les instal·lacions, de manera que s'evita penalitzacions econòmiques imposades pel marc legal regulador per un alt índex d'interrupció en el subministrament.

Òbviament, el manteniment de les línies elèctriques té un cost econòmic, que dependrà dels mitjans necessaris per efectuar-lo, de la freqüència en què es realitzi i de la tipologia de la instal·lació.

Tipus de línia	Tensió (kV)	Nombre de circuits	Potència (MVA)	Cost línia aèria sobre torres metàl·liques gelosia		Cost línia subterrània en rasa		Relació cost línia aèria / subterrània
				milers PTA / km	milers € / km	milers PTA / km	milers € / km	
Transport	400,00	1	550,0	29.500	177,30	350.000	2.103,54	1 / 11,9
Transport	220,00	1	300,0	19.500	117,20	155.000	931,57	1 / 7,9
Subtransport	110,00	1	150,0	15.000	90,15	80.000	480,81	1 / 5,3
Subtransport	66,00	1	50,0	12.500	75,12	50.000	300,51	1 / 4
Distribució AT	25,00	1	12,0	6.200	37,26	22.500	135,22	1 / 3,6
Distribució BT	0,38	1	0,2	4.650	27,95	14.000	84,14	1 / 3

Taula 5. Resum dels costos de construcció de diferents línies elèctriques estàndards.

El ventall d'actuacions de manteniment preventiu d'una instal·lació elèctrica es poden classificar segons la normativa legal per realitzar les revisions reglamentàries (imposades per reglament, Decret 328/2001 del DOGC) i les instruccions específiques de cada empresa distribuïdora (voluntàries). Bàsicament, per a qualsevol tipus d'instal·lació són les següents:

- **Vigilància:** consisteix en la inspecció visual periòdica, que es realitza amb una periodicitat inferior a un reconeixement complet. El seu objectiu és detectar defectes d'aïllament, situacions antireglamentàries (distàncies de la instal·lació amb el seu entorn) i, en general, tots aquells defectes en els elements crítics de la instal·lació que poden afectar-ne el bon funcionament. La seva periodicitat és generalment anual.
- **Reconeixement:** consistent en una inspecció visual periòdica completa, amb l'objectiu de detectar l'estat de la instal·lació amb referència amb la reglamentació i la normativa interna de les empreses distribuïdores, necessitat de millores i comprovació dels paràmetres per a la seva actualització i correcció, si s'escau. La seva periodicitat és triennal.
- **Mesures de resistència de posada a terra:** consistents a realitzar la mesura de la resistència de les posades a terra (PaT) de les instal·lacions, especialment en els suports situats en zones de pública concurrència, els que tenen elements de maniobra i en punts de posada a terra del neutre de B.T., amb una periodicitat de 3 anys, i en totes les altres amb una periodicitat màxima de 6 anys.

- **Mesures de termografia:** amb l'objectiu de detectar punts de la xarxa amb temperatures inadequades i, com a mínim, en totes les connexions de la línia bàsica i derivacions, incloses les proteccions o seccionaments. Es realitza amb una freqüència màxima de 3 anys.
- **Verificació:** consistent en la comprovació i reglatge amb correccions, si són necessàries, dels elements de maniobra de la línia. La seva periodicitat varia segons l'element al qual s'ha d'efectuar la intervenció i oscil·la de 3 a 6 anys.

El resultat del manteniment preventiu de les instal·lacions és un recull de defectes que es classifiquen segons el risc que porten (crítics, majors, menors o informatius), de manera que es determina el temps màxim que pot transcórrer per a la seva correcció.

Les actuacions derivades del manteniment de les instal·lacions, ja sigui per corregir un defecte o per millorar-les, constitueixen el que s'anomena manteniment correctiu de les instal·lacions.

A les taules 6, 7 i 8 es mostren uns quadres comparatius entre les despeses de manteniment de les instal·lacions aèries i subterrànies, agrupades per esglaons de tensió. Els valors mostrats són orientatius, a causa de la dificultat d'obtenció de dades reals, però vàlids per efectuar una comparació entre la despesa en instal·lacions aèries i subterrànies.

ALTA TENSIÓ (220 kV)				
CONCEPTE	LÍNIA SUBTERRÀNIA		LÍNIA AÈRIA	
	Milers PTA / 100 km any	€ / 100 km any	Milers PTA / 100 km any	€ / 100 km any
<b>Manteniment preventiu</b>				
Vigilància i revisions	6.343	38.122,20	10.736	64.524,66
Mesures (PaT i termografies)	8.154	49.006,53	11.534	69.320,74
Verificació	2.853	17.146,88	3.620	21.756,64
<b>Subtotal</b>	<b>17.350</b>	<b>104.275,60</b>	<b>25.890</b>	<b>155.602,03</b>
<b>Tala i poda d'arbrat(*)</b>				
<b>Subtotal</b>	<b>26.312</b>	<b>158.138,30</b>	<b>59.172</b>	<b>355.630,88</b>
<b>Manteniment correctiu</b>				
Avaries	431	2.590,36	838	5.036,48
Correcció de defectes	383	2.301,88	843	5.066,53
<b>Subtotal</b>	<b>814</b>	<b>4.892,24</b>	<b>1.681</b>	<b>10.103,01</b>
<b>TOTAL</b>	<b>44.476</b>	<b>267.306,14</b>	<b>86.743</b>	<b>521.335,93</b>

Taula 6. Costos de manteniment per a una línia de transport d'alta tensió. (\*) Només en cas de zones rurals i boscoses.

MITJANA TENSIÓ (25 kV)				
CONCEPTE	LÍNIA SUBTERRÀNIA		LÍNIA AÈRIA	
	Milers PTA / 100 km any	€ / 100 km any	Milers PTA / 100 km any	€ / 100 km any
<b>Manteniment preventiu</b>				
Vigilància i revisions	3.495	21.005,37	7.736	46.494,30
Mesures (PaT i termografies)	1.324	7.957,40	3.570	21.456,13
Verificació	874	5.252,85	1.240	7.452,55
<b>Subtotal</b>	<b>5.693</b>	<b>34.215,62</b>	<b>12.546</b>	<b>75.402,98</b>
<b>Tala i poda d'arbrat(*)</b>				
<b>Subtotal</b>	<b>13.000</b>	<b>78.131,57</b>	<b>28.623</b>	<b>172.027,69</b>
<b>Manteniment correctiu</b>				
Avaries	3.634	21.840,78	5.487	32.977,53
Correcció de defectes	1.542	9.267,61	3.264	19.617,04
<b>Subtotal</b>	<b>5.176</b>	<b>31.108,39</b>	<b>8.751</b>	<b>52.594,57</b>
<b>TOTAL</b>	<b>23.869</b>	<b>143.455,58</b>	<b>49.920</b>	<b>300.025,24</b>

Taula 7. Costos de manteniment per a una línia de mitjana tensió. (\*) Només en cas de zones rurals i boscoses.

BAIXA TENSIÓ (380 V)				
CONCEPTE	LÍNIA SUBTERRÀNIA		LÍNIA AÈRIA	
	Milers PTA / 100 km any	€ / 100 km any	Milers PTA / 100 km any	€ / 100 km any
<b>Manteniment preventiu</b>				
Vigilància i revisions	3.356	20.169,97	6.681	40.153,62
Mesures (PaT i termografies)	1.245	7.482,60	3.495	21.005,37
Verificació	752	4.519,61	215	1.292,18
<b>Subtotal</b>	<b>5.353</b>	<b>32.172,18</b>	<b>10.391</b>	<b>62.451,17</b>
<b>Tala i poda d'arbrat(*)</b>				
<b>Subtotal</b>	<b>13.000</b>	<b>78.131,57</b>	<b>13.000</b>	<b>78.131,57</b>
<b>Manteniment correctiu</b>				
Avaries	2.984	17.934,20	1.324	7.957,40
Correcció de defectes	1.123	6.749,37	1.945	11.689,69
<b>Subtotal</b>	<b>4.107</b>	<b>24.683,57</b>	<b>3.269</b>	<b>19.647,09</b>
<b>TOTAL</b>	<b>22.460</b>	<b>134.987,32</b>	<b>26.660</b>	<b>160.229,83</b>

Taula 8. Costos de manteniment per a una línia de baixa tensió. (\*) Només en cas de zones rurals i boscoses.

Independentment dels costos econòmics associats al manteniment, cal indicar que l'accessibilitat de les línies elèctriques en àrees rurals significa una dificultat addicional al manteniment de la infraestructura elèctrica, i molt especialment si a més a més és subterrània.

### 6.5.3 RETRIBUCIÓ ECONÒMICA

El transport i la distribució d'energia elèctrica són, segons la legislació vigent (Llei 54/97 del sector elèctric), activitats regulades, a diferència d'altres àrees de negoci del sector elèctric (generació i comercialització). Això vol dir que les empreses transportistes i distribuïdores d'energia elèctrica no obtenen una retribució directa dels seus clients, sinó que l'Administració de l'Estat té plena exclusivitat i potestat en l'establiment d'un model retributiu segons els ingressos globals obtinguts de les tarifes, els peatges i els preus satisfets.

En el cas de l'activitat del transport, les inversions de les instal·lacions (400 kV i 220 kV) són remunerades de forma individual per instal·lació, segons uns costos estàndards establerts pel Govern, que són actualitzats anualment. Aquests costos estàndards reconeguts diferencien clarament la retribució de les instal·lacions aèries de les subterrànies.

S'ha de fer esment, així mateix, que aquestes infraestructures són objecte de planificació no indicativa o d'obligat compliment, i aprovat pel Congrés dels Diputats.

Pel que fa a l'activitat de la distribució, la seva retribució es troba actualment en una situació encara no tancada per la legislació vigent.

El conjunt de l'activitat de la distribució a nivell espanyol és retribuida per un total que fixa el Govern cada any en l'expedient de tarifes elèctriques. Aquest valor global s'actualitza anualment.

El fet més rellevant de discussió actual rau en la forma de repartiment d'aquest import global entre totes les empreses distribuïdores d'energia elèctrica. Fins a l'any 1997, en què va finalitzar el període d'aplicació de l'anterior sistema econòmic del sector elèctric (anomenat Marc Legal i Estable), el repartiment es feia fonamentalment segons l'energia circulada, i per a les instal·lacions de més de 36 kV segons l'inventari, aplicant-hi uns valors estàndards, un període d'amortització i una taxa de retribució econòmica.

A partir de l'any 1998 es va proposar un nou model de repartiment en base a la xarxa elèctrica de referència, anomenat model Bulnes. Aquest model proposa una xarxa teòrica de referència per alimentar el mercat peninsular segons les característiques del mercat, tenint en compte la realitat cartogràfica. En base a això, estima les inversions necessàries, la seva retribució i el repartiment entre les empreses distribuïdores.

Per manca de consens entre les empreses distribuïdores i el Govern, sobre les fonts d'informació i sobre els resultats (en comparació amb la realitat de les infraestructures existents) del model Bulnes, actualment s'aplica

una solució híbrida entre el Marc Legal i Estable i l'anomenat model Bulnes o xarxa de referència.

S'ha de destacar que tot i que aquest model només té la utilitat de fixar el repartiment de la retribució econòmica de l'activitat de la distribució entre tots els distribuïdors, el model Bulnes estableix orientativament els criteris tècnics i econòmics de creixement de la xarxa de distribució, en què s'indiquen els nivells o percentatges de soterrament de les línies elèctriques segons la zona on es realitzen i el seu nivell de tensió. Cal destacar que aquests criteris teòrics, no obligatoris, adopten un alt nivell de soterrament en baixa i mitjana tensió en zones urbanes, que creix linealment amb la densitat d'edificacions i polígons (amb sostres del 80% i 90%), i una electrificació exclusivament aèria en zones rurals, independentment del nivell de tensió. En el cas de les línies d'alta tensió, aquest model les considera totalment aèries, amb independència de la zona per on transcorren.

En el cas que els criteris de model fossin d'obligat compliment o que la retribució econòmica d'una distribuïdora depengués del menor/major compliment dels criteris de la xarxa de referència, les empreses distribuïdores obtindrien un senyal econòmic per electrificar i prioritzar les seves inversions en cada zona.

Amb un model d'aquest estil, conjuntament amb l'energia circulant, costos d'inversió, operació i manteniment de les instal·lacions, així com els incentius per qualitat del servei i la reducció de les pèrdues, les empreses distribuïdores poden valorar fins a quin punt la

tarifa cobreix, entre altres aspectes, el sobre-cost d'una línia subterrània en relació amb la seva equivalent aèria, i per extensió la rendibilitat d'una i altra solució.

Tanmateix, la Llei del sector elèctric 54/1997 deixa la porta oberta a la inclusió de gravàmens territorials autonòmics i/o locals aplicables a les tarifes, fet que torna a posar de manifest que els ciutadans seran, en última instància, els que pagaran el sobre-cost del soterrament i, per tant, involucra les administracions i els mateixos consumidors a l'hora de determinar fins a quin punt s'està disposat a assumir el sobre-cost del soterrament, en relació amb un cost mínim del servei mitjançant una línia aèria equivalent.

Per altra banda, cal no oblidar que també es poden obtenir altres beneficis econòmics del soterrament de línies. L'eliminació de la servitud visual i la reducció de la superfície ocupada i, per tant, de la servitud de pas, sobretot en terrenys urbans o urbanitzables, es tradueix en una revaloració del sòl, així com per altres motius ja abordats en apartats anteriors. Encara que aquesta revaloració només beneficiï la propietat del terreny, i per tant sigui un punt de vista subjectiu, esdevé en molts casos un factor determinant a l'hora de determinar la solució constructiva d'una línia elèctrica, ja sigui de nova construcció com el soterrament d'una instal·lació existent. Per tant, és lògic que el beneficiari interessat, l'Administració o un particular, n'assumeixi els costos derivats, extrem que ja contempla de forma explícita la Llei 54/1997 en l'art. 58 (Relacions Civils).

## 7 SITUACIÓ COMPARATIVA DE CATALUNYA AMB ESPANYA I ALTRES PAÏSOS EUROPEUS

La taula 9 mostra la longitud de les línies elèctriques aèries i subterrànies de Catalunya a escala global i provincial. Igualment, la figura 14 mostra els percentatges de longitud de línies aèries i subterrànies per a cadascuna de les províncies catalanes i per al total de Catalunya.

De les dades anteriors se'n pot despendre que en les províncies amb més densitat de població el nivell de soterrament és més alt. En aquest sentit, la taula 10 mostra les dades i percentatges, a desembre de 2000, de longitud de línies de mitjana tensió aèries i subterrànies d'Endesa Distribució, per als municipis i nuclis de Catalunya amb més de 20.000 habitants, on es pot apreciar la diferència del percentatge de soterrament en zona urbana o rural.

Així, pel que fa al soterrament de línies en els nuclis de població, les dades referents als municipis i nuclis de Catalunya amb més de 20.000 habitants mostren que l'índex de soterrament és força elevat, al voltant del 95% en els nuclis urbans.

Un altre aspecte interessant és la comparació de Catalunya amb els països del seu entorn. Així, per tal d'efectuar una anàlisi comparativa del grau de soterrament de les línies elèctriques entre Catalunya, Espanya i altres països europeus, s'han considerat diversos paràmetres. En aquest sentit, la taula 11 reflecteix els paràmetres bàsics del sistema de distribució elèctrica.

A Catalunya, els paràmetres de mercat i de distribució elèctrica presenten unes ràtios properes als dels països europeus industrialitzats, com Itàlia i el Regne Unit, tot i que el nivell actual de soterrament de línies elèctriques a Catalunya (el 30% de les línies elèctriques de mitjana i baixa tensió estan soterrades) està lluny dels valors d'aquests països, encara que és superior al valor espanyol (20%) i al francès (28%).

PROVÍNCIA	Baixa tensió (< 1 kV)		Alta tensió (≥ 1 kV)		TOTAL	
	Aeri	Subt.	Aeri	Subt.	Aeri	Subt.
Barcelona	20.390,0	9.983,0	15.145,9	8.913,5	35.535,9	18.896,5
Tarragona	6.096,0	1.477,0	6.297,1	781,5	12.393,1	2.258,5
Lleida	5.041,1	2.385,2	7.774,8	375,9	12.815,9	2.761,1
Girona	4.616,8	1.794,8	5.190,1	1.038,0	9.806,9	2.832,8
<b>Catalunya</b>	<b>36.143,9</b>	<b>15.640,0</b>	<b>34.407,9</b>	<b>11.108,9</b>	<b>70.551,7</b>	<b>26.748,9</b>
<b>Percentatge en relació amb el total</b>	<b>69,8%</b>	<b>30,2%</b>	<b>75,6%</b>	<b>24,4%</b>	<b>72,5 %</b>	<b>27,5%</b>

Taula 9. Longitud de les línies elèctriques existents a Catalunya (km). Any 1998.

Municipi	Província	TERME MUNICIPAL				NUCLI URBÀ			
		Km. Aeri	Km. Subt.	Km. Totals	Subt. / Total (%)	Km. Aeri	Km. Subt.	Km. Totals	Subt. / Total (%)
Badalona	Barcelona	25,73	316,78	342,51	92,49%	1,90	287,77	289,67	99,34%
Barberà del Vallès	Barcelona	20,12	70,77	90,89	77,86%	4,17	35,88	40,05	89,59%
Barcelona	Barcelona	66,82	2.928,94	2.995,76	97,77%	1,23	2.404,73	2.405,96	99,95%
Blanes	Girona	20,41	35,06	55,47	63,21%	7,74	30,91	38,65	79,97%
Castelldefels	Barcelona	25,99	55,69	81,68	68,18%	2,18	45,96	48,14	95,47%
Cerdanyola del Vallès	Barcelona	52,81	71,28	124,09	57,44%	6,66	45,01	51,67	87,11%
Cornellà de Llobregat	Barcelona	11,90	110,53	122,43	90,28%	2,57	94,63	97,20	97,36%
El Masnou	Barcelona	6,22	20,69	26,91	76,89%	4,04	19,67	23,71	82,96%
El Prat de Llobregat	Barcelona	58,25	140,25	198,50	70,65%	5,56	82,56	88,12	93,69%
Esplugues de Llobregat	Barcelona	17,03	59,26	76,29	77,68%	7,12	47,88	55,00	87,05%
Figueres	Girona	41,96	41,54	83,50	49,75%	0,09	6,34	6,43	98,60%
Gavà	Barcelona	38,58	63,73	102,31	62,29%	0,11	18,11	18,22	99,40%
Girona	Girona	72,47	182,61	255,08	71,59%	11,22	148,47	159,69	92,97%
Granollers	Barcelona	41,02	81,17	122,19	66,43%	18,41	62,47	80,88	77,24%
Igualada	Barcelona	5,89	54,98	60,87	90,32%	2,72	40,28	43,00	93,67%
L'Hospitalet de Llobregat	Barcelona	12,45	350,21	362,66	96,57%	15,98	352,89	368,87	95,67%
Lleida	Lleida	335,44	190,34	525,78	36,20%	1,89	117,70	119,59	98,42%
Manresa	Barcelona	100,59	81,02	181,61	44,61%	20,00	72,37	92,37	78,35%
Mataró	Barcelona	38,07	164,35	202,42	81,19%	5,12	142,26	147,38	96,53%
Mollet del Vallès	Barcelona	22,32	51,59	73,91	69,80%	6,21	40,51	46,72	86,71%
Montcada i Reixac	Barcelona	73,46	53,91	127,37	42,33%	15,81	33,12	48,93	67,69%
Olot	Girona	31,09	18,55	49,64	37,37%	1,20	12,82	14,02	91,44%
Premià de Mar	Barcelona	0,90	14,55	15,45	94,17%	0,18	14,35	14,53	98,76%
Reus	Tarragona	133,38	103,81	237,19	43,77%	3,29	67,06	70,35	95,32%
Ripollet	Barcelona	12,36	25,62	37,98	67,46%	2,86	19,83	22,69	87,40%
Rubí	Barcelona	69,19	105,39	174,58	60,37%	6,61	45,21	51,82	87,24%
Sabadell	Barcelona	130,78	274,14	404,92	67,70%	3,80	211,75	215,55	98,24%
Sant Adrià de Besòs	Barcelona	1,90	133,49	135,39	98,60%	1,90	141,56	143,46	98,68%
Sant Boi de Llobregat	Barcelona	42,82	91,81	134,63	68,19%	5,93	83,34	89,27	93,36%
Sant Cugat del Vallès	Barcelona	69,89	120,93	190,82	63,37%	2,01	35,94	37,95	94,70%
Sant Feliu de Llobregat	Barcelona	24,55	41,47	66,02	62,81%	0,78	24,30	25,08	96,89%
Sant Joan Despí	Barcelona	20,29	39,97	60,26	66,33%	4,54	30,86	35,40	87,18%
Sant Vicenç dels Horts	Barcelona	22,66	28,70	51,36	55,88%	5,48	18,69	24,17	77,33%
Santa Coloma de Gramenet	Barcelona	23,40	56,43	79,83	70,69%	1,64	49,84	51,48	96,81%
Tarragona	Tarragona	155,96	197,46	353,42	55,87%	0,12	44,32	44,44	99,73%
Terrassa	Barcelona	124,19	286,30	410,49	69,75%	28,64	260,15	288,79	90,08%
Tortosa	Tarragona	145,17	35,30	180,47	19,56%	4,73	23,29	28,02	83,12%
Valls	Tarragona	69,97	23,22	93,19	24,92%	3,20	2,81	6,01	46,76%
Vic	Barcelona	68,91	73,11	142,02	51,48%	9,54	47,82	57,36	83,37%
Viladecans	Barcelona	50,82	70,47	121,29	58,10%	4,00	51,02	55,02	92,73%
Vilafranca del Penedès	Barcelona	55,09	53,08	108,17	49,07%	4,56	37,10	41,66	89,05%
Vilanova i la Geltrú	Barcelona	61,29	74,09	135,38	54,73%	3,47	44,09	47,56	92,70%
<b>Total</b>		<b>2.402,14</b>	<b>6.992,59</b>	<b>9.394,73</b>	<b>74,43%</b>	<b>239,21</b>	<b>5.395,67</b>	<b>5.634,88</b>	<b>95,75%</b>

Taula 10. Longitud de línies aèries i subterrànies de mitjana tensió als municipis i nuclis de població de més de 20.000 habitants de Catalunya. Font: Endesa Distribución.

D'altra banda, aquestes dades posen de manifest la forta relació entre la densitat de població i el percentatge de soterrament de les línies de mitjana i baixa tensió, fet que demostra que la pràctica habitual del soterrament de les línies elèctriques es dona en les zones urbanes o amb densitats de població elevades.

Cal, però, ser prudent en la interpretació d'aquestes dades, ja que la dispersió de la població en el territori pot ser diferencial (per exemple, a Catalunya, la densitat de població és molt més variant al llarg del territori que a Itàlia o a la Gran Bretanya), a més

dels aspectes geogràfics, que també condicionen. També s'ha de tenir en compte que hi ha països amb facilitats legals, com ara Holanda, que permeten que les línies elèctriques ocupin zones de servituds de vies de comunicació per efectuar traçats paral·lels, amb el compromís de l'empresa distribuïdora que en cas d'ampliació o reforma de la via de comunicació el desplaçament de la línia vagi al seu càrrec.

Pel que fa a les línies elèctriques d'alta tensió, els criteris adoptats per les empreses distribuïdores d'electricitat a Catalunya sobre

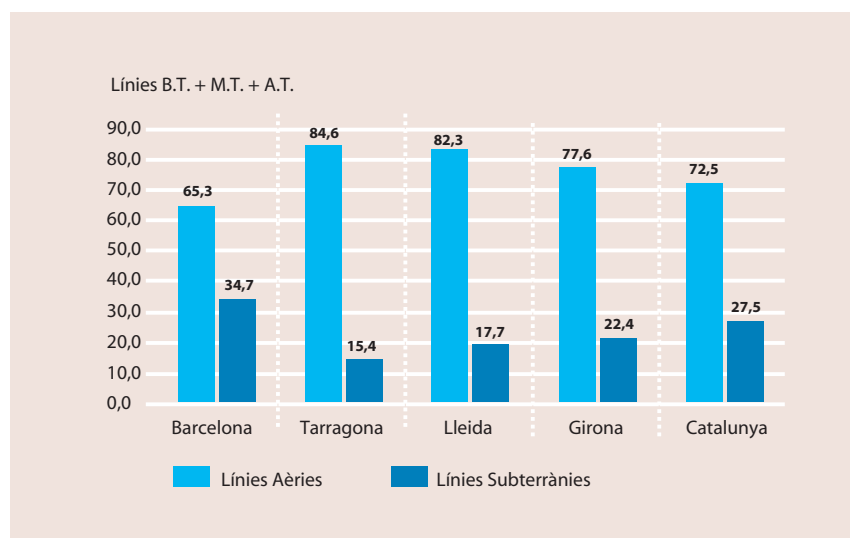
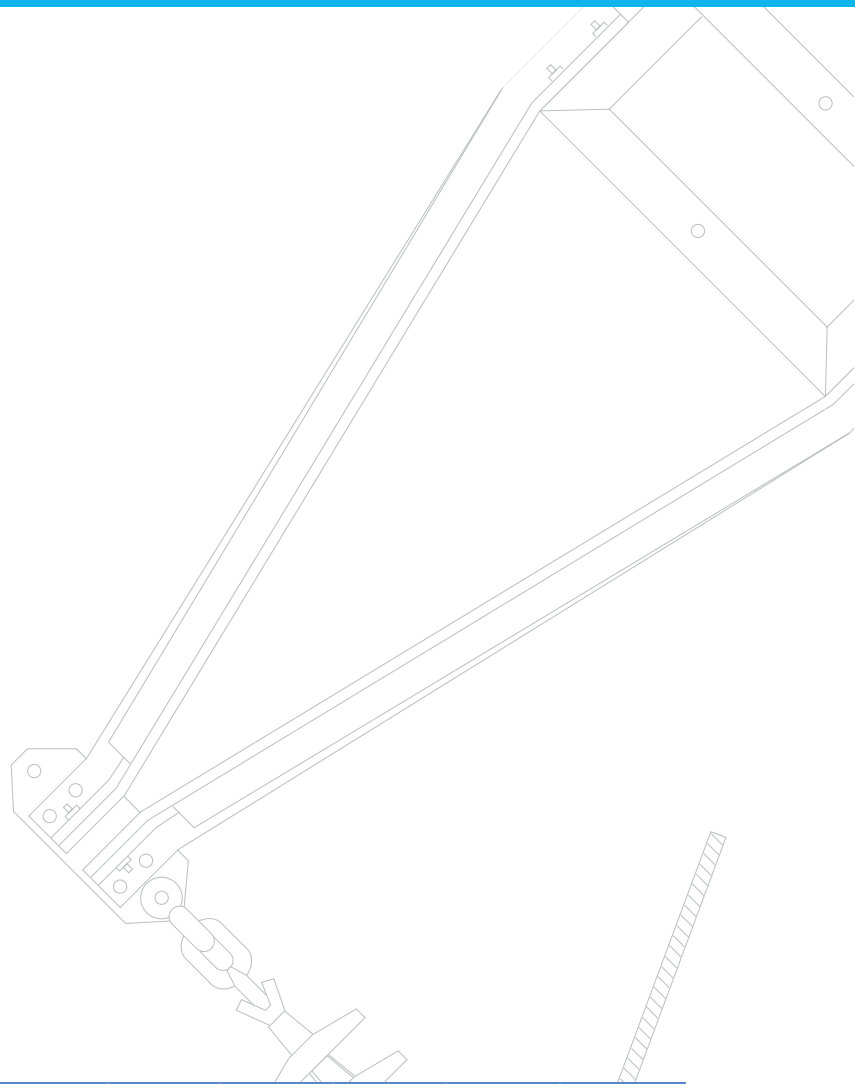


Figura 14. Percentatge total de longitud de línies aèries i subterrànies a les províncies catalanes.

l'estesa de línies en subterrani i el soterrament de línies aèries existents són molt similars als adoptats per la majoria d'empreses elèctriques europees. La pràctica comuna és que l'estesa de cables subterranis en alta tensió (igual o superior als 66 kV) només es justifica per a l'alimentació de nuclis urbans amb una alta densitat de població. El percentatge de línies d'alta tensió subterrànies no supera mai el 2% de la longitud total, ja que la majoria d'aquestes instal·lacions es troben en àrees rurals.



	Itàlia	Holanda	Noruega	Portugal	Regne Unit	Espanya	França	Catalunya
<b>Indicadors</b>								
Nombre de clients (M.T. + B.T.) (milers)	32.510	7.231	2.436	5.291	27.033	20.456	n.d.	3.735
Energia (M.T. + B.T.) (GWh)	188.000	70.819	71.000	28.426	276.006	128.290	n.d.	27.668
Població en milions (1994)	57,120	15,381	4,377	9,902	58,395	39,143	57,928	6,090
Superfície (km <sup>2</sup> )	301.270	37.330	386.958	92.390	244.880	504.780	551.500	31.895
Any	1999	1999	1998	1999	1999	1999	1998	1998
Llargària de les línies (MT+BT) de distribució (km)	1.030.900	247.257	277.183	174.208	750.360	571.246	1.196.100	86.740
% de línies aèries	38%	0%	64%	81%	39%	80%	72%	70%
% de línies subterrànies	62%	100%	36%	19%	61%	20%	28%	30%
<b>Ràtios</b>								
Densitat de població (Hab./km <sup>2</sup> )	189,6	412,0	11,2	107,2	238,5	77,5	105,0	190,9
Clients / km <sup>2</sup>	107,9	193,7	6,30	57,3	110,4	40,5	n.d.	117,1
Energia (GWh / km <sup>2</sup> )	0,62	1,90	0,18	0,32	1,13	0,25	n.d.	0,87
Longitud de línies (km) / km <sup>2</sup>	3,42	7,29	0,72	1,96	3,28	1,13	2,17	2,72
Energia (GWh)/Long. línies (km)	0,18	0,29	0,26	0,16	0,37	0,22	n.d.	0,32

Taula 11 Paràmetres bàsics del sistema de distribució elèctrica. Font: Working Group on Quality of Electricity Supply Council of European Energy Regulators, Electricité de France (EDF) i Direcció General d'Energia i Mines.

## 8 CONCLUSIONS

Finalment, a la taula 12 es mostra un quadre resum comparatiu de la idoneïtat de les línies elèctriques aèries o subterrànies segons el nivell de tensió (alta tensió, mitjana tensió o baixa tensió) i l'entorn on s'ubica la línia (urbà o rural).

En aquesta taula s'ha intentat recollir de forma senzilla i simplificada les conclusions sobre cada un dels aspectes analitzats.

Així doncs, pel que fa als aspectes tècnics i constructius s'ha considerat desfavorable la instal·lació de línies subterrànies en zones rurals per raons de major complexitat tècnica, a l'hora que aquesta complexitat queda compensada per la viabilitat constructiva en àrees urbanes, especialment per línies d'alta i mitjana tensió.

En els aspectes legals, només cal fer esment a les restriccions imposades a les línies aèries en zones urbanes per motius de distàncies a les edificacions, especialment per a les línies d'alta i mitjana tensió.

Fer una síntesi sobre l'impacte ambiental és molt complex, però el criteri ha estat el de mínima afectació general, considerant que

l'impacte visual de les línies aèries en àrees urbanes és molt elevat, així com el d'agressió a l'entorn (moviments de terres, desforestació, etc...) per les línies subterrànies en les zones rurals.

El cost econòmic és sempre més favorable a l'opció aèria, tot i que en les àrees urbanes queda compensat pels beneficis econòmics d'utilització del sòl.

I per últim, en relació al manteniment de línies i la qualitat del servei del subministrament elèctric, malgrat que les línies aèries comporten més costos en manteniment, s'ha de tenir present que és més complicat en les línies subterrànies en àrees rurals per la dificultat d'accés. Per una altra banda, les línies aèries poden garantir un mateix nivell de qualitat que les línies subterrànies, gràcies a l'automatització de la xarxa. Per tant, en àrees rurals, la dificultat d'accés i la possibilitat tecnològica de l'automatització fa que l'opció aèria sigui preferible a la subterrània.

Línies Aèries							Línies subterrànies						
Entorn	Urbà			Rural			Entorn	Urbà			Rural		
Nivell de Tensió	AT	MT	BT	AT	MT	BT	Nivell de Tensió	AT	MT	BT	AT	MT	BT
Idoneïtat tècnica	○	○	●	●	●	●	Idoneïtat tècnica	●	●	●	○	○	○
Idoneïtat constructiva	○	○	●	●	●	●	Idoneïtat constructiva	●	●	●	○	○	○
Legal	○	○	●	●	●	●	Legal	●	●	●	●	●	●
Impacte mediambiental	○	○	○	●	●	●	Impacte mediambiental	●	●	●	○	○	○
Cost econòmic	○	○	●	●	●	●	Cost econòmic	●	●	●	○	○	○
Qualitat de servei / Manteniment	●	●	●	●	●	●	Qualitat de servei / Manteniment	●	●	●	○	○	○

Taula 12. Quadre resum comparatiu de la idoneïtat de les línies elèctriques aèries o subterrànies (Color blau = Favorable. Color blanc = Desfavorable).

Aquesta taula 11 s'ha d'interpretar de forma molt genèrica, ja que, com ja s'ha comentat anteriorment, la idoneïtat d'utilitzar una línia aèria o subterrània dependrà sempre de cada cas concret.

En base a tots els aspectes anteriors a considerar, la Generalitat de Catalunya ha establert uns criteris d'autorització administrativa de línies elèctriques.

Aquests criteris han estat compartits per la Comissió d'experts en matèria de línies elèctriques d'alta tensió en el seu informe final i recollits en el Pla de l'energia a Catalunya en l'horitzó de l'any 2010.

Aquests criteris són:

**a.- En zona urbana:**

Noves línies: Les línies elèctriques entre 1 kV i 400 kV han de ser soterrades. Les línies de BT han de ser soterrades, o trenades grapa-des a les façanes si l'Ajuntament ho permet.

Línies existents: Les línies elèctriques entre 1 kV i 400 kV han de ser soterrades o desplaçades de les zones urbanes de forma progressiva. Les línies de BT han de ser soterrades o passades a trenades de forma progressiva.

**b.- En zona no urbana ni urbanitzable:**

Totes les línies elèctriques poden ser aèries.

Aquesta política, aplicada per la Generalitat de Catalunya des de fa temps, ha fet que, en el conjunt de municipis de més de 20.000 habitants, les xarxes elèctriques de mitjana tensió estiguin soterrades en més d'un 95% de la seva longitud.

En relació amb les noves instal·lacions no s'han de plantejar problemes, ja que les autoritzacions administratives s'adequaran als criteris establerts, a més a més de que hauran d'estar sotmeses a l'estudi d'impacte ambiental.

Pel que fa a les instal·lacions existents caldrà establir els acords necessaris i aprofitar les oportunitats (requalificació de terrenys, noves urbanitzacions, necessitat d'ampliació de capacitat de les infraestructures, etc.) per buscar solucions que permetin adequar-se als criteris establerts (en què el soterrament no ha de ser necessàriament l'única opció possible).

Això requerirà acords entre diversos agents, com ara les empreses elèctriques, els promotors d'habitatges, l'Administració local i autonòmica en l'àmbit energètic, d'ordenació territorial, entre d'altres.

## 9 BIBLIOGRAFIA I REFERÈNCIES

### NORMATIVA ELÈCTRICA

- Reglamento Técnico de Líneas Aéreas de Alta Tensión. Decret 3151/68, de 28 de novembre, i les seves modificacions i actualitzacions posteriors.
- Reglamento de Verificaciones Eléctricas. Decret 12 de març de 1954 i les seves modificacions i actualitzacions posteriors.
- Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación e Instrucciones Técnicas Complementarias. Reial decret 3275/1982, de 12 de novembre. BOE núm. 288 d'1 de desembre de 1982. Modificacions i actualitzacions posteriors.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias. Decret 2413/1973, de 20 de setembre. BOE núm. 242 de 9 d'octubre de 1973. Modificacions, fulls interpretatius i actualitzacions posteriors.
- Normativa pròpia companyies distribuïdores d'energia (Endesa Distribución, EYPSA, Bassols, etc.).
- Instrucciones Técnicas Complementarias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión MIE-BT. Ordre del 31 d'octubre de 1973.
- Ordres i disposicions del Govern central i de la Generalitat de Catalunya que modifiquen o complementen el Reglament de baixa tensió i les Instruccions tècniques complementàries MIE-BT.
- Resolucions i circulars de la Generalitat de Catalunya referents a instal·lacions elèctriques en general.
- Reial decret 1955/2000, d'1 de desembre, pel qual es regulen les activitats de transport, distribució, comercialització, subministrament i procediments d'instal·lacions d'energia elèctrica.
- Llei 54/1997, de 27 de novembre, del sector elèctric.
- Decret 328/2001, de 4 de desembre, pel qual s'estableix el procediment per efectuar els reconeixements periòdics de les instal·lacions de producció, transformació, transport i distribució d'energia elèctrica (DOGC núm. 3536-18/12/2001).
- Decret 329/2001, de 4 de desembre, pel qual s'aprova el Reglament del subministrament elèctric.

## NORMATIVA LABORAL

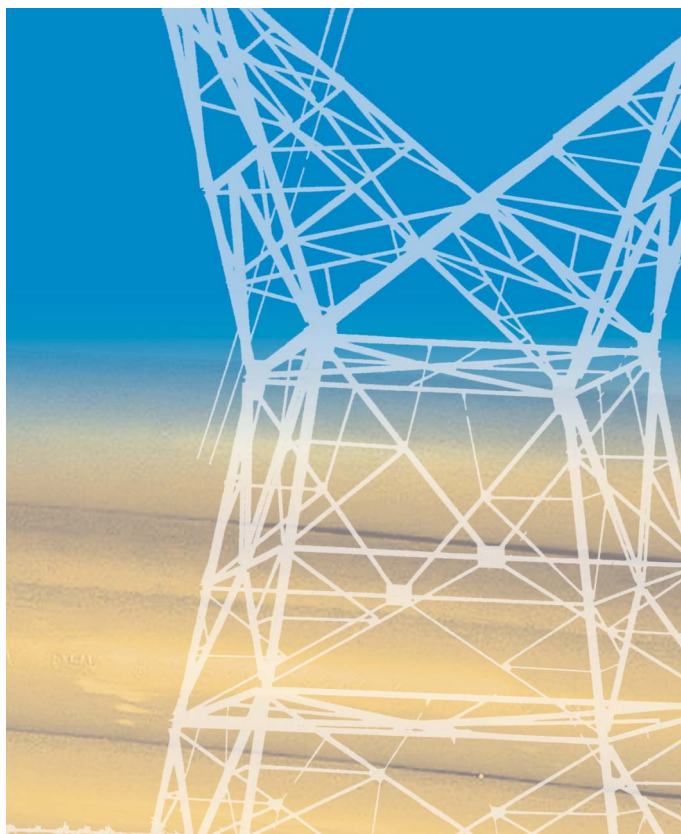
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, segons l'Ordre del 9 de març de 1971.
- Llei 31/1995 de prevenció de riscos laborals.
- Reial decret 1627/1997, de 24 d'octubre, pel qual s'estableixen les disposicions mínimes de seguretat i salut a les obres de construcció.
- Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Decret 432/1971, de l'11 de març.
- Llei 6/2001, de 8 de maig, de modificació del Reial decret legislatiu 1302/1986, de 28 de juny, d'avaluació d'impacte ambiental.
- Recomanació del Consell de la Unió Europea de 12 de juliol de 1999, relativa a l'exposició del públic en general a camps electromagnètics.
- Reial decret 1066/2001, de 28 de setembre, pel qual s'aprova el Reglament que estableix condicions de protecció de domini públic radioelèctric, restriccions a les emissions radioelèctriques i mesures de protecció sanitària front a emissions radioelèctriques.

## NORMATIVA I RECOMANACIONS MEDIAMBIENTALS

- Decret 328/1992, de 14 de desembre, pel qual s'aprova el Pla d'espais d'interès natural.
- Decret 268/1996, de 23 de juliol, del Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya, pel qual s'estableixen mesures de tala periòdica i selectiva de vegetació en la zona d'influència d'incendis forestals i la seguretat de les instal·lacions. Normatives específiques relacionades a l'article 2 d'aquest Decret.
- Decret 114/1988, de 7 d'abril, d'avaluació d'impacte ambiental.
- Llei 12/1985 d'espais naturals protegits.
- Reial decret legislatiu 1302/1986, de 28 de juny, i modificacions posteriors.
- Reial decret llei 9/2000, de 6 d'octubre de 2000.
- Llei 16/2002, de 28 de juny, de protecció contra la contaminació acústica.

## Varis

- Informe final de la Comissió d'experts en matèria de línies elèctriques d'alta tensió. Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme de la Generalitat de Catalunya, i documents de treball. Gener de 2001.
- Pla de l'energia a Catalunya en l'horitzó de l'any 2010. Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme de la Generalitat de Catalunya, i documents de treball, 1a edició 2002.
- Efectos ambientales del soterramiento de líneas de transporte de energía. REE. Diciembre 2001.
- Problemática de la utilización de cables subterráneos de muy alta tensión. REE.
- Políticas de soterramiento de redes eléctricas. Colegio Oficial de Ingenieros Industriales de Baleares.
- Redes eléctricas subterráneas en España. Tendencias (2001/núm.323).
- Diseño de líneas aéreas eléctricas en alta tensión en relación con los campos magnéticos y eléctricos. REE.
- III Jornadas sobre líneas eléctricas y medio ambiente. REE. Madrid. Octubre 1999.
- Líneas eléctricas aéreas, subterráneas y medio ambiente. Iberdrola.
- Medición y cálculo del campo eléctrico y magnético de 50 Hz en la línea de 220 kV Alto Jahuel los Almendros. Universidad de Santiago de Chile.
- Articles tècnics de revistes especialitzades, catàlegs de fabricants de material elèctric i de les companyies elèctriques.



Generalitat de Catalunya  
Departament de Treball, Indústria  
Comerç i Turisme  
**Institut Català d'Energia**

Av. Diagonal, 453 Bis, Àtic  
08036 Barcelona  
tel.: 93 622 05 00  
fax: 93 622 05 02  
e-mail: [icaen@icaen.es](mailto:icaen@icaen.es)  
[www.icaen.es](http://www.icaen.es)



Generalitat de Catalunya  
Departament de Treball, Indústria  
Comerç i Turisme  
**Direcció General d'Energia i Mines**

Av. Diagonal, 514 2on  
08006 Barcelona  
tel.: 93 484 94 00  
fax: 93 484 95 62  
e-mail: [dgem@correu.gencat.es](mailto:dgem@correu.gencat.es)