

# **INFORME SOBRE EXPERIÈNCIES DE SOTERRAMENT DE LÍNIES DE MOLT ALTA TENSIÓ**

**Josep Puig i Boix,  
Dr. Enginyer industrial  
Professor a la UAB**

Barcelona, 2008

## **Index**

### **1.- Bibliografia**

**1.1.- Compendi de la bibliografia obtinguda.**

**1.2.- Resum sintètic de cada referència bibliogràfica.**

**2.- Avaluació del cost aproximat del soterrament.**

**3.- Conclusions principals d'índole tècnic**

**4.- Contactes d'empres constructores de cables soterrats i de les administracions o agents econòmics i socials vinculats a experiències de soterrament.**

**Annexes**

## 1.- Bibliografia

### 1.1.- Compendi de la bibliografia obtinguda.

Aquest apartat conté un llistat exhaustiu de tota la bibliografia consultada.

- ABB, **HVDC Cable Transmissions**, ABB Power Systems AB, Ludvika, ABB High Voltage Cables AB, Karlakrona
- ABB, **HVDC Classic Referente List**, ABB Power Technologies AB, Grid Systems/HVDC, Sweden (darrera versió del document descarregada del web: [www.abb.com/hvdc](http://www.abb.com/hvdc))
- ABB, **HVDC Light Cables: Submarine and land power cables**, ABB's high voltage cable unit, Sweden (darrera versió del document descarregada del web: [www.abb.com/cables](http://www.abb.com/cables))
- ABB, **Invisible Power**, ABB Power Technology Products AB, High Voltage Cables, Karlskrona, Sweden
- ABB, **It's time to connect: Technical description of HVDC Light technology**, ABB Power Technologies AB, Grid Systems/HVDC, Sweden (darrera versió del document descarregada del web: [www.abb.com/hvdc](http://www.abb.com/hvdc))
- ABB, **XLPE – Cross-Linked Polyethylene Cable Systems, User's Guide**, ABB Power Technology Products AB, High Voltage Cable Unit, Sweden (darrera versió del document descarregada del web: [www.abb.com/cables](http://www.abb.com/cables))
- Airtricity (2006), **European Offshore Supergrid Proposal: Vision and Executive Summary**, Airtricity Holding Ltd., London
- Barcelona Regional (2006), **Estudi del traçat per a la implantació d'una línia de 400 kV entre la línia prevista Sentmenat-Vic-Bescanó i Riudarenes**, Generalitat de Catalunya, Barcelona
- Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió (2001), **Informe final de la comissió d'experts en matèria de línies elèctriques d'alta tensió**, Departament d'Indústria Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya, Barcelona
- Commission of the European Communities (2003), **Background Paper: Undergrounding of Electricity Lines in Europe**, Brussels
- Comisión of the European Communities (2006), **Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels

- Comisión of the European Communities (2006), **Comisión Staff Working Document Accompanying the Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels
- Consejo Europeo, **Conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de Barcelona**, 15 y 16 de marzo de 2002, Brussels
- CONSENTEC – Consulting für Energiewirtschaft und –technik GMBH in cooperation with Frontier Economics Limited (2004), **Analysis of Cross-Border Congestion Management Methods for the EU Internal Electricity Market**, Study commissioned by the European Commission Directorate-General Energy and Transport, Final Report, Aachen-London
- Donahue, J.A. (2004), **Advanced Transmisión Technologies, ponencia presentada a la FERC Technical Conference**, Hartford, Connecticut, October 13, 2004
- Energy Resources International, Inc. (sense data), **Handbook of Climate Change Mitigation Options**, USAID – United States Agency for International development and USEA – United States Energy Association
- European Commission (2006), **European SmartGrids: Vision and Strategy for Europe’s Electricity Networks of the Future**, European Commission, Directorate General For Research, Brussels
- European Transmisión System Operators – ESTO (2006), **Key Issues in Facilitating Cross-Border Trading of Tertiary Reserves and Energy Balancing**
- Generalitat de Catalunya, Info Catalunya núm. 7, Suplement, **Plà d’Energia 2006-2015: La línia elèctrica Sentmenat-Bescanó-Baixàs**, Barcelona
- ICF Consulting (2003), **Overview of the Potencial for Undergrounding the Electricity Networks in Europe, Final Report**, prepared for the DG TREN/European Commission (Study Contract No 2002/009/C2, London
- Institut Català d’Energia (2003), **Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya** – (Estudis monogràfics; 13), Institut Català d’Energia – Direcció General d’Energia i Mines, Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turismo, Generalitat de Catalunya, Barcelona
- Joint EURELECTRIC-UCTE WG SYSTINT (2007), **European, CIS and Mediterranean Interconnection: State of Play 2006, 3rd SYSTINT Report**, Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC and Union for the Co-ordination of Transmisión of Electricity – UCTE, Brussels

- Larruskain, D.M., I.Zamora, A.J.Mazón, O.Abarrategui and J.Monasterio (sense data), **Transmission and Distribution Networks: AC versus DC**, Egyptian Solar Research Center, <http://www.solarec-egypt.com/publications.html>
- Larruskain, D.M., I. Zamora, O. Abarrategui, A. Iraolagoitia, M. D. Gutiérrez, E. Loroño and F. de la Bodega (2007), **Power Transmission Capacity Upgrade of Overhead Lines – part I**, Electricity Today, July/August 2007, Volume 19, No. 6
- Larruskain, D.M., I. Zamora, O. Abarrategui, A. Iraolagoitia, M. D. Gutiérrez, E. Loroño and F. de la Bodega (2007), **Power Transmission Capacity Upgrade of Overhead Lines – part II**, Electricity Today, September 2007, Volume 19, No. 7
- Ravemark, D. And B. Normark (2005), **Light and Invisible: Underground transmissió with HVDC Light**, ABB Review 4
- SENER (2005), **Necessitat de desenvolupament de la infraestructura elèctrica de transport a Girona**, Departament de Treball i Indústria, Generalitat de Catalunya, Barcelona

## 1.2.- Resum sintètic de cada referència bibliogràfica.

En aquest apartat es realitza una síntesi bibliogràfica de cada document consultat.

S'inicia amb la documentació obtinguda de l'empresa ABB, líder indiscutible en el camp de la transmissió d'electricitat en alta tensió i corrent continu (HVDC), tant per soterrament com per enfonsament al mar. ABB disposa de tecnologia de cables i de tecnologia de conversió DC-AC i AC-DC i proporciona serveis claus en mà. També conté informació sobre dos pioners projectes, *SmartGrid* i *European Offshore Supergrid Proposal*. A la vegada no hi pot faltar els informes realitzats o encomenats per diferents institucions (Comissió Europea, Eurelectric-UCTE, Generalitat de Catalunya, etc.). Finalment, s'hi ha incorporat una ponència presentada a la *FERC Technical Conference* pel president i CEO de *TransEnergieUS* i algunes publicacions concretes del Departament d'Enginyeria Elèctrica de la Universitat del país Basc.

### 1.2.1.- ABB, **HVDC Cable Transmissions**, ABB Power Systems AB, Ludvika, ABB High Voltage Cables AB, Karlakrona (16 pàg.)

Aquesta publicació explica l'experiència tecnològica de l'empresa ABB en la transmissió d'electricitat per cable submarí, iniciada l'any 1954 amb la connexió de l'illa de Gotland i la part continental de Suecia, i continuament desenvolupada des d'aleshores. Un dels darrers assoliments ha estat el projecte *Baltic Cable* (HVDC, 450 kV i 600 MW).

### 1.2.2.- ABB, **HVDC Classic Referente List**, ABB Power Technologies AB, Grid Systems/HVDC, Sweden (9 pàg.)

Conté un llistat exhaustiu dels projectes realitzats per ABB en el camp de la transmissió d'electricitat en HVDC.

### 1.2.3.- ABB, **HVDC Light Cables: Submarine and land power cables**, ABB's high voltage cable unit, Sweden (8 pàg.)

Exposa la nova tecnologia HVDC Light per cablejat marí i soterrat, les seves avantatges i les seves característiques, així com les disponibilitats tècniques (80, 150 i 300 kV, amb les potències màximes corresponents per diferents tipologies de clima).

### 1.2.4.- ABB, **Invisible Power**, ABB Power Technology Products AB, High Voltage Cables, Karlskrona, Sweden (4 pàg.)

Descriu les avantatges del soterrament respecte de les línies aèries, en especial amb la tecnologia de cables *XLPE – Cross-Linked Polyethylene*.

1.2.5.- **ABB, It's time to connect: Technical description of HVDC Light technology**, ABB Power Technologies AB, Grid Systems/HVDC, Sweden (80 pàg.)

És una molt completa publicació de les característiques tècniques de la tecnologia *HVDC Light* (introducció, aplicacions, característiques, productes, descripcions, enginyeria de sistemes i referències), utilitzable tant en cablejat submarí com soterrat. La tecnologia *HVDC Light* és la clàssica tecnologia *HVDC* però basada en *VSC – Voltage Source Converters*. ABB ha realitzat més de 55 projectes d'aquesta tecnologia arreu del món, proveint més de 45.000 MW de potencia, essent el més gran de 3.150 MW.

1.2.6.- **ABB, XLPE – Cross-Linked Polyethylene Cable Systems, User's Guide**, ABB Power Technology Products AB, High Voltage Cable Unit, Sweden (32 pàg.)

És la guia per a usuaris de la tecnologia de cables *XLPE – Cross-Linked Polyethylene* (polietilè reticulat extrudit). ABB fabrica cables per a transmissió d'electricitat a alta i molt alta tensió, soterrats i submarins. Pocs fabricants tenen l'experiència d'ABB en aquest domini, ja que ABB va subministrar el primer projecte l'any 1883 i va introduir la tecnologia de cables *XLPE* triplement extrusionats als anys 1970. Als inicis de la dècada dels anys 70 va començar a subministrar cables de més de 100 kV i el primer cable *XLPE* de 245 kV va ser posat en funcionament l'any 1978. Des d'aleshores, ABB ha subministrat més de 7.300 km de cables *XLPE* per sobre de 100 kV.

1.2.7.- **Airtricity (2006), European Offshore Supergrid Proposal: Vision and Executive Summary** (13 pàg.)

És la proposta de l'empresa *Airtricity* per desenvolupar l'anomenada *European Offshore Supergrid*, aplegant les més noves tecnologies en generació eòlica i transmissió d'electricitat per tal de proveir un subministrament d'electricitat segur, sostenible i ininterromput per a tots els països de la UE. Tracta de la connexió per mar dels països europeus per facilitar la integració a les xarxes existents dels projectes eòlics marins, existents i futurs.

1.2.8.- **Barcelona Regional (2006), Estudi del traçat per a la implantació d'una línia de 400 kV entre la línia prevista Sentmenat-Vic-Bescanó i Riudarenes**, Generalitat de Catalunya, Barcelona (31 pàg.)

Es tracta d'un estudi realitzat per Barcelona Regional, que té per objecte definir un traçat alternatiu als dos traçats Bescanó – Riudarenes presentats fins al moment de l'estudi, un per l'est i l'altra per l'oest de l'aeroport Girona – Costa Brava, per tal d'evitar l'afectació a nuclis urbans, urbanitzacions i potencial creixement urbanístic de la zona.

1.2.9.- Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió (2001), **Informe final de la comissió d'experts en matèria de línies elèctriques d'alta tensió**, Departament d'Indústria Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya, Barcelona (35 pàg.)

És el resultat del treball encomanat pel, aleshores, Conseller d'Indústria, Comerç i Turisme de la Generalitat de Catalunya, Antoni Subirà, a un grup de 5 experts (4 enginyers i 1 doctora en medicina) amb l'objectiu d'establir uns criteris sobre l'impacte de les línies elèctriques d'AT en els éssers vius, avaluar les mancances de la xarxa elèctrica i el seu creixement potencial, així com avaluar el traçat de la xarxa. En aquest informe es diu que la potència d'interconnexió de Catalunya amb el seu entorn és de 1.790 MW (670 MW amb França, 370 MW amb el País Valencià i 750 MW amb Aragó), xifra superior al 10% de la potència instal·lada (10.636 MW a finals de 2006).

1.2.10.- Commission of the European Communities (2003), **Background Paper: Undergrounding of Electricity Lines in Europe**, Brussels (38 pàg.)

És un molt interessant informe de la CEC sobre la situació de les línies d'AT soterrades a Europa, on es diu clarament que “quan es consideren els costos al llarg de la vida útil, així com altres avantatges de les línies soterrades, aquestes es poden considerar com una solució factible en nombrosos casos, per exemple, zones urbanes, àrees de gran valor estètic, en aquells casos que es requereixi un increment de seguretat en el subministrament en seccions crítiques de les xarxes elèctriques (ja que els cables soterrats no són afectats per les condicions climatològiques adverses, com ara vent, neu, gel, etc.”). També reconeix que “el Programa de xarxes Transeuropees d'energia ha demostrat que moltes interconnexions elèctriques entre països, i especialment connexions transfrontereres a molt alta tensió (400 kV i 225 kV), no es poden ser realitzades donades les fortes objeccions locals per raons ecològiques”.

1.2.11.- Comisión of the European Communities (2006), **Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels (21 pàg.)

Aquest document forma part de l'anomenat ‘paquet energètic’ que va fer públic la Comissió Europea amb el títol *Energy for a Changing World*. És un dels 19 documents que formen el paquet. Els 19 documents són els següents: 1.- *Energy Policy for Europe*; 2.- *EU Energy Policy Data*; 3.- *Renewable Energy Road Map*; 4.- *Renewable Energy Road Map, Summary of the Impact Assessment*; 5.- *Renewable Energy Road Map, Full Impact Assessment*; 6.- *Progress Report on Renewable Electricity*; 7.- *Biofuels Progress Report*; 8.- *Annexe to Biofuels Progress Report*; 9.- *Internal Gas and Electricity Market*; 9bis.- *Internal Market Memo*; 10.- *Internal Market Country Reviews*; 11.- *Map electricity and gas*; 11bis.- *Priority Interconnection Plan*; 12.- *Priority Interconnection Plan, Annexe*; 13.- *Draft Nuclear Illustrative Programme*; 14.- *Draft Nuclear Illustrative Programme, Annexe 1*; 15.- *Draft Nuclear Illustrative Programme, Annexe 2*; 16.- *Communication Fossil Fuels*; 16bis.- *Fossil Fuels Memo*; 17.- *Communication Fossil Fuels, Summary Impact*

*Assessment*; 18.- *Communication Fossil Fuels, Full Impact Assessment*; 19.- *Strategic Energy Technology Plan*.

Aquest document comenta dient: “les interconnexions faciliten el transport transfronterer i interregional d’electricitat i d’energia i són un pre-requisit pel funcionament del mercat intern. La necessitat per a una política ferma per facilitar l’acabament dels projectes d’infraestructura prioritaris va ser subratllada pels Caps de Govern i d’Estat a Hampton Court a l’octubre de 2005. Previament, al Consell Europeu de Barcelona de 2002, es va acordar l’increment dels nivells d’interconnexió entre els Estats membres fins el 10%. Avui encara hi ha un significatiu nombre d’Estats que no han assolit aquest objectiu (i cita entre ells l’Estat Espanyol). El Consell Europeu de març de 2006 va demanar l’adopció d’un Plà d’Interconnexió Prioritari (el Plà), com a part de la *Strategic European Energy Review (SEER)*. El Consell Europeu de juny de 2006 va donar ple suport als projectes d’infraestructura energètica externs, amb la finalitat de reforçar la seguretat de subministrament”.

Aquest document també conté els mapes de les interconnexions que la Comissió Europea considera prioritàries. Entre elles hi ha la de Sentmenat-Bescanó-Baixas (pàgines 16 i 19).

1.2.12.- Comisión of the European Communities (2006), **Comisión Staff Working Document Accompanying the Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels (41 pàg)

És el document detallat de treball que acompanya al document anterior.

En l’apartat EL.3. France – Spain – Portugal es fa referència a la línia Sentmenat (ES) – Bescanó (ES) – Baixas (FR) dient: “La línia entre França i Espanya ha experimentat significatives dificultats al llarg dels anys i ara ha assolit la fase d’autorització. Els obstacles són: creuar els Pirineus, la dificultat per definir els punts de creuament entre Espanya i França i, especialment, la oposició local. **Una solució s’ha de basar en la implicació dels actors regionals i amb la utilització i reconstrucció de les línies existents**. Es preveu que entri en funcionament l’any 2010.” (pàg. 7). El subratllat és de l’autor.

1.2.13.- Consejo Europeo, **Conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de Barcelona**, 15 y 16 de marzo de 2002, Brussels

Es tracta del tan citat acord del Consell Europeu realitzat a la ciutat de Barcelona, els dies 15 i 16 de març de 2002 en el que es diu que: “los Estados miembros deberán tener para 2005 un nivel de interconexiones eléctricas de al menos el 10% de su capacidad de producción instalada”.



1.2.14.- CONSENTEC – Consulting für Energiewirtschaft und –technik GMBH in cooperation with Frontier Economics Limited (2004), **Analysis of Cross-Border Congestion Management Methods for the EU Internal Electricity Market**, Study commissioned by the European Commission Directorate-General Energy and Transport, Final Report, Aachen-London (101 pàg.)

És una anàlisi dels mètodes de gestió de la congestió transfronterera. En el resum executiu de l'infoem es pot llegir:

“Un dels principals objectius de la liberalització del subministrament d'electricitat a la UE és la creació d'un veritable Mercat Intern d'Energia Elèctrica (MIE). **Introduint la competència entre generadors i subministradors . . . . . a una escala internacional, es pot maximitzar l'eficiència econòmica del subministrament d'electricitat** en benefici de l'economia. No obstant els operadors del sistema de transmissió (OST) han dissenyat les interconnexions entre les seves respectives xarxes no pas amb l'objectiu de facilitar el mercadeig internacional d'electricitat. Com a conseqüència, la integració dels mercats elèctrics nacionals està dificultada per la limitada capacitat de transmissió transfronterera que hi ha entre les fronteres de diferents països”.

“Per mitigar aquest problema, la UE dona suport, per una banda, a l'increment de les capacitats de transmissió, sigui invertint en noves xarxes o optimitzant i harmonitzant els procediments operatius que permeten un millor ús de les xarxes existents. Per una altra banda, les regles aplicades per a la gestió de l'ús de les capacitats de transmissió avui existents (coneguts com 'mètodes de gestió de la congestió transfronterera') són d'una gran importància per a l'eficiència del MIE a curt i a mitjà termini”.

“Els mètodes de gestió de la congestió que s'han establert als darrers anys són en la major part dels cassos específics per cada cas i defereixen de forma significativa els uns dels altres. Tot i que les solucions específiques es poden justificar, en principi, per les circumstàncies regionals particulars, la present situació fa entreveure que, al menys degut a la heterogeneïtat, hi ha un potencial per a la millora”.

1.2.15.- Donahue, J.A. (2004), **Advanced Transmissió Technologies, ponència presentada a la FERC Technical Conference**, Hartford, Connecticut, October 13, 2004 (22 pàg.)

Es tracta d'una interessant ponència presentada per Jeffrey A. Donahue, president i CEO de *TransÉnergieUS* (empresa membre del grup *Hydro-Québec*) a la *FERC Technical Conference*, celebrada a Hartford, Connecticut el 13 d'octubre de 2004, on tracta de les tecnologies avançades de transmissió d'electricitat, entre elles el soterrament de les xarxes, citant les seves nombroses avantatges (per exemple, l'augment de la fiabilitat), manifestant que és una tecnologia provada, totalment operativa i integrada a la xarxa, de baix impacte i a l'abast. En la presentació de la ponència es cita el cas de Murraylink, la connexió soterrada més llarga del món (en funcionament des d'octubre de 2002, 220 MW HVDC, 110 milles) que va tenir un cost de 97 milions de dòlars, incloent les connexions a 132 i 220 kV (això representa menys de 550.000 \$/km) i que té un cost d'operació i manteniment de 1,5 milions de

dòlars anuals (menys de 8.500 \$/km.any). Aquest projecte ha estat guardonat amb nombrosos premis per la seva qualitat ambiental.

1.2.16.- Energy Resources International, Inc. (sense data), **Handbook of Climate Change Mitigation Options**, USAID – United States Agency for International Development and USEA – United States Energy Association

El capítol 5 d'aquest treball està dedicat a fer una síntesi de l'estat de la qüestió dels sistemes de transmissió d'electricitat. En ell es conclou que les línies d'ATCC són menys cares que les línies d'ATCA, però les primeres requereixen disposar d'estacions convertidores AC/DC i DC/AC als extrems. També diu que les línies d'ATCC són més barates (incloent el cost de les estacions convertidores) que les d'ATCA per distàncies per sobre dels 500 km, quan es tracta de línies aèries. Però quan es tracta de línies soterrades el llinar de competitivitat en quant a cost es situa entre els 40 i els 100 km, mentre que si és una línia submarina, el llinar encara baixa més, situant-se entre els 20 i els 50 km.

1.2.17.- European Commission (2006), **European SmartGrids: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future**, European Commission, Directorate General For Research, Brussels (36 pàg.)

És la primera publicació del treball de la plataforma tecnològica europea, que va neixer l'any 2005 dedicada específicament a crear una visió de les xarxes europees per l'any 2020 i més enllà. La plataforma inclou representants de la indústria, dels operadors dels sistemes de transmissió i distribució, institucions de recerca i entitats reguladores.

1.2.18.- European Transmission System Operators – ETSO (2006), **Key Issues in Facilitating Cross-Border Trading of Tertiary Reserves and Energy Balancing** (37 pàg.)

Es tracta d'un informe que analitza com la insuficient potència d'interconnexió limita físicament el comerç/compartiment de reserves de potència entre els operadors del sistema, fent que qualsevol congestió limiti el potencial de comerciar/compartir. Per tant, per fer possible el comerç/compartiment internacional de reserves és un fet crucial la disponibilitat de suficient potència de transmissió entre zones i països.

1.2.19.- Generalitat de Catalunya, Info Catalunya núm. 7, Suplement, **Plà d'Energia 2006-2015: La línia elèctrica Sentmenat-Bescanó-Baixàs**, Barcelona (16 pàg.)

És una publicació de la Generalitat de Catalunya, àmpliament repartida gratuïtament, on s'emmarca la línia MAT en el Plà d'Energia 2006-2015 i on es manifesta que la línia elèctrica de 400 kV és una actuació necessària per a Catalunya, per què garantirà el subministrament de les comarques gironines, subministrarà les necessitats del tren d'alta velocitat, incrementarà la seguretat i fiabilitat del sistema elèctric, facilitarà la

producció d'energia de fonts renovables i contribuirà a fer realitat el mercat únic de l'energia.

1.2.20.- ICF Consulting (2003), **Overview of the Potential for Undergrounding the Electricity Networks in Europe, Final Report**, prepared for the DG TREN/European Commission (Study Contract No 2002/009/C2, London (49 pàg.)

És l'informe original que va donar lloc a la publicació de la CEC titulada *Background Paper Undergrounding of Electricity Lines in Europe* (veure 1.2.10.). L'objectiu de l'informe va ser ajudar a la Comissió Europea avaluant el potencial de soterrament de les xarxes elèctriques en els estats membres de la Unió Europea, Noruega i Suïssa. En l'informe es donen costos comparatius entre línies aèries i soterrades, citant un cas concret d'un projecte a Dinamarca on el cost de soterrament va ser entre 3-4 vegades el d'una línia aèria.

1.2.21.- Institut Català d'Energia (2003), **Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya** – (Estudis monogràfics; 13), Institut Català d'Energia – Direcció General d'Energia i Mines, Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya, Barcelona (66 pàg.)

És una publicació, eminentment didàctica, de la Generalitat de Catalunya que diu que el seu objectiu és oferir una informació objectiva sobre els diferents avantatges i inconvenients de les línies aèries i subterrànies, segons el nivell de tensió, atenent un àmpli conjunt de criteris de caire econòmic, tècnic i medioambientals. Dona unes taules comparatives de costos tant de construcció com d'operació i manteniment de línies elèctriques, en diversos grans de tensió, aèries i subterrànies.

1.2.22.- Joint EURELECTRIC-UCTE WG SYSTINT (2007), **European, CIS and Mediterranean Interconnection: State of Play 2006, 3rd SYSTINT Report**, Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC and Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity – UCTE, Brussels (369 pàg.)

És un estudi conjunt entre EURELECTRIC i UCTE que analitza l'estat dels diferents sistemes interconnectats existents a Europa i rodalies: el sistema elèctric síncron a la part principal d'Europa (el bloc UCTE), el sistema elèctric del paísos nòrdics, el sistema elèctric del Regne Unit (UKTSOA), els sistemes elèctrics interconnectats/unificats de la Comunitat d'Estats Independents i Repúbliques Bàltiques, el sistema elèctric de Turquia, els blocs mediterranis sud-oriental i sud-occidental i els sistemes elèctrics aïllats de la Mediterrània. Aquest informe fa una breu història de l'evolució dels sistemes interconnectats i dona una ullada al desenvolupament de les interconnexions elèctriques i dels mercats elèctrics als continents europeu, euroasiàtic i conca mediterrània. Inclou informació sobre potències elèctriques instal·lades, puntes de demanda elèctrica, consums d'electricitat i longituds de línies de 440 kV i 220 kV. També llista els projectes d'interconnexions existents. Conté annexes amb fitxes de cada país.

Entre les seves conclusions diu: “Per integrar de forma òptima els recursos energètics distribuïts i les fonts d’energia renovable, per estar més a proa dels límits físics del sistema tot mantenint la seguretat, és vital millorar el coneixement del comportament del sistema, desenvolupar nous conceptes de control i protecció i nous mitjans de simulació i optimització, i adoptar una regulació del mercat apropiada. Totes aquestes temàtiques demanen un àmpli esforç en R+D organitzada a nivell internacional i la implicació dels Operadors dels Sistemes i altres actors del mercat”. Cal observar que enlloc es cita la necessitat de l’increment de la potència d’interconnexió per donar cabuda a les fonts de generació distribuïdes.

1.2.23.- Larruskain, D.M., I.Zamora, A.J.Mazón, O.Abarrategui and J.Monasterio (sense data), **Transmission and Distribution Networks: AC versus DC**, Egyptian Solar Research Center, <http://www.solarec-egypt.com/publications.html>

És un molt interessant treball del Departament d’Enginyeria Elèctrica de la Universitat de País Basc, on es diu ben clarament que les línies existents d’alta tensió en corrent altern (ATCA) es poden convertir en línies d’alta tensió en corrent continu (ATCC), realitzant simplement alguns canvis en aïlladors i pilones. També es diu que és relativament barat i fàcil de fer. Cada circuit d’ATCA fa servir 3 cables, en canvi l’ATCC només en fa servir 2, de manera que les línies de transmissió convencionals en CA, que fan servir 6 cables per dos circuits, es poden convertir en línies de tres circuits d’ATCC, cadascun amb 2 cables. Aquesta transformació d’una línia d’ATCA existent, combinat amb increments de l’eficiència pot augmentar la capacitat de transmissió existent per un factor de 3 o, fins i tot, superior.

1.2.24.- Larruskain, D.M., I. Zamora, O. Abarrategui, A. Iraolagoitia, M. D. Gutiérrez, E. Loroño and F. de la Bodega (2007), **Power Transmission Capacity Upgrade of Overhead Lines – part I and II**, Electricity Today, July/August 2007, Volume 19, No. 6 & September 2007, Volume 19, No. 7

Aquesta revista internacional, Electricity Today ha publicat, en dos lliuraments, el treball comentat en l’apartat anterior del Departament d’Enginyeria Elèctrica de la Universitat de País Basc.

1.2.25.- Ravemark, D. And B. Normark (2005), **Light and Invisible: Underground transmissió with HVDC Light**, ABB Review 4

És un molt interessant article escrit per dos enginyers d’ABB on recullen totes les avantatges de la tecnologia *HVDC Light*, introduïda l’any 1993 amb una petita instal·lació de 3 MW i que des d’aleshores aquesta tecnologia, tant pel que fa als cables com pel que fa als convertidors, ha progressat de forma estrepitosa en tamany i en prestacions.

En la comparació que fan entre línies aèries i subterrànies, aquestes sempre en surten afavorides,. A nivell de medi ambient: ús del sol, soroll, camps elèctrics i magnètics, drets de pas. A nivell d’ús de materials: avaluació del cicle de vida. A nivell d’afectació estètica i afectació del valor de la propietat. A nivell de pèrdues i a nivell

d'estabilitat del sistema. Pel que fa a la comparació de costos, previament s'ha de procedir a una avaluació global tenint en compte un seguit de punts a considerar. Les dades que donen estan ben lluny de les clàssiques (línies soterrades costen de 10 a 15 vegades més que les aèries). La conclusió és que la nova tecnologia HVDC en la forma de HVDC Light ha convertit el soterrament en una opció tècnicament factible i econòmicament viable.

**1.2.26.- SENER (2005), Necessitat de desenvolupament de la infraestructura elèctrica de transport a Girona**, Departament de Treball i Indústria, Generalitat de Catalunya, Barcelona (55 pàg.)

Es tracta d'un informe realitzat per l'enginyeria SENER per al Departament de Treball i Indústria de la Generalitat de Catalunya, en el que es justifica la necessitat de la línia d'interconnexió Bescanó – Baixàs per dos motius: 1) augmentar la capacitat d'importació de Catalunya per assegurar l'abastament del consum interior en situacions de punta de demanda, davant de determinades contingències o fallades, i 2) reforçar la xarxa de transport de Girona, diversificant les vies d'alimentació a la nova subestació de Bescanó, de la qual dependrà el consum de la zona, i permetent un major Grau de mallat per assegurar el manteniment dels valors mínims de tensió dins dels marges admissibles, fins i tot davant possibles contingències.

## 2.- Avaluació del cost aproximat del soterrament.

Avaluar el cost d'un projecte de línia de transmissió d'electricitat s'escapa de l'abart d'aquest informe, ja que per poder realitzar una estimació realista cal disposar del traçat, complet i detallat, previst en el projecte, a més a més dels costos unitaris de cada element que conforma la línia.

El que si es pot fer, a través de la recerca bibliogràfica, és donar alguns elements que permetin defensar cadascuna de les diferents opcions (opció de soterrament, opció de transformació de la línia existent Vic-Baixàs de CA a CC, etc.)

Totes les referències bibliogràfiques consultades manifesten que les línies d'ATCC són menys cares que les línies d'ATCA, però les primeres requereixen disposar d'estacions convertidores AC/DC i DC/AC als extrems, cosa que finalment les encareix. En concret, la referència bibliogràfica 1.2.16. va una mica més lluny, afirmant que les línies d'ATCC són més barates (incloent el cost de les estacions convertidores) que les d'ATCA per distàncies per sobre dels 500 km, quan es tracta de línies aèries. Però quan es tracta de línies soterrades el llinar de competitivitat en quant a cost es situa entre els 40 i els 100 km, mentre que si és una línia submarina, el llinar encara baixa més, situant-se entre els 20 i els 50 km.

Això comptant solament els cost de l'equipament. Si al cost de l'equipament se l'hi afegeixen els costos de manteniment al llarg de la seva vida útil, el cost associat a les pèrdues per transmissió (superior en línies de CA que en les de CC) i el cost de desmament al final de la seva vida, el resultat és que les línies soterrades de CC són més econòmiques.

Un altre aspecte a tenir en compte quan es parla del cost és l'espai necessari per el pas de la línia (el dret de pas). Una línia d'ATCA aèria de 800 kV necessita uns 85 metres d'espai que conforma l'amplada del corredor per on passa (això representa una ocupació superficial, per cada 100 km, de 850 Ha). En canvi una línia d'ATCC aèria de 500 kV en necessita uns 50 (ocupació: 500 Ha per cada 100 km), mentre que si és soterrada l'espai requerit és inferior als 10 metres (ocupació: 100 Ha per cada 100 km). Per tant, l'opció del soterrament també és la que surt més econòmica en quant a cost quan s'analitza el valor econòmic del terreny que s'inutilitza.

Un aspecte a afegir, en avaluar el cost d'una línia d'AT és la pèrdua de valor de l'espai o del terreny afectat, pel que fa als seus usos. Si es té en compte aquest aspecte, queda clar que les línies aèries d'ATCA en són les més perjudicades, ja que són les de més envergadura i les que més espai ocupen, seguides de les línies d'ATCC aèries (de menys envergadura i menys ocupació superficial). Les més beneficiades, en aquest aspecte, són les línies soterrades i les enfonsades en el mar.

En la recerca bibliogràfica també s'han trobat també unes interessants referències (1.2.23 i 1.2.24) que afirmen que, en alguns casos, una línia existent d'ATCA pot ser convertida en una d'ATCC fent servir els mateix cablejat, fent petites modificacions en els aïlladors i les pilones. També es diu que és relativament barat i fàcil de fer. Cada circuit d'ATCA fa servir 3 cables, en canvi l'ATCC només en fa servir 2, de manera que les línies de transmissió convencionals en CA, que fan servir 6 cables per dos circuits, es poden convertir en línies de tres circuits d'ATCC, cadascun amb 2

cables. Aquesta transformació d'una línia d'ATCA existent, combinat amb increments de l'eficiència pot augmentar la capacitat de transmissió existent per un factor de 3 o, fins i tot, superior. Almenys s'ha localitzat un cas en que una transformació d'aquestes característiques es va fer (a la part central de la Índia, una línia de CA de doble circuit de 220 kV, entre els estats d'Andhra Pradesh i de Madhya Pradesh, es va transformar, emprant solament dos cables, en una de CC +/- 200 kV, 200 MW (font: <http://www.leonardo-energy.org/drupal/node/1915>).

Segons l'informe CESI (encarregat per Mario Monti, el facilitador nomenat per la UE), els costos de les línies aèries de CA són:

a) línies aèries de corrent altern

Costos línies MAT  
corrent altern

	aèries min.	aèries max.	aèries mig	
terreny pla	600.000	1.000.000	800.000	€/km
terreny abrupte	1.500.000	2.000.000	1.750.000	€/km
compensació reactiva				€/km
2 subestacions aer-sub				€
O&M	0,025	0,03	0,0275	
pèrdues			0,4	del cost d'inversió
desmantel·lament			0,0005	del cost d'inversió
km			cost inversió	
1			0,80	10*6 €
100			80,00	10*6 €
km			CI + pèrdues	
1			1,12	10*6 €
100			112,00	10*6 €
km			CI+p+desm.	
1			1,12	10*6 €
100			112,04	10*6 €

b) línies soterrades de corrent altern

Costos línies MAT  
corrent altern

	soterrades min.	soterrades max.	soterrades mig	
terreny pla	4.000.000	8.000.000	6.000.000	€/km
terreny abrupte			10.000.000	€/km
compensació reactiva			150.000	€/km
2 subestacions aer-sub			900.000	€
O&M				
pèrdues			0,02	del cost d'inversió
desmantel·lament			0,0008	del cost d'inversió
			cost inversió	
km				
1			6,15	10*6 €
100			615,00	10*6 €
			CI+subest.	
km				
1			7,05	10*6 €
100			6150,9	10*6 €
			CI + pèrdues	
km				
1			6,27	10*6 €
100			627,30	10*6 €
			CI+p+desm.	
km				
1			6,28	10*6 €
100			627,79	10*6 €



c) línies de corrent continu amb estació de conversió bipolar (2000 MW 500 kV)

Costos línies MAT

Corrent Continu - CC

2 subest.conversió CC/AC	200.000	200.000	200.000	€/MW
O&M estació	0,005	0,005	0,005	del cost d'inversió
pèrdues estació	35.000	35.000	35.000	€/MW
	400 MW	500 MW	600 MW	
	400 kV	400 kV	500 kV	
1 cable HVDC	320.000	350.000	380.000	€/km
	min.	max.	mig	
O&M cables	200.000	250.000	225.000	€/any/100 km
pèrdues cables	600	600	600	€/km
2 subestacions				
costos d'inversió		400		M€
costos O&M		2		M€
costos pèrdues		70		M€
total 2 subestacions		472		M€
2 cables (bipolar)				
costos d'inversió 100 km	64	64	64	M€
costos O&M	0,2	0,25	0,225	M€/any/100 km
costos pèrdues	0,06	0,06	0,06	
total cables	64,26	64,31	64,285	M€
total subestacions + cables		536,31		M€

### 3.- Conclusions principals d'índole tècnic

Les principals conclusions que es poden treure de la recerca bibliogràfica realitzada són:

- No s'han contemplat totes les alternatives avui existents. El que més estranya de tot el procés que ha menat al projecte d'interconnexió Espanya-França a través de la línia Sentmenat-Bescanó-Baixàs és el fet que no s'hagin estudiat a fons les diferents alternatives tecnològiques avui existents, des del reforçament de les línies existents (Argia-Hernani, Argia-Arkale, Biescas-Pragneres, Vic-Baixàs), fins la connexió entre Espanya i França per cable submarí en CC.
- Catalunya ja compleix amb la condició posada pel Consell Europeu, celebrat a Barcelona el dies 15 y 16 de marzo de 2002, el qual recomanava que “los Estados miembros deberán tener para 2005 un nivel de interconexiones eléctricas de al menos el 10% de su capacidad de producción instalada”. La potència d'interconnexió de Catalunya amb el seu entorn és de 1.790 MW (670 MW amb França, 370 MW amb el País Valencià i 750 MW amb Aragó), xifra superior al 10% de la potència instal·lada a Catalunya de 10.636 MW a finals de 2006 (veure: Consejo Europeo, **Conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de Barcelona**, 15 y 16 de marzo de 2002, Brussels i Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió (2001), **Informe final de la comissió d'experts en matèria de línies elèctriques d'alta tensió**, Departament d'Indústria Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya, Barcelona)
- La línia d'alta tensió Sentmenat – Bescanò – Baixàs forma part de les prioritats europees de infraestructuras de transport d'energia (veure: Comisión of the European Communities (2006), **Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels).

- La política de la Unió Europea diu clarament que: “una solució s’ha de basar en la implicació dels actors regionals i amb la utilització i reconstrucció de les línies existents.” (veure: Comisión of the European Communities (2006), **Comisión Staff Working Document Accompanying the Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels). Existeixen ja connexions entre Espanya i França (a Catalunya, per Coll d’Ares, la línia Vic-Baixàs de 400 kV i 1.510 MVA; al País Basc dues, Argia-Hernani de 400 kV i 1.430 MVA, Argia-Arkale de 225 kV i 410 MVA; a l’Aragó una, Biescas-Pragneres de 225 kV i 270 MVA) que es podrien reforçar, convertint-les en línies de corrent continu, fent servir pràcticament la mateixa infraestructura i multiplicant, pot-ser per 3, la capacitat d’interconnexió.
  
- El soterrament d’una línia a molt alta tensió és possible, tant en corrent altern com en corrent continu. (veure diferents documents d’ABB).
  
- La Comissió Europea recomana el soterrament de les línies d’alta tensió quan hi hagi valors ecològics en joc i quan hi hagi oposició local (Veure: Commission of the European Communities (2003), **Background Paper: Undergrounding of Electricity Lines in Europe**, Brussels).
  
- Les més noves tecnologies de soterrament en corrent continu no són pas molt més cares que les aèries de corrent altern, i en alguna cassos poden ser competitives (Veure: Donahue, J.A. (2004), **Advanced Transmisió Technologies, ponència presentada a la FERC Technical Conference**, Hartford, Connecticut i Ravemark, D. And B. Normark (2005); **Light and Invisible: Underground transmisió with HVDC Light**, ABB Review 4; Energy Resources International, Inc. (sense data), **Handbook of Climate Change Mitigation Options**).

- Existeixen infraestructures que es podrien aprofitar per soterrar la línia, evitant la destrucció de nous paratges de pas i reduint el seu cost. Els traçats i les infraestructures són:
  - Bescanó-Salt i Sant a Santa Llogaia i a Riudarenes (M-141, TGV, AP-7 i A-2).
  - Vic-aeroport Girona i aeroport Girona a Santa Llogaia i Riudarenes (C-25, TGV, AP-7 i A-2).
  - Santa Llogaia a Baixàs (TGV i part de l'AP-7 i A-2).
  - Sentmenat a Baixàs (TGV, AP-7 i A-2).
  
- La conclusió anterior ve reforçada pel fet que:
  - El terreny és força pla.
  - Es donen múltiples oportunitats a l'hora d'aprofitar el desplegament actual d'infraestructures (construcció del TGV, ampliació de l'AP-7, desdoblament de l'A-2, millora de la N-141 i desdoblament de la C-25).
  - La distància entre les subestacions és moderada, d'entre 8 i 15 km, que poden resultar en segments independents.
  
- Existeix també la possibilitat de poder realitzar una connexió en corrent continu per mar (per exemple, entre Vandellòs i la costa francesa) amb tecnologia avui existent, donat que hi ha una proposta a nivell europeu, realitzada per tal de facilitar la interconnexió dels futurs parcs eòlics marins que es projecten instal·lar a diferents indrets de la costa, entre ells, al nord del delta de l'Ebre i al golf de Lleó (veure: Airtricity (2006), **European Offshore Supergrid Proposal: Vision and Executive Summary**). Aquesta opció seria una opció econòmica, la més segura i la més eficient. També la de més visió de futur.

#### **4.- Contactes d'empreses constructores de cables soterrats i de les administracions o agents econòmics i socials vinculats a experiències de soterrament.**

Les dues empreses pioneres en sistemes de transmissió d'electricitat a alt voltatge més innovadores (tant en corrent continu com altern) són ABB i Siemens.

##### 4.1.- ABB Power Transmisión and Distribution.

<http://www.abb.com/industries/us/9AAC910040.aspx>

El responsable per a l'Estat Espanyol de 'Solución de T&D de Energia' és:

TuanJun Guo

Telèfon: +41 43 317 5364, Fax: +41 43 317 5366

Dades de contacte: Affolternstrasse 44, CH-8050 Zurich

##### 4.2.- Siemens

Siemens AG Power Transmisión and Distribution (PTD)

Freyeslebenstraße 1, 91058 Erlangen

Postfach 32 20, 91050 Erlangen

Deutschland/Germany

Telèfon: +49 91 31 7- 0

Fax: +49 91 31 7- 3 50 02

[www.siemens.com/ptd](http://www.siemens.com/ptd)

El contacte es pot fer a través de: [support.energy@siemens.com](mailto:support.energy@siemens.com)

Les persones al davant d'aquesta divisió són: Dr. Udo Niehage, Pamela Knapp i Dr.

Christian Urbanke

La secció de Power Transmisión Solutions

<https://www.energy-portal.siemens.com:443/irj/portal/ptd/public/en/global-04/home?prodname=KN030112>

Els contactes a l'Estat Espanyol són:

Siemens S.A., Madrid

Telèfon: +34 91 5 14 80 00, Fax: +34 91 5 14 80 06

Siemens, S.A., Fàbrica Cornellá

Lluís Muntadas, 4, 08940 Cornellá de Llobregat (Barcelona)

Tf.: +34 93 4 80 46 80, Fax: +34 93 4 80 42 41

[www.siemens.es/energia](http://www.siemens.es/energia)

Altres empreses que ofereixen cables d'alta tensió són:

##### 4.3.- Nexans

[http://www.nexans.com/eservice/Spain-en/navigate\\_134709\\_269\\_2366/Electric\\_Cables.html](http://www.nexans.com/eservice/Spain-en/navigate_134709_269_2366/Electric_Cables.html)

Les seves oficines centrals són:

Nexans (Group's headquarters)

16, rue de Monceau 75008 Paris

Tf.: 33 (0)1 56 69 84 00, Fax: 33 (0)1 56 69 84 84

A l'Estat Espanyol són a Cantabria, Catalunya, Madrid, País Basc i Andalucia

A Catalunya:

Nexans Iberia, S.L.

Ctra. de Sentmenat, Km 2,6 E-08213 Polinyá (Barcelona)

Tf.: +34 93 713 11 33, Fax: +34 93 713 16 55

4.4.- NKT Cables Group GmbH  
Carlswerkstrasse 11-13 Building 13 B D-51063 Cologne Germany  
Tf.: +49 (0)221 676 – 3522, Fax: +49 (0)221 676 - 2033  
e-mail: [infoservice@nktcables.com](mailto:infoservice@nktcables.com)  
website: [www.nktcables.com](http://www.nktcables.com)  
No te representació pel Sud d'Europa

# **INFORME SOBRE EXPERIÈNCIES DE SOTERRAMENT DE LINES DE MOLT ALTA TENSIÓ**

**Josep Puig i Boix,  
Dr. Enginyer industrial  
Professor a la UAB**

Barcelona, 2008

**Annexes**

## **Annexes**

En aquest apartat hi ha la relació de documents consultats en la recerca bibliogràfica.

La còpia de cadascun dels documents consultats està en sengles documents apart, titulats Annexes – 1 i Annexes – 2.



1.2.1.- ABB, **HVDC Cable Transmissions**, ABB Power Systems AB, Ludvika, ABB High Voltage Cables AB, Karlakrona (16 pàg.)

1.2.2.- ABB, **HVDC Classic Referente List**, ABB Power Technologies AB, Grid Systems/HVDC, Sweden (9 pàg.)

1.2.3.- ABB, **HVDC Light Cables: Submarine and land power cables**, ABB's high voltage cable unit, Sweden (8 pàg.)

1.2.4.- ABB, **Invisible Power**, ABB Power Technology Products AB, High Voltage Cables, Karlskrona, Sweden (4 pàg.)

1.2.5.- ABB, **It's time to connect: Technical description of HVDC Light technology**, ABB Power Technologies AB, Grid Systems/HVDC, Sweden (80 pàg.)

1.2.6.- ABB, **XLPE – Cross-Linked Polyethylene Cable Systems, User's Guide**,  
ABB Power Technology Products AB, High Voltage Cable Unit, Sweden (32 pàg.)

1.2.7.- Airtricity (2006), **European Offshore Supergrid Proposal: Vision and Executive Summary** (13 pàg.)

1.2.8.- Barcelona Regional (2006), **Estudi del traçat per a la implantació d'una línia de 400 kV entre la línia prevista Sentmenat-Vic-Bescanó i Riudarenes**, Generalitat de Catalunya, Barcelona (31 pàg.)



1.2.9.- Comissió d'Experts en Matèria de Línies Elèctriques d'Alta Tensió (2001), **Informe final de la comissió d'experts en matèria de línies elèctriques d'alta tensió**, Departament d'Indústria Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya, Barcelona (35 pàg.)

1.2.10.- Commission of the European Communities (2003), **Background Paper:  
Undergrounding of Electricity Lines in Europe**, Brussels (38 pàg.)

1.2.11.- Comisión of the European Communities (2006), **Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels (21 pàg.)

1.2.12.- Comisión of the European Communities (2006), **Comisión Staff Working Document Accompanying the Communication from the Comisión to the Council and the European Parliament: Priority Interconexión Plan**, Brussels (41 pàg)

1.2.13.- Consejo Europeo, **Conclusiones de la Presidencia del Consejo Europeo de Barcelona**, 15 y 16 de marzo de 2002, Brussels

1.2.14.- CONSENTEC – Consulting für Energiewirtschaft und –technik GMBH in cooperation with Frontier Economics Limited (2004), **Analysis of Cross-Border Congestion Management Methods for the EU Internal Electricity Market**, Study commissioned by the European Commission Directorate-General Energy and Transport, Final Report, Aachen-London (101 pàg.)

1.2.15.- Donahue, J.A. (2004), **Advanced Transmissi3n Technologies**, ponencia presentada a la **FERC Technical Conference**, Hartford, Connecticut, October 13, 2004 (22 p3g.)

1.2.16.- Energy Resources International, Inc. (sense data), **Handbook of Climate Change Mitigation Options**, USAID – United States Agency for International Development and USEA – United States Energy Association



1.2.17.- European Commission (2006), **European SmartGrids: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future**, European Commission, Directorate General For Research, Brussels (36 pàg.)

**1.2.18.- European Transmission System Operators – ETSO (2006), Key Issues in Facilitating Cross-Border Trading of Tertiary Reserves and Energy Balancing (37 pàg.)**

1.2.19.- Generalitat de Catalunya, Info Catalunya núm. 7, Suplement, **Plà d'Energia 2006-2015: La línia elèctrica Sentmenat-Bescanó-Baixàs**, Barcelona (16 pàg.)

1.2.20.- ICF Consulting (2003), **Overview of the Potential for Undergrounding the Electricity Networks in Europe, Final Report**, prepared for the DG TREN/European Commission (Study Contract No 2002/009/C2, London (49 pàg.)

1.2.21.- Institut Català d'Energia (2003), **Línies elèctriques aèries i subterrànies a Catalunya** – (Estudis monogràfics; 13), Institut Català d'Energia – Direcció General d'Energia i Mines, Departament de Treball, Indústria, Comerç i Turisme, Generalitat de Catalunya, Barcelona (66 pàg.)

1.2.22.- Joint EURELECTRIC-UCTE WG SYSTINT (2007), **European, CIS and Mediterranean Interconnection: State of Play 2006, 3rd SYSTINT Report**, Union of the Electricity Industry – EURELECTRIC and Union for the Co-ordination of Transmisi3n of Electricity – UCTE, Brussels (369 p3g.)

1.2.23.- Larruskain, D.M., I.Zamora, A.J.Mazón, O.Abarrategui and J.Monasterio (sense data), **Transmission and Distribution Networks: AC versus DC**, Egyptian Solar Research Center, <http://www.solarec-egypt.com/publications.html>

1.2.24.- Larruskain, D.M., I. Zamora, O. Abarategui, A. Iraolagoitia, M. D. Gutiérrez, E. Loroño and F. de la Bodega (2007), **Power Transmission Capacity Upgrade of Overhead Lines – part I and II**, Electricity Today, July/August 2007, Volume 19, No. 6 & September 2007, Volume 19, No. 7



1.2.25.- Ravemark, D. And B. Normark (2005), **Light and Invisible: Underground transmission with HVDC Light**, ABB Review 4

1.2.26.- SENER (2005), **Necessitat de desenvolupament de la infraestructura elèctrica de transport a Girona**, Departament de Treball i Indústria, Generalitat de Catalunya, Barcelona (55 pàg.)