

6

EL PASSAT I EL FUTUR DE
L'ENERGIA EÒLICA
A CATALUNYA

Una aportació a la quantificació
de la força del vent i
una proposta per a la reintroducció
del seu aprofitament.

TESI DE DOCTORAT DIRIGIDA PER
En Joaquim Corominas Viñas (Dr.)

Josep Puig i Boix
Departament de Geografia
Universitat Autònoma de Barcelona
setembre 1982



CAPÍTOL 1	INTRODUCCIÓ	
1.1	ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓ	1-2
1.1.1	Hipòtesi	1-2
1.1.2	Aportacions	1-2
1.1.3	Les Bases de Dades	1-4
1.1.4	Metodologia, tècniques i eines emprades	1-4
1.2	EL PERQUÈ D'AGUEST ESTUDI. MOTIVACIONS	
	MOTIVACIONS PERSONALS	1-6
1.2.1	L'abandó de les fonts tradicionals i renovables d'energia	1-6
1.2.2	El perquè de l'àrea d'estudi. Catalunya, el Vent i la Tecnologia Alternativa	1-11
1.2.3	Perquè he escollit la hipòtesi	1-14
1.2.4	La recollida de la informació	1-15
1.2.5	Agraïments	1-17

CAPÍTOL 2	EL CONTEXT ENERGÈTIC CATALA I EL VENT	
2.1	EL PASSAT ENERGÈTIC A CATALUNYA	2-1
2.2	EL PRESENT DE L'ENERGIA A CATALUNYA	2-3
2.3	EL FUTUR ENERGÈTIC OFICIAL : LES DUES VIES	2-4
2.4	UN ALTRE FUTUR ?	2-9
2.5	L'ENERGIA EÒLICA EN EL CONTEXT MUNDIAL	2-11
2.5.1	El Programa Eòlic Nordamericà	2-14
2.5.1.1	Els Grans Sistemes Convertors d'Energia Eòlica	2-15
2.5.1.2	Els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica Petits.	2-22
2.5.1.3	Els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica d'Eix Vertical	2-23
2.5.2	El Programa Eòlic Danès	2-25
2.5.3	El Programa Eòlic Canadenc	2-28
2.5.4	Programes Eòlics a diferents països	2-30
2.5.5	Perspectives de l'energia eòlica	2-36
2.5.6	El futur de l'Energia Eòlica a Catalunya	2-41

CAPÍTOL 3	EL VENT I EL SEU PASSAT	
3.1	EL MEDI FÍSIC: EL VENT	3-1
3.1.1	El sol com a font d'energia renovable i com origen de totes les fonts d'energia renovable.	3-2
3.1.1.1	La Radiació Solar	3-3
3.1.1.2	L'atmosfera. La circulació general	3-6
3.1.1.3	El "cicle" de l'energia	3-10
3.1.2	Els Vents a Catalunya	3-12
3.1.2.1	Els coneixements populars	3-12
3.1.2.2	La mesura i l'estudi del vent: els inicis	3-15
3.1.2.2.1	Estudis sobre la circulació atmosfèrica	3-19
3.1.2.2.2	Estudis dels vents en superfície	3-20
3.1.2.3	Un comentari	3-21
3.1.2.4	Treballs recents.	3-21

3.2	LA CONVERSIÓ DE L'ENERGIA CINÈTICA DEL VENT EN ENERGIA MECÀNICA/ELÈCTRICA	3-24
3.2.1	Bases Físiques i Tècniques de conversió	3-24
3.3	EL PROCÉS HISTÒRIC DE L'APROFITAMENT DE LA FORÇA DEL VENT	3-27
3.3.1	Els orígens de l'aprofitament de l'energia eòlica	3-27
3.3.1.1	Molins de pilastre.	3-31
3.3.1.2	Molins de Trípod	3-31
3.3.1.3	Molins de Torre	3-32
3.3.1.4	Les aplicacions d'aprofitament de la força del vent. Les primeres innovacions tecnològiques	3-33
3.3.2	Els orígens de l'aprofitament de l'energia eòlica a la Península i les Illes	3-35
3.3.2.1	Els Molins portuguesos	3-37
3.3.2.2	Els Molins de la Manxa	3-38
3.3.2.3	Els molins andalusos.	3-39
3.3.2.4	Els molins del Camp de Cartagena.	3-40
3.3.3	El paper de l'energia eòlica en la societat pre-industrial.	3-40
3.3.4	L'APROFITAMENT CONTEMPORANI DE LA FORÇA DEL VENT.	3-43
3.3.4.1	La Cour, el capdavanter dels aerogeneradors a Dinamarca	3-45
3.3.4.2	Altres experiències eòliques del primer terç del present segle	3-49
3.3.4.2.1	La primera planta de proves d'aerogeneradors	3-50
3.3.4.2.2	Herr Anton Flettner.	3-52
3.3.4.2.3	Els rotors de Julius D. Madaras.	3-53
3.3.4.2.4	El capità Savonius.	3-54
3.3.4.2.5	L'innovador Darrieus.	3-54
3.3.4.2.6	La "Jacobs Wind Electric" de Fort Myers.	3-55
3.3.4.2.7	L'aerogenerador rus de Balaklava.	3-56
3.3.4.2.8	Encara alguns fets interessants.	3-58
3.3.4.3	El segon terç del nostre segle o la maduresa de l'energia eòlica.	3-58
3.3.4.3.1	Els projectes colossals de Herman Honnef.	3-58
3.3.4.3.2	El primer intent de construcció d'una màquina eòlica superior als 1000 kW de potència. L'aerogenerador Smith- -Putnam	3-60
3.3.4.3.3	La maduresa de la tecnologia eòlica danesa sota la direcció de J. Juul.	3-62

3.3.4.3.4	E. W. Golding i les realitzacions eòliques angleses.	3-73
3.3.4.3.5	França es desperta tard, però es posa a l'avantguarda.	3-78
3.3.4.3.6	Les avançades experiències del professor Hütter a Alemanya.	3-84
3.3.4.3.7	Altres Realitzacions i projectes a l'URSS i als EUA	3-85
3.3.4.3.8	Els que van sobreviure i els continuadors.	3-86
3.4	PETITA HISTÒRIA DE L'APROFITAMENT DE LA FORÇA DEL VENT ALS PPCC.	3-87
3.4.1	Els orígens i el seu desenvolupament	3-87
3.4.2	L'Energia eòlica a l'època contemporània.	3-92
3.4.2.1	El gran desenvolupament de l'Energia Eòlica a les Illes	3-93
3.4.2.2	L'energia eòlica al Principat	3-93

CAPÍTOL 4 MOLINS DE VENT A CATALUNYA

4.1	INTRODUCCIÓ	4-1
4.2	FONTS D'INFORMACIÓ	4-2
4.3	ENGUETES EMPRADES	4-3
4.3.1	Enquesta. Primera Versió	4-3
4.3.2	Enquesta. Segona Versió.	4-4
4.4	CODIFICACIÓ UTILITZADA	4-6
4.4.1	Codificació de la localització geogràfica del molí	4-6
4.4.2	Codificació de fabricants	4-6
4.4.3	Llista de molins visitats.	4-7
4.4.4	Llista de fabricants de molins.	4-7
4.5	QUANTIFICACIÓ DELS MOLINS DE VENT DE CATALUNYA.	4-8
4.5.1	El Programa MOL1.	4-10
4.5.2	Llistat de la Base de Dades. El Programa MOL1.	4-12
4.5.3	Nombre de molins per comarca. El Programa MOL2.	4-12
4.5.4	Nombre de Molins per Municipi. El Programa MOL3.	4-13
4.5.5	Nombre de molins instal.lats per cada fabricant. El Programa MOL4.	4-14
4.5.6	Nombre de molins instal.lats cada any. El Programa MOL5.	4-15
4.5.7	Nombre de molins segons el seu ús. Els Programes MOL6 i MOL7	4-15
4.5.8	Nombre de molins segons l'estat actual de conservació. El Programa MOL8.	4-16

4.5.9	Nombre de molins segons la tecnologia dels components.	4-16
4.5.9.1	Nombre de molins segons el Sistema de Captació. Els Programes MOL19, MOL10 i MOL11	4-16
4.5.9.2	Nombre de molins segons el sistema d'orientació. El Programa MOL12.	4-17
4.5.9.3	Nombre de molins segons el sistema de conversió de l'energia captada. Els Programes MOL13, MOL14 i MOL15.	4-17
4.5.9.4	Nombre de molins segons el sistema de suport. Els Programes MOL16, MOL17 i MOL18.	4-18
4.5.10	Nombre de molins segons la potència	4-18
4.5.10.1	Nombre de molins de bombeig segons la potència. El Programa MOL19.	4-19
4.5.10.2	Nombre d'aerogeneradors segons la potència. El Programa MOL20.	4-20
4.5.11	Nombre de molins per comarca segons l'ús passat, l'ús present i l'estat actual. El Programa MOL24.	4-21
4.5.12	Taules resum	4-22

CAPÍTOL 5 LA QUANTIFICACIÓ DE LA FORÇA DEL VENT

5.1	AVALUACIÓ DEL POTENCIAL EÒLIC	5-2
5.1.1	Avaluació de l'energia disponible	5-2
5.1.2	Avaluació de l'energia que hom pot extreure	5-3
5.2	AVALUACIONS FETES A DIFERENTS PAISOS	5-4
5.2.1	Avaluacions primerenques	5-4
5.2.2	Avaluacions de la potència disponible per unitat de superfície realitzades als E. U. A.	5-6
5.2.3	Avaluacions de la potència que es pot extreure.	5-7
5.2.4	Avaluacions eòliques recents als E. U. A	5-7
5.2.5	Altres avaluacions realitzades: l'Atlas de Vent Danès.	5-10
5.2.6	Altres avaluacions. El cas de la República Federal Alemanya.	5-11
5.2.7	El Mapa Eòlic Espanyol i el Mapa Eòlic Català	5-13
5.2.7.1	El "Mapa Eòlico Nacional"	5-13
5.2.7.2	El Mapa Eòlic de Catalunya	5-15
5.3	LA QUANTIFICACIÓ DEL VENT A CATALUNYA DES-D'EL PUNT DE MIRA DEL SEU APROFITAMENT ENERGÈTIC.	5-17
5.3.1	Fonts d'informació disponibles	5-18
5.3.1.1	"Centro Meteorológico Zonal del Pirineo	5-18
5.3.1.2	"Comisión Nacional Energias Especiales"	5-20
5.3.1.3	Altres observadors i estacions de mesura	5-20
5.3.2	Valoració de les dades existents	5-22

5.3.3	Diverses avaluacions del Potencial Eòlic Català aplicant mètodes generals.	5-24
5.3.3.1	Segons el mètode emprat a la R.F.A	5-24
5.3.3.2	Segons el mètode emprat per l'I.N.I	5-26
5.3.3.3	Primera valoració eòlica catalana	5-27
5.3.4	Es possible quantificar el potencial eòlic de Catalunya ?	5-28

CAPITOL 6 METODOLOGIES DE CALCUL

6.1	METODOLOGIA PER A ESTIMAR LA DISTRIBUCIÓ DE FREQUÈNCIES DE LA VELOCITAT DEL VENT	6-2
6.1.1	El vector vent i les seues components.	6-2
6.1.2	Distribucions estadístiques de la velocitat del vent.	6-3
6.1.2.1	La Distribució normal de dues variables	6-3
6.1.2.2	La distribució de Pearson de tipus III	6-3
6.1.2.3	La distribució de Rayleigh	6-4
6.1.2.4	La distribució de Weibull	6-4
6.1.3	Diferents mètodes per a estimar els dos paràmetres de la distribució de Weibull	6-6
6.1.3.1	Ajust de la distribució observada pel mètode dels mínims quadrats.	6-6
6.1.3.2	Metodologies de càlcul a partir del coneixement de les quàntils 1a, 2a i 3a	6-7
6.1.3.3	Mètode de càlcul a partir del coneixement de la mitjana i la desviació típica de les velocitats del vent	6-7
6.1.3.4	Mètode de càlcul suposant que hom coneix les velocitats mitjana i màxima en un període donat	6-8
6.1.3.5	Mètode de càlcul a partir de la tendència del Factor de Forma versus Velocitat Mitjana	6-9
6.1.3.6	Mètode de càlcul per iteracions succesives	6-10
6.1.4	Distribució de Weibull a alçades diferents de la del aparell de mesura	6-10
6.2	METODOLOGIES PER A ESTIMAR LES CARACTERÍSTIQUES D'UN S.C.E.E.	6-12
6.2.1	Diverses metodologies per a estimar la funció de Potència versus la Velocitat Mitjana del del Vent.	6-12
6.2.1.1	Model lineal entre les Velocitats de Con.nexió i Nominal	6-13

6.2.1.2	Model quadràtic entre les Velocitats de Connexió i Nominal	6-14
6.2.1.3	Model potencial en funció del Factor de Forma de Weibull.	6-14
6.2.1.4	Model cúbic entre les Velocitats de Connexió i Nominal	6-15
6.2.1.4.1	Estimació del Coeficient de Potència	6-15
6.2.1.4.2	Càlcul de la Corba de Potència	6-17
6.2.1.5	Model quadràtic per a SCEE amb velocitat de rotació lleugerament variable.	6-18
6.2.2	Potència Mitjana d'un SCEE i Energia anual produïda	6-19
6.2.3	Factor de Càrrega i Factor de Recuperació	6-20
6.3	METODOLOGIA PER A IMPOSAR LIMITACIONS	6-21
6.4	METODOLOGIA PER A LA UBICACIÓ DE GRUPS DE SISTEMES CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA.	6-25

CAPÍTOL 7 LA TECNOLOGIA PER APROFITAR LA FORÇA DEL VENT

7.1	ALGUNS CRITERIS PER A LA TRIA D'UN SISTEMA CONVERSOR D'ENERGIA EÒLICA	7-1
7.2	ELECCIÓ DELS SISTEMES CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA A EMPRAR EN L'AVALUACIÓ DEL POTENCIAL EÒLIC DE CATALUNYA	7-2
7.2.1	Sistemes Convertors d'Energia Eòlica de referència	7-4
7.2.1.1	Descripció del Sistema Conversor d'Energia Eòlica de Petita Potència	7-4
7.2.1.2	Descripció del Sistema Conversor d'Energia Eòlica de Potència Mitjana	7-5
7.3	JUSTIFICACIÓ DE L'ELECCIÓ	7-6
7.4	BALANÇ ENERGÈTIC D'UN SISTEMA CONVERSOR D'ENERGIA EÒLICA.	7-9
7.4.1	Energia Directe i Indirecte associada amb el disseny i la construcció del Sistema	7-9
7.4.2	Energia Associada amb el Funcionament i Manteniment del Sistema	7-10
7.4.3	Metodologia	7-10
7.5	L'IMPACTE DE LA UTILITZACIÓ DELS SISTEMES CONVERSORS	7-12

CAPÍTOL 8	ELABORACIÓ I APLICACIÓ DEL MODEL	
8.1	BASES DE PARTENÇA	8-1
8.2	ESQUEMATITZACIÓ DEL MODEL	8-6
8.3	ESTIMACIÓ DE LA DENSITAT DE PROBABILITAT DE LA VELOCITAT DEL VENT PER CADA MUNICIPI.	8-8
8.4	ESTIMACIÓ DE LA FUNCIÓ DE POTÈNCIA DELS SCEE.	8-9
8.5	DETERMINACIÓ DEL TEMPS DE FUNCIONAMENT I DE L'ENERGIA PRODUIDA	8-11
8.6	DETERMINACIÓ DEL NOMBRE DE SISTEMES CONVERSORS A UBICAR EN EL MUNICIPI	8-12
8.7	DESCRIPCIÓ DEL PROGRAMA DE CALCUL DEL POTENCIAL EÒLIC DE CATALUNYA	8-12
8.8	PERSPECTIVA DE FUTUR EN L'APLICACIÓ DEL MODEL	8-16
CAPÍTOL 9	RESULTATS I CONCLUSIONS	
9.1	CONCLUSIONS PRINCIPALS	9-1
9.2	RESULTATS	9-3
9.3	CONCLUSIONS ADICIONALS	9-8
CAPÍTOL 10	REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	

CHAPTER 1

INTRODUCCIÓ

Pot semblar estrany presentar una Tesi sobre la utilització passada de la força del vent a Catalunya i les seves perspectives de futur.

Però per qualsevol observador perspicaç de la realitat energètica de molts països, sobre tot des-de que s'ha obert l'anomenada "crisi de l'energia", no pot passar desapercebut el renovat interès per les fonts d'energia velles (ja havien estat usades al llarg de tota la història de la humanitat) i renovables (per contraposició a les fòssils i físsils, no renovables).

Aquest renovat interès s'ha despertat en el sí de la major part de les societats anomenades industrialitzades, o en vies d'imitació del model industrialista, que han fonamentat el seu desenvolupament en la utilització dels combustibles majoritàriament no renovables i forànis.

El motiu bàsic per el qual s'ha desvetllat aquest renovat interès en el sol, el vent, l'aigua, la vegetació,..... ha estat en comprovar l'enorme fragilitat d'un dels pilars bàsics sobre els quals s'ha fonamentat l'anomenat "desenvolupament" : les Fonts No Renovables d'Energia, el seu ús i el seu abús.

Paral·lelament s'ha donat un altre fet, a l'abast de qui estigui atent a la realitat energètica : moltes comunitats locals, que havien delegat naturalment les funcions de producció i subministrament d'energia a entitats forasteres sense cap mena d'arrelament a la comunitat, redescobreixen que les noves tecnologies per aprofitar els recursos energètics locals, obren una porta a la recuperació de l'autosuficiència i de l'autoabastiment energètic perduts.

INTRODUCCIÓ

La constatació d'aquest parell de trets remarcables i a l'hora constatar la realitat energètica actual del nostre País - "el grau d'independència (energètica) de Catalunya és molt petit", en paraules del Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya (1981) - em va induir a iniciar la recerca, que avui es presenta, dins del camp d'una font d'energia renovable, el vent, que va deixar d'ésser utilitzada a Catalunya, de la mateixa manera que a altres països, en iniciar-se el procés d'industrialització.

1.1 ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓ

En aquest apartat es resumeixen els trets fonamentals del treball de recerca emprés.

Es formula la hipòtesi de treball, entorn de la qual ha versat el treball d'investigació, es resumeixen les principals aportacions realitzades, es citen les bases de dades que s'han construït per a poder realitzar el treball i s'expliquen els mètodes i les eines de treball que s'han utilitzat.

1.1.1 Hipòtesi

Aquest treball de recerca s'ha plantejat per a demostrar que CATALUNYA és UN PAÍS MODERADAMENT VENTÓS, EN EL QUAL S'HAVIA DONAT EN EL PASSAT UNA UTILITZACIÓ CONSIDERABLE DE LA FORÇA DEL VENT, I EN EL QUAL, BASANT-SE EN LES DADES QUE AVUI DISPOSEM, ES POT REALITZAR UNA AVALUACIÓ DEL SEU POTENCIAL EÒLIC, PODENT REPRESENTAR, EN UN FUTUR, L'APROFITAMENT DE L'ENERGIA EÒLICA, UNA APORTACIÓ GENS MENYSPREABLE A LA BALANÇA ENERGÈTICA DE CATALUNYA.

1.1.2 Aportacions

Les aportacions realitzades per a verificar la hipòtesi són variades i estan expressades al llarg dels diferents capítols de que consta el present treball.

Es situa, de bon primer, la problemàtica energètica de Catalunya dins del marc de la substitució de les Fonts d'Energia d'origen solar i Renovables per les Fonts d'Energia fòssils No Renovables, i es plantegen altres camins energètics (Capítol 2).

Així mateix es realitza una reconstrucció dels fets recents relacionats amb l'aprofitament de la força del vent a nivell de diferents països (Capítol 2).

El grau de renovabilitat del recurs energètic vent, l'anàlisi dels treballs que sobre el vent s'havien realitzat a Catalunya anys enrera així com els coneixements populars sobre el vent que es tenien i encara es tenen, i la recuperació de la història de l'àmplia utilització que va tenir la força del vent, en èpoques passades, dins de molts països, són les aportacions del Capítol 3.

Una valoració estadística exhaustiva dels Molins de Vent que han existit i resten encara a molts indrets de Catalunya, és l'aportació, realitzada a partir d'un ampli treball de camp, més significativa per demostrar una part de la hipòtesi (Capítol 4).

En el Capítol 5 es fa una síntesi de les diverses avaluacions eòliques que s'han dut a terme, be ja fa temps o més recentment, a diferents països i una anàlisi crítica de les fonts d'informació disponibles avui a Catalunya per realitzar una tasca semblant. També s'aporten unes primeres avaluacions del Potencial Eòlic de Catalunya basant-se amb mètodes generals d'estimació.

La metodologia de càlcul emprada en la construcció del Model Matemàtic que es presenta per valorar el Potencial Eòlic de Catalunya està exposada en el Capítol 6, i les aportacions originals són per una banda, l'estructura mateixa del model i per l'altre l'aplec de programes de càlcul que, a partir del coneixement d'una dada concreta del vent a cada municipi, permet estimar la distribució de velocitats del vent, i, a partir d'una extensió superficial determinada, permet fixar el nombre de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica (S.C.E.E.) que s'hi poden ubicar en el municipi.

El Capítol 7 fa referència a la Tecnologia. En base al treball realitzat en els Capítols 2 i 3, s'ha construït una base de dades que conté les característiques de diferents Sistemes Convertors d'Energia Eòlica, tant dels utilitzats en la dècada 1950-1960 com dels actuals. En base a aquesta informació i d'uns criteris seleccionats, que també es detallen, es trien dos Sistemes Convertors que seran els utilitzats en el model matemàtic que simularà el Potencial Eòlic de Catalunya.

El Model que s'ha elaborat per a procedir a l'avaluació del Potencial Eòlic de Catalunya està implementat en uns Programes de Càlcul que determinen les característiques del vent en un municipi, les característiques del S.C.E.E. adaptat a aquelles condicions, el nombre de S.C.E.E. a utilitzar, la potència instal·lable, el temps de funcionament i l'energia produïble (Capítol B).

1.1.3 Les Bases de Dades

Per poder dur a bon termini aquest treball ha estat necessari construir dos tipus de Bases de Dades : una denominada Base de Dades Eòlica Municipal i l'altra, Base de Dades Tecnològica. En realitat aquesta darrera consta de dues Bases de Dades diferenciades, una referent als Molins de Vent a Catalunya i l'altra referent als Sistemes Convertors d'Energia Eòlica emprats durant la dècada 1950-1960 i els desenvolupats o en fase de desenvolupament a partir de l'any 1973.

Així mentre la Base de Dades dels Molins de Vent de Catalunya s'ha utilitzat en el Capítol 4 per demostrar la importància passada de l'ús de la força del vent a Catalunya, la Base de Dades de S.C.E.E. s'ha emprat en el Capítol 7 per fer l'elecció tecnològica dels Sistemes Convertors a emprar en l'avaluació del Potencial Eòlic de Catalunya.

La base de Dades Eòlica Municipal és la que s'ha utilitzat per fer córrer els Programes que reflexen el Model proposat.

1.1.4 Metodologia, tècniques i eines emprades

Una important fase del treball, que avui es presenta, ha estat l'anàlisi bibliogràfica. Aquesta anàlisi ha estat exhaustiu en molts aspectes, doncs inclou des dels primers treballs realitzats a Catalunya sobre el vent, fins les metodologies de càlcul emprades per estimar les característiques del vent en un lloc determinat i les característiques de funcionament d'un Sistema Convertor d'Energia Eòlica, tot passant per les experiències passades i recents, així com els projectes futurs, referents a l'aprofitament de la força del vent a diferents indrets del món.

Hom ha utilitzat també l'enquesta directa, per a conèixer, per una banda, nombre de molins de vent a Catalunya

i, per l'altra, conèixer les característiques del vent en cada municipi. Una bona part de les enquestes a les instal·lacions de molins de vent s'ha realitzat en visites personals als usuaris o ex-usuaris.

El Model Matemàtic que s'ha construït per simular, en unes determinades condicions, una possible penetració futura de l'ús de l'energia eòlica a Catalunya, ha estat possible gràcies als grans progressos, que tant teòrica com pràcticament, s'han efectuat al món des de que l'aprofitament de la força del vent torna a ésser seriosament considerada. Es basa en determinar la distribució de freqüències del vent en un lloc donat, a partir del que he anomenat Codi Municipal de Vent, escollir un S. C. E. E. ajustat a aquelles condicions, imposar unes maneres d'ocupació superficial i determinar l'energia anual produïble i el nombre de Sistemes Convertors a emprar.

Aquest Model Matemàtic de simulació ha estat construït utilitzant el llenguatge de programació BASIC, en versió de Digital, que és una gran ampliació dels llenguatges BASIC comunament emprats, i que per la seva potència el fa comparable a altres llenguatges tradicionalment més potents (Digital E. C., 1980b).

Els tractaments informàtics, tant de les enquestes dels Molins de Vent com del Model Matemàtic, s'han realitzat en l'ordinador VAX 11-780 del Centre de Càlcul de la Universitat Autònoma de Barcelona. És un ordinador amb 2500 Kb. de memòria principal, el Sistema Operatiu del qual és el VMS-V.2.1. L'accés a l'ordinador s'ha realitzat per mitjà d'un terminal DIGITAL VT-100 (pantalla i teclat) instal·lat al Departament de Geografia de la U. A. B.

Per realitzar el tractament estadístic de la Base de Dades dels Molins de Vent, confeccionada a partir de les enquestes realitzades, s'ha utilitzat el "Statistical Package for Social Sciences - SPSS" (Nie, N. H. et al., 1975; Klecka, W. et al., 1975; Hadlai Hull, C., 1981; Norusis, 1982). Previament i per classificar els Molins en ordre de Comarca i Municipi s'han utilitzat les facilitats de "Sort-Merge" (Digital E. C., 1980).

Per els càlculs d'algunes funcions matemàtiques específiques que hom ha precisat per al model, s'ha utilitzat el "Scientific Subroutine Package - SSP" (Digital E. C., 1980a).

INTRODUCCIÓ

Per dibuixar les distribucions de la velocitat del vent, la funció de potència dels S.C.E.E. i les malles espaials d'ubicació dels S.C.E.E. s'ha utilitzat el Paquet de Programes VPLOTT (Gooley.M., 1981) que permet fer treballar una impressora Printronix-300 a manera de "plotter" Calcomp-565.

I per escriure aquesta memòria del treball de recerca realitzat s'ha utilitzat també una facilitat del Sistema VAX/VMS, que és el RUNOFF, o compaginador de textos (Digital E.C., 1979).

1.2 EL PERQUÈ D'AQUEST ESTUDI. MOTIVACIONS PERSONALS

En aquest apartat s'exposen les motivacions personals que em van conduir a la realització del present treball d'investigació sobre el vent, el seu ús passat i les seves perspectives de futur.

Tot emmarcat dins d'unes condicions precises: un fet, l'abandonament de les fonts tradicionals i renovables d'energia; un País, Catalunya; i unes eines, les tecnologies per a aprofitar el vent.

El fet de l'abandonament de les fonts renovables d'energia m'ha interessat i preocupat perquè crec que una història de l'energia enfocada des d'aquesta faïso podria aportar una nova interpretació de la història.

Un País, perquè no crec en una Ciència i una Tècnica deslligades de la realitat concreta on es viu.

Les eines, ja que la relació tecnologia-societat ha estat ideològicament manipulada per interessos estratègic-polítics. L'esbrinament d'aquesta relació, ben complexa per cert, m'ha portat al camí de les anomenades Tecnologies Alternatives en general i, més en concret, cap a les Tecnologies Alternatives per aprofitar els Recursos Energètics Renovables.

1.2.1 L'abandó de les fonts tradicionals i renovables d'energia

Qualsevol ésser viu, i la persona humana no n'és l'excepció, necessita degradar energia per viure. Les

diferents formes d'organització social, que els éssers humans s'han donat al llarg de la història, han tractat de procurar-se un excedent d'energia per assegurar les seves necessitats vitals, en primer lloc, i les demés necessitats socials després.

Aquest excedent havia estat obtingut sempre a partir de certes fonts d'energia renovable. En primer lloc, la matèria vegetal (que no és res més que l'energia solar fixada i emmagatzemada mitjançant la fotosíntesi) va constituir la principal font d'energia. Després la domesticació dels animals i de les plantes, donant lloc al naixement de l'agricultura, va significar una millora de l'eficiència de la conversió energètica i una millor adaptació a les necessitats humanes. L'agricultura dels petits horts amb gran varietat de plantes, que va ésser iniciat fa uns 10000 anys en alguns punts del planeta, va permetre millorar els coneixements sobre els cultius, possibilitant el conreu d'extensions més grans.

Durant els mil·lenis que van precedir a l'anomenada "revolució industrial" les diferents cultures i civilitzacions van continuar basant-se en l'energia solar i les seves formes indirectes (vent, aigua, etc.). D'aquesta manera es limitava l'excedent energètic que hom podia obtenir amb la tecnologia disponible aleshores.

El descobriment de la conversió dels combustibles fòssils en energia mecànica, va obrir el camí de la degradació de l'energia solar concentrada, possibilitant l'aparició d'una civilització que, despreciant i abandonant les fonts d'energia renovables, utilitzades fins aleshores, es manté sobre la degradació dels magatzems disponibles de recursos no renovables, generant conflictes per a l'apropiació de les reserves conegudes.

La civilització industrial ha "promocionat sistemàticament aquelles activitats que es basaven en la destrucció de primeres matèries i energia no renovables en detriment de les renovables basades en la productivitat dels cicles naturals" (Naredo, J. M., 1979).

Em permeto d'utilitzar una imatge, extreta d'una de les més primerenques valoracions de recursos energètics realitzades (Ayres, E. i Scarlott, Ch. A., 1952), per caracteritzar les darreres dècades en que la majoria de països anomenats "industrialitzats" s'han introduït en el camí de l'ús exponencial dels recursos energètics no renovables, tot abandonant l'ús de les fonts d'energia renovables :

INTRODUCCIÓ

"Suposem la terra comparant-la a un ésser jove que ha arribat a la seva maduresa d'edat, els 21 anys. Molts esdeveniments interessants s'han produït al llarg dels seus anys juvenils. Però ens interessen especialment uns esdeveniments peculiars que li començaren a succeir quan complia setze anys : va començar a acumular una exagerada quantitat d'energia. Això correspon a la formació dels jaciments de carbó, petroli, esquists bituminosos, gas natural i altres formes de combustibles fòssils. Aquest període d'acumulació va tardar uns cinc anys en la seva vida. En el darrer any, va tenir lloc una misteriosa transformació que la va convertir en el què és avui : una persona humana. Acomplerts els 21 anys els dos aconteixements citats ja s'havien completat. Aleshores va ocórrer quelcom que va fer que comencés a cremar l'excés d'energia acumulat durant els cinc anys precedents. Això correspon a les etapes inicials de l'ús de les màquines. La completa desaparició d'aquells grans dipòsits d'energia acumulada requereix només cinc minuts en la vida de la persona en qüestió, i ara estem vivint a la meitat d'aquest període."

Així la humanitat, que havia sobreviscut durant el darrer milió d'anys, tot i essent dependent de l'energia provinent del sol, es troba abocada a una nova forma de dependència, també del sol però indirectament. L'única diferència entre les persones que poblaven aleshores la terra i nosaltres és que ara som dependents d'uns combustibles que van tardar milions d'anys en formar-se i malversem sense miraments, podent-los esgotar en pocs anys.

Una mostra d'aquesta evolució produïda en el consum d'energia la tenim en la Taula que es dona a continuació i que és un balanç de l'energia des de l'any 1800 fins l'any 1949 als E. U. A. (reproduïda en Ayres, E. i Scarlott, Ch. A., 1952).

anys	1800 - 1849		1850 - 1899		1900 - 1949	
font	VA	%	VA	%	VA	%
petrolis	0	0	214.9	2.2	8986.4	20.8
gas nat.	0	0	156.7	1.6	3322.6	7.7
hul. i lig.	40.2	1.7	2693.8	27.0	22893.8	52.9
antrac.	32.7	1.4	1365.2	13.7	3510.8	8.1
aigua	91.9	3.9	340.8	1.6	1551.2	3.6
fusta	2171.0	93.0	5195.2	53.9	2975.7	6.9

VA : Valors absoluts (10^9 Hph)

Aquesta situació tendencial, que s'ha ben reafirmat a partir de l'any 1950, no és solament vàlida pels E.U.A. sinó també per tots aquells països que han seguit la via industrialista de desenvolupament.

any 1970	E. U. A.	C. E. E.
carbó	20.1 %	29.8 %
petroli/gas	75.8 %	63.4 %
electr. prim.	4.1 %	6.8 %

De fet totes les societats industrialitzades o en vies d'imitació del model industrialista han fonamentat el seu desenvolupament en la utilització massiva de combustibles no renovables i, en molts cassos, procedents de fora dels seus límits territorials dels respectius països, donant lloc a un augment important de la seva dependència vers els països productors.

Amb l'anomenada "crisi del petroli", molts països s'adonen de la seva fragilitat energètica i cercan solucions substituint el petroli per l'energia nuclear, basada també en un recurs no renovable : l'urani.

INTRODUCCIÓ

Fins fa molt poc, el model d'utilització dels recursos energètics, següia lo que els matemàtics anomenen "Creixement Exponencial", és a dir que un valor es duplica en transcórrer intervals de temps constants. Aquest fenomen del creixement exponencial de l'ús dels recursos energètics fòssils, va ser analitzat amb detall pels Informes del Club de Roma (Meadows, D.H. et al., 1972; Mesarovic, M. et al., 1975; Timbergen, J., 1976), que, apart de l'esgotament dels recursos no renovables, tenia en compte la població, la producció d'aliments, la contaminació i la industrialització.

és evident, i pocs ho posen en dubte, que en un món finit qualsevol variació exponencial es pot donar de forma natural durant un període molt curt de temps, però la naturalesa té mecanismes per fer evolucionar el fenomen cap a un altre model matemàtic teòric anomenat "Creixement logístic". En casos més complexos i no naturals, com són molts fenòmens desencadenats per la mà de l'home, si no s'adeqüen els escaients mecanismes de control, es poden donar situacions més o menys catastròfiques per tal de cercar un nou equilibri.

Per una part hom pot apreciar com s'estan destruint, en molt pocs anys, els recursos energètics i altres recursos no renovables que van tardar dos o trescents milions d'anys en formar-se, i per una altra part es poden constatar els problemes de degradació que amenacen el mateix funcionament dels ecosistemes (Goldsmith, E.R.D., 1972; Commoner, B., 1971; Ehrlich, P.R., i Ehrlich, A.H., 1972).

Un intent ben seriós de projectar vers l'any 2000 tots els greus problemes que ja vivim avui (població, recursos, impactes, etc.) a escala de tot el planeta ha estat l'anomenat "Global 2000" (Autors Varis, 1982). Aquest profund i rigorós estudi constata que :

"Les evidències de que disposem avui no deixen cap mena de dubte que el món haurà d'afrontar a problemes enormes, urgents i complexos en el transcurs de les properes dècades. Calen canvis immediats i vigorosos a tot el món per evitar o minimitzar aquests problemes abans de que es tornin immanejables. Hom requereix, per fer accions efectives, prendre la iniciativa molt temps avans. Si hom retrassa les decisions fins que els problemes esdevinguin més greus, les opcions de que disposem per fer-hi front es reduiran en gran manera".

L'accentuada dependència de la societat catalana actual de les fonts d'energia no renovables forànies (carbó, petroli, gas natural i urani), fet que s'ha produït, al igual que altres països industrialitzats, abandonant o deixant de desenvolupar les tecnologies que permetessin l'aprofitament de les fonts d'energia renovables, juntament amb tots els problemes que això implica, ha estat suficient motivació per induir-me a qüestionar el model oficial d'explotació dels recursos energètics i plantejar-me la viabilitat d'altres models que es basessin en l'ús generalitzat de les fonts d'energia renovables.

1.2.2 El perquè de l'àrea d'estudi. Catalunya, el Vent i la Tecnologia Alternativa

L'àrea d'estudi on m'he centrat és el resultat de l'encreuament de tres àrees concretes : una regió geogràfica determinada, un recurs energètic renovable i unes eines per aprofitar l'esmentat recurs.

Evidentment, el meu interès principal va estar centrat en l'estudi del País on he nascut, crescut i on visc, Catalunya, entès com a comunitat diferenciada de la resta de pobles de la Península Ibèrica i d'Europa.

Un fet que em va guiar vers aquest camí va ésser l'absència quasi absoluta, exceptuant un estudi marc sobre l'autonomia energètica de Catalunya (Corominas, J. et al., 1982), d'estudis referents als recursos renovables que el País té i gairebé no aprofita.

Un altre fet important va ésser la constatació de que fora del País tenien lloc amplis debats que qüestionaven a fons els programes energètics oficials de les administracions estatals de molts països. Aquests debats, que han quedat reflectits en les pàgines de publicacions periòdiques de reconeguda solvència i que s'han publicat en forma de llibre, han passat practicament desapercebuts al nostre País, sobretot en els àmbits on crec havien d'haver tingut més repercussió : la Universitat.

En quant al recurs energètic renovable escollit : el vent, no sabria dir exactament el per què, des de fa molt temps, em va captivar per sobre de les altres manifestacions energètiques renovables. De fet m'he adonat que quant més m'introduïa en el camp de l'energia eòlica més m'apassionava. Pot-ser l'origen del meu interès en el vent

caldría cercar-lo en l'inconscient, pel fet d'haver nascut en una Comarca que, si bé no és molt ventosa, l'energia eòlica va ser força utilitzada, i haver-hi crescut veient com s'anaven deixant d'utilitzar aquells artefactes eòlics, però com es resistien a caure.

També hi ha influït en el meu interès per l'aprofietament de la força del vent, el poder tenir accés a publicacions tant periòdiques ("Undercurrents - the Magazine of Radical Science and People's Technology", "Science for the People", "Alternative Sources of Energy", etc.), com no periòdiques ("Radical Technology", "Energy Primer"), que a principis i mitjans de la dècada dels anys 70 van començar a aparèixer en diversos indrets del món.

Pel que fa a les eines per aprofitar el recurs energètic vent, m'ha interessat sobre tot considerar la tecnologia en el seu aspecte anomenat "alternatiu", ja que la meua pròpia experiència professional (primerament, a la Universitat Politècnica i després en el món industrial privat) m'ha dut al convenciment de què tota tecnologia, i per descomptat l'emprada en l'aprofietament dels recursos energètics, no és neutre sinó que indueix en tota societat organitzada un conjunt de conceptes, de models, de relacions i de poders que configuren la nostra manera de viure.

A diferència d'aquells que fan seu el concepte de determinisme tecnològic per explicar l'evolució de la humanitat - és a dir que el grau de desenvolupament d'una societat ve determinat pel tipus de tecnologia que ella mateixa ha inventat, desenvolupat o que en ella s'ha introduït - i d'aquells que plantegen l'existència d'una interdependència entre el desenvolupament tecnològic i el desenvolupament econòmic - és a dir que les màquines que s'han fet servir al llarg de la història han estat les més idònies per a les necessitats econòmiques dominants i que s'ha traduït en el fet de que tota innovació només és introduïda en tant en quant pugui demostrar la seva "viabilitat econòmica" - ambdós considerant que la tecnologia juga un paper passiu i neutre dins del procés de desenvolupament, em sembla que la relació entre tecnologia i creixement econòmic és molt més complexa i que ambdós estan tant interrelacionats que és impossible deduir-ne efectes deterministes de l'un sobre l'altre.

Acceptant tota la immensa llista de problemes plantejats dins les societats anomenades "desenvolupades" o "industrialitzades" i que, com ja s'ha citat en l'apartat 1.2.1., han estat globalitzats, valgui la redundància, en el "Global 2000" (Autors Varis, 1982), crec que és necessari posar en dubte tant la naturalesa de la tecnologia que la

societat industrial genera, com els usos als quals la mateixa tecnologia s'aplica, i que les arrels dels problemes creats cal cercar-les tant en el disseny de la tecnologia com en l'ús que s'en fa.

Per si soles ni la ciència ni la tecnologia "podran trobar una sortida a la crisi actual, però qualsevulla sortida real implicarà una ciència i una tecnologia, inclòs en el cas de que aquestes activitats no tinguin molt a veure en un futur, tant qualitativament com quantitativament, amb lo que avui considerem ciència i tecnologia" (Clark, R., 1973).

és necessari per tant treballar en el desenvolupament d'una alternativa tecnològica basada en la mínima utilització dels recursos no renovables, que tingui les mínimes interferències amb l'ecosistema, que tendeixi cap a l'autosuficiència de les bioregions o ecoregions i elimini l'explotació i l'alienació de les persones.

"L'alternativa tecnològica la constitueixen les màquines i les eines mitjançant les quals tant la persona humana com la natura s'alliberaran de la dominació i explotació inherents a la nostra tecnologia actual" (Dickson, D., 1978).

"L'eina convivencial és aquella que em deixa un ampli marge i el major poder per modificar el món en la mesura de les meves intencions. Una eina és convivencial en la mesura que cadescú pot emprar-la sense dificultat, tantes vegades com hom vulgui, per a les finalitats que un mateix determini" (Illich, I., 1974).

"La Tecnologia Alternativa basada en unes noves formes tecnològiques que portin els mecanismes de decisió i control més aprop dels individus afectats, organitzant els medis productius més democràticament i descentralitzant-los. La Tecnologia Alternativa busca formes de producció no alienants que combinin el treball manual amb l'intel·lectual, incorporin una relació amb la natura com activitat regular, i conservin els recursos naturals i l'ecosistema (Corominas, J., 1979).

El vent, manifestació energètica que la naturalesa ens ofereix en forma dispersa, juntament amb l'aprofitament de l'energia solar directe, la hidràulica, l'energia verda (bioenergia), "amalgamats com en un mosaic, com pauta

orgànica d'energia derivada de les potencialitats de cada regió específica, podrien satisfer ampliament les necessitats d'una societat descentralitzada" (Bookchin, M., 1978).

1.2.3 Perquè he escollit la hipòtesi

La hipòtesi que he escollit i que pretenc demostrar s'ha anat configurant al llarg dels gairebé tres darrers anys, des-de que la Direcció de l'E. T. S. E. I. -U. P. B. va acceptar el tema de Tesi que vaig proposar.

La hipòtesi es pot plantejar en els termes següents :

"Catalunya és un País moderadament ventós en el qual s'havia aprofitat la força del vent i en el que avui hom pot fer, amb les dades de que es disposa, una valoració del seu potencial eòlic".

Els tres punts escollits : vent, aprofitament passat i valoració del potencial, ho han estat, a més a més de les raons donades en l'apartat anterior, per desmentir molts tòpics i opinions que s'expressen de variades formes però que es poden resumir en dir que "l'aprofitament del recurs energètic renovable, vent, no té cap mena de futur a Catalunya".

El meu treball estava encarrilat quan es va fer públic el Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya on, entre altres coses s'hi pot llegir :

"no es pot fer una estimació de la potència eòlica utilitzable a Catalunya, ja que no existeixen dades suficients". (Segarra, P. i Alario, J., coordinadors, 1981, pag.132, Vol.1).

Això pot-ser va significar la gota que va fer vessar el vas, per donar-me més ganes encara de fer una valoració del potencial Eòlic de Catalunya, amb les dades que avui disposem, que són poques si cerquem les mesures registrades dels paràmetres del vent a diferents indrets del nostre País, però no són tan poques si mirem el passat (cultura popular, aprofitament,....) o inclús si prospectem el present, ja que com es descriurà més endavant, si bé no es disposa de mesures "científiques" del vent a tots els municipis de Catalunya, si que es disposa de persones que hi viuen, i que sortosament moltes, encara, estan arrelades a la

terra. Això ha permès disposar d'una Base de Dades Eòlica Municipal que podriem anomenar Base de Dades Popular.

El treballar aquests tres punts citats al començament m'ha permès introduir-me en el món de la cultura popular del nostre poble, ben rica, com la de tots els pobles de l'àrea mediterrània, en elements eòlics. També m'ha permès seguir els primers estudis que, realitzats al País i per gent del País, descriuen els fenòmens eòlics més importants de casa nostra. M'ha donat l'oportunitat de recórrer molts indrets de la nostra terra cercant molins de vent i parlant amb aquelles persones que s'en havien servit. També m'ha possibilitat l'aprofundir en la història de l'aprofitament de la força del vent arreu del món, especialment en el transcurs del present segle, tot analitzant quina tecnologia s'emprava, quins resultats tenia, en quines condicions s'aplicava i, en molts cassos, perquè s'abandonava.

En darrer terme m'ha permès elaborar un model matemàtic per avaluar el Potencial Eòlic de Catalunya, partint dels coneixements que avui es tenen. És un model que resta obert, per una banda, a la introducció de dades més exactes per valorar la distribució del vent en la zona on s'aplica; per una altra banda resta obert a la introducció d'altres màquines eòliques a mesura de que les que avui estan en fase de prototipus hagin demostrat la seva maduresa; i en tercer lloc resta obert a la introducció de mètodes d'imposició de limitacions més acurats.

Al creure que es podia fer una estimació del potencial Eòlic de Catalunya amb les dades avui existents, que si be no serà una quantificació matemàticament exacta, obre les portes a futures estimacions més precises, en tant en quant hom disposi d'una bona xarxa de mesura dels paràmetres característics del vent, va ser suficient motiu per llençar-me a l'aventura de realitzar una quantificació global del vent a tot Catalunya.

1.2.4 La recollida de la informació

L'aplegament de la considerable quantitat d'informació, que he utilitzat en el transcurs de la realització del present treball, ha estat una tasca llarga i pacient. Una de les raons que l'han fet més llarga del que desitjava és el fet que no existeix cap biblioteca, ni centre especialitzat, que reunixi tot l'ampli ventall d'informació que avui hom pot disposar referent a l'energia eòlica, en els seus variats aspectes.

INTRODUCCIÓ

Les experiències eòliques de la primera meitat del nostre segle, estan descrites en un ampli espectre de revistes tècniques (Engineering, Mechanical Engineering, Electrical Review, The electrician, Electrical World, The Engineer, Electrical Engineering, la Technique Moderne, Revue Generale de l'Electricité, etc.) que sortosament es poden trobar en algunes biblioteques de Barcelona, tot i que no n'hi ha una que disposi de la col·lecció completa.

En quant a les experiències actuals, iniciades l'any 1973 més o menys, el panorama català encara és més penós. Si exceptuem alguna publicació eòlica que hi ha a la Biblioteca de l'Associació d'Enginyers Industrials, no hi ha cap mena de publicacions d'aquesta temàtica en cap Biblioteca de Catalunya. Per tant ha estat necessari aplegar personalment informació procedent de les més variades fonts, des-de revistes estrictament tècniques, fins butlletins, fulls informatius, revistes especialitzades, recopilacions de ponències de congressos, totes elles referents a energia eòlica que, pacientment i en una tasca diària, he anat recopilant al llarg dels darrers 8-9 anys.

Pel que fa als primers estudis referents al vent a Catalunya, realitzats per el Dr. Eduard Fontseré i el seu equip, m'ha estat d'utilitat les publicacions de la "Real Academia de Ciencias i Artes", que publicaren la Sessió d'homenatge al Dr. Fontseré (1961) i l'Obra Dispersa de Meteorologia Catalana (1970). Sense elles hagués estat més difícil aplegar els treballs referents al vent d'en Eduard Fontseré.

La informació reunida referent a la importància passada de l'ús de la força del vent a Catalunya, ha estat possible d'aplegar a través de moltes hores de dedicació, majoritàriament en treball de camp, sobretot a partir de l'any 1979, quan Omnium Cultural em va concedir un Ajut de Treball per iniciar la tasca. Ha estat una feina, podriem dir, d'"estirar el fil", ja que a partir d'indicis, notícies, ... provinents d'amics, familiars, consultes, etc. s'arribava a localitzar un o varis molins, i a partir d'ací, "estirant el fil" n'han sortit molts més.

Referent a la quantificació del potencial eòlic de Catalunya, aquesta tasca, en la forma com aquí s'ha realitzat, no hagués estat possible sense les respostes que més de la meitat de municipis del País ens van trametre, com a resultat de l'enquesta "el vent i les seves aplicacions" que, dins del marc del treball "Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció del mapa eòlic de Catalunya", es va realitzar a començaments de l'any 1982.

En quant a les metodologies de càlcul emprades en la confecció del model matemàtic per avaluar el potencial eòlic de Catalunya, ha estat possible aplegar, mercès a un Ajut concedit per la Comissió Interdepartamental de Recerca i Innovació Tecnològica - CIRIT - de la Generalitat de Catalunya, el qual em va possibilitar una estada als E.U.A. (1981) amb assistència al "Fifth Biennial Wind Energy Conference and Workshop" i una visita a la seu de la "American Wind Energy Association", on vaig poder recopilar una bona part de la informació que necessitava.

1.2.5 Agraïments

Vull agrair a totes aquelles persones i entitats les quals han fet possible la realització d'aquest treball. Sense les seves variades formes de col·laboració ben segur que aquesta investigació no existiria avui.

En primer lloc, vull reconèixer la tasca del Director d'aquesta Tesi, el Dr. Joaquim Corominas, perquè en havent acabat el Curs de Doctorat (1978-1979) sobre "Tecnologia i Energia Alternativa", que ell imparteix a l'E. T. S. E. T. - U. P. B., i havent-li jo proposat la realització d'un treball de recerca sobre l'energia eòlica a Catalunya, va acceptar amb entusiasme. El seu recolzament m'ha ajudat a dur a bon terme el treball que avui es presenta.

També vull agrair al Departament de Geografia de la Universitat Autònoma de Barcelona l'haver-me ofert el seu marc per a la realització d'aquesta recerca i haver-hi posat molts dels elements materials, que sense ells no hagués estat possible la seva realització.

Vagi també el meu agraïment al Centre de Càlcul de la U. A. B., especialment al seu Director i a tot l'equip que fa possible la utilització de les eines ("hard" i "soft") que allí estan, per l'ajut que en moments crítics m'han ofert i per la paciència que han tingut.

Agraïeixo a l'E. T. S. E. I. de Barcelona la possibilitat que m'ha donat de poder llegir avui aquesta Tesi, i a les persones que han tingut l'amabilitat d'acceptar formar part d'aquest tribunal que avui te que jutjar-la.

No voldria acabar sense reconèixer les valuoses suggestions que m'han realitzat molts companys, especialment en Conrad Meseguer, per les moltes estones esmerçades en discussions sobre els més variats temes eòlics, però sense

INTRODUCCIÓ

oblidar a en Miquel Cabré, en Ermen Llobet, en Josep Congost
i en Josep Prats.

CHAPTER 2

EL CONTEXT ENERGÈTIC CATALA I EL VENT

En aquest capítol es presenta breument un esboç del passat i present de l'energia a Catalunya, analitzant la transició des de l'ús passat de les energies renovables cap a l'ús present i massiu de les no renovables.

Es discuteixen dues possibles vies energètiques cap al futur i les conseqüències que pot tenir l'elecció, per a un possible canvi en l'ús de les fonts d'energia, de retorn cap a la utilització de les renovables.

S'apunta també la possibilitat de caminar cap un altre futur diferent i quines implicacions podria tenir.

D'una altra banda es realitza una aportació que preten ser una reconstrucció de la història present de l'energia eòlica, que hi ha dispersa en una gran quantitat de referències, per així poder mostrar que l'energia eòlica no és un somni de quatre "utòpics" sinó que estem assistint, a despit de no ésser plenament reconegut per tot-hom, al naixement d'una nova indústria, que creixerà i farà ombra a l'actual indústria aeronàutica (British Wind Energy Association, 1982).

2.1 EL PASSAT ENERGÈTIC A CATALUNYA

Ben segur que l'estructura energètica de Catalunya en el passat, no va diferir qualitativament gaire de la citada en l'apartat 1.2.1 referent als E. U. A.

Encara que no es disposen de treballs referents a la nostra història de l'energia, es pot dir, sense gaire risc d'equivocar-se, que fins el segle XIX, les fonts d'energia majoritàriament emprades a Catalunya van ser les renovables. Per una banda els molins instal·lats a les voreres

dels rius, empraven els desnivells per transformar la força de l'aigua en energia mecànica. També les fargues empraven la força de l'aigua per accionar els seus martinets, i a més a més empraven la fusta transformada en carbó vegetal (Molera, P., 1980). En quant a l'aprofitament de la força del vent, hom disposa d'algunes referències que són més àmpliament comentades en l'apartat 3.4.

Amb la penetració del model socio-cultural-industrialista, la societat catalana comença el procés de substitució de les fonts d'energia renovables pel carbó, que es convertirà en font energètica majoritària als inicis del segle XX. A tot l'Estat Espanyol, l'any 1900, el petroli només representava el 2% del consum d'energia primària. La resta era pràcticament carbó, tot i que tenia una gran importància encara la fusta, que no es comptabilitzava en les estadístiques.

L'electrificació comença a Barcelona, on s'hi va instal·lar la primera central, l'any 1873. Les instal·lacions per produir energia elèctrica eren a base de centrals de petita potència (fins 1000 i 2000 kW. i encara més petites), tèrmiques o hidràuliques instal·lades a prop dels llocs de consum (en general nuclis urbans), ja que no es dominava la tècnica d'alta tensió per fer possible el transport d'energia a llargues distàncies. Als anys 20, les línies de transport elèctric eren de 60 kV., la qual cosa no permetia el transport a més de 100 km. (A Catalunya es va implantar la primera línia de 50 kV. l'any 1914).

Aquesta època va quedar marcada per l'aparició de nombroses companyies. Segons dades de la cambra de productors i distribuïdors d'energia elèctrica, el creixement promig del consum, entre 1900 i 1936, va ésser aproximadament del 4,3% (López, J., 1979).

A partir de l'any 1940, s'inicia una època ben diferenciada de la situació anterior i que es caracteritzarà per la forta concentració de la producció d'energia hidroelèctrica. Es quan s'inicien els processos de fusió entre companyies i d'absorció de les petites companyies municipals i/o comarcals. Amb la xarxa de 220 kV. es van interconnectar les empreses elèctriques catalanes i es va possibilitar la connexió del sistema català a la xarxa peninsular.

L'any 1950 la producció hidràulica cobreix el 90% de la demanda d'energia elèctrica a la zona catalana (Segarra, P. et al., 1981).

Fins l'any 1972, l'energia hidràulica va mantenir un percentatge de potència instal·lada per sobre de la d'origen tèrmic respecte del total (a l'Estat Espanyol). A Catalunya la primera meitat de la dècada dels anys 60, va representar un fort increment del nombre de centrals hidroelèctriques i de potència instal·lada, que es va estabilitzar després amb tendència a baixar pel que fa referència al nombre de centrals, i roman més o menys constant pel que fa a la potència instal·lada, després d'haver fet un salt important a la segona meitat dels anys 60. (Corominas, J., i Puig, J., 1982).

Les dècades dels anys 1960 i 1970 estan marcades per la penetració avasalladora del petroli dins del subministre energètic de Catalunya, fent que s'abandoni pràcticament el carbó i que la hidràulica romanguí estancada a despit de les seves possibilitats no aprofitades, com es reconeix tant per part d'estaments oficials (Del Campo, A., 1980; Gil Sordo, V., 1981), com en treballs alternatius (López, J., 1979; Corominas, J., i Puig, J., 1982).

"la no proliferació històrica del tipus de petites centrals hidroelèctriques i xarxes interconnectades i la causa de la seva lenta però inexorable decadència -i desaparició actual- és deguda, en el fons a una estratègia no solament energètica, sinó àmpliament cultural, que exclueix el tipus de tecnologia i d'organització de la gestió que representen les petites centrals hidroelèctriques". (López Linage, J., 1979)

La introducció, l'any 1972, de la primera central nuclear a Catalunya, no representa ser més que la continuació lògica d'aquest procés.

2.2 EL PRESENT DE L'ENERGIA A CATALUNYA

Tot i que l'anomenada "crisi de l'energia" es manifesta a partir de l'any 1973, l'estructura energètica de l'Estat Espanyol roman sense canvis significatius.

El fet més destacable és l'aprofitament d'aquest fet per intentar justificar la nuclearització massiva a través dels Plans Energètics Nacionals, que ja s'havia decidit molt abans de l'any 1973 (Costa Morata, P., 1978; Pillado, R., 1979; Martín, S., 1979; Muñoz, J. i Serrano, A., 1979; Corominas, J. i Puig, J., 1982).

Amb l'aprobació del P.E.N. per part de totes les forces representades en el Parlament Espanyol, queda sentenciada la tendència cap a la total dependència de la societat catalana dels recursos energètics no renovables. Per si ens en quedava algun dubte, veieu les declaracions del President de la Generalitat, en el transcurs de la inauguració de la més gran instal·lació d'energia solar de Catalunya (Baratech, R.C., 1982):

"Para los políticos, lo fácil es decir que el problema de la energía se puede resolver acudiendo a la solar o a la eólica, pero eso son tonterías. Y son tonterías que han dicho algunos políticos importantes. Queda claro que la base de la energía es hoy de origen térmico o nuclear. Hemos de ser realistas".

A Catalunya cal citar que, amb la publicació del Llibre Blanc de l'Energia (Segarra, P. et al., 1981), es realitza per primera vegada un balanç energètic de la societat catalana, fet que no s'havia produït mai. A despit que es centra entre els anys 1965 i 1981, deixa entreveure la tendència citada de substitució progressiva dels recursos energètics renovables pels no renovables.

Pel que fa als Recursos Energètics Renovables, són citats de forma molt marginal dins del Llibre Blanc. Concretament l'energia eòlica ocupa mitja pàgina en el Primer Volum i mitja pàgina més en el Segon. Tingueu en compte que només per a explicar el Cicle del Combustible Nuclear s'hi ha dedicat un capítol sencer (10 pàgines), mentre que per totes les fonts d'energia renovables (solar directa, eòlica, biomassa, microhidràulica, ...) s'hi dediquen 15 pàgines entre els dos volums, que sumen en total 252 pàgines.

2.3 EL FUTUR ENERGÈTIC OFICIAL : LES DUES VIES

El futur oficial que se 'ns planteja a Catalunya, pel que fa a l'energia, està totalment marcat per l'aprovació del Pla Energètic Nacional que, com ja s'ha dit anteriorment, preten lliurar-nos de la dependència del petroli abocant-nos a la dependència nuclear, amb les conseqüències de tota mena que aquesta decisió implica.

Conseqüències econòmiques (Komanoff, , Ch. 1981; CSENE, 1982; Nader, R et al., 1982), tecnològiques (Nader, R., et al., 1982; CMEP, 1980, 1980a i 1981), polítiques (Lipschutz, R., 1980), socials (Groupement de Scientifiques, 1977; Jungk, R.,

1979; Shrader Frechette, K. S. 1980; Gofman, J. W., Tamplin, A. R., 1979; Martin, D., 1980), militars (Lovins, A. et al., 1980 i 1981; Reagan, R., 1981; Alvarez, B., 1981), per la salut (Gofman, J. W., 1981; Sternglass, E., 1981; Rotblat, J., 1981), etc.

Per esbrinar quin és el futur que ens espera, res més adient que veure quines són les previsions que han fet els organismes responsables de l'energia a casa nostra. En el Llibre Blanc de l'Energia es realitza, emprant la tècnica dels escenaris possibles, l'estimació de la situació energètica a Catalunya a llindar de l'any 1990. El resultat és el següent:

* L'evolució de la demanda d'Energia Primària a l'horitzó de 1990 és la següent (Segarra, P., et al., 1981):

	1979	1990
Hidràulica	10.9	7.7
Carbó	1.7	4.2
Petroli	58.7	39.2
Gas Natural	13.8	12.5
Nuclear	6.5	29.4
Intercanvis	8.4	5.1
Fonts renovables	0.0	1.9
TOTAL	100.0	100.0

* En quant a l'estructura de producció d'energia elèctrica encara és més preocupant (Segarra, P., et al., 1981):

1979	Gwh	%
Hidràulica	4462	28.5
Tèrmica total	11728	71.5
Fuel/Gas	8238	50.0
Nuclear	2758	16.0
Carbó	912	5.5
TOTAL	16390	100.0

1990		
Hidràulica	5183	20.4
Tèrmica total	20234	79.6
Fuel/Gas	1112	4.4
Nuclear	17947	70.6
Carbó	1175	4.6
TOTAL	25417	100.0

De les taules anteriors es despren que l'energia nuclear augmentarà la seva aportació relativa pel que fa a la demanda d'Energia Primària, del 6.5% al 29.4%, en tant que pràcticament tota l'electricitat es pensa produir amb la fisió de l'urani, ja que passa del 16% al 70.6%. Si ara depenem electricament del petroli en un 50%, dependrem encara més de l'energia nuclear.

Això suposarà una modificació important en la cobertura de la corva monòtona de càrrega, ja que degut a la nul·la modulació de la producció d'una tèrmica nuclear, serà necessari augmentar la potència de bombeig, fet ja previst quan s'estan construint tres nous grups: Moralets I i II (de 200 Mw cada un) i Estany Gento-Sallente (400 Mw).

A més suposarà un inconvenient fort de cara a una hipotètica introducció important de l'energia eòlica en el futur, com reconeix l'I.N.I. (Cardona, J.L., 1981):

"Los aerogeneradores tendrán más fácil adaptación en sistemas con predominio de centrales hidráulicas y/o de turbinas de gas, que en los sistemas eléctricos con unidades de base de origen térmico clásico o nuclear de respuesta de acoplamiento más lenta".

Aquest és doncs el panorama que se 'ns planteja en un futur no llunya, si l'energia nuclear demostra el que els seus promotors ens prometen. No obstant es ben poc probable que això ocorreixi, perquè com diuen els autors alemanys que han avaluat el potencial eòlic de la R.F.A., en un ampli estudi finançat per l'Agència Internacional de l'Energia (I.E.A), i en el qual han participat la R.F.A. (40%), Japó (20%), Holanda (10%), Suècia (10%) i els E.U.A. (20%):

"l'increment de l'escassetat de cru haurà d'ésser equilibrada mitjançant altres fonts d'energia, amb propietats més específiques de consum i que avui no estan del tot desenvolupades. L'energia nuclear, que fins fa pocs anys era considerada com l'alternativa al petroli, avui és avaluada molt més escepticament. La raó no és solament l'augment de l'oposició per part de la població que viu en zones on es volen construir centrals nuclears, sinó els rapidíssims increments del seu cost de construcció, les freqüents interrupcions de funcionament, els requeriments addicionals de seguretat i els, encara desconeguts, costos generats per l'emmagatzemament final de les deixalles nuclears. Tots junts fan que la competitivitat de l'energia nuclear en front de les noves fonts d'energia sigui més que qüestionable. (Jarass, L.; Hoffman, L.; Jarass, A.; Obeimair, G., 1981)

Hom pot veure que no tots els països estan tan convençuts de que l'energia nuclear solucionarà els problemes de dependència de les societats industrialitzades. Per això intenten, sense canviar les seves bases socio-econòmiques, ni tan sols qüestionant-les, caminar cap a la diversificació de les fonts energètiques introduint, a escales importants, les fonts d'energia renovables, que de sempre s'havien emprat (com es veurà en l'apartat 3.3) i que van ser abandonades per motivacions polític-estratègiques.

Aquestes decisions polític-estratègiques, la majoria de vegades han estat emascarades com si fossin decisions tècniques i/o econòmiques, com es pot veure en la constatació de dos fets significatius (Percebois, J., 1981).

El primer és que la competitivitat econòmica no és suficient per imposar una font d'energia: la nuclear s'imposa, però és competitiva?; en canvi la solar, que ja és competitiva avui, no s'imposa.

El segon fa referència a quins són els límits dels criteris de competitivitat. El cas nuclear és exemplar en aquest aspecte: hom comptabilitza les despeses de construcció (actualitzant-les), les de manteniment (fent unes hipòtesis determinades de funcionament: 20 anys de vida, factor de càrrega del 60-70 %, el nombre de kWh que produeix, etc.), les de combustible. Però si es suposen altres criteris: producció diferent, comptabilització de tots aquells elements insuficient o no comptabilitzats (retractament del combustible, seguretat, desmantellament de la central, recerca militar, etc.), factors de càrrega més realistes, etc., la situació pot ésser molt diferent.

Evidentment aquestes dues vies - la d'aquells que s'aferren a la nuclear, i la d'aquells que obren la porta que havien tancat a les energies renovables - no difereixen gran cosa ja que tenen en comú la manera com defineixen el problema energètic, perquè segons com es planteja, la qüestió tindrà una forma concreta d'abordar-la. I la forma de plantejar-la és més o menys, la següent:

"com augmentar els subministres d'energia a partir de fonts segures i a l'abast, per tal de cobrir la demanda projectada?". (Lovins, A.B., 1979)

L'única diferència entre les dues vies és que en tant en quant més estem ficats en la primera via, més difícil serà de sortir-ne, (en cas de voler modificar l'estructura energètica), com reconeix el propi I.N.I. (Cardona, J.L., 1981); en canvi la segona via és més ambivalent.

Així, mentre la primera via condueix, sense cap mena de dubtes, a "l'especialització de les funcions, a la institucionalització dels valors i a la centralització del poder, fent que la persona esdevingui un accessori de les burocràcies o de les màquines" (Borremans, V., 1979), continuant un procés descrit per persones com Bosquet-Gorz (1975 i 1977), Illich (1971, 1972, 1973 i 1980), Schumacher (1973 i 1980), Commoner (1976 i 1978), etc.; la

segona via pot menar be cap a la ja descrita, bé pot "eixamplar l'abast de les capacitats de les persones, el seu marc de control i iniciativa, limitat solament pel dret de tota persona a un marc igual de poder i de llibertat" (Borremans, V., 1979).

Que és possible cobrir les necessitats energètiques del món mitjançant les fonts d'energia renovables, comença a ser opinió comú en cada vegada més amplis cercles, com ho demostra la inflació de publicacions referents al tema, inclús en revistes com I.E.E.E. Spectrum, que no poden pas ésser titllades d'ecologistes (Rowe, W.D., 1982).

2.4 UN ALTRE FUTUR ?

Hi ha no obstant una altra forma de plantejar el problema energètic (Lovins, A.B., 1977; Taylor, V., 1979). I és aquesta:

"Com arribar a cobrir unes necessitats finals heterogènies amb el mínim d'energia (i d'altres recursos) i de la forma més escaient per a cada tasca ?".

Plantejar així el problema vol dir (Lovins, A.B., 1979):

- reexaminar l'estructura dels usos finals i la seva eficiència termodinàmica,
- les necessitats energètiques són majoritàriament en forma de calor i fluids a diferents temperatures,
- aquestes necessitats poden aparentment ser cobertes de forma més fàcil, ràpida i econòmicament per mitjans directes que no amb electricitat,
- les fonts d'energia renovables actualment comprovades són apropiades als usos finals i són, sens dubte, superiors a la producció centralitzada d'electricitat i als combustibles sintètics, per a aquelles finalitats, seguint criteris clàssics econòmics i tècnics,
- una política coherent basada en un gran augment de l'eficiència dels usos finals, un ràpid desplegament de fonts d'energia renovables adequades als usos finals, i tecnologies de transició usant combustibles fòssils, pot arribar a esquivar molts dels problemes de la política seguida tradicionalment,

- aquestes vies energètiques dites toves, per contraposició a les dures, mereixen estudis a nivell nacional i/o comarcal-local.

Alguns resultats preliminars ja s'han fet públics en molts països, referents a l'aplicació de la metodologia descrita a l'anàlisi de les necessitats energètiques del país. Majoritàriament han estat realitzats de forma no oficial. Els més destacables poden ser:

- * "The Easy Path Energy Plan", (Taylor, V., 1979 a),
- * "Energy Strategies: Toward a Solar Future", (Kendall; H.W, et al., 1980),
- * "Solar Sweden: an outline to a Renewable Energy System", (Todd, R.W. and Alty, C.S.N., editors, 1977),
- * "A Low Energy Strategy for United Kingdom". (Leach, G., et al., 1979),
- * "Projet Alter: étude d'un avenir energetique pour La France axésur le potentiel renouvelable", (Groupe de Bellevue, 1978),
- * "Energy Supply without nuclear power and oil for the Federal Republic of Germany", (Okò Institut, 1980),
- * "Zero Energy Grow for Canada", (Brooks, D.B., 1981).

Que aquesta forma d'abordar el problema energètic continui perllongant la tendència de la societat actual en disminuir l'autonomia de les persones i de les comunitats, o bé ens faci més planer el camí vers el que Illich (1973) i Borremans (1979) anomenen societat convivencial és una qüestió que no es pot pas resoldre de forma acadèmica, és una qüestió que ens interessa a tots, ja que el futur és una cosa massa important per deixarnos-el arrabassar. El que sí sembla cert és que per la seva mateixa naturalesa, les energies renovables, estan disperses i el seu aprofitament no necessita de tecnologies tant complexes com la nuclear.

La dispersió, considerada per l'industrialisme com un inconvenient, és mirada cada vegada amb més bons ulls, doncs pot afavorir la tendència cap a la descentralització i pot augmentar el poder de les comunitats locals, coses que la societat postindustrial necessita i demana (Coty, G.F., 1981).

En quant a la tecnologia, falta per veure, i això sí que seria objecte d'una tesi de recerca convencional (Borremans, V., 1979), quin és el llindar crític de les tecnologies per aprofitar els recursos energètics renovables, a partir del qual afectarien i trastocarien negativament la cultura, l'estructura social i la distribució del poder polític de la comunitat que les empra.

Un fet, potser simptomàtic de la tendència descentralitzadora de l'ús de les energies renovables és la proliferació d'iniciatives locals, pel que fa a l'energia, en algunes regions del món considerades com avançades, on cada vegada són més els "Estudis Energètics", "Plans d'Acció Energètica", "Iniciatives Energètiques", etc., a nivell local (New Alchemy, 1979; Courriet, K. et al., 1980; Schaefer, E. and Benson, J., 1980; Waever, D. et al., 1981; NACR, 1981; Tomasi, T., 1982; Swisher, R., 1982; Morris, D., 1982).

2.5 L'ENERGIA EÒLICA EN EL CONTEXT MUNDIAL

La dècada dels anys 70 passarà probablement a la posteritat com aquella que va contemplar el reconeixement d'unes màquines que gairebé tothom creia arraconades a l'armari de la història. Aquestes màquines eren, ni més ni menys, les popularment anomenades "molins de vent".

Ha estat a partir de l'any 1973 quan les administracions estatals de diferents països (encapçalats sense cap dubte pels E.U.A.) s'han llençat pel camí que mena a l'aprofitament de la força dels vents, amb la finalitat de produir energia, sobretot elèctrica, i a gran escala.

¿Què havia ocorregut perquè es reprenguessin molts treballs iniciats a principis de la dècada dels anys 50 i que aleshores van ser abandonats, a despit de què

"L'energia eòlica està mostrant ara possibilitats d'aplicació comercial",

i que

"ha arribat l'hora d'aplicar l'energia eòlica de variades formes", (Anònim, 1953)

i quan s'afirmava

"En matèria d'aeromotors, no es tracta pas d'inventar, sinó solament de construir i posar a punt" (Lacroix, G., 1949),
i quan el degà d'enginyeria del M.I.T., Vannevar Bush, escriu en la introducció al llibre "Power from the Wind" :

"La gran aeroturbina que hi ha sobre la muntanya de Vermont ha demostrat que l'home pot construir màquines que generin sincrònicament electricitat en grans quantitats mitjançant l'energia eòlica. També ha demostrat que el cost de l'electricitat produïda és proper al cost de la produïda pels mètodes convencionals més econòmics. I des d'ara ha demostrat que en un futur no llunyà les cases podran ésser il·luminescents i les fàbriques podran funcionar per mitjà d'aquesta nova tecnologia" (Putnam, P.C., 1948) ?

¿Quins van ésser els motius perquè moltes companyies elèctriques, entre elles la "North of Scotland Hydro-Electric Board", abandonessin les experiències en el camp de l'energia eòlica, a despit dels progressos assolits, quan afirmaven:

"La Hydro Board ha començat la construcció (d'un aerogenerador) per adquirir l'experiència pràctica fonamental, sense la qual la Gran Bretanya no podrà arribar a ésser fabricant de molins de vent comercials" (Venters, J., 1950)
i quan en el mateix Estat Espanyol, el President de la "Comisión Nacional de Energías Especiales" escrivia:

"Actualmente existen prototipos de instalaciones eólicas cuya construcción en serie permitiría iniciar la explotación industrial de la energía del viento" (Blanco Pedraza, P., 1961).

La resposta qui sap si caldria cercar-la en el camí apuntat per la revista "Engineering", organ de la professió tècnica anglesa, quan deia, amb motiu del trasllat de l'aerogenerador Endfield-Andreau a Algèria:

"La exitosa aplicació, en el Regne Unit, de l'energia nuclear a la generació d'electricitat ha desviat una mica l'interés oficial en les possibilitats de l'energia eòlica com una font

alternativa per a la producció d'energia elèctrica". (Anònim, 1958)

Aquesta petita desviació ha representat més de 20 anys en la majoria de països.

Ha estat necessari que s'iniciés l'anomenada "crisi de l'energia" i que l'energia nuclear presentés problemes, perquè molts països reprenguessin les recerques abandonades als anys 50, tot i que, ja a l'any 1956, alguns tècnics ja explicaven les raons per les quals, aleshores, hom tenia interès en l'aprofitament de la força del vent. Així en una conferència pronunciada en els locals del "Patronato Juan de la Cierva de Investigaciones Científicas a Madrid, per E. W. Golding hom podia escoltar:

"Entre las razones por las cuales más de 50 países han expresado su interés por la energía eólica, a través de su correspondencia con el Departamento de Electrificación Rural y Energía Eólica de la "Electrical Research Association", las más dignas de destacarse son:

- * El coste elevado de los combustibles utilizados en la producción de energía y el ritmo creciente de su consumo;
- * El rápido incremento de la demanda de energía eléctrica en casi todo el mundo;
- * La actual situación internacional que anima a los países a hacerse independientes económicamente, en lo que afecta a importaciones de carburantes;
- * Los progresos de la aeronáutica, que lógicamente sugieren nuevas técnicas en la construcción de aeromotores." (Golding, E. W., 1956)

Llàstima que aquestes veus no fossin escoltades en el seu temps, i ara, 25 anys més tard, el preu dels combustibles fòssils continui pujant i molts països siguin plenament dependents de les seves importacions.

2.5.1 El Programa Eòlic Nordamericà

El programa de recerca en Energia Eòlica va iniciar-se pròpiament l'any 1973 com una part del Programa d'Energia Solar del RANN - Research Applied to National Needs -.

El Govern Federal Nordamericà va impulsar l'esmentat programa vers dues direccions: a) màquines eòliques grans (per sobre de la centena de kW) i b) màquines eòliques petites (per desota dels 100 kW).

Els objectius que persegueix el Programa Eòlic Federal són:

- * fer de l'energia eòlica una alternativa tecnològica a altres formes d'energia,
- * prosseguir una cursa que tindrà com a resultat la producció de quantitats significatives d'energia elèctrica,
- * crear una indústria competitiva que produeixi aeroturbines,
- * continuar els esforços per reduir els costos dels sistemes eòlics i assegurar la producció de màquines segures i confiablès.

Els diners que el Departament d'Energia (DOE) ha volcat en el Programa d'Energia Eòlica han seguit l'evolució temporal que es mostra a continuació (Wind Energy Report, oct. 1981):

<u>Any fiscal</u>	<u>Milions de \$</u>
1973 - 74	1.8
1975	7.9
1976	14.4
1977	27.6
1978	35.5
1979	59.6
1980	63.4
1981	54.2
1982	19.3 - 39.5
1983	14.0

Com es pot observar, a partir de la pujada de R. Reagan a la presidència dels E.U.A., es produeix una retallada important dels pressupostos dedicats a les energies renovables, entre elles l'eòlica. Així l'any 1982, mentre

la proposta del president era dedicar-hi 19.3 milions de dòlars, la cambra de representants vol dedicar-n'hi 39.5 .

El Programa Eòlic Nordamericà està estructurat a partir dels organismes següents:

- * "Solar Energy Research Institute, SERI", que coordina les tasques referents als Sistemes Eòlics Innovadors,
- * "National Aeronautic and Space Administration, NASA", que coordina les activitats que fan referència als Sistemes Convertors d'Energia Grans i Mitjans.

Pel que respecta al camp d'activitats referents a Sistemes Convertors Petits i valoració de dades, hi intervenen els organismes següents:

- * "Rocky Flats Plant" (S. C. E. E. petits),
- * Departament d'Agricultura (estudis i proves),
- * "Pacific Northwest Laboratories" (característiques del vent),
- * "Sandia Laboratories" (S. C. E. E. d'eix vertical tipus Darrieus).

Tots aquests organismes, estan molt afectats, actualment per les retallades dels presupostos realitzades per l'equip Reagan.

No obstant, el Programa Eòlic Nordamericà ja està donant el seu fruit com es veurà a continuació, per assolir els objectius de la "Wind Energy Systems Act", signada per Carter a finals de 1980 i que preveia tenir instal·lats 800 MW eòlics (any 1988), dels quals 100 MW eren amb SCEE petits (any 1986) i arribar a produir 500 GWh eòlics l'any 2000. (Wind Energy Report, 11/1979 a)

2.5.1.1 Els Grans Sistemes Convertors d'Energia Eòlica -

La direcció del Programa de Grans S. C. E. E. la porta la NASA a través del Centre de Recerca Lewis (LeRC) a Cleveland (Ohio).

Era el mes de novembre de l'any 1974 quan l'Administració Nacional d'Aeronàutica i de l'Espai - NASA - i la Fundació Nacional de la Ciència - NSF - anunciaren els contractes amb dues indústries.

La primera realització va ésser l'anomenat MOD-0 que va instal·lar-se a la zona de proves que el LeRC té a Plumbrook, a les afores de Cleveland.

Les característiques de la darrera versió d'aquesta màquina, es poden veure en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya" en la fitxa normalitzada corresponent al MOD-0.

Des de la seva posta en marxa, durant el mes de setembre de 1975 ha estat un veritable banc de proves de tots els components bàsics dels S.C.E.E. Ha contribuït a la validació de diverses eines d'anàlisi (estructural, elèctric, de funcionament, ...), al desenvolupament de procediments de control i operació, a la simulació exitosa dels S.C.E.E. de la primera i segona generació, a l'experimentació tecnològica d'elements clau dels S.C.E.E. (Posicionat "upwind / downwind" del captador, eix rígid / articulad, torre de suport flexible / rígida, control de la potència, esmorteïment dels mecanismes de transmissió, diversos perfils de pales i diferents materials, captadors amb 1 / 2 / 3 pales, ...). També ha servit per experimentar els efectes de la sincronització d'un S.C.E.E. en les xarxes de distribució d'electricitat (Thomas, R.L., et al., 1977; Glasgow, J.C. et al., 1978; Gilbert, L.J., 1977; Puig, J. 1981).

El següent pas va ésser la instal·lació de 4 S.C.E.E. de 200 kW cadascún, coneguts amb el nom de MOD-OA, a Clayton (NM), a l'illa Culebra (Puerto Rico), a Block Island (RI) i a Kuhuku Point (Hawaii).

L'objectiu perseguit per la instal·lació d'aquests MOD-OA és guanyar experiència amb una màquina eòlica que estigui integrada en un sistema elèctric convencional. Això es pensava assolir mitjançant l'avaluació del seu funcionament al llarg de 2 anys, la verificació de les característiques de disseny, la identificació dels problemes associats amb els S.C.E.E. i la resolució dels mateixos, l'avaluació de la confiabilitat de la màquina, la determinació de si els S.C.E.E. poden ser manejats per les companyies elèctriques i l'observació de la reacció del públic vers els S.C.E.E.

Les característiques d'aquestes quatre màquines es poden consultar en les corresponents fitxes normalitzades, que s'han incluit en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

La primera màquina de la sèrie MOD-OA es va aixecar a Clayton, i va començar a girar el 30/11/1977, havent completat les primeres 100 hores d'operació el 19/1/1978. El 6/3/1978 va començar a ser manejada per la companyia elèctrica i el 24/5/1978 havia completat 1000 hores de funcionament i produït 94000 kWh. El 25/2/1980 portava 6052 hores funcionant i havia produït 548 MWh.

Clayton és una ciutat de 3000 habitants, situada a la punta N.E. de l'estat de New Mexico, que té un consum anual de 15000 MWh i un promig de potència de 2.8 MW amb una punta de 3.8 MW. La velocitat mitjana del vent a l'alçada de l'eix del rotor del MOD-OA és de 6.7 m/s.

La segona i tercera màquines de la sèrie MOD-OA, van ésser instal·lades a l'illa Culebra (juny 1978) i a Block Island (maig 1979). La darrera de la sèrie s'ha instal·lat a l'illa Oahu de les Hawaii (maig 1980).

El principal contractista d'aquestes màquines de la sèrie MOD-OA va ser la "Industry Services Division" de la "Westinghouse Electric Corp.", havent fabricat les pales la "Lockheed Aircraft Service Co." (les d'alumini) i "Gougeon Brothers" (les de fusta laminada).

La producció elèctrica de les quatre màquines MOD-OA, el temps de funcionament i la potència mitjana eren fins el 18/9/1981, les següents:

	Temps (h)	Energia (MWh)	Potència (kW)
Clayton	10.261	871	85
Culebra	5.639	502	89
Block Island	5.882	453	77
Oahu	6.813	1.014	149

El projecte dels MOD-OA ha subministrat valuosa informació. Les 4 màquines han funcionat més de 28000 hores i han generat més de 2800 MWh d'energia elèctrica. S'han verificat els sistemes elèctrics, mecànics i estructurals. Amb algunes modificacions (tant de "hardware" com de "software") introduïdes, les 4 màquines estan assolint les característiques de disseny. El personal de les companyies elèctriques que les manegen realitzen les operacions de manteniment i d'operació. L'acceptació per part del públic i per part de les companyies ha estat positiva (Richards, T.R., et al., 1978; Glasgow, J.C., et al., 1979; Reddoch, T.W., et al., 1979; Andersen, T.S. et al., 1980; Puig, J., 1981).

La primera màquina eòlica americana de potència superior a la de 1250 kW. que havia funcionat els anys 40 a Vermont, va ésser el MOD-1. Té una potència de 2000 kW. i s'ha instal·lat a Howard's Knob, al costat de Boone (NC). Va començar a funcionar l'11/7/1979.

El MOD-1 ha estat dissenyat i construït per "General Electric Space Division" havent construït les pales la "Boeing Engineering and Construction Co."

Aquest SCEE subministra energia a una xarxa local amb 32000 usuaris de la "Blue Ridge Electric Membership Corp.", que és la companyia elèctrica encarregada de la seva operació. A primers de març de 1980 havia completat els primers sis mesos de funcionament i produït 35 MWh., havent arribat ja a la seva màxima potència.

Va estar construïda per adquirir experiència amb màquines eòliques del tamany del megawat i és una versió en gran del MOD-OA.

Al cap de poc temps d'estar en funcionament, persones que residien a prop d'on el molí esta instal·lat, és van queixar dels sorolls i vibracions que produïa. Aquest fet va ésser ampliament divulgat en la premsa (Wind Energy Report, abril 1980).

Immediatament es va crear un equip per a identificar el problema i analitzar les seves causes. El resultat va ser que el soroll produït era degut a l'efecte d'interferència del rotor amb la torre. Si bé, ni en el MOD-0 ni els MOD-OA s'havia apreciat aquest problema, en el MOD-1, en tenir la velocitat a la punta de la pala un 45 % més gran que els MOD-0, produïa els sorolls audibles. La solució va ésser reduir la velocitat de rotació a 23 r.p.m. (la velocitat

original era 35 r.p.m.). De cara al futur la solució semblava utilitzar SCEE amb el rotor "upwind" en comptes de "downwind" per evitar aquests problemes (General Electric, 1979; Spera, D.A., 1979; Puthoff, R.L. et al., 1980; Puig, J. 1981).

Durant el mes de gener de 1981, es van trencar uns cargols de la subjecció pales-eix i la màquina restava avariada a l'octubre de 1981 esperant una decisió del DOE (Wind Energy Report, oct. 1981b).

Les característiques d'aquesta màquina estan descrites en la fitxa normalitzada corresponent, a l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

La segona generació de SCEE americans es va iniciar amb l'anomenat MOD-2, de 2.5 MW. de potència.

Tres màquines d'aquesta generació es van aixecar a Goodnoe Hills, Goldendale (WA), al nord del riu Columbia, durant el darrer trimestre de l'any 1980.

El contracte de construcció de les tres màquines va ser adjudicat a Boeing, i els requeriments que la NASA va imposar eran: un rotor que tingués un diàmetre mínim de 3000 ft. (91.4 m.), una potència nominal de l'ordre d'algún MW., que pogués funcionar en zones amb velocitats de mitjanes de vent de 6.36 m/s (a 9.14 m. d'alçada), que l'energia produïda ho fos a un cost comprès entre 2 i 4 c/kWh (\$1977 i per 100 unitats), una vida de 30 anys, i ésser un SCEE d'eix horitzontal.

Les principals innovacions introduïdes respecte als SCEE de la primera generació eran: rotor articulad, variació de l'angle de la pala només en la part perifèrica, torre d'acer cilíndrica amb base cònica, multiplicador epicíclic.

Les característiques d'aquestes màquines, MOD-2, estan en la fitxa corresponent, en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

Les dates de sincronització a la xarxa d'aquestes tres màquines van ser: 22/12/1980, 7/4/1981 i 19/5/1981 respectivament.

Amb data del 8/6/1981 els primers resultats obtinguts eren :

	temps operació h.	energia generada MWh.	temps sincronització h.
unitat 1	107	99.4	84
unitat 2	122	138.0	113.5
unitat 3	19	23.7	18.5

El 8 de juny de 1981, durant una maniobra de parada d'emergència, les puntes de les pales no van maniobrar correctament (estaven a 3 graus), tenien que girar a 4 graus/segon i ho van fer a 2 graus/segon i al cap de 2 segons es van aturar. Es va desconnectar la càrrega elèctrica del generador i el rotor es va accelerar fins assolir una velocitat de 29.3 r.p.m. en 28 segons, temps suficient per danyar alguns components (generador i eix). Després les puntes de les pales van continuar el seu interromput moviment i van aturar el rotor en 5 revolucions. La raó que s'ha donat per explicar aquest mal funcionament de la unitat 1, ha estat que l'oli dels actuadors contenia massa impureses, lo que va afectar als actuadors impeding la seva correcte maniobra (Boeing, 1979; SERI, 1980; Bonneville P.A., 1981; Lindscott, B.S. et al., 1981; Seely, D.B., 1981; Puig, J., 1981).

A despit d'algún altre problema plantejat, aquests 3 SCEE continuan normalment el seu període de prova 1981-1982.

Una quarta màquina, idèntica al MOD-2, ja s'ha instal·lat a Medicine Bow (Wyoming) i una cinquena a Solano County (California) per formar part d'unes "granjes" o "parcs" eòlics més grans que el de Goodnoe Hills (Wind Energy Report, nov. 1980; Hoffman, D., 1982).

Els darrers SCEE que la NASA ha contractat són el MOD-5A i el MOD-5B. El primer el construeix General Electric i el segon Boeing ambdues de potències per sobre dels 4 MW.

Les característiques de disseny dels MOD-5 es troben en les fitxes normalitzades que hi han en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

A més a més del Programa Oficial del DOE-NASA, altres entitats han començat a instal·lar i operar grans SCEE. Aquest és el cas de la "Southern California Edison", companyia elèctrica que va instal·lar una màquina de 3 MW. dissenyada per Schachle (Wind Power Products, Inc.) a San Geronio Pass (Califòrnia), una regió amb velocitats mitjanes de vent molt elevades. Les seves característiques que la diferencien de les màquines anteriors són : la torre giratoria sobre la seva base, la seva elevada velocitat nominal, tres pales de fusta laminada, mecanismes hidràulics e transmissió. Les altres característiques es poden consultar en l'anex corresponent. Formalment les proves d'aquesta màquina van començar a finals de l'any 1980 (Fung, K.T., 1980; Wind Energy Report, des. 1980; Szostak, J., 1980; Puig, J., 1981).

També el "Water Power Resources Service" del Departament de l'Interior nordamericà ha contractat a la Hamilton Standard per fabricar i aixecar un SCEE de 4 MW., anomenat WTS-4 (Wind Energy report, gen. 1980). Te pensat emprar-lo com "System verification Unit - SVU -" en el projecte hidro-eòlic que la dita Agència du a terme a Medicine Bow (Wyoming). Els tècnics del "Bureau of Reclamation" creuen que amb la gran capacitat d'emmagatzament hidràulic que hi ha a Medicine Bow, i el règim favorable de vents que tenen, la integració a gran escala de l'energia eòlica no representarà cap mena de problema (Wind Energy Report, feb. 1980; Bureau of Reclamation, 1981; United Technologies, 1981) A primers de juliol d'enguany ja estava instal·lada al seu lloc i a punt d'iniciar les proves.

Un altre projecte, anunciat conjuntament per "Mehrkam Energy Development" i "Metals Engineering Co.", és per a la instal·lació en la factoria que "Metals Eng." te a Leesport. Aquesta firma pensa reduir les seves despeses en el consum d'electricitat en un 85 % mitjançant l'electricitat generada per al màquina eòlica. Seria la primera experiència d'utilització de l'energia eòlica per el subministre industrial. Aquesta màquina (les característiques de la qual estan en la fitxa normalitzada corresponent, en l'anex), és una versió en gran d'una altre màquina de 225-240 kW. que ha funcionat, amb algunes irregularitats al Park d'Atraccions de Dorney (Pennsylvania). Si be la de 200 kW. te 4 pales, la gran de 2 MW. te previst tenir-ne 6 (Wind Energy Report, des. 1979a; Anònim, 1980).

Un altre fabricant de màquines de més de 100 kW. és "WTG Energy Systems Inc." que manufactura SCEE de 200 kW. i en te projectat un de 600 kW. N'hi ha 5 instal·lats arreu del món : 3 als E. U. A., un al Canadà i un al País de Gales (Wind Energy Report, nov. 1979; WTG, 1980); Szostak, J., 1980; Hoffman, D., 1981; Rose, M., 1981; Puig, J., 1981).

2.5.1.2 Els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica - Petits

La recerca i el desenvolupament de petits sistemes és manejat per el "Rocky Flats Wind Test Centre", el qual és operat pel Grup de Sistemes Energètics de la "Rockwell International Corp.", sota els auspicis del DOE.

Aquest centre, que està situat al sud de la ciutat de Boulder (CO), va iniciar les seves activitats l'any 1976.

El primer sistema que van provar era un Aerowatt francès (4 kW.) i des d'aleshores ha provat uns 25 SCEE comercials i 15 encara no comercialitzats.

Disposa d'una trentena de plataformes de prova, des-de l'any 1979 completament equipades per realitzar els assaigs necessaris per conèixer les prestacions del SCEE. Té un sofisticat sistema d'adquisició de dades (digital/analògic), basat en un ordinador connectat a microprocessadors.

L'any 1977 va concedir el primer subcontracte (d'un total de 13) per a desenvolupar SCEE de fins a 100 kW. de potència.

La majoria d'aquests SCEE ja s'han desenvolupat i s'estan provant: Aerospace (1 kW.), Enertech i NorthWind (2 kW.); Tumac i NorthWind (4 kW.); United Technologies, Windworks, Grumman i Alcoa (8 kW.); Enertech i United Technologies (15 kW.); Kaman i McDonell (40 kW.).

Aquest Centre subministra dades sobre els SCEE existents al mercat (Rocky Flats, 1981), dades sobre SCEE que s'han provat en el Centre (Rocky Flats, 1980a, 1981a), informació als futurs usuaris de l'energia eòlica (Rocky Flats, 1980), etc., ja que entre els seus objectius destaca la introducció i la utilització de l'energia eòlica el més aviat possible.

L'any 1978 va iniciar una sèrie de recerques especialitzades i projectes tecnològics per donar a la indústria models analítics i eines de disseny: avaluació i predicció de càrregues estructurals estàtiques i dinàmiques, prova de les característiques del rotor, desenvolupament de tècniques de predicció de fatiga, avaluació de components específics, anàlisi dels efectes

d'interferència acústica i electromagnètica (Rocky Flats, 1980b).

Alguns dels SCEE provats al Centre de Rocky Flats tenen la seva corresponent fitxa de característiques, que es pot consultar en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

Actualment als E.U.A. hi ha més d'una trentena de fabricants de SCEE petits, algú dels quals fabrica 1000 unitats al mes (Srostak, J., 1980).

2.9.1.3 Els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica - d'eix vertical

Als E.U.A. els esforços per desenvolupar SCEE d'eix vertical (que ja havien estat patentats pel francès G. J. M. Darrieus a l'any 1926) s'iniciaren l'any 1973 als Laboratoris Sandia, Albuquerque (NM), sota la financiació del DOE.

Algunes màquines de diferents dimensions es construïren com a prototipus : de 2 m. de diàmetre la primera, que va deixar pas a una de 5 m. de diàmetre (corda del perfil 15.3 cm.), i a una de més gran de 17 m. de diàmetre (corda de 53.3 cm.). Aquesta darrera tenia una potència de 50 kW. amb vent de 13.6 m/s. (Braasch, R. H., 1978; Sandia, 1981).

Els Laboratoris Alcoa que subministraven els perfils d'alumini d'extrussió, amb els quals Sandia montava els prototipus, van augmentar una mica les dimensions del perfil (fins arribar a una corda de 61 cm.) amb lo qual ara la mateixa màquina tenia una potència de 60 kW.)

Durant l'any 1978, Alcoa va guanyar un contracte amb el DOE per dissenyar un SCEE d'eix vertical de baix cost. El resultat fou una màquina que té un rotor de 25 m. d'alçada i un diàmetre de 17 m., amb una corda del perfil de 61 cm.

Es construïren 4 màquines d'aquestes dimensions que s'han instal·lat al Centre de Proves de Rocky Flats (agost 1980), al Centre de Proves del Departament d'Agricultura a Bushland (desembre 1980), a Martha's Vineyard (febrer 1981) i una quarta que a l'estiu de 1981 encara no estava decidit el lloc d'instal·lació.

Les experiències continuaren al centre de Proves Alcoa (PA) i culminaren amb la construcció d'un prototipus de 300/500 kW., amb un rotor de 37.5 m. d'alçada i 25 m. de diàmetre (juny 1980).

Una màquina d'aquestes dimensions es va instal·lar a Agate Beach (OR) al desembre de 1980, formant part d'un projecte de recerca conjunta amb la "American Public Power Association" i 17 companyies elèctriques municipals, cooperatives elèctriques rurals i "People 's Utility Districts". La companyia elèctrica amfitriona, la "Central Lincoln People 's Utility District", ha integrat aquesta màquina en la xarxa elèctrica de l'Estat d'Oregon (Wind Energy Report, jun.1979; Vosburgh,P., 1979, 1979a i 1981; Puig,J., 1981).

Una segona màquina, igual a la ja citada, es va instal·lar el mes de febrer de 1981 en una zona desèrtica, a prop de Palm Springs, a San Geronio Pass. Era un projecte conjunt amb la "Southern California Edison". Durant el mes d'abril i amb un vent de 18 m/s es va accelerar i en trencar-se un cargol de la subjecció inferior d'una de les tres pales, en separar-se la pala de l'eix va trencar un dels tirants que aguantava el conjunt, amb lo que tota la màquina va caure. Tot va ocórrer en 39 segons. L'accident va ser provocat per un error en la programació del microprocessador que mana l'engegada i la parada de la màquina (Wind Energy Report, abr.1981b; Phillips,N., 1981).

Ja anteriorment una màquina de 17 m. s'havia destruït en el Centre de Proves Alcoa al 21 de març de 1980.

Aquest fet i altres circumstàncies han fet que Alcoa abandonés el camp dels SCEE d'eix vertical, creant-se, amb persones del seu departament eòlic, una altre empresa, Forecast Inc. per continuar la tasca abandonada per Alcoa (Wind Energy Report, feb.1982b; Hoffman,D., 1982).

Actualment als E.U.A. hi ha 3 grups que manufacturen SCEE d'eix vertical, 2 de gran potència (Forecast i Flowind) i un de petita potència (Tumac).

Recentment una nova màquina de 27.5 m. d'alçada ha entrat en funcionament a "Black Angus Ranch", Ellensburg (WA), essent inaugurada oficialment el 29 de juliol de 1982.

2.5.2 El Programa Eòlic Danès

Dinamarca tot i essent un país molt afavorit pel vent i que endemés ja posseïa una gran experiència en la utilització de SCEE de tota mena, no va ésser l'Administració qui va ressucitar els vells i abandonats molins de vent, sino que foren els mestres de les Escoles Tvind quan decidiren la construcció d'un gran molí per al subministre de l'energia necessària al funcionament de l'Escola.

L'any següent d'iniciar-se l'anomenada "crisi de l'energia", el 1973, l'equip de professors de Tvind decidiren fer quelcom constructiu per millorar el seu propi subministre d'energia i col·laborar amb un element pràctic i contundent en el debat antinuclear.

Un dels principals motius que els va fer prendre una decisió d'aquesta mena va ésser l'enorme quantitat de diners que gastaven per la calefacció (utilitzaven fuel-oil). Unes 300000 DKr/any.

L'equip responsable del projecte va iniciar les seves tasques el 19 de maig de 1975. La construcció va començar el 29 de maig quan s'ajuntaren unes 300 persones per iniciar l'aplanament del terreny on es construiria el molí.

La major part de les persones que van participar en la seva construcció tenien en comú el no haver fet mai cap SCEE gran. Hom va cercar el concell i l'assistència de tècnics i de companyies especialitzades, professors d'universitat, etc.

Amb molta empena i un gran entusiasme el posaren en funcionament el mes de març de 1978 (no va ésser fins un any i mig més tard quan els americans iniciaren l'operació del MOD-1, de semblant potència).

Les característiques principals d'aquest SCEE estan aplegades en la corresponent fitxa normalitzada que s'inclou en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

Un fet destacable d'aquesta experiència és el seu baix cost (6.5 milions de DKr.), l'autofinançament per part de les escoles, sense cap ajut oficial i l'ús de components de recuperació (multiplicador, generador,....).

Encara avui el molí de Tvind, tot i que funciona en règim limitat a 900 kW. de potència (la meitat destinada a conversió tèrmica i la meitat a elèctrica), degut a problemes tècnics relacionats amb la torre de formigó, representa el símbol del renaixement dels molins de vent a l'època actual, doncs ha estimulat a les administracions estatals de diferents països (E.U.A., Dinamarca, Suècia, R.F.A., Holanda, etc.) a emprendre el camí de l'aprofitament de la força del vent (Tvind, 1980).

Com a conseqüència del bon ritme que anaven els treballs de Tvind i de les intenses campanyes de propaganda de les organitzacions antinuclerars i pro-energies renovables (O.D.A.'s Folkepeje, 1979), el Ministeri de Comerç i les empreses elèctriques van iniciar l'elaboració d'un Pla Eòlic.

Aquest programa es va iniciar l'any 1977 i és coordinat pel D.E.F.U. (Associació per a la Investigació d'empreses daneses de subministrament d'energia elèctrica), després de que l'Acadèmia Danesa de Ciències Tècniques publicàs alguns informes sobre l'ús de l'energia eòlica (ATV, 1975 i 1977).

Constava de les següents tasques :

- realitzar mesures en el molí de Gedser que, construït l'any 1957, va funcionar ininterrompudament fins l'any 1967. Després d'estar 10 anys aturat, va tornar a ésser posat en funcionament des d'el mes de novembre de 1977 fins el mes de març de l'any següent (Lundsager, P. et al., 1980),
- construir dos SCEE de 630 kW. cadascún, a Nibe,
- la recerca de llocs escaients per a la instal·lació de SCEE i la investigació de les possibilitats de l'energia eòlica respecte del sistema danés de subministrament elèctric.

Conjuntament amb la col·laboració del Ministeri Danés d'Energia es construïren els dos SCEE de Nibe durant 1979-1980. Es diferenciaven únicament pel tipus de rotor utilitzat. Al juny de 1979 el primer prototipus va començar a girar i fou connectat a la xarxa el setembre. El segon fou acabat de construir l'abril de 1980, essent connectat durant el mes d'agost del mateix any (Pedersen, B.M. i Nielsen, P., 1980).

Nibe-A ha funcionat 845 hores produint 152 MWh. (potència promitja 180 kW.) essent aturat el novembre de 1980. Nibe-B va funcionar 932 hores produint 183 MWh. (potència promitja 196 kW.) i es va uturar el maig de 1981.

Durant el trienni 1981-1983 es dedicaran 29.8 milions de DKr. a l'energia eòlica, 17.4 van destinats a SCEE grans i 12.4 a SCEE petits.

Amb l'experiència guanyada amb aquestes dues màquines experimentals, el grup industrial que havia construït les pales, actualment comercialitza SCEE de 265 kW. de potència, que tenen endemés un altre generador de 60 kW. per augmentar l'eficiència (Wind Energy Report, oct. 1980).

Les principals característiques dels SCEE de Nibe i del SCEE de 265 kW. (D.W.T.) estan incloses en les fitxes normalitzades que hi ha en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

Paralelament el Ministeri d'Energia va finançar un Projecte de SCEE petits, que és dirigit pel Laboratori Nacional Riso. Durant el bienni 1979-1980 va ésser dotat amb un pressupost de 5.5 milions de DKr. La tasca principal de l'esmentat projecte va ésser l'establiment (construcció i posada a punt) d'una Planta de Proves de Petits SCEE.

Aquesta Planta està situada a la costa SE de Dinamarca, a prop de Roskilde i va ésser oberta l'any 1978. Te actualment 10 plataformes de prova i en el transcurs de l'any 1982 te previst provar 13 SCEE de petita potència, per dessota de 100 kW. Te una finançació anyal de 1100000 dòlars. Les proves dels SCEE es realitzen sense suposar cap despesa pel fabricant, ja que les màquines es llogan durant el temps necessari per a la realització dels assaigs. Una vegada acabades les proves es publica un informe amb els resultats. Paralelament el Riso ofereix tasques de consultoria gratuïtes als projectistes de SCEE (Petersen, H., 1980).

Actualment a Dinamarca hi ha 20 empreses privades que estan desenvolupant i fabricant diferents tipus de SCEE, havent-hi aproximadament unes 500 instal·lacions eòliques produint electricitat i calor (Ministry of Energy, 1981).

2.5.3 El Programa Eòlic Canadenc

El fet més destacable del programa eòlic canadenc és que està basat majoritàriament en SCEE d'eix vertical, els quals van ser dissenyats pel francès Darrieus l'any 1926.

A mitjans dels anys 60, els enginyers Peter South i Raji Ranji del "National Research Council - NRC -", reinventaren aquelles màquines, començant la construcció d'una d'aquelles característiques l'any 1974.

No obstant, l'energia eòlica, no va ésser oficialment apoiada fins mitjans de l'any 1977, quan es constituïren les Branques de Conservació de l'Energia i d'Energies Renovables dins del Departament d'Energia, Mines i Recursos (EMR). Aquest fet va permetre una gran expansió de l'energia eòlica al Canadà, i avans de produir-se, només en P. South, en R. Ranji i en Jack Templin, dins de la NRC, es dedicaven a potenciar-la, havent-se convocat un concurs, l'any 1974, per el disseny i construcció d'un SCEE tipus Darrieus d'1 kW. Dels 9-10 grups que s'hi presentaren, fou adjudicat a DAF-Indal (Szostak, J., 1980).

L'interés mostrat pel EMR va permetre la construcció d'una màquina gran. Amb 37 m. d'alçada i 24 m. d'amplada, va ésser aixecada a l'Illa Magdalena, al Golf de Sant Llorenç. Podia produir més de 200 kW. Construïda per DAF-Indal, va començar a funcionar el 18 de maig de 1977. Hydro-Quebec era qui s'encarregava del seu funcionament. Degut a un seguit de circumstàncies (el frè mecànic en reparació i avaria del frè aerodinàmic), el 6 de juliol de 1978 la màquina es va embalar fins la seva destrucció. No obstant va tornar a ésser reconstruïda i a finals de 1979 tornava a funcionar.

Com sigui que diferents empreses elèctriques mostraven interés en l'energia eòlica, en el transcurs de 1977, es plantejaren quin seria el tamany óptim de la màquina per iniciar un programa de demostracions. Escolliren màquines d'una cinquantena de kW. de potència, per ser suficientment petites (facil instal·lació) i suficientment grans (per obtenir dades significatives).

La primera es va instal·lar a Hollyrood, Manitoba (1978), la segona a Swift Current, Saskatchewan (1979), la tercera i la quarta a Christopher Point, Columbia Britànica i Churchill, Manitoba (1980). Costaven 100000 dòlars canadencs i eran finançades per les companyies elèctriques.

Paralelament a aquestes experiències va estar funcionant un programa de màquines Darrieus petites (entre 700 W. i 2.5 kW.). Construïdes per la Bristol, han estat dissenyades per utilitzar-se en llocs aïllats, on només s'hi vagi una vegada l'any. S'empren per carregar bateries per a l'alimentació de repetidors, línies telefòniques, microones, etc., reemplaçant generadors diesel (Whiteway, D., 1980).

El següent pas molt més ambiciós ha estat el conveni signat l'1 d'agost de 1980, entre la NRC i l'Institut de Recerca de l'Energia (I.R.E.G., que de fet és el departament de recerca de la Hydro-Quebec), per al disseny i construcció d'un SCEE d'eix vertical de 4 MW. de potència i 109 m. d'alçada. L'inici de la construcció està previst en el transcurs de l'any 1983. El cost estimat és de 35 milions de Can\$ (Beer, M., 1981; Wind Energy Report, feb. 1982).

A més a més l'IREQ ha construït una instal·lació experimental, és a dir un SCEE d'eix horitzontal (9.75 m. de diàmetre, 40 kW.), en la que el captador és acoplat mecànicament a diferents dispositius de generació i d'emmagatzament (volant d'inèrcia, aire comprimit, banc de resistències, etc.). Iniciat l'any 1976, te per finalitat experimentar amb diferents dispositius de generació i d'emmagatzament (Hoffman, D., 1981).

Per una altra part, el mes d'octubre de 1980 es va obrir oficialment el "Atlantic Wind Test Site" al cap del Nord (Illa de Princep Eduard). No és res més que una estació de proves de SCEE que funciona sota la direcció de l'Institut de l'Home i dels Recursos. Està finançada pel EMR i els seus objectius són :

- donar informació als usuaris i a les seves organitzacions,
- oferir contractes a la indústria per el disseny i desenvolupament de sistemes,
- servir de banc de proves, subministrant experts i ajudant al disseny,
- potenciar programes de demostració,
- desenvolupar programes d'adquisició de dades i de prova de tecnologia,
- certificar aparells de cara a la concessió d'ajuts i altres incentius.

(Bourdon, M., 1980; Beer, M. i Hoffman, D., 1981; AWTTS, 1981)

Els canadencs, doncs, es dedican a potenciar els SCEE d'eix vertical perquè, segons J. Haseltine, de la NCR: "la nostra experiència és amb màquines Darrieus. En som els pioners i creiem en elles. A més a més no tenim recursos per treballar amb diferents tipus de màquines" (Sizostak, J., 1980).

2.5.4 Programes Eòlics a diferents països

Altres països han seguit la via marcada pels que es podria considerar redescubridors de l'energia eòlica a l'època actual. Entre ells Suècia, Alemanya, Holanda i amb més retard s'hi han incorporat Anglaterra, França, Itàlia, Irlanda,.....

A Suècia la primera realització important va tenir lloc quan la societat Saab-Scania, per encàrreg del govern i en el marc del programa eòlic, va dissenyar i construir un SCEE experimental d'eix horitzontal amb dues pales d'alumini (18 m. de diàmetre) i un generador d'inducció (75 kW.), controlat per microprocessador (Anònim, 1978).

Més endavant el govern suec va convocar un concurs per a dissenyar i construir SCEE de gran potència. El Consell Nacional Suec pel Desenvolupament de Fonts d'Energia va escollir dos projectes d'entre tots els que es van presentar.

El primer, era un projecte conjunt suec-americà per a dissenyar i construir l'anomenat WTS-3. El grup guanyador era format per Karlskronavarvet i Hamilton Standard. Els americans dissenyarien i construirien pales, sistema de control, connexió a la xarxa, etc., i els suecs es responsabilitzaven de la torre, la carcassa i l'aixecament de tot el sistema a Maglarp, a la costa sud. Aquest SCEE es semblant al que el mateix consorci està construint per instal·lar a Medicine Bow i anomenat WTS-4 (vegis apartat 2.5.1.1.). Actualment aquesta instal·lació de Maglarp està en període de proves (Hoffman, D., 1982).

El segon, també era un projecte conjunt, però suec-alemany. El grup guanyador estava format per Karlstads Mekaniska Werkstad i ERNO Raumfahrttechnik. KaMeWa és el principal contractista i coordinador del projecte i desenvolupa pràcticament tot el sistema menys les pales que les dissenya i construeix ERNO. La principal característica d'aquest SCEE és que te el generador posicionat verticalment en la part superior de la torre. La seva ubicació geogràfica és a Visby, Gotland (KaMeWa, 1980).

Aquests dos projectes formen part del programa endagat pel Consell Nacional Suec pel Desenvolupament de Fonts d'Energia, te una durada de tres anys (1982-1985) pel que fa referència a la prova d'aquests dos prototipus. A partir d'ací el Consell elevarà un informe al govern amb els resultats i es decidirà si l'energia eòlica s'introdueix a gran escala a Suècia.

A més a més el Consell te prevista la instal·lació d'algún "parc" o "granja" de SCEE entre els anys 1983 i 1985 (Wind Turbine Systems, 1982).

A Alemanya el govern federal va començar a preocupar-se de l'energia eòlica l'any 1976. Durant el període 1976-1978 va dedicar-hi 9.7 milions de DM., dels quals 7.9 anaven dedicats al desenvolupament de SCEE grans, inclouint-hi estudis referents al disseny, economia i meteorologia. La resta 1.8 milions eren per desenvolupar 4 SCEE petits (d'eix horitzontal, 10 m. de diàmetre i 15 kW.; i d'eix vertical, de 5.5 m. de diàmetre i 20 kW.).

Durant l'any 1979 el govern va decidir multiplicar per cinc els diners dedicats al vent. Així hi va esmerçar una mica més de 50 milions de DM. El Ministeri Federal de Recerca i Tecnologia va anunciar, el gener de 1979, que estava disposat a finançar 22 projectes eòlics. La direcció d'aquest ambiciós programa és a càrrec de la secció no nuclear del Centre de Recerca Nuclear de Juelich.

Els punts principals del programa són :

- recollida, avaluació i comparació de dades del vent; creació de metodologies standar de tractament; mesures a diferents alçades i quantificació del potencial eòlic,
- recerca referent a les característiques operacionals dels SCEE, referent a la seva integració a la xarxa,
- avaluació de la generació potencial d'energia elèctrica dels SCEE,
- avaluació de sistemes conversors més avançats, sobre tot tipus Darrieus,
- desenvolupament de SCEE de gran potència.

Una bona part del pressupost es dedica a la construcció de l'anomenat GROWIAN-I ("Grosse Windenergie Anlage") que

porta a terme la "Maschinenfabrik Ausburg-Nuremburg - MAN -" i que s'ha aixecat durant aquest any (1982) a Bruhnsbuettel.

També hi està incluit el desenvolupament d'una màquina de 265 kW. i 52 m. de diàmetre, que és una evolució de les màquines dissenyades per U. Hutter als anys 1950-1960. Aquesta màquina ha estat construïda per Voith Getriebe KG.

El tercer gran projecte és el disseny i construcció d'un SCEE de gran potència d'una sola pala, l'anomenat GROWIAN-II (5 MW.). Aquest projecte l'està desenvolupant la "Messerschmitt-Boelkow-Blohm", havent-se ja construït una unitat a escala de 350 kW. de potència a la vora de Bremen (Wind Energy Report, mar. 1979; Anònim, 1979; Kirkman, S. i Hoffman, D., 1982).

Les principals característiques del GROWIAN-I es poden trobar en la seva fitxa normalitzada, en l'anex "Potencial Eòlic de Catalunya".

Durant l'any 1981 la RFA ha dedicat 156.5 milions de DM. a una cinquantena de projectes eòlics, dels quals 142.9 anaven destinats als SCEE grans i 13.6 a SCEE petits (Windheim, R., 1981).

A Holanda el Programa Nacional de recerca en Energia Eòlica (N.O.W.) va començar l'1 de març de 1976 i la primera etapa va durar fins el primer de març de 1981. Aquest programa de recerca i desenvolupament estava dotat de 20 milions de HF1.

Tenia dues parts ben diferenciades. La primera investigar les possibilitats d'utilització de l'energia eòlica i la segona la construcció d'un SCEE que servís de base a una futura introducció del vent en el context energètic holandès (Hoffman, 1981).

La màquina experimental es va construir a Petten, en terrenys de la Fundació Holandesa de Recerca Energètica. Es diferencia dels altres SCEE perquè utilitza un generador de corrent continu de 400 kW. Les característiques d'aquest SCEE es poden consultar a la fitxa corresponent en l'anex "Potencial Eòlic de Catalunya".

Les proves d'aquest SCEE es van iniciar amb la segona etapa del programa de recerca que va començar l'1 de març de 1981. Aquesta segona fase te una durada de 9 anys i en el seu primer periode (1981-1984) s'hi dedican 55 milions de Hfl.

Una altre tasca que s'ha realitzat a Petten, és la construcció d'una Estació de Proves de SCEE de petita potència, ja que a Holanda existeixen 6 fabricants de màquines eòliques amb diàmetres compresos entre 7 i 10 m. (Hoffman, D., 1982).

També a Holanda hi ha un organisme dedicat a desenvolupar projectes per a països de l'anomenat tercer món. és el "Netherlands Wind Energy Steering Committee for Developing Countries - S.W.D.-", que ha realitzat projectes a Sri-Lanka, Tanzania, Tunisia, Cap Verd, Kenia, Iran, etc. (Beurskens, H. J. K. et al., 1980).

A Anglaterra, a despit que ja l'any 1950 van començar les experiències per a utilitzar el vent per a produir energia, s'ha hagut d'esperar fins ben entrada la dècada dels anys 80 perquè els organismes oficials és decidissin continuar aquella tasca interrompuda. Es poden considerar exclosos d'aquesta constatació els SCEE amb transmissió hidràulica que es van desenvolupar durant els anys 70 (Scott, D., 1979) : els aerogeneradors Elteeco de Sir Henry Lawson-Tancred i els Wesco. També d'aquesta afirmació s'en poden excloure el Grup de Tecnologia Alternativa de la Open University, el Centre de Tecnologia Alternativa del País de Gales, el "Intermediate Technology Development Group - I.T.D.G.-" i algón altre, dedicats fonamentalment a la tasca de divulgació de SCEE petits.

No va ésser fins a finals de l'any 1977 quan es va començar a dedicar alguns diners a l'energia eòlica i principalment a estudis previs per a la construcció d'un SCEE de gran potència. Sota els auspicis de la "Electrical Research Association" es va crear un consorci format per : "British Aerospace Dynamics Group", "Cleveland Bridge & Engineering Co. Ltd.", "Taylor Woodrow Construction Ltd.", "North of Scotland Hydro-Electric Board" i "South of Scotland Electricity Board", que va realitzar un estudi de viabilitat i econòmic (Electrical Research Ass., 1979) de grans aerogeneradors.

és curiós observar que dos membres del consorci : "British Aerospace" (avans "de Havilland Propellers") i "North of Scotland H.B." ja havien participat en projectes eòlics als anys 50. és també curiós observar com la "North of

Scotland H. B. " manifesta :

"les seves intencions de guanyar experiència en la generació d'electricitat, a partir de molins de vent, durant els propers anys a venir" (Electrical Review, Vol.208, No.1, 9 gen.1981, pp.16)

i que ja l'any 1950, amb motiu de les proves de la màquina que es va instal·lar a Costa Head (Orkney), deia :

"la màquina donarà a la Hydro Board una valuosa experiència operacional" (The Engineer, Vol.189, gen.1950, pp.106)

llàstima que hagin passat 30 anys sense fer res. A hores d'ara tindrien molta experiència i no els caldria haver instal·lat un SCEE danès de 22 kW. de potència a Barriedale Farm, South Ronaldsay (Orkney), el desembre de 1980, per adquirir-ne (Anònim, mar.1981).

Abans però de construir el prototipus de 3.7 MW. tenen previst provar-ne un a escala reduïda (250 kW. i 20 m. de diàmetre). La seva possible instal·lació serà a Burgar Hill.

Per fi al gener de 1981 es va donar llum verda a ambdós projectes que seran desenvolupats per un nou consorci creat sota el nom de "Wind Energy Systems Group" i que agrupa a "Taylor Woodrow", "British Aerospace", i "G.E.C. Power Engineering". El cost previst és 5.6 milions de lliures, de les quals 4.6 les aportarà el Departament d'Energia i la resta la "North of Scotland H. B. ".

Les característiques del SCEE de 3.7 MW. es poden consultar a la fitxa corresponent en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

Un altre consorci, finançat també pel govern, s'ha creat per desenvolupar un SCEE d'eix vertical i geometria variable (25 m. de diàmetre, 130 kW.) basant-se en els dissenys del Dr. Peter Musgrove. El consorci està format per "Sir Robert McAlpine", "Engineering and Power Development Consultants", "NEI Clarke Chapman Cranes" i "Aircraft Designs". De moment han construït una màquina a escala (6 m. de diàmetre) a Bembridge, Illa de Wight (Moss, J., 1981).

També la "Central Electricity Generation Board" ha escollit un emplaçament on ubicar-hi un SCEE de mitjana potència, triant un model americà de 200 kW. (Hoffman, D.,

1981). Serà instal·lat a Burry Point, Dyfed i el seu objectiu també és adquirir experiència avans de passar a Sistemes Convertors més grans.

A més a més hi ha diferents grups treballant en dissenys innovadors, finançats per el "Science and Engineering Research Council" i el DOE a través de la "Energy Technology Support Unit". Aquests grups són : el "Northumbrian Energy Workshop - Universitat de Newcastle que treballen amb SCEE tipus Darrieus, Universitat de Warwick (Darrieus abm pales de vela), Universitat d'Exeter (d'eix vertical amb variació cíclica de l'angle de la pala), Napier College d'Edinburg (eix vertical).

Un altre aspecte en el que el DOE anglès ha estat interessat és l'efecte d'interferència entre SCEE situats propers en l'espai. Per això ha encomanat estudis a diferents entitats que tenen instal·lats grups de SCEE (P. I. Specialist, Exeter, etc.).

Hom pot observar que a despit d'haver-se incorporat tard a la cursa eòlica, l'energia procedent del vent comença a ser aprofitada a Anglaterra (Energy Technology S.U., 1981; Millar, M.N., 1982). Serà per contrarrestar les crítiques dels oponents a la nuclear ? (Fishlock, D., 1981), serà per desprestigiar-les ? (Murphy, B.M., 1981) o serà per fer-hi negoci ? (Elliot, D. i Peak, S., 1982).

També França, que es va situar els anys 1950-1960 a la capçalera dels països que feien recerques per reutilitzar la força dels vents, s'ha incorporat molt recentment a la cursa eòlica.

Durant l'any 1979 es va instal·lar un SCEE a l'Illa bretona d'Ouessant. Aquesta màquina construïda per la societat Aerowatt, herava de tota l'experiència dels anys 50, va ser destruïda per una galerna (juliol 1980), fet que va representar un entrebanc que ha retrassat un parell d'anys el reinici de les recerques (Leclere, P., s/d).

En el transcurs de l'any 1981 el govern francès va dedicar a l'energia eòlica 4.5 milions de FF. i aquest any ha doblat la xifra.

Entre les tasques a abordar hi ha la reconstrucció de la màquina d'Ouessant i la seva prova durant 6000 hores a prop de Burdeus, i la instal·lació d'un Centre de Proves de SCEE

a Lanion (Anònim, ago.1981 i nov.1981).

Actualment, no obstant, la societat Aerowatt, te un 20 % del mercat mundial de l'energia eòlica (comercialtra sistemes des-de 60 W. fins a 20 kW.). Sobre unes vendes realitzades a l'any 1980 per valor de 1.7 milions de \$ i 2.4 l'any 1981, te previst arribar el present any a 3-4 milions (Beer, M., 1982).

2.5.5 Perspectives de l'energia eòlica

Hom pot intuir les perspectives futures de l'energia eòlica a partir de tot el conjunt de fets exposats anteriorment.

Encara, però, cal veure les previsions que s'han fet dins dels mateixos països protagonistes.

"Sembla clar que a tot el món es podrien cubrir més de la meitat de les necessitats de potència instal·lada elèctrica amb l'ús de l'energia eòlica i hidràulica, i això en les properes dècades. Algunes nacions podrien satisfer entre un 20 i un 30 % de les seves necessitats d'energia elèctrica amb la combinació de SCEE grans i petits" (Flavin, C., 1981a).

Aquesta afirmació, que podria semblar exagerada, en realitat no ho és si constatem que :

- * a Dinamarca, el govern va fer públic (maig 1981) un pla que preveu la instal·lació possible de 3000 SCEE grans (semblants als de Nibe). Produirien 4000 GWh/any, o el que és equivalent al 15 % de l'energia elèctrica prevista a l'any 1995, i que és el mateix que l'energia produïda per una nuclear de 1000 MW. (Plantstyrelsen, 1981). El mateix govern afirma que 1500-2000 molins d'aquests produirien el 10 % de l'energia elèctrica prevista l'any 1990 (Ministry of Energy, 1981).
- * a Holanda tenen previst tenir instal·lats, l'any 2000, 2000 MW. eòlics en "parcs" que agrupin de 1000 a 1500 unitats i 450 MW. en aplicacions descentralitzades a petita escala (15000 unitats). El programa que mena el ECN preveu arribar a generar el 20 % de l'energia elèctrica amb SCEE (Piepers, G. G., i Sens, P. F., 1981).
- * a Suècia, el govern decidirà l'any 1985 si es llença de plè cap a l'energia eòlica. Depèn de les

experiències que s'estan duent a terme actualment. No obstant es preveu que si s'instal·len 1500 SCEE grans en llocs molt ventosos es produirien 15 TWh/any i si fossin 2150 en llocs amb velocitats de vent entre 6-7 m/s, 14.8 TWh/any. I si s'utilitzessin plenament els llocs amb vent per sobre de 6 m/s, amb 14.8 GW instal·lats es produirien 30 TWh/any. Això voldria dir instal·lar 50-500 MW, entre 1985 i 1990 i 500-1000 Mw, entre 1990 i l'any 2000 (Johansson, T. B. i Steen, P., 1977).

- * a Alemanya, del potencial estimat tècnicament utilitzable, 220 TWh/any, s'en preveu recuperar en una primera etapa un 10 %, el que voldria dir, si s'empressin SCEE tipus GROWIAN-I, 20 "parcs" eòlics de 200 MW, cadascun (4000 MW.), encare que l'objectiu és assolir 12000 MW. (40 "parcs" de 300 MW, cadascun). Produirien 38 TWh/any desplaçant l'equivalent a 2160 MW. de potència instal·lada convencional (Jarass, L., et al., 1981).
- * al Regne Unit, el potencial tècnicament aprofitable està xifrat entre 100 i 140 TWh/any, encara que aquest valor es considera conservador (Energy Technology S.U., 1981). Les més recents estimacions del potencial eòlic anglès es xifren en 240 TWh/any (British Wind Energy Assoc., 1982). Estimacions fetes pel "Central Electricity Generation Board" del potencial "offshore" referent al vent i a les ones, donen xifres de 100 GW. : 70 GW. eòlics produint 100 TWh/any (Moss, J., 1981). El Dr. Peter Musgrove creu que els SCEE instal·lats a terra ferma poden cobrir el 10 % de les necessitats d'energia elèctrica al Regne Unit, aportant una proporció igual als SCEE instal·lats "offshore". Això voldria dir instal·lar 3600 SCEE de 2.5 MW. en grups de 25, que cobririen l'1 % de les àrees rurals d'Anglaterra (Anònim, set. 1981).
- * els E. U. A. podrien arribar a tenir 25000 MW. instal·lats amb SCEE de petita potència, representant la meitat de la potència nuclear instal·lada actual (Little, A. D., 1981). Això es confirma encara més quan es fa públic que entre ara i l'any 1985, "seran econòmicament atractius a preus corrents" els SCEE que es puguin instal·lar en 1452 emplaçaments federals. En 1167 d'aquests emplaçaments, amb SCEE de potències inferiors a 100 kW., es tindria una potència instal·lada de 33 MW. en la resta, 285 llocs, amb SCEE grans es tindria 931 MW. (Wind Energy Report, oct. 1981a).
- * instal·lant 90000 SCEE grans en els emplaçaments eòlics excel·lents (7700 km²) i bons (137000 km²), ocupant el 2 % del territori dels E. U. A., hom estalviaria entre 6 i 7 Quads (uns 350 milions de barrils de petroli cada any) i es produiria una quantitat d'energia compresa entre 2 i 3 Quads, el que equival a una quantitat d'energia elèctrica compresa entre 600 i 900 TWh/any (NASA-Lewis, 1981).

Un fet més a destacar, és la importància que els programes de prospecció eòlica han tingut. Per exemple a Califòrnia, fins fa pocs anys, tots els experts posaven en dubte que tingués un potencial eòlic important. Aquestes afirmacions es basaven en l'anàlisi de les dades registrades, principalment procedents d'aeroports. Doncs bé, les valoracions realitzades, a partir dels programes de prospecció endagats per la Comissió d'Energia de l'Estat californià, han donat lloc a una veritable "mina d'or" eòlica. En poc temps s'han trobat emplaçaments on s'hi podrien instal·lar 5500 MW. eòlics (California Energy Commission, 1981). Dotze estudis recentment finalitzats conclouen que només en 5 comtats s'hi poden instal·lar 5580 MW. i en tot l'estat uns altres 7377 MW. més. Un estudi previ realitzat l'any 1978, preveia que amb un modest esforç, a Califòrnia, hom podia arribar a instal·lar 12000 MW., entre els anys 1995 i 2000, que subministrarien el 15 % de l'energia elèctrica necessària a tot l'estat i estalviarien 94 milions de barrils de petroli a l'any (Aerospace Corp. i CEC, 1978).

L'Estat de Califòrnia és un dels països del món en que amb més impetu s'ha llençat a aprofitar la força del vent (Ginosar, M., 1980; CEC, 1981a; CEC, 1981b), com ho demostra el gran nombre de projectes endagats i que fan referència a instal·lacions de "parcs" de SCEE, la majoria de petita i mitjana potència :

- el desembre de 1981 comença a produir energia el primer parc de SCEE californià, a Boulevard Desert, al comtat de San Diego. Potència instal·lada 1.9 MW. amb 41 màquines de 40-50 kW.,
- al comtat de Kern hi ha en construcció 5 parcs més, a les muntanyes Tehachapi. El primer ja te instal·lat 2 màquines Darrieus canadenques (500 kW.) de les 10 que tindrà, a més de 45 màquines de 50 kW., en la primera etapa. El segon consta, de moment, de 10 màquines de 50 kW. El tercer tindrà 80 màquines de 50 kW. El quart un centenar de màquines de 25 kW. i el darrer constarà de 40 màquines de 200 kW., ben diferents als SCEE classics (dos pals de 15 m. d'alçada, separats 60 m., entre els quals circulan unes veles de 10 m. d'alçada), (Hoffman, D., 1982),
- en el comtat de Riverside on hi ha l'anomenat San Gorgonio Pass, veritable "túnel" de vent natural, la "Southern California Edison" està negociant amb gairebé una dotzena de grups que han presentat projectes de "parcs" a la zona. Els primers 25 MW. consistiran en 5 màquines de 4 MW. i 100 de 50 kW. Actualment s'estan avaluant projectes de 800 màquines de 37.5 kW, 800 de 25 kW. i uns 25-30 MW. amb màquines de més d'un MW. A més d'aquests s'han proposat 3 projectes més. El

primer amb 80 màquines (320 kW.), el segon de 200 màquines de 50 kW. agrupades de 20 en 20 (100 MW.) i el tercer 12 màquines de 2 MW. Tot això emmarcat en les previsions de la SCE de tenir 120 MW. eòlics instal·lats l'any 1990 (per arribar més endavant als 360 MW.), és a dir cobrir el 6.3 % de potència de nova instal·lació amb energies "alternatives" (1900 MW.: geotèrmia 420 MW., cogeneració 300 MW., hidràulica 620 MW., solar 310 MW. i cel·les de combustible 130 MW.), (Wind Energy Report, abr. 1981).

- en el comtat de Solano, més al nord de Califòrnia, entre Fairfield i Vallejo, ja s'ha signat l'acord per a ubicar-hi 92.5 MW. en un parc que contindrà 21 màquines. El grup que ho financia, construeix i maneja, pensa demostrar que l'energia eòlica és "tecnològicament i econòmicament factible i desitjable" (Wind Energy Report, feb. 1982a). L'acord es va signar amb "Pacific Gas and Electric" i "California Department of Water Resources", els quals compraran tota l'energia produïda (270000000 kWh/any). A més a més s'està negociant arribar a 350 MW. l'any 1989, en tres etapes (Wind Energy Report, abr. 1981a).
- al comtat d'Alameda i en l'Altamont Pass, a prop de Livermore, s'ha donat llum verda per a la construcció d'un parc al ranxo Walker. Tindrà 100 màquines de 50 kW., i hom n'hi pensa posar 500, més endavant. Un segon s'aixeca ja amb màquines de 54 kW. (n'hi han 50 d'instal·lades) i un tercer amb màquines de 50 kW. i de 100 kW. procedents de Bèlgica (Wind Energy Report, mai. 1981; Hoffman, D., 1982).

Tots aquests esdeveniments han ocorregut solament després d'haver transcorregut l'any des de que es va aixecar la primera "granja" o "parc" de SCEE de petita potència a Crotched Mountain, New Hampshire. Està format per 20 màquines de 30 kW. L'electricitat produïda, la compra la "Public Services of New Hampshire". En la inauguració oficial del "parc", el representant del grup que l'ha construït i que l'opera, en presència del governador de l'estat i executius de la PSNH, no va resistir la tentació de comparar l'economia energètica de la nuclear i l'eòlica

"per oblidar Seabrook, ara aquests molins estan dempeus. Si calen 5 anys perquè una nuclear, a plena producció, generi l'energia que cal per construir-la; i si en calen 3-4 per una tèrmica de carbó; cada molí de vent retorna l'energia emprada en la seva construcció en un any".

afirmant també :

"un molí de 50 kW. té aproximadament el mateix pes i la mateixa complexitat mecànica que un cotxe i la demanda potencial sobre els subministres nacionals de treball i material, per a la implementació a gran escala d'un programa per a la producció de molins de vent, és tant sols una petita part de la demanda de recursos de la indústria de l'automòbil.....una indústria del 10 % del tamany de la de l'automòbil tardaria només 6 anys per construir i instal·lar els 6 milions de molins de vent que eliminarien totes les nostres importacions de petroli" (Wind Energy Report, mai.1981)

Tots aquests fets, que ben possiblement arribaran a ser una realitat ben aviat, han començat a fer obrir els ulls a tots aquells que, com una cosa "natural" o un producte del "progrés", havien delegat les funcions de produir l'energia que necessitaven, en uns pocs grups, generalment centralitzats, i han redescobert que amb les fonts d'energia disperses, entre elles l'eòlica, poden ser les mateixes comunitats locals qui autoprodueixin la seva energia.

Així, per exemple, la ciutat de Fairfield (CA), a la vista dels projectes de "parcs" eòlics que s'estan duent a terme als seus voltants, i de tenir de comprar tota l'electricitat que consumeix a la PGE, pot arribar a ser un dels primers municipis autoprodutors d'energia mitjançant molins de vent (Wind Energy Report, abr.1981c).

No serà la capdavantera, doncs, la que ha obert la via, ha estat la ciutat de Livingston (MN), que ja ha instal·lat la primera planta eòlica municipal. Consta de 4 màquines de 25 kW. cadascuna (17500 kWh/mes) i venen la seva producció a la "Montana Power and Light" (Hoffman, D., 1982).

Ben segur que tampoc serà la darrera, ja que els problemes tècnics que es puguin plantejar o be estan solucionats o be en vies de solució (Reddoch, T., 1979; Kahn, E., 1979; Ma, F. S. et al. 1979; Curtice, D. et al., 1980 i 1981) i endemés l'actual estructura de producció i distribució d'energia, sobretot elèctrica, no es immutable, ja que en el transcurs del temps no sempre ha estat tant centralitzada com ara, i no te perquè ésser-ho en el futur (Elliot, D., 1980; Baker, R. J. S., 1980), de forma que la xarxa compleixi la funció de sistema d'intercanvi de doble via, en comptes d'ésser unidireccional com és avui.

2.5.6 El futur de l'Energia Eòlica a Catalunya

L'esdevenidor de l'energia eòlica a Catalunya probablement estigui intimament relacionat amb la utilització de l'energia hidràulica.

Com que els actuals sistemes energètics es basen en la possibilitat de cobrir qualsevulla demanda a qualsevulla hora, la introducció de les fonts d'energia renovables, que són variables en el temps, dins dels sistemes energètics actuals, implica la utilització d'algun mitjà d'emmagatzament, ja que la captació i la seva conversió per cobrir una demanda donada només és factible temporalment.

Cal dir, per això, que l'emmagatzament després de la conversió és avegades també utilitzat en processos energètics relacionats amb combustibles no renovables. Aquest és el cas quan, les despeses de capital de l'equip de conversió són altes i la demanda és variable. Aleshores les unitats de conversió funcionen de forma continuada i el sobrant d'energia té que ser emmagatzemat.

Un mitjà ideal d'emmagatzament que ja solen tenir els actuals sistemes energètics és l'acumulació d'aigua en els embassaments, per poder-la convertir en energia útil quan sigui necessari.

La disposició d'embassaments escalonats en una conca, i el bombeig hidràulic possibiliten la introducció de l'aprofitament de la força del vent a escales comparables a altres fonts d'energia (Sorensen, B., 1976, 1976a, 1977, 1978, 1978a, 1978b i 1980a). Aquesta forma d'utilització de l'energia eòlica ja s'està realitzant actualment (Hoffman, D., set. 1981), havent-se iniciat ambiciosos projectes (Hoffman, D., ago. 1982) i havent-se proposat originals solucions (Sorensen, B., 1980b i c).

Catalunya que té una capacitat d'embassament hidràulica de l'ordre dels 1500 Hm³, podria veure-la considerablement incrementada si s'afavorís una utilització conjunta vent-aigua. I més quant s'observa la irregularitat de les aportacions d'aigua, fent que l'energia hidroelèctrica produïble anyalment pugui oscil·lar entre +46 % i -43 % entorn de l'energia produïble mitjana anyal. Si a més a més observem les variacions mensuals, al llarg de l'any, de l'energia produïble, aquesta varia entre +85 % i -30 % respecte de l'energia mitjana mensual (Montané, P., 1981).

Demostrar això que surt del marc del present treball, requereix esmerçar considerables esforços en el camp de l'energia eòlica, en la línia dels països als quals es preten imitar.

Contrasta la notable preocupació dels organismes públics, privats, empreses elèctriques,..... de diferents països en les fonts d'energia renovables, i en especial la eòlica (veure apartat 2.5.5. i Pacific Power and Light, 1981) amb el desinterès i/o migradesa de recursos que, per part de tots els organismes implicats, s'esmercen en potenciar l'energia eòlica a casa nostra.

CHAPTER 3

EL VENT I EL SEU PASSAT

El present capítol fa referència al fenomen vent, tant des d'el punt de mira de la seva formació, emmarcat en el seu origen solar, que li confereix el caràcter de font d'energia renovable, com des d'el punt de mira dels coneixements populars i primers estudis realitzats a Catalunya, per explicar el fenomen i descriure'n les seves principals manifestacions en el país, ja que és una primera forma d'apropar-se al problema de conèixer si en un país fa vent. El fet que hi hagi una cultura popular eòlica, que desgraciadament s'està perdent, és un indicatiu favorable, que pot venir confirmat encara més si, en el país, s'han realitzats estudis i treballs referents al vent.

També si pot trobar, a més d'una breu descripció de les bases físiques i tècniques de la conversió de la seva força en energia útil, una aportació que és un intent de reconstruir la història passada de l'aprofitament d'aquesta font d'energia, des d'els seus orígens, ben controvertits com es veurà, fins el seu renaixement actual, donant força èmfasi a l'època que va des de finals del segle passat fins la dècada del anys 60, que és, en la meua opinió, quan l'aprofitament de la força del vent va assolir una maduresa, que la feia apta per a la seva utilització més generalitzada en la societat de l'època. Fet que es va veure estroncat per circumstàncies estratègic-polítiques, que com efecte immediat van produir el seu abandonament fins l'època ben recent, en que se l'ha redescobert, i paradoxalment se l'han etiquetat de "nova". Per desmentir que no és "nova" aquí es realitza aquesta aportació.

3.1 EL MEDI FÍSIC: EL VENT

El vent que antigament ja havia estat considerat com un recurs energètic, fou abandonat per la humanitat com a font d'energia, sobretot en les àrees geogràfiques on ha imperat la ideologia del "creixement sense límits".

Hom pot considerar el vent com el resultat dels diferents escalfaments de la superfície del planeta terra per part del sol i del moviment de rotació de la terra entorn d'ella mateixa.

En aquest apartat hom descriu el fenomen vent, emmarcat dins de l'anomenat "cicle de l'energia". També es realitza una descripció dels coneixements populars que sobre el vent tenien els pobles mediterranis (centrant la descripció a Catalunya) i els inicis del coneixement científic del fenomen del vent. Tasca que va menar l'il·lustre català Eduard Fontseré i l'equip de persones que amb ell van col·laborar en els estudis realitzats per a comprendre millor els vents a casa nostra.

3.1.1 El sol com a font d'energia renovable i com origen de totes les fonts renovables d'energia

Al contrari d'aquelles fonts d'energia anomenades no renovables que al llarg del procés de formació de la terra s'han anat emmagatzemant d'alguna forma, i que el seu ús significa convertir-les ultimament en calor, a l'hora que, si el ritme d'utilització es més gran que el ritme de formació (com és el cas dels recursos energètics fòssils), es van esgotant; l'energia interceptada pel sistema terra-atmosfera, procedent del sol, és una font d'energia renovable per excel·lència, ja que en utilitzar-la, no s'esgota, doncs el sistema atmosfera-terra reirradia cap a l'espai exterior una quantitat d'energia igual a la quantitat d'energia rebuda.

La utilització de l'energia solar significa, convertir-la en calor, de forma que pugui ésser útil a la humanitat, però essent el resultat el mateix que si no l'haguéssim interferit. Una utilització d'aquest tipus pot implicar només un retard en el retorn del calor cap a l'espai.

La quantitat d'energia solar interceptada per la terra, i, per tant, la quantitat d'energia que flueix en el "cicle de l'energia solar" és de l'ordre de $5.4 \cdot 10^{24}$ J/any.

Altres fluxes energètics, diferents del solar, que tenen lloc a la superfície de la terra són numericament molt menys importants. Així el flux calorífic procedent del si de la terra, a través de la seva pell, és aproximadament igual a $9.5 \cdot 10^{20}$ J/any i l'energia dissipada per les mareas

(degut al procés d'atracció entre la terra i altres cossos del sistema solar) és de l'ordre de 10^{20} J/any.

Aquesta quantitat d'energia, que, procedent del sol, és interceptada per la terra, està en l'origen de totes aquelles fonts d'energia que, com l'eòlica, la hidràulica, la de les ones, la biològica, etc., són considerades com renovables.

També el sol ha estat en l'origen de les fonts d'energia fòssils, encara que la formació dels avui anomenats combustibles fòssils va tenir lloc en èpoques geològiques molt llunyanes en el temps i es va tardar mil lions d'anys en arribar a la formació dels dipòsits que han estat o són encara cremats sense miraments.

3.1.1.1 La Radiació Solar -

El Sol irradia energia cap a la terra ($3.9 \cdot 10^{26}$ W). A les altes capes de l'atmosfera una superfície plana normal a la direcció del sol és travessada per 1353 W/m². Evidentment aquesta quantitat varia al canviar la distància del Sol a la terra, pel fet de que la terra gira en una òrbita elíptica entorn el Sol. La distància mitjana entre ambdós és $1.5 \cdot 10^{11}$ m. i les variacions són de l'ordre de més / menys 1.7%. A més a més, la radiació solar rebuda a l'alta atmosfera varia amb les lleugeres irregularitats de la superfície del Sol, amb la rotació del Sol (una revolució cada mes) i amb les variacions temporals de la lluminositat superficial del sol.

La radiació solar, que correspon aproximadament a la radiació d'un cos negre a una temperatura de 6000 graus K, troba, en el seu camí, el sistema atmosfera-terra i interacciona amb ell, donant lloc a que la temperatura de la superfície de la terra estigui compresa entre 220 i 230 graus K. El promig temporal i zonal de la temperatura de la crosta de la terra és 287 graus K.

El flux d'energia solar que travessa una superfície col·locada a les zones altes de l'atmosfera depen del temps, de la posició geogràfica i de l'orientació de l'esmentada superfície. El flux màxim diari és aproximadament un 40 % del flux que travessaria una superfície posada perpendicularment als raigs solars.

Una part de la radiació incident es reflexa i retorna cap a l'espai exterior. Aquesta part s'anomena "albedo" del

sistema atmosfera-terra. El seu valor mig anual (promitjant latitud i longitud) és aproximadament 0.36 i és degut a reflexió produïda pels núvols (0.24), la produïda pels núvols atmosfèrics- gasos i partícules- (0.06) i la produïda per la superfície de la terra (0.06).

Ja que la temperatura de la terra no varia en grans quantitats d'un any a l'altre, hom suposa que el sistema atmosfèric està en equilibri.

El flux net d'energia a l'alta atmosfera, depen del temps i de la posició geogràfica. A l'equador varia entre 25 W/m² (sobre superfícies de terra) i 50 W/m² (sobre els oceans).

La major part de la radiació solar, s'absorbeix a les zones de baixes latituds. El flux net d'energia és positiu per dessota dels 40 graus de latitud (excés d'energia) i negatiu per sobre (dèficit).

Com que la temperatura mitjana a l'equador no augmenta, ni disminueix la temperatura mitjana als pols, ha d'haver-hi un transport d'energia des de les baixes latituds en direcció cap als pols. Els mecanismes que realitzen aquest transport energètic són els vents i les corrents oceàniques.

La radiació rebuda a la superfície de la terra està formada per la radiació de longitud d'ona curta directe, més la dispersada (i la reflectida), i la radiació de longitud d'ona llarga procedent dels núvols i del cel. Només una part d'ella és absorbida per la superfície.

La radiació directe i la dispersada són comparables en ordre de magnitud al llarg de la latitud, i el fluxe total net de radiació a la superfície és positiu menys a la vora d'ambdós pols.

Les variacions entre la diferència de radiació d'ona llarga que arriba (procedent del cel i dels núvols) i la que surt, mostra que les diferències de temperatura entre les latituds baixes i les altes no és suficient per compensar les grans variacions de la radiació de curta longitud d'ona absorbida.

Així també és necessari un transport d'energia entre l'equador i els pols.

El flux net de radiació a les capes altes de l'atmosfera es pot expressar així:

$$E_0 = E_{0OC} * (1 - A_0) + E_{0OL}$$

essent E_{0OC} : radiació incident d'ona curta.

A_0 : l'albedo atmosfèric

E_{0OL} : radiació emesa, des de la terra, d'ona llarga

$E_{0OC} * A_0$: radiació reflectida a l'atmosfera

El flux net a la superfície de la terra s'expressa així:

$$E_S = E_{SOC} * (1 - A_S) + E_{SOL}$$

E_{SOC} : radiació incident d'ona curta

$E_{SOC} * (1 - A_S)$: radiació absorbida d'ona curta

A_S : albedo superficial

E_{SOL} : Es la suma (amb els respectius signes) de les radiacions incidents i emeses d'ona llarga.

$E_{SOC} * A_S$: radiació reflectida a la superfície

En promig, sols una petita porció de la radiació d'ona llarga emesa per la terra passa sense dificultats cap a les capes altes de l'atmosfera. La part més important és absorbida, en travessar l'atmosfera, pels núvols, i reirradiada cap a la terra.

El flux de radiació net de l'atmosfera és aleshores:

$$E_A = E_{AOC} + E_{AOL}$$

i és aproximadament igual al 29% de la radiació incident d'ona curta a les capes altes de l'atmosfera, però

de signe contrari, essent:

EADC: radiació absorbida d'ona curta.

EADL: la suma de la radiació absorbida d'ona llarga i la radiació emesa a la baixa atmósfera.

El flux de radiació net de l'atmosfera és, en promig, igual i de signe contrari al flux de radiació net a la superfície de la terra. Per tant, hi ha una transferència d'energia, des de la crosta de la terra cap a l'atmosfera, mitjançant altres mecanismes que la radiació (conducció i convecció, evaporació, pluges, nevades, etc.). Tots aquests processos donen lloc a fluxes d'energia en ambdues direccions (entre la superfície i l'atmosfera), per mitjà dels moviments d'aigua (rius i corrents oceàniques) i dels moviments d'aire de la circulació general de l'atmosfera.

Així, energia en forma calorífica es transfereix des de la superfície dels continents i dels oceans mitjançant evaporació o conducció, i des de l'atmosfera cap a la superfície de la terra mitjançant les precipitacions, el fregament i la conducció. Tots aquests processos intercanvien calor sensible i calor latent entre l'atmosfera i els oceans i els continents.

Els processos d'intercanvi en el si de l'atmosfera inclouen la condensació, l'evaporació i també la conducció. Tots els moviments dins de l'atmosfera estan associats amb els mecanismes de fricció, de tal manera que constantment es transforma energia cinètica en calor. D'aquí que per al manteniment de la circulació general sigui necessari una aportació d'energia, constantment renovada. Aquest mateix procés té lloc per mantenir la circulació dels oceans, encara que les relacions quantitatives són diferents, doncs l'aire i l'aigua tenen propietats físiques diferents. La font d'energia per al manteniment d'aquests fenòmens de transport és la variació latitudinal del flux d'energia net.

3.1.1.2 L'atmosfera. La circulació general -

Els components majoritaris de l'atmosfera són el nitrògen, l'oxigen i l'aigua. La densitat, la pressió i la temperatura de l'atmosfera són funció de l'alçada. Les diferents capes de l'atmosfera tenen noms propis (troposfera, estratosfera, mesosfera i termosfera) i els límits entre

elles també (tropopausa, estratopausa, mesopausa, termopausa). Aquests límits venen donats per canvis de signe en els increments de temperatura al llarg de l'alçada.

Comprendre el moviment extern de l'atmosfera (o circulació general) -en oposició al moviment intern de les molècules, que defineix la temperatura- implica veure quins són els mecanismes mitjançant els quals es crea l'energia cinètica.

La fricció és un procés irreversible per el qual l'energia cinètica es transforma en calor sensible, augmentant l'entropia. Les forces exteriors, com la de Coriolis (deguda a la rotació de la terra), no creen ni destrueixen l'energia cinètica. Tampoc ho fan aquells processos en els quals es crea o es destrueix calor latent. Aleshores les úniques fonts que mantenen la circulació de l'atmosfera, a despit de les forces de fricció, són l'energia potencial i la del calor sensible, les quals poden transformar-se en energia cinètica mitjançant processos reversibles i adiabàtics.

Per a la descripció de la circulació general de l'atmosfera s'empran les equacions següents:

- l'equació del moviment dels fluids:

$$d * (dV/dt) = - \text{grad } P + FF + FE$$

essent: FF les forces de fricció.

FE les forces externes (la de Coriolis i la de la gravetat).

grad P la força del gradient de pressió.

d la densitat.

- l'equació de la continuïtat (o de conservació de la massa):

$$d \frac{d}{dt} = - \text{div} (d * v)$$

- i la llei de conservació de l'energia (la llei de la termodinàmica)

$$dEI/dt = TR + CA$$

és a dir, la variació de l'energia interna del sistema és igual a la suma de la calor que reb el sistema durant el temps en qüestió, més el treball que realitzen sobre ell els cossos externs.

O sia, que la variació de l'Energia Interna del sistema és igual a la suma de la calor que reb el sistema durant el temps en qüestió (degut a la radiació i a la conducció), més el treball que realitzen sobre ell els cossos externs (els termes que apareixen a la dreta de l'equació del moviment). L'Energia Interna conté l'energia cinètica, potencial i la del calor sensible.

Aquestes tres equacions es complementen amb l'equació d'estat dels gasos ideals i amb la funció que especifica les fonts externes de calor. En realitat encara s'hi afegixen altres equacions com les de la variació temporal dels diferents components de l'atmosfera (vapor d'aigua, ozó, ...). En la pràctica s'empran equacions simplificades, a partir de l'anàlisi de la diferent importància dels membres que hi intervenen; de promitjar, en el temps, les variables; i de separar les components vertical i horitzontal del vector velocitat.

En primera aproximació, la solució de l'equació del moviment, ens dona la component promitjada horitzontal del vent, i s'anomena vent geostrofic. Aquest, només depèn del gradient de pressió a una determinada altitud i en una determinada posició geogràfica.

El vent geostrofic explica bé la circulació general de l'atmosfera a gran escala quan ni l'alçada ni la latitud són molt petites, ja que a baixes altituds les forces de fricció esdevenen importants (per sota dels 1000m.) i a baixes latituds, la força de Coriolis disminueix.

La solució numèrica del sistema d'equacions, que modela la circulació general de l'atmosfera, ha estat resolt per diversos autors (Smagorinsky, J., et al., 1965; Kasahara, A., et al., 1967; Holloway, J. et al., 1971).

Continuament hom prova nous models. Això ha fet possible poder reproduir, mitjançant ordinadors, la circulació general: la component promitjada longitudinal de la velocitat del vent (que és paral·lela als cercles longitudinals), és l'anomenat vent zonal. A baixes latituds va en direcció a l'oest, en latituds intermitges va cap a l'est (a grans velocitats i a alçades d'uns 12 km.; són les corrents en raig) i, a altes latituds torna a anar cap a

l'oest. I la circulació meridional en forma de cel·les: a ambdues bandes de l'equador (a l'hemisferi nord, el flux va cap al sud a nivell de terra i cap al nord a nivells alts de l'atmosfera, anant a l'inrevés a l'hemisferi sud), les anomenades cel·les de Hadley; a latituds mitjanes dues cel·les més febles (a l'hemisferi nord, el flux a nivell de terra va cap el nord) i, a la vora d'ambdós pols, dues cel·les més (circulant el flux en sentit contrari que en les cel·les de latituds mitjanes).

Combinant ambdues circulacions (la longitudinal i la meridional) s'obtenen les principals direccions dels vents a gran escala:

- La combinació dels vents zonals de l'est i la circulació meridional cap a l'equador dona lloc als vents "alisios" o "trade winds" que bufen del nord-est cap al sud-oest a l'hemisferi nord, i del sud-est cap al nord-oest a l'hemisferi sud.

- A latituds mitjanes, els vents zonals de l'oest i la circulació meridional allunyada de l'equador, dona lloc als vents ponents o "westerlies", que bufen cap el nord-est (a l'hemisferi nord) i cap a sud-est (a l'hemisferi sud).

- A les zones polars hi ha els vents polars de l'est que bufen en la mateixa direcció que els "trade winds".

A aquesta circulació general cal afegir-li els efectes deguts al fregament i la força d'arrastre entre l'atmosfera i la crosta de la terra, que donen lloc a parells de forces. El moment angular resultant a baixes latituds es transportat, per la circulació meridional, cap a una alçada d'uns 12 km., i a uns 30-50 graus de latitud, produint-se un increment considerable de la velocitat tangencial del vent (corrents en raig). Part d'aquest moment es perd en vèncer fregaments interns de l'atmosfera i part es retornat cap al nivell del sol on compensa les pèrdues degudes al fregament amb la crosta de la terra.

L'energia cinètica de la circulació atmosfèrica pot ésser decrementada per les necessitats energètiques per a fer front a les forces de fricció, produint-se una transformació irreversible d'energia cinètica en calor (energia interna). Ja que cal fer front a noves necessitats d'energia per a vèncer les forces de fricció, és necessària la creació de més energia cinètica. Això té lloc mitjançant dos processos: un, la conversió d'energia potencial en energia cinètica i, l'altre, la

transformació d'energia interna en energia cinètica a través del gradient de pressió. Evidentment, no tota l'energia potencial i l'energia interna es poden convertir en energia cinètica (Lorenz, E., 1967). De fet, la suma d'ambdues s'ha de mesurar en relació a un estat de referència de l'atmosfera. Per això cal fer mesures directes de les distribucions de temperatura i de calor per a poder estimar la quantitat d'energia interna que es pot transformar en energia cinètica.

Des d'un punt de mira de la circulació general a gran escala en valors promitjos anyals i espaials, hom considera que una quantitat de 2.3 wats per metre quadrat (és a dir el 0.7% de la radiació solar incident a les capes elevades de l'atmosfera) es dedica a la creació d'energia cinètica (Lorenz, E. 1967), encara que hi ha altres autors (Newell, R., et al., 1969), que consideren que cal corregir aquest valor perquè no coincideix gaire amb les estimacions directes que han fet (4 - 10 W/M²).

El procés de creació de l'energia cinètica pot ésser comprés de forma intuitiva considerant volums d'aire a temperatura diferent de la temperatura ambient. Aquests volums tenen un moviment ascensional (si són més calents que la temperatura ambient) o un moviment de descens (si són més freds) i donen lloc a la redistribució del calor en el si de l'aire que els envolta, en tant en quant existeixin diferències de temperatura i per tant es produeix una variació de l'energia cinètica deguda al moviment d'aquells volums d'aire a través dels gradients verticals i horitzontals de pressió.

3.1.1.3 El "cicle" de l'energia -

Hom descriu a continuació els processos de conversió i transport de l'energia dins del sistema atmosfera-terra.

La radiació solar procedent de fora l'atmosfera (d'ona curta) és parcialment reflectida cap a l'espai i parcialment absorbida en les diferents capes del sistema atmosfera-terra. Aquesta darrera fracció és emmagatzemada en forma d'energia potencial, energia (latent) dels canvis de fase i energia química.

Tota aquesta energia emmagatzemada, o bé retorna a l'atmosfera com radiació d'ona llarga, o bé contribueix a mantenir els magatzems de calor sensible (els quals a la fi reirradien també cap a l'atmosfera) i d'energia cinètica.

Dels 172000 TW., que s'accepta com l'aportació procedent del sol que interacciona amb el sistema atmosfera-terra (Sorensen, B., 1978), aproximadament uns 60000 TW. són reflectits (un 85% a l'atmosfera) i només una quarta part és absorbida per l'atmosfera, la qual irradia 91400 TW. Només uns 1200 TW s'empran per a mantenir la circulació general de l'atmosfera, de la qual una petita part (3 TW) és transferida cap a la circulació oceànica.

La hidrosfera absorbeix la part més gran de tota la radiació procedent del sol (65400 TW), la qual s'empra per evaporar l'aigua o és reirradiada com radiació d'ona llarga.

La part superior de la litosfera intercanvia activament calor amb l'atmosfera. Absorbeix 15600 TW, 5400 serveixen per als mecanismes d'evaporació i sublimació i 4600 van a parar a l'atmosfera com calor sensible. Una part important també és reirradiada en forma de radiacions d'ona llarga.

La producció de biomassa empra 113 TW. (aproximadament el 0.08 % de la radiació solar a l'atmosfera alta), de la qual un 30% és utilitzada en la fotosíntesi del fitoplacton i les algues verdes. Una part, també important, es emprada en la fotosíntesi dels boscos tropicals i una dècima part l'utilitzen els prats i les pastures.

D'acord amb el supòsit de que el sistema atmosfera-terra és un sistema estacionari, l'intercanvi d'energia entre ell i els seus voltants és nul. En això, hom es basa per parlar del "cicle" de l'energia doncs el flux energètic que surt del sistema (122500 TW.), en forma de radiació d'ona llarga (calor) es pot tancar amb el fluxe net (l'incident menys reflexat) procedent del sol (també 122500 TW). No s'ha parlat aquí de la petita contribució energètica (3 TW) procedent de fora el sistema, com és l'atracció gravitatòria (en forma de mareas) produïda pels planetes i demés cossos estelars.

Centrant-nos en l'energia cinètica continguda en la circulació atmosfèrica, s'accepta (Sorensen, B., 1978) que l'Energia Potencial disponible a l'atmosfera, equival a $2.8 \cdot 10^{21}$ J. i que l'Energia Cinètica de la Circulació equival a $7.5 \cdot 10^{20}$ J. Això és lo mateix que l'equivalent a 27 dies i 7 dies de producció i dissipació d'energia cinètica (en promig).

3.1.2 Els Vents a Catalunya

El fenomen vent és molt conegut, ja des de molt antic entre els pobles que habiten les voreres de la Mar Mediterrània.

Totes les civilitzacions mediterrànies antigues tenen la seva mitologia eòlica. També les civilitzacions més recents han aplegat els coneixements populars sobre el vent en publicacions variades (llunaris, calendaris, anuals, etc.)

Si bé, el vent era conegut d'antic, ha estat en el transcurs del nostre segle quan s'ha començat a estudiar-lo per a comprendre'n les causes. I encara ha estat més recent l'inici d'estudis per a poder-lo quantificar energèticament.

3.1.2.1 Els coneixements populars :-

A principis del nostre segle es podia llegir en molts llunaris i/o calendaris del temps, que:

"Viento, según los filósofos, es una exhalación a manera de vaho, caliente y seca que se produce en las entrañas de la tierra, y después de haber salido con la virtud y la fuerza de los rayos del sol, se mueve alrededor de ella con tanta fuerza y vehemencia, como muchas veces vemos y experimentamos.

La causa eficiente de los vientos, como está dicho, es el sol, tirando y atrayendo para sí las exhalaciones, las cuales siendo evaporadas, y queriendo subir a lo alto, son expeditas de la frialdad que está en la media región del aire, y según son las tierras y regiones por donde pasan así suelen ser nombrados, y reciben calidades diferentes y causan diversos efectos. Antiguamente los filósofos solamente usaban de doce diferencias de vientos, y de estos los cuatro son llamados cardinales, porque nacen y corren de las cuatro partes del mundo, y los otros ocho son dichos colaterales. El primero de los cardinales se llama meridional, porque viene de una parte de mediodía; éste causa grandes nubes, relámpagos y grandes lluvias con muchas enfermedades; y por ser caliente y húmedo, engendra putrefacción: el colateral de este viento, que está hacia poniente, se llama limbonoto y causa también lluvias y enfermedades,

como el principal: el otro colateral, que está hacia oriente es llamado fenicis: es más sano y causa nubes. El segundo viento cardinal llamado tramontana, el cual es opuesto al meridional, es frío y seco, y por maravilla llueve con este viento, pero es muy sano y causa frios muy secos y daña a los frutos de la tierra. Tiene dos vientos colaterales: un viento colateral, que está hacia occidente, es llamado cierzo, y es frío y seco: causa grandes revoluciones, vientos y niebes. El otro viento colateral, que está hacia el oriente, es llamado aquilón, frío y seco, y sin lluvias. El tercer viento cardinal llámase levante, es frío y húmedo, y engendra nubes, y con este viento acostumbra a llover en Valencia, y ayuda mucho a las yerbas y flores y conserva la salud; tiene asimismo dos colaterales, el uno hacia mediodía, llamado euro, y el otro hacia tramontana, llamado gregal, los cuales son benignos siguiendo la cualidad del principal. El cuarto cardinal viene de occidente, el cual se llama poniente, cuya naturaleza es caliente y seca en Valencia: cuando corre este viento, templá los frios, derrite las nieves, causa enfermedades y romadizos, y algunas veces, truenos y lluvias: Sus colaterales son llamados corus y áfrico: El corus está hacia tramontana, y el áfrico hacia mediodía, según la naturaleza del principal." (Cortés, J., 1904)

En aquest "Lunario Perfecto, pronóstico general y particular del reino y provincias" s'hi trobaven les coses més heterogènies (maneres de comptar el temps, taules de festes, efectes dels planetes, de la lluna, eclipses, etc.) entre elles la descripció dels vents i de com conèixer quan farà vent.

SEREALES DE VIENTO POR EL SOL

=====

Si cuando el sol nasciere, señala tener en sí alguna concavidad, señala vientos húmedos.

Quando el sol apareciere a la mañana amarillo con algunas nubes debajo, denota vientos septentrionales.

Quando a la mañana apareciere el sol rubio , señala vientos muy enjutos.

EL VENT I EL SEU PASSAT

Quando al nacer el sol esparce las nubes, unas hacia el austro, otras hacia el septentrion, señala vientos húmedos, aún con agua.

Quando el sol al salir o al ponerse, se viere de color verde o cetrino, rodeado de nubes gruesas, señala vientos recios y húmedos.

Quando al salir el sol se mostrare más grande de lo acostumbrado señala fuertes vientos al tercer día.

Quando el sol tuviere muchos círculos-alrededor, señala tempestad de vientos, si tuviere sólo uno de muchos colores, señala lo mismo.

SEÑALES DE VIENTOS POR LAS ESTRELLAS =====

Quando las estrellas de noche parece que centellean mucho y aún parece que se muevan, señala recios vientos al otro día.

Quando corren de una parte a otra las estrellas, o, por mejordecir, las exalaciones encendidas denotan vientos y que vendrán de aquella parte que se mueven.

Quando las estrellas aparecieren mayores de lo acostumbrado, señalan vientos al tercer día.

Quando de las cuatro partes del mundo se movieren las estrellas, o cometas, corriendo de una parte a otra, denotan terribles vientos con truenos y relámpagos.

Quando se vieren mover y esconder de presto algunas estrellas, señalan tiempos tempestuosos.

Quando en algunas estrellas se vieren círculos rubios denotan vientos.

Cuando las estrellas, llamadas cabrillas, se manifiestan más resplandecientes de lo acostumbrado, señala vientos de aquella parte.

SEÑALES DE VIENTOS POR RELAMPAÇOS
=====

Cuando hiciere relámpagos hacia occidente o hacia el norte, denota mudarse el tiempo con vientos.

Cuando en el estio hiciere muchos truenos y pocos relámpagos denota vientos por aquella parte.

Cuando a la mañana se sienten truenos, a la tarde señalan vientos.

SEÑALES DE VIENTOS QUE DAN LAS AVES Y PESCADOS
=====

Cuando las golondrinas vuelan junto la tierra o agua y con las alas van tocando el agua o la tierra, señalan vientos fortisimos.

Cuando los ánades se estiraren las plumas con los picos, denotan vientos.

Cuando los delfines dan saltos por el agua, y se llegan a la tierra, denotan vientos.

Cuando los cuervos marinos se limpian mucho las plumas, y los otros cuervos dan muchos grainidos, denotan vientos.

SEÑALES DE VIENTOS POR LA LUNA
=====

Cuando la luna se mostrare muy rubicunda, tres días antes o después de su conjunción, ó si tuviere algún círculo de dicho color, señala fortisimos vientos.

Cuando la luna, siendo nueva, tuviere las puntas muy delgadas, coloradas y resplandecientes, y que parece que se mueve, señala terribles vientos.

Cuando la luna antes del cuarto día no mostrare sus puntas agudas, sino romas, señala vientos duraderos por casi toda la innación, y que vendrán de occidente.

Cuando al cuarto día la luna mostrare sus puntas gruesas, y que pareciere moverse, señala vientos grandes y mojados.

Cuando la luna al cuarto día tuviere un círculo rubio señala vientos.

Cuando la luna se mostrare rubicunda en cualquiera tiempo, señala vientos.

Cuando la luna saliere por el horizonte, ó se pusiere, y se mostrare rubia y no resplandeciente, señala vientos fortísimos al tercer día.

Cuando la luna tuviere algún círculo negro o verde, interciso por muchas partes, denota vientos fuertes.

Cuando la luna fuere llena, y tuviere algún círculo, y dentro del círculo tuviere alguna nube, señala vientos terribles.

SENALES DE VIENTOS POR NUBES

=====

Si cuando el tiempo estuviere claro y sereno, apareciere alguna nube por el horizonte, señala vientos, y de aquella parte que se asomare.

Cuando las nubes corren a diversas partes, y ellas son muy delgadas, señalan vientos

Cuando algunas nubes gruesas cercan las alturas de los montes, denotan vientos.

Quando las nubes aparecieren a la parte de oriente, como vellocino de lana cardada, denotan vientos furibundos australes.

Quando a la puesta del sol y después aparecieren al ocaso, nubes muy rubias, señalan vientos; y si dichas nubes se extendieren hacia el austro, habrá también aguas.

Quando el arco del cielo apareciere a la mañana señala vientos a la tarde del mismo día.

Quando el arco del cielo apareciere estando el tiempo sereno, señala vientos.

Cualquier arco que apareciere amarillo, ó rubio, alrededor de algunas estrellas, señala vientos.

SERALES DE VIENTOS POR COSAS SIN SENTIDO

=====

Quando las campanas sonaren más de lo acostumbrado, es señal de vientos húmedos.

Quando el fuego centellea mucho, denota vientos.

Quando las brasas o áscuas de fuego, se apagaren al vaso de agua, señala vientos.

Quando los montes resonaren mucho y el mar hiciere gran ruido, señala vientos tempestuosos y borrascas en dicho día.

és, en arribar la segona dècada del segle actual quan es publica el primer treball de recopilació dels noms dels vents a Catalunya (Griera, A., 1914).

Però no és fins fa 30 anys que s'aplega en forma de llibre els coneixements populars que sobre el vent tenien els habitants de Catalunya (Sanchis Guarner, M., 1952), i que s'expressen en forma de refranys. Així hom pot comptar més de 300 refranys que fan referència al vent. Aquesta obra,

que ha utilitzat reculls anteriors (Gomis, C., 1888; Grier, A., 1914; Amades, J., 1930 i 1938; Gella, J., 1944; Sanchis Guarnier, M., 1948), i que és una exhaustiva descripció dels vents a totes les comarques dels Països Catalans, classificats en les 8 direccions principals, diu:

"la gent de la ciutat, avesada a l'atmosfera artificial, a penes si sap distingir l'aire del vent, i rònegament en recorda una inexpressiva terminologia tècnica que aprengué a l'escola. No obstant, el vent té una importància cabdal en la vida del nostre país: "Eol és un gran personatge mediterrani; aquest mar és un dels regnes del vent" (Pierre Desfontaines, La Méditerranée). La localització i inestabilitat de les temperatures hi provoca violentes diferències de pressió, que originen vents locals molt irregulars però sempre bruscs, secs i determinants d'una intensa lluminositat, freds a l'hivern i polsosos a l'estiu, que inclinen les soques dels arbres, despullen de terra blana les roques, condicionen l'agricultura i dificulten o impedeixen la navegació. Als vents terrals, secs i excitants, s'els oposen, tanmateix, els vents marins, humids, dolços, pesats i malsans, però sempre temperadors. No és, doncs, estrany, que entre els pagesos i els mariners, el vent, dèspota que ningú no ha vist, però que tothom coneix amb detall, tingui una variada nomenclatura segons la direcció d'on ve, la periodicitat amb que es produeix, la violència o suavitat del seu buf, etc."

3.1.2.2 La mesura i l'estudi del vent: els inicis - del coneixement científic del vent

és a finals del segle passat quan s'estableix la "Red Meteorològica de las provincias de Barcelona, Baleares, Gerona, Lérida y Tarragona", i quan E. Fontseré s'encarrega de l'organització de la xarxa meteorològica de Catalunya i Balears. A partir d'aquest moment és quan hom comença a recollir dades sistemàtiques de vent, que possibilitaran els estudis posteriors per a comprendre el fenomen eòlic. Cal destacar especialment el període 1921-1937 en que va funcionar el Servei Meteorològic de Catalunya, realitzant una importantíssima tasca (establiment d'una ampla xarxa d'observadors, publicació de les dades recollides, estudis climatològics, etc.), que va ésser interrompuda violentament per l'alçament militar feixista, desorganitzant-se la xarxa d'observació (ni tan sols avui s'ha recuperat el nivell d'aquells anys), dispersant-se l'equip humà, destruint-se molts arxius, etc.

Els estudis que fan referència al vent, realitzats en aquesta època, es poden agrupar en dos grans apartats:

- * estudis sobre la circulació atmosfèrica regional, i
- * estudis sobre els vents en superfície a la zona catalana.

3.1.2.2.1 Estudis sobre la circulació atmosfèrica -

A la segona dècada del nostre segle es creà a Barcelona una estació aerològica (Institut d'Estudis Catalans i Observatori Fabra) que llençava globus sonda els dies fixats per la Comissió Internacional per l'Aeroestació Científica, publicant-se les dades fins a l'any 1936 (Fontserè, E., 1915, 1917, 1922, 1923 i altres).

En base a aquests registres amb globus sonda fins a 5000-8000 m., va ser possible estudiar els vents estivals de convecció a la costa catalana (Fontserè, E., 1918, 1920).

A partir de 1920, les observacions aerològiques iniciades per E. Fontserè foren elaborades per altres persones fins l'any 1936 (Guixal, A., 1922, 1923; Anglada, J., 1924, 1925; Campo, G., 1926-1937). És interessant destacar que en els treballs de Campo es donen les roses de freqüències de les direccions del vent a alçades de 500, 1000, 2000, 3000, 4000 i 5000 m.

És en aquests anys quan s'inicia la col.laboració entre el Servei Meteorològic de Catalunya i les línies aèries que empraven l'aeroport de Barcelona. A partir de l'any 1923 el S.M. de C. organitzà vols especials per a realitzar sondatges de l'atmosfera (Fontserè, E., 1923a, 1923b). Uns anys més tard (1933-1934) el S.M. de C. i l'Institut Oceanogràfic col.laboren en un pla d'observacions simultànies a terra i a alta mar, facilitant la comprensió de l'important fenomen de la tramuntana i el mestral.

D'aquesta època són els primers estudis sobre l'estructura de les masses d'aire i els efectes del relleu (Fontserè, E., 1920; Doporto, M., 1938). No serà fins ben passada la guerra que es tornaran a publicar estudis referents als vents en alçada (Vidal, J.M. i Potau, M., 1944; Fontserè, 1942). L'interessant estudi de Vidal i Potau es basa en mesures de velocitat i direcció del vent a diferents alçades, realitzades mitjançant sondatges realitzats entre 1924 i 1940. Els resultats coincideixen amb els que Campo

havia obtingut.

Aquí finalitzaren els treballs i estudis sobre la circulació atmosfèrica a Catalunya, que no s'han reiniciat fins a finals dels anys setanta (Puigcerver, M., 1978) amb mitjans ben diferents dels emprats per Fontserè i col.laboradors.

Hom pot acabar aquesta descripció dels estudis sobre la circulació atmosfèrica afirmant, en paraules de Albentosa (1975) que:

"Se pueden apreciar unas claras deficiencias en infraestructura aerológica que, evidentemente, se reflejan en la escasa información que se tiene sobre la circulación regional de altura y en los trabajos de investigación realizados. En la región catalana no existe ninguna estación de radio-sondeo, y, por consiguiente, la información de los niveles altos se ha de deducir, por interpolación, de los registros obtenidos en las estaciones de Madrid, Palma de Mallorca y las situadas en el SE. de Francia. La única información aerológica obtenida en Cataluña es la que resulta del lanzamiento de globos-piloto desde Barcelona, y con este sistema, aparte de que la información es incompleta y muy localizada, se reduce a las capas bajas. Por otra parte, si se tiene en cuenta la compartimentación del espacio que el relieve representa en la región, así como el carácter macizo y altitudinal de los Pirineos, y de unidades como el Montseny y Puertos de Beceite, se explica el carácter esquemático o introductorio que tienen los trabajos y los conocimientos sobre la circulación regional."

3.1.2.2.2 Estudis dels vents en superfície a la zona catalana.

Que a Catalunya hi ha alguns vents que bufen amb gran freqüència gairebé ningú ho posa en dubte. Meteoròlegs i climatòlegs han estudiat la tramuntana, el mestral, marinades i llevant.

Ja s'ha dit anteriorment com s'havien fet les observacions que van possibilitar publicar l'estudi clàssic sobre la tramuntana i el mestral. Ben segur que l'estudi seria més complert si no s'haguessin perdut (?) gran

quantitat de dades com es comenta en la publicació de l'Institut d'Estudis Catalans (Fontserè, E., 1950). Abans que Fontserè, altres autors ja havien parat atenció en les tramuntanades (Patxot, R., 1905; Agulló, T., 1917; Raurich, S., 1945).

Del mestral, a més d'haver-lo estudiat Fontserè, existeix un treball francès que estudia les seves característiques al llarg de la costa francesa i catalana (Mengel, D., 1934).

Les marinades foren ja objecte d'atenció a principis de segle (Fontserè, E., 1915a, 1918, 1923c). Basant-se en els estudis de Fontserè es va realitzar un llibre de caire divulgatiu (Miquel, E., 1928).

Qui primer es va plantejar la problemàtica dels llevants va ésser Fontserè (1929), seguit, després de la guerra, per Tomas Guevedo (1959, 1961, 1966, 1971, 1972), per Alonso (1975) i Alonso i Puigcerver (1976).

Existeixen també estudis de vents realitzats amb les dades registrades per alguns observadors locals.

3.1.2.3 Un comentari -

A despit de la quantitat d'estudis referents al vent, tant en superfície com en alçada, cap d'ells es va enfocar de cara a l'aprofitament energètic, més aviat eren enfocats de cara a l'aviació (aleshores es començava a desenvolupar), de cara a la meteorologia i climatologia o de cara a comprendre el fenomen vent. Hom tindrà d'esperar fins a finals de la dècada dels anys setanta (Meseguer, C., 1978) perquè apareixi una primera valoració energètica del vent a Catalunya.

3.1.2.4 Treballs recents -

Recentment i amb motiu de la realització dels "Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció del Mapa Eòlic de Catalunya" (Puig, J. i Meseguer, C., 1982) hom ha fet una enquesta titulada "El vent i les seves aplicacions" (Puig, J. i Meseguer, C., 1982a), a tots els municipis de Catalunya on s'han aplegat alguns dels coneixements dels vents que encara conserva el nostre poble.

EL VENT I EL SEU PASSAT

S'han aplegat 679 noms de vents (228 de diferents) a les comarques de Catalunya, essent la comarca amb més noms de vents el Baix Empordà, amb 38.

EL VENT I EL SEU PASSAT

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	
Baix Llobregat	3	3	2	3	5	4	2	4	26
Barcelonès	-	-	1	1	-	1	-	-	3
Maresme	1	4	1	2	4	1	3	4	20
Vallès Occidental	4	4	2	4	1	2	1	3	21
Vallès Oriental	3	5	1	3	2	-	1	1	16
Alt Empordà	4	4	2	3	6	3	2	6	80
Baix Empordà	5	5	6	4	6	5	3	4	38
Garrotxa	5	3	4	2	2	2	1	2	21
Gironès	3	1	3	2	3	3	4	1	20
Selva	2	3	3	2	3	3	5	1	22
Alt Camp	3	1	1	2	5	1	3	3	19
Alt Penedès	3	4	5	4	3	5	2	4	29
Baix Penedès	1	3	-	-	2	4	1	3	14
Garraf	1	-	1	1	-	2	1	1	7
Tarragonès	2	4	1	2	1	2	2	1	15
Baix Camp	2	2	2	7	4	4	2	1	25
Conca Barberà	1	1	2	2	2	1	1	1	11
Priorat	3	1	3	3	7	2	1	3	23
Ribera d'Ebre	2	1	3	2	2	1	1	4	16
Baix Ebre	4	4	4	1	3	-	3	2	21
Montsià	2	2	-	2	4	2	2	2	16
Terra Alta	2	-	1	3	1	-	2	1	10
Cerdanya	3	2	1	-	-	-	1	-	7
Osona	3	3	1	4	1	3	3	3	21
Ripollès	1	1	-	1	1	1	1	1	7
Anoia	5	2	5	3	4	1	3	4	27
Bages	2	3	3	2	1	2	4	3	21
Berguedà	3	1	1	-	1	1	1	-	8
Solsonès	3	-	1	1	2	-	2	3	12
Garrigues	3	4	3	2	3	1	2	3	21
Noguera	3	4	3	2	4	2	4	2	24
Segarra	1	2	1	2	2	1	2	2	13
Segrià	5	4	4	4	4	3	4	3	32
Urgell	2	6	3	3	2	4	4	2	27
Alt Urgell	2	-	-	-	1	-	1	-	4
Pallars Jussà	2	-	1	-	-	-	1	-	4

Pallars Subirà	1	1	-	-	1	-	-	1		4
Vall d'Aràn	1	-	1	-	-	1	1	-		4
<hr/>										

TOTAL = 679 noms de vents

3.2 LA CONVERSIÓ DE L'ENERGIA CINÈTICA DEL VENT EN MECÀNICA/ELÈCTRICA

Si bé la primera forma d'aprofitar la força del vent va ésser pel transport de persones i mercaderies, la utilització més popular del vent ha estat per a la producció d'energia mecànica a través dels ben coneguts molins de vent.

Encara que la paraula molí signifiqui qualsevol artefacte per a moldre, especialment grà, i "molí de vent", s'hagi associat als molins de vent fariners, el cert és que han existit molins de vent paperes, drapers, de sucre, i "molins de vent", d'aigua. Tots ells transformaven la força del vent, captada per unes pales situades al cim d'una torre, en energia mecànica (Alcover, A. Ma., Moll, F. de B., Sanchis Guarner, M., 1956).

Més recentment s'han desenvolupat altres "molins" de vent en que l'energia mecànica ha estat transformada en energia elèctrica.

En aquest apartat em referiré especialment a qualsevol Sistema Conversor d'Energia Eòlica (S.C.E.E.) constituït per una superfície de captació i un sistema de transformació de l'energia captada, estant el captador i el conversor o bé només el captador al cim d'un suport de sustentació.

3.2.1 Bases Físiques i Tècniques de conversió

L'energia associada al moviment d'una massa m , augmenta amb el quadrat de la seva velocitat V .

és la coneguda relació:

$$E = 0.5 * m * V^2 \quad [N.m \text{ o } J]$$

El vent pot ser considerat com una massa m d'aire en moviment. Aquesta massa, ocupant un volum U i tenint una densitat d . Aleshores:

$$E = 0.5 * d * U * V^2$$

La densitat de l'aire a la pressió d'1 bar (nivell del mar) i a una temperatura de 20 graus C és 1.2 kg/m³.

Un Sistema Conversor d'Energia Eòlica és aquell que converteix l'energia cinètica continguda en un fluxe d'aire en energia mecànica. Aquesta transformació té lloc en disminuir la velocitat del fluxe una vegada travessada la superfície de captació.

Si hom considera una superfície S , normal al fluxe, aleshores serà travessada, per unitat de temps, per una quantitat.

$$U/T = S * V$$

Per tant, l'energia per unitat de temps (la potència) d'aquest fluxe serà:

$$P(V) = 0.5 * d * S * V^3 \quad [N.m/s \text{ o } J/s \text{ o } W]$$

Betz(1926) ja va demostrar que un Sistema Conversor d'Energia Eòlica ideal, treballant sense cap mena de pèrdues pot convertir en energia mecànica, com a màxim, la 16/27 av part d'energia continguda en el fluxe d'aire, que travessa la superfície de captació.

Evidentment, el Teorema de Betz va ésser demostrat partint de simplificacions que idealitzaven el fluxe real.

A la pràctica però, no tota la potència associada al fluxe en moviment pot ser captada. Això ha dut a definir l'anomenat "Coeficient de Potència. CP", que és la relació entre la potència mecànica obtinguda i la potència associada al fluxe de l'aire que travessa la superfície S :

$$CP = P_{MEC} / P$$

$$\text{essent } P_{MEC}(V) = CP * 0.5 * d * S * V^3 \quad [W]$$

Per un Sistema Conversor d'Energia Eòlica, que tingui un Sistema de Captació constituït per unes pales d'un perfil aerodinàmic determinat, el Coeficient de Potència és

fonamentalment una funció de dos paràmetres dependents del perfil. Aquests paràmetres són:

a) La relació de velocitats entre la punta de la pala i la velocitat lliure del vent:

$$I = R * VA / V$$

essent VA la velocitat angular del rotor
i R el radi (D/2) del captador

b) L'angle d'inclinació que forma la corda del perfil (a 0.75 vegades R, si el perfil és guerxat) i el pla del con de rotació del rotor (Wilson, R.E; Lissaman, P.R.S. 1974 i 1976)

Per tant: $CP = CP(1,b)$

Però per saber la Potència Real de sortida del Sistema, cal tenir en compte, a més, el rendiment global de conversió de l'energia mecànica en elèctrica, ja que tant el multiplicador (si en té), com el generador, com els controls tenen els seus corresponents rendiments.

Per tant, la potència elèctrica serà:

$$PE(V) = r * CP(1,b) * 0.5 * d * S * V^3 \quad [W]$$

No obstant, la Potència Elèctrica ve limitada per les característiques del generador emprat. D'aquí que es defineixi la Potència Nominal (PN) com la màxima Potència de sortida d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica.

Normalment, un Sistema Conversor d'Energia Eòlica està caracteritzat per unes velocitats de funcionament determinades:

Velocitat de connexió(VC): aquella velocitat del vent per dessota de la qual el Sistema no produeix energia.

Velocitat de desconnexió(VD): aquella velocitat del vent per sobre de la qual el Sistema deixa de produir energia.

Velocitat nominal(VN): la més baixa velocitat del vent a la qual la Potència Elèctrica assoleix la Potència Nominal.

Per tant, un Sistema Conversor d'Energia Eòlica, ve caracteritzat per uns règims de funcionament determinats segons el vent:

$PE(V) = 0$	si	$V < V_C$
$PE(V) = r * CP(1,b) * 0.5 * d * S * V^3$	si	$V_C \leq V < V_N$
$PE(V) = P_N$	si	$V_N \leq V \leq V_D$
$PE(V) = 0$	si	$V > V_D$

3.3 EL PROCÉS HISTÒRIC DE L'APROFITAMENT DE LA FORÇA DEL VENT DES-DELS ORIGENS FINS L'ANY 1970

En aquest apartat hom construeix una història de l'energia eòlica, analitzant els seus orígens, tant al món com a la Península Ibèrica, i el paper que va tenir en les societats de l'època.

També es detallen les primeres experiències contemporànies de conversió eòlic-elèctrica fins arribar a la majoria d'edat d'aquesta forma d'aprofitament, discutint els resultats obtinguts en cada experiència i la importància que va tenir aquest recurs energètic en algunes societats.

3.3.1 Els orígens de l'aprofitament de l'energia eòlica.

Les primeres referències que es tenen sobre l'aprofitament de l'energia eòlica són uns dibuixos d'una embarcació de vela navegant pel Nil. Datan d'uns 4500 anys abans de la nostra era i són la primera representació de l'ús de veles per produir moviments de translació longitudinals (Digby, A., 1954).

Així mateix, la civilització sumèria utilitzava vaixells de vela en els seus desplaçaments pels rius Tigris i Eufrates i pel golf Pèrsic, uns 4000 anys abans de l'era actual. Thor Heyerdal va construir, a l'Irak, l'embarcació "Tigris" a base de joncs, i va viatjar-hi des de les costes d'Oman fins a l'entrada del mar Roig (1977-78), en un intent

de demostrar que aquestes civilitzacions podien haver utilitzat la navegació de vela.

Alguns autors afirmen que en èpoques tan remotes com 600-400 anys abans de la nostra era es feien servir molins d'eix vertical per bombejar aigua allà on avui és Pèrsia (Wulff, H., 1966). D'altres autors es remunten a l'any 1700 anterior a la nostra era i afirmen que l'emperador Hammurabi de Babilònia pensava usar l'energia del vent per als seus ambiciosos projectes d'irrigació (Flettner, A., 1926).

També alguns autors defensen la teoria que la civilització grega dels segles I i II de la nostra era coneixia el molí de vent. Per dir això es basen en dos arguments: el primer és que en un text de caràcter tècnic d'Heron d'Alexandria (Woodcroft, B., 1851) apareix la paraula grega "anemurion" en la descripció d'un aparell que emet sons mitjançant la acció del vent; el segon es basa en textos geogràfics en els quals apareix la mateixa paraula usada com a topònim.

Segons Julio Caro Baroja (1952), en la seva "Disertación sobre los Molinos de Viento", l'única cosa que es pot desprendre d'aquests textos és que Heron parla de la "roda de vent" com d'un mecanisme ja conegut a l'època, tot associant-la a un enginy sense caràcter utilitari: una joguina musical. A més, la paraula "anemurion" emprada en textos geogràfics segurament que designava llocs molt ventosos.

Les referències més antigues sobre molins de vent pròpiament dits sembla que tenen orígens asiàtics. L'enciclopèdia històrica i geogràfica titulada "Muruj Al-dhabab wa ma 'adin al-juwahir", l'autor de la qual fou Abu-l-Hassan'Ali ibn al-Houssain ibn'Ali al-Mas'udi, escrita a l'any 944 de la nostra era i revisada als anys 956-957, deixa irrefutablement clar que en aquella època existien molins de vent al Sijistan (zona compresa entre les terres que avui formen Pèrsia i Afganistà).

També Caro Baroja (1952) cita una obra d'Al-Mas'udi titulada "Las praderas del oro" i en la qual es pot llegir: "El Sijistan és, per excel·lència, el país dels vents i les arenas; és famós per la indústria que empra el vent per moure moles i per treure aigua dels pous, amb la qual després es reguen els jardins".

En el mateix segle (segle X), altres autors àrabs esmenten els molins del Sijistan. Entre d'altres, Shamso

'd-din abu Abdullah Mohammed ibn Ahmad ibn Abi Bekr al-Banna al-Basschari al-Mokkaddasi, Abu Ishad Ibrahim ibn Muhammed al-Farisi al-Istakhri, i Aból-Kasim Ibn Hawkal.

Al-Farisi, geògraf que va viure cap a l'any 950, diu: "El sol del Sijistan és estèril i arenós; el terreny, uniforme... Sempre fa vent i amb una força suficient com per fer moure les moles que els habitants han col·locat pertot."

Ibn Hawkal, també geògraf, diu: "Els vents del Sijistan arriben a ser tan intensos i continuats que els habitants d'aquella zona han construït molins que es mouen pel seu impuls."

Un autor d'època més tardana (1412), Al-Cuzuli, es refereix també als molins del Sijistan dient: "Tots els molins i les nòries són moguts pel vent del nord i estan orientats en la seva direcció... Estan proveïts de finestrelles que s'obren o es tanquen per deixar entrar més o menys vent, ja que quan bufa amb massa força cou la farina, i llavors surt negra, i encara de vegades les mateixes moles es posen incandescent i es desfan a trossos".

Aquest fort vent, anomenat "badi sad ubid ruz" (que bufa continuament durant 120 dies), comença a bufar entre primers de maig i mitjans de juny, i dura fins a finals de setembre, en direcció de N. a W., a més de 100 km/h.

Aquests molins estan formats per una torre quadrangular, situada verticalment, en l'interior de la qual es posen les pales. Estan compostos de 8 aspes que s'instal·len darrera d'un estrenyiment en forma de falca, per l'interior de la qual passa el vent. Les aspes estan col·locades al voltant d'un eix vertical, la part inferior del qual acciona la mola (Molesworth, P., 1902).

Segons el mateix Caro Baroja, hi ha raons per pensar que la invenció dels molins d'eix és pre-islàmica. Caro diu textualment: "és molt probable que molt abans del segle X existissin molins de vent d'eix vertical, i es pot fer, molt lícitament, la conjectura que algun enginyer de l'imperi sassànida, familiaritzat amb la mecànica hel·lenística i greco-romana, tingués la idea d'aplicar l'extraordinària i periòdica força de l'aire de la Drangiana, amb la seva direcció única, a un fi utilitari".

Hi ha una anècdota citada per Washington Irving (1850) i reproduïda per Caro Baroja (1952) que explica el fet que l'assassí del califa Omar es va oferir per construir un molí de vent (l'assassinat es va produir a l'any 644). L'assassí era un persa mazdeista (l'imperi sassànida fou derrotat per l'Islam al 651). Aixó, doncs, prova que els perses ja coneixien aquests molins en aquelles èpoques. De la mateixa opinió és Jean Gimpel (1981).

Enginyers semblants als molins del Sijistan són esmentats per exploradors i viatgers a Xina en èpoques relativament llunyanes, com el 1655. Jan Nienhoff, un holandès, esmenta que al segle XVII va veure molins d'aquests a la costa xinesa, al nord del Yangtze (Michinton, W., 1980). Eren artefactes moguts per veles col·locades en relació a un eix vertical. S'empraven sobretot per elevar aigua en les salines. A diferència dels perses, aquest molí es mou sota l'impuls de qualsevol vent (King, F.H., 1927). De fet, ja al segle XIII hom reconeix que existien aquests molins a Xina (segons l'Enciclopèdia Britànica).

La relació que hi pugui haver entre aquests dos tipus de màquines, encara no ha estat aclarida.

Pel que fa als primers molins europeus, molts autors estan d'acord que van ser inventats al voltant del segle XII (Gimpel, J., 1981) i que els primers textos que en parlen daten d'aquesta època.

Caro Baroja (1952) cita un article titulat "Moulin" del "Dictionnaire d'Archeologie Chétienne et de Liturgie". És de l'any 1105 i fa referència a un document del comte de Mortain pel qual autoritza a l'abat de Savigny la instal·lació d'un "Molendium ad ventum".

A Normandia, el registre més antic sobre molins de vent apareix el 1180, al sud-est d'Anglaterra el 1191 i al sud-oest de Bèlgica el 1197. Segons J.C. Notebaart (1969), el triangle format per Normandia, el SE, d'Anglaterra i el SO, de Bèlgica, cal considerar-lo la regió d'Europa bressol dels molins e vent.

Aixó no obstant, les primeres reproduccions de molins apareixen al segle XIII.

Els molins que anomenarem europeus són d'eix horitzontal i podem considerar-ne de tres tipus fonamentals.

3.3.1.1 Molins de pilastre. -

Segons que assenyalen tots els indicis, foren els primers a aparèixer a Europa. Consten d'un pal i d'un recinte de fusta amb les moles i els eixos transmissors de l'energia captada. Tot el recinte gira sobre el pal, i es orientat manualment. Les primeres il·lustracions gràfiques d'aquests molins són miniatures que il·lustren la "Física" d'Aristòtil (publicada a Anglaterra al s. XIII) i els "Decretales" de Gregori IX (segle XIV); o també escultures sobre fusta, com la que es conserva en un banc de l'església de Torham (Norfolk). Un esquema de molí de pilastre apareix reproduït en l'obra de Jerònim Cardan (1501-1576) "De rerum varietate". Actualment quasi no existeixen molins d'aquesta mena; en pot ser un el que es conserva a l'illa d'Ouessant (Bretanya Francesa).

3.3.1.2 Molins de Trípede. -

Paral·lelament als molins de pilastre es van construir els anomenats de trípede, ja que en llur part inferior, la pilastra estava aguantada per unes barres de fusta en forma de trípede.

La il·lustració més antiga que se'n conserva és la miniatura d'un psalteri fet a Canterbury a l'any 1260. S'anomena "Windmill psalter" i va ésser comprat, a l'any 1896, per William Morris, essent actualment propietat de la "Pierpont Morgan Library" de New York (Shillingford, A. E. P., 1979).

A partir del segle XV, els molins de pilastre ja no es van construir més, i els de trípede foren objecte de successives millores.

Durant els segles XV al XVII, els molins de trípede són ampliament reproduïts en pintures sobre assumptes pietosos i en paisatges. Al "Museo del Prado" hom pot observar nombroses obres dels mestres flamencs on hi apareixen aquests molins, animant tant paisatges urbans com camperols.

A l'escut d'armes de l'Associació de Mestres Moliners de Copenhague (1648) hi apareix també un molí de trípede (Transactions, 1969).

Igual que els molins de pilastre, en els molins de tripode és mòbil tota la part que hi ha per sobre del tripode.

Més endavant van aparèixer els que podem anomenar de tripode recobert, la base dels quals s'aprofita com a magatiem de grà. D'aquests molins encara se 'n conserven alguns, a Anglaterra.

Existeix un esquema d'un molí de tripode atribuït a un enginyer hussita (1430), on es poden veure totes les parts mecàniques del molí, destacant la completa horitzontalitat de l'eix que soporta les pales. (Beck, T., 1900)

3.3.1.3 Molins de Torre -

Alguns autors han relacionat l'invenció o la difusió dels molins amb les croades, basant-se amb la coincidència que la segona croada (1147-1149) i la tercera (1189-1192) es donen en el moment que els molins s'escampen per Europa.

De fet, les referències que avui existeixen (Caro Baroja, 1952), referents als molins de torre, són més modernes que les dels molins com els del Síjistan o els de pilastre o tripode. A l'àrea mediterrània oriental, apareixen molins a les places fortes cristianes ocupades per cavallers de les ordres que es van desenvolupar després de la primera croada.

Va ser precisament la tercera croada que va introduir el molins a l'Orient Mig (i no a l'inrevés) Tal com consta en un testimoni ocular, citat per Gimpel (1981):

"Soldados germánicos sabios,
construyeron aquí,
los primeros molinos de viento,
en Siria conocidos."

Els molins de torre, tant els construïts a base de pedra (sobretot a les zones mediterrànies) com els construïts en fusta (a altres parts d'Europa), es diferencien dels molins de pilastre i de tripode en que només és mòbil la part superior de la torre, aquella que aguanta l'eix on s'articulen les pales.

3.3.1.4 Les aplicacions d'aprofitament de la força del vent

Les primeres innovacions tecnològiques

Els molins de vent, sols van ésser utilitzats per a moldre grà, sinó que, igual que a Pèrsia, els molins europeus, bombaven aigua. Cap a 1350 es comencen a usar aeromotors per assecar zones humides situades sota el nivell del mar (Vadot, L., 1957). Altres aplicacions de l'energia del vent van ser: molins d'oli (el primer fou construït a Holanda el 1582), de pasta de paper (construït el 1586), etc. També al segle XVI hom feu servir l'energia eòlica per a accionar indústries de la fusta (Eldridge, F.R., 1980).

Descripcions d'artefactes eòlics en trobem en obres de diversos enginyers d'aquella època. (Vadot, L., 1957). En el llibre "Théâtre des instruments mathématiques et mécaniques", Jacques Bresson (1578) descriu una màquina d'eix vertical que acciona una nòria. També Agostino Ramelli (1588), descriu, en "Le diverse et artificione machine", un enginy eòlic per alimentar una font decorativa amb una nòria doble.

Així mateix, en "Theatrum machinarum novum" André Bückler (1686) descriu un aeromotor que acciona una nòria mitjançant un doble joc d'engranatges.

és conegut sobradament el fet que entre els anys 1608 i 1620, es va drenar el Polder de Beemster, que estava situat tres metres sota el nivell del mar, amb l'ajuda de 26 molins de fins a 50 CV cadascun, el quals treballaven en dos nivells. (Eldridge F.R., 1980). El Polder de Schermer va ser drenat a 1680 en quatre anys, sota la direcció de l'enginyer Leeghwater. Catorze molins bombaven aigua cap a un dipòsit intermedi, a 1000 metres cúbics per minut, i trenta cinc més la bombaven des del dipòsit fins al mar del nord. Una superfície de 4740 ha. fou guanyada al mar (Vadot, L., 1957, Eldridge, F.R., 1980).

Si bé es pot afirmar que l'estructura dels molins de vent no canvia gaire des del segle XV fins al XVIII, és a partir del 1700 quan comencen a realitzar-se millores tecnològiques (Vadot, L., 1957).

Ja a l'any 1724, Jacop Leupold, de Leipzig, descriu, en la seva obra "Theatrum Machinarum Hydraulicarum", un aparell eòlic amb regulació automàtica mitjançant pales orientables i ressorts. L'aeromotor accionava una bomba de pistó d'efecte simple.

També Belidor, l'any 1739, va publicar "Architecture Hydraulique", en el qual descriu aeromotors que algú ha considerat com a precursors dels moderns aerogeneradors. Aludeix als molins d'eix vertical com a propis de Polònia i Portugal.

és en aquest mateix segle XVIII quan s'inventa un dispositiu per a l'orientació automàtica dels molins. El seu inventor fou Edmund Lee (1745), segons els uns, o Andrew Meikle de Dunbar (1760), segons els altres, qui va inventar també les aspes de persiana.

A l'any 1759, l'anglès Smeaton va presentar a la "Royal Society" la seva memòria titulada "On the Construction and effects of windmill sails", resultats de les seves experiències amb models a escala reduïda (Smeaton, J., 1759).

L'energia extreta del vent, no només es va emprar per accionar artefactes per moldre grà, bombar aigua, etc. sinó que, igual que en els seus orígens, es va fer servir per la navegació a vela. Ja els vikings als voltants de l'any 1000, arribaren a Groenlàndia impulsats pel vent. I no sols això, sinó que fins i tot, algun projecte francès d'invasió d'Anglaterra es basava en màquines flotants impulsades pel vent, que bé es podrien considerar com a precursors dels moderns "Hover-craft". (Transactions, 1969; Gimpel, J. 1981).

També en el transport per terra, es va emprar la força del vent. Hom afirma que l'any 1758, William Emerson va inventar un vehicle impulsat pel vent, en el qual el vent incidia sobre les pales d'un molí, que transmetia el moviment a les rodes davanteres del vehicle. Ja els xinesos empraven aquests mètodes de transport el segle XVII, segons una representació de Gerard Mercator (1613) citada pel gran coneixedor de la civilització xinesa, Josep Needham (1977).

Les carretilles amb rodes, veles i màstil eren un mitjà de transport usual a Xina:

"...The barren plaines
of Sericana, where chineses drive
with sails and wind their cannie waggons
lihgt"

Poema de Jonh Milton citat per Needham
(1973).

Inclòs, van inspirar al físic i enginyer holandès Simon Stevin en els seus experiments amb carruatges a vela en les sorrosses platges del nord d'Holanda. Aquests carruatges van demostrar als europeus que era possible viatjar a velocitats de 65 km/h.

Avui encara, hom no sap quans molins han funcionat al llarg del temps, però hom disposa d'algunes estimacions per països europeus. A Anglaterra s'ha suggerit que n'hi havien uns 10000 en funcionament en el segle XIX. A Holanda, l'any 1750, n'existien entre 6000 i 8000. A Alemanya en funcionaven 18232 l'any 1895 i 17000 l'any 1907. (Minchinton, W., 1980).

Cal dir que en règims de vent fort, alguns d'aquests molins industrials donaven una potència de fins a 90 C.V. (Eldridge, F.R., 1980).

3.3.2 Els orígens de l'aprofitament de l'energia eòlica en la Península Ibèrica i les Illes

Les referències més antigues de que hom disposa sobre els molins de vent a la Península són de l'època del Califat de Còrdova. En una obra sobre la vida del califat cordovès (Lévi-Provençal, E.E., 1932) es pot llegir: "los molinos eran numerosos en el campo, los había de viento y, sobretudo, de agua, en los rios". En una altra obra (Lévi-Provençal, 1938) es llegeix: "una de las curiosidades de Tarragona consiste en los molinos de viento que fueron montados por los antiguos; funcionan cuando sopla el viento y se paran cuando éste cesa."

El que no es pot afirmar és que aquests molins tan primerencs fossin de tipus de torre. Serien d'eix vertical?

En canvi, sembla que es pot afirmar que els molins de torre ja eren coneguts pels voltants de l'any 1300 en la part cristiana de la península i probablement van ser bastits en períodes obscurs de l'Edat Medieval (Caro Baroja, J., 1952).

A principis del segle XIV, el molí de torre era bastant conegut.

L'Arxiprest d'Hita en el seu llibre "Libro del Buen Amor (1330) diu textualment (Corominas, J., 1973):

"como lo an de uso estas tales bohonas,
andan de casa en casa vendiendo muchas donas:
non se reguardan dellas, están con las personas,
fazen con mucho viento andar las atahonas".

La paraula "tahona" és emprada pels primers autors
àrabs quan descriuen els molins d'eix vertical del Sijistan.

En un text de Ferran Perez de Oliva(segle XVI) parlant
del riu Guadalquivir es llegeix:

"Podéis, pues, esperar de vuestro rio todos
los bienes que dichos tengo. Si le quitais los
atajos de las aguas, estorbos de vuestra
prosperidad; las presas digo de los molinos, que no
solamente ellas, mas sin pan estaríades mejor, el
qual por eso no os faltaria, porque los molinos de
viento podrían dar abundancia de harina, o si los
vientos no son en esta tierra tan vivos, y tan
constantes, que mucha obra hiciesen, el milagro de
Sevilla, que en atahonas bastaria, o el que tiene
Roma, cuyos molinos sobre dos barcos navegan a las
mayores corrientes de rio, do afirmados con
áncoras, muelen sin estorbo, subiendo con las
crecientes y baxando con las menguantes."
(Sampere, J, 1801).

En el Quixot, l'immortal llibre de Cervantes destaca el
paràgraf que diu:

"En esto, descubrieron treinta o cuarenta
molinos de viento que hay en aquel campo, y así
como don Quijote los vió, dijo a su escudero:

-La ventura va guiando nuestras cosas mejor de
los que acertáramos a desear: porque ves allí,
amigo Sancho Panza, donde se descubren treinta, o
pocos más, desaforados gigantes, con quien pienso
hacer batalla y quitarles a todos las vidas, cuyos
despojos comenzaremos a enriquecer; que ésta es
buena guerra, y es gran servicio de Dios quitar tan
mala simiente de sobre la faz de la tierra.

-Qué gigantes?-dijo Sancho Panza.

-Aquellos que allí ves -respondió su amo- de los brazos largos, que los suelen tener algunos de casi dos leguas.

-Mira vuestra merced -respondió Sancho- que aquellos que allí se parecen no son gigantes, sino molinos de viento, y lo que en ellos parecen brazos son las aspas, que, volteadas del viento, hacen andar la piedra del molino."

(Cervantes, M., Edició de Rodríguez Marín, F., 1947)

possiblement referint-se al que hi havia al Camp de Criptana.

De les "Relaciones Topográficas" reunides per ordre de Felip II de Castella es desprèn l'existència de molts molins de vent a la Manxa, al segle XVI (Caro Baroja, J., 1952).

Les primeres il·lustracions gràfiques referents a molins de Torre en la península (Caro Baroja, J., 1952) són un plànol de Madrid de Pedro Texeira (1656), en el qual apareix un molí d'aspes al costat de la porta de Sta. Bàrbara i un molí de vent aragonés en el poble de Bujaraloz (1668).

Es citen referències de molins de vent al país Basc i al país Galleg (Caro Baroja, J., 1952). A més a més, són coneguts els molins portuguesos, els de la Manxa, els andalusos, els cartaginesos i els de les illes mediterrànies i de les Canàries.

3.3.2.1 Els Molins portuguesos -

A la zona portuguesa de la península s'han conegut molins de tots els tipus, des de els d'eix vertical fins a moltes variants dels molins de torre, passant per molins de tipus nòrdic.

Les primeres referències datan del segle XIV, i ja el 1303 el cabildo de Evora fa un document on es cita "un moinho do vento" (Caro Baroja, J., 1952).

Al mes d'agost de 1490 uns espanyols aconseguen del rei Joan II de Portugal una veritable exclusiva, perquè durant quaranta anys ningú no pogués construir molins de

vent per pujar aigua dels pous, excepte ells mateixos.

Els molins de torre portuguesos eran de planta cilíndrica i n'hi havien de fusta i pedra. Generalment tenien 4 veles aguantades per 8 vergues. Aquesta part anava en la part superior o caputxa giratòria. Tenien una planta baixa i un pis on hi havia tota la maquinària per a moldre.

Estudis recents de Molinologia (Transactions, 1965) citen l'existència d'uns 3000 molins de vent a Portugal. Fins i tot s'ha estudiat la seva capacitat de molturació, essent molt més petita que la dels països nord-europeus.

3.3.2.2 Els Molins de la Manxa -

Hom considera a la Manxa com la terra, per excel·lència, dels molins de vent. Referint-se a la província de Ciudad Real, un autor del segle XIX (Hosta, J., 1865), afirma:

"lo que sobre todo abunda de un modo sorprendente son los molinos de viento, pues no hay casi un cerro o una pequeña prominencia en donde no se presenten aquellas formidables aspas que el héroe manchego tomó por gigantes".

La zona on més es concentraren és la corresponent a Alcazar de San Juan, Madrilejos, Quintanar de la Orden, Belmonte, etc. A mitjans del segle passat se 'n contaven uns 150.

Els molins manxecs són cilíndrics, d'obra, amb una teulada cònica de taulons. Tenen una porta d'entrada i diverses finestretes. De la teulada surt un tronc gruixut que és l'eix, al qual es traven les quatre aspes. Cadascuna, amb quatre pals paral·lels i 18 travessers, constitueix la carcassa a la qual es subjecta la vela, que s'enrotlla quan el molí no treballa.

A l'interior de la torre, hi sol haver 3 pisos. El de sota per emmagatzemar els sacs de blat, en el de sobre hi ha la mola que desfà el grà, i, en el del mig, hi cau la farina (Torres, L., 1933). A l'eix principal va solidària una gran roda dentada de fusta, que transmet el moviment a un cilindre dentat molt més petit solidari a la mola. El sistema d'orientació és a base d'una perxa solidària a la coberta del molí i que és accionada des de fora per mitjà d'unes fites de pedra, clavades a terra, i un "borriquete" que és on

s'hi lliga la perxa.

Actualment, l'estat dels molins manxecs es força lamentable a despit de les recents iniciatives municipals a Campo de Criptana, Consuegra, Mota del Cuervo, Alcazar de San Juan... (Guerrero, J., 1981; Moreno, S., 1982).

Els edificis havien estat cedits en usdefruit a embaixades, majoritàriament sudamericanes, i a certs personatges del règim anterior, a canvi de promeses de promoció. El molí "Sancho" de Consuegra està reconstruït del tot, els molins de Mota del Cuervo estan totalment abandonats, els de Campo de Criptana, 3 són monuments històric-artístics i altres s'han convertit en museus (de pintura, ceràmica, del vi, etc.).

Seria bo que les iniciatives municipals fessin possible la recuperació dels molins manxecs i inclús que d'alguna manera es relacionés l'antic aprofitament de la força del vent amb el futur paper que, sense cap dubte, tornarà a jugar l'energia eòlica.

3.3.2.3 Els molins andalusos. -

Cal diferenciar dos tipus de molins: el de Cadis i el de Huelva.

Els molins gaditans eren ben diferents dels de la Manxa i s'assemblaven molt als portuguesos. També semblants a aquests eren els de la comarca d'Andévalo (Huelva). Als anys 20 hi havia, a la Puebla de Guzman uns molins que funcionaven tots cap a l'any 1880 i que després s'anaren abandonant (Caro Baroja, J., 1952). En un dia de bon vent, cada molí molia unes 24 fanèques de blat (més o menys 1000 kilos). Cada faneca era suficient per fer 28 pans de quilo i mig, que tenien un preu de 30 centims cadascún. El moliner es descomptava un "almud", és a dir, tres quilos i mig per cada faneca, que era la paga pel seu treball.

Aquests molins eren fets de pedra i fang, tenien una alçada de 10 metres (incluint la teulada). A la base tenien un diàmetre exterior de 8 metres, amb unes parets de 1,5 metres de gruixundària. S'hi entrava per una única porta, des d'on es pujava a un únic pis mitjançant una escala. De l'eix que sortia de la teulada, en sortien 8 pals (4 aguantaven la vela y 4 la mantenien tensada). De la punta de l'eix de les aspes en sortia un cable que s'utilitzava per

orientar l'enginy en la direcció del vent. En aquest tipus de molí, la teulada es movia sencera, girant mitjançant unes rodes i unes guies. La relació de multiplicació era 1:5, és a dir, per cada volta que feien les veles, la mola en feia 5.

Actualment, només en queda algun en ruïnes.

3.3.2.4 Els molins del Camp de Cartagena. -

Al voltant de la ciutat de Cartagena hi havien molts molins. Tan sols al terme d'Algor, que té unes 8000Ha., sembla que hi havia uns 120 molins. A diferència dels anteriors (manxecs i andalusos), en comptes d'esser emprats per a moldre grà, foren utilitzats per a la irrigació.

Tenien una base circular amb la torre de pedra i en un dels costats hi havia una roda d'arcabussos, que pujava l'aigua del pou i era accionada a través d'un joc d'engranatges de fusta, que eren moguts pel molí. L'aigua pujada anava per un petit canal a un dipòsit de diàmetre semblant a la base, on s'asentava la torre del molí. De la bassa sortien alguns canals per anar a regar les hortes.

Els molins cartaginesos més vells tenien 8 aspes i 8 veles triangulars. Els més nous, en tenien 10. Un molí d'aquests tenia una potència de 120 C.V. (Caro Baroja, J., 1952; Oliver, P., 1973).

3.3.3 El paper de l'energia eòlica en la societat preindustrial.

En el transcurs del segle XII, quan els "enginyers" medievals intentaren captar la força del vent per el seu aprofitament, assoliren l'èxit.

A diferència de l'aigua, que sempre anava en la mateixa direcció, el vent bufava des de direccions diferents. El mecanisme que va permetre la captació, de forma que sempre estés de cara al vent, va ésser el molí de pilastre.

Ja s'ha dit que a partir de l'any 1100 els molins de vent esdevingueren usuals a molts llocs d'Europa, segons consta en

molts documents.

Tant es així que, juntament amb els molins d'aigua (instal·lats en els rius) i accionats per les mareas, van representar un important paper en la substitució del treball manual pel treball de les màquines.

Si bé, ja en les societats antigues, hom coneixia les màquines, només va ésser en la societat medieval quan es van emprar en finalitats "útils".

Tal com diuen alguns autors (Gimpel, J., 1981): "la primera revolució industrial data del Medievo. Los siglos XI, XII y XIII crearon una tecnología sobre la que se apoyó la revolución industrial para tomar impulso".

La importància dels molins de vent en aquesta època, ve donada per la fermesa amb que els propietaris de molins defensaven el seu monopoli. Era costum de l'època, que si algú establia un molí massa a prop, el propietari recuria als tribunals i inclús emprava la força. Així va ésser com Sampson, abat de Bury Saint Edmunds, es va enfurismar quan va saber que el degà Herbert havia fet construir un molí de vent a la vora del seu. Era l'any 1191 (citada per Gimpel, J., 1981):

"El decano Herbert instaló un molino en Haberdun. Cuando el Abad Samson se enteró, se llenó de ira y ya no podía comer ni hablar. Al alba una vez oída la misa, Samson mandó al sacristán a buscar al carpintero para que fuera inmediatamente a derribar el molino y pusiera su armazón a buen recaudo. Cuando le llegó la noticia, el decano Herbert afirmó que él podía hacer lo que se le antojara en su feudo y que cualquiera podía disponer libremente del viento. Él sólo quería, afirmaba, moler su propio grano sin tocar el de los demás ni perjudicar a los molineros de la vecindad. Siempre loco de ira, el Abad Samson respondió: "Os lo agradezco como una patada en la espinilla. Juro por el rostro de Dios, no comer ni un bocado de pan hasta que ese molino sea derribado. Tenéis edad suficientemente, para saber que ni el Rey ni su oficial de justicia pueden transformar o construir nada en el casco de esta ciudad, sin autorización del Abad y del Convento. Cómo, pues, habéis osado hacer semejante cosa? Por otra parte, os equivocáis al decir que no perjudicáis. Porque los burgueses correrán a vuestro molino para moler su grano hasta la saciedad

y yo no puedo impedirselo ya que son libres de hacerlo. ¡Si tolero el molino de la bodega, es porque ha sido levantado antes de que yo fuera Abad! Fuera, fuera de aquí, marchaos! -dijo-. Y cuando volváis a casa, veréis qué hemos hecho con vuestro molino". Temblando de miedo ante el furor del Abad, Herbert se alejó y se dirigió a pedir consejo a su hijo, maese Stephen. Hizo derribar su propio molino adelantándose a los hombres del Abad Samson. Cuando llegaron las gentes mandadas por el sacristán, no encontraron nada que demoler".

(Chronica Jocelini de Brakelonda de rebus gestis Samsonis, Abbatis Monasterii Sancti Edmundi..., ed. J. G. Rokewode, Londres, 1840, pp. 43-44).

Els molins (de vent o d'aigua) eren ben coneguts pels camperols i ciutadans de l'època. Venien a ésser les manufactures medievals. Eren lloc de contacte i de trobada on es reunien quan portaven a moldre el grà. Eren també font de beneficis. Ja el Papa Celestí III (1191-1198) els va gravar amb tributs.

Normalment, els molins es construïren mercés a les inversions de potentats, bé individus sols o agrupats en societats. Eren llogats als moliners amb uns arrendaments prou elevats que els obligaven a embutxacar-se quantitats de grà més grans que les autoritzades per la costum.

Aquest fet està descrit en els Contes de Canterbury (citats per Gimpel (1981)):

"En Trumpington, no lejos de Cambridge corre un arroyo cruzado por un puente. Junto a este arroyo hay un molino; y es cierto lo que os voy a contar. Allí vivió durante mucho tiempo un molinero altivo y orgulloso como un pavo real.

Buena maquila se embolsaba ese molinero con el trigo y la cabada de toda la comarca; y sobre todo, había allí un gran colegio llamado el Colegio Real de Cambridge, que era su mejor fuente de grano. Un día, de repente, el dispensero cayó enfermo de tanta gravedad, que se temió por sus días. Al enterarse, el molinero se puso a robar trigo

cien veces lo que antes;
porque antes robaba con elegancia,
pero entonces se tornó ladrón descarado,
por lo cual el guarda le reprendió su conducta.
Pero el molinero no se amilanó por ello,
y en tono altanero juró que no era verdad."

També al nostre país aquesta situació dels moliners era semblant, com es dedueix d'alguns refranys populars (Sanchis Guarner, M., 1955):

"Quan Cristo fé testament
va deixar s'aubarà
que en el cel no puga entrar
cap notari ni escrivà,
ni cap moliner de vent."

3.3.4 L'APROFITAMENT CONTEMPORANI DE LA FORÇA DEL VENT

Quan, començant a l'any 1745, s'inicià la cadena d'innovacions tecnològiques, degudes als inminents enginyers Lee, Meikle, Smeaton, Hooper i Cubitt, la vida tradicional dels moliners canvià del tot. Cap a l'any 1810, les operacions de manegament d'un molí de moldre havien canviat totalment. Ara el molí de vent treballava de forma totalment automàtica i s'havia convertit en la primera fàbrica automatitzada de tota la història de la tecnologia (Gimpel, G., 1958):

-les pales tipus persiana feien que el molí començés a girar quan hi havia suficient vent.

-quan feia massa vent, la velocitat de rotació era controlada per l'obertura de les plaques de la pala, sota l'acció de la pressió del vent,

-les hèlices auxiliars orientaven automàticament el pla de captació en direcció normal al vent,

-el grà era portat automàticament des d'els dipòsits on s'emmagatzamava fins a les pedres que el molien,

-la velocitat de rotació de les moles era regulada automàticament.

Un molí equipat amb tots aquests dispositius podia emprar un més ampli ventall del vents, i feia possible l'ús de tota l'energia eòlica captada, amb lo qual hom podia obtenir un millor rendiment del capital invertit en la seva construcció.

En part, moltes d'aquestes innovacions foren introduïdes per fer front als enginys de vapor, accionats per la combustió del barat carbó. La primera màquina de vapor aplicada a la molturació de grà fou introduïda a Anglaterra l'any 1781. Aquests artefactes podien funcionar totes les hores de l'any, mentre que un molí de vent, per més automàtic que anés, només funcionava les hores que feia vent.

Els segles XVIII i XIX van representar a alguns països la devallada en l'ús de l'energia eòlica. Aquest procés va ésser accelerat quan els mitjans de transport s'incrementaren (Shillingford, A. E. P., 1979).

En canvi a altres països, l'energia eòlica encara va jugar un paper important durant tot el segle XIX. Als Països Baixos hi havian uns 9000 molins, a mitjans de segle XIX, emprats en les més variades aplicacions. Va ésser a finals del XIX i començament del XX quan l'ús dels molins de vent va devallar. A aquesta època, s'en utilitzaven uns 2500.

També en aquestes mateixes dates (a mitjans del segle XIX) hi havia, als Estats Units, més de 6 milions de petits molins de vent (Eldridge, F.R., 1980). Eren aeromotors multipala, que van ésser inventats per Daniel Halliday, a l'any 1850 (Park, J., 1981), s'utilitzaven sobretot per el bombeig d'aigua. Segons Peter Fraenkel (1980), aquest tipus de molí de vent va tenir un paper tant important com el revòlver "Colt" a l'Oest Americà, ja que va possibilitar l'abeurament dels grans ramats de vaques que allí s'hi van portar. Aquests populars molins de vent tenien uns diàmetres compresos entre 3 i 5 m., i amb vents de 7m/s. bombaven uns 40 litres d'aigua per minut. A l'any 1870, la companyia ferroviària Union Pacific emprava molins de 7.5 metres de diàmetre, per bombat aigua cap els dipòsits, des d'on hom alimentava les locomotores de vapor que travessaven Wyoming (Hamilton, R., 1975).

Diferents tipus de molins es construïren al llarg i a l'ample dels E.U.A., com es despren de treballs recents (Torrey, V., 1976) i de reedicions de llibres de l'època (Barboor, E., 1898).

Va ésser l'any 1888 quan Charles F. Brush va montar a la seva casa de Cleveland, Ohio, un molí per generar electricitat.

Estava situat al cim d'una torre de 18 metres. Era un captador multipala (144 pales), de 17 m. de diàmetre amb una cua d'orientació de 18 m. de llarg. El pes era 40 tones. Anava acoplat a una dinamo de 12 kW., que donava plena potència quan girava a 500 r.p.m. La tensió era 70-90 V. L'electricitat produïda era emmagatzemada en 12 bateries de 34 cel.les cadascuna. Eren bateries de plom, que tenien una capacitat de 40800 A-h.

Tot aquest artefacte servia per alimentar 350 bombetes d'incandescència, 2 làmpares d'arc i 3 motors elèctrics.

Brush era fabricant d'equips elèctrics, fundador de la "Brush Instruments", empresa pionera en el camp del servocontrol, i que va ésser una de les empreses (les altres eren Edison i Thomson-Houston) que totes juntes es fusionaren per crear General Electric Co.

A Dinamarca, també cap a finals del segle present hi havia uns 2500 molins de vent en funcionament, subministrant aproximadament uns 40000 C.V. (més o menys l'equivalent a 30 MW), és a dir, la quarta part de la potència instal·lada a l'industria danesa en aquell temps. El 94% dels molins estaven en zones rurals i només un 6% en ciutats. Uns 4600 molins de vent eren emprats pels pagesos i un 2% de les cases de pagés daneses en tenien, fent-los servir en un ampli ventall d'aplicacions. Majoritàriament estaven situats a les zones nord i oest de la península de Jutlàndia (Elridge, F.R., 1980).

3.3.4.1 La Cour, el peoner dels aerogeneradors a Dinamarca. -

Va ésser per l'any 1890 quan el Professor Paul la Cour és va interessar per l'energia eòlica. Ensenyava física i química a la "Askov Folk High School", però abans havia treballat al "Royal Institute of Meteorology" de Copenhague. El govern danés, va trovar interessant el treball de la Cour, li va finançar la construcció i les proves d'un prototipus

de molí experimental per a produir electricitat a Askov. A més del molí, la Cour disposava d'un complet laboratori eòlic amb túnel de vent i instrumentació. Previament dos enginyers danesos, H.C.Vogt i I.Irminger, ja havien fet experiments, mesurant els efectes del vent sobre una superfície plana. Però la Cour fou el peoner a experimentar amb fluxes artificials d'aire. Obtingué els millors resultats amb rotors de 4 pales.

A l'any 1892, va construir el primer aerogenerador experimental i al 1897 en va aixecar un altre més gran. El molí d'Askov produïa electricitat, per fer els experiments que la Cour creia convenient i, a més a més, subministrava electricitat a l'escola i al poblet d'Askov. Com que se'li va plantejar el problema de l'acumulació de l'energia produïda, la Cour va optar per utilitzar l'electricitat per a dissociar electrolíticament una dissolució aquosa d'hidròxid de sodi. L'oxigen i l'hidrogen resultants els emmagatzemava en gasòmetres, des d'on eren distribuïts als llocs de consum. Abans de finir el segle XIX, l'escola d'Askov s'il·luminava amb bombetes Drummond (una flama blanquinosa produïda per la barreja d'oxigen i hidrogen a l'interior d'un cilindre de zirconi). També va intentar introduir aquesta barreja en els motors d'explosió, però no va tenir gaire èxit, per lo que va adoptar, més endavant, bombetes d'incandescència i acumuladors de plom.

Ja a l'any 1902, tant Askov com la seva escola, tenien llum mercès al molí de la Cour. Com que a l'època, molts pocs poblets tenien llum, aquells que en volien, anaven a Askov a demanar consell a aquell home, que l'humor popular deia "podia transformar la pluja i el vent en llum i energia". Això va conduir a la fundació, l'any 1903, de la "Dansk Vind Elektricitets-Selskab, DVES" (Associació Danesa de Producció de l'Electricitat pel Vent), que fins l'any 1915 publicà el "Tidsskrift for Vindelektricitet" (Diari de l'electricitat mitjançant el Vent). Aquesta associació realitzava, a l'hora, tasques d'educació (cursos) i d'enginyeria. Ja a l'any 1907, havia projectat 27 estacions de producció eòlica d'electricitat.

Eren màquines de potències compreses entre 5 i 25 kW. Tenien 4 pales de 2.5 m. d'amplada que formaven, al girar, un cercle de 22.8 m. de diàmetre. Estaven al cim d'unes torres de 25 m. d'alçada i s'orientaven de cara al vent mitjançant dues hèlices auxiliars situades en la part posterior del rotor. Tenien dues dinamos de 9 kW, cadascuna que subministraven C.C. a 110-220 V. Disposaven d'una capacitat d'acumulació de 100-300 Ampers-hora (suficient per aguantar períodes de calma de 8-10 dies).

Per fer-nos una idea de l'importància que va tenir a Dinamarca l'energia eòlica, cal veure que només a l'any 1916 es construïren 1300 noves màquines eòliques. En aquests anys, les màquines eòliques no foren emprades sols per produir electricitat, sino també com a proveïdores de força mecànica en moltes aplicacions (molta, bombeig, accionament de maquinaria, etc.). Unes 30000 cases en zones rurals feien servir el vent, estimant-se que tenien una potència instal·lada equivalent a 100 MW, juntament amb els molins emprats per l'industria representaven 200 MW instal·lats (Juhl, J., 1954; Arnfred, J.T., 1961; Herforth, C. i Nybroe, C., 1977; Eldridge, F.R., 1980).

En una conferència donada a Berlin (a la "Technical High School") pel Dr. enginyer M. Mayersohn, a benefici de les Organitzacions Sionistes, es va citar que el molí d'Askov, construït per la Cour abans d'acabar el segle XIX, funcionava perfectament després de 23 anys d'ésser construït i no havia tingut mai cap avaria (Mayersohn, M., 1920). Aquest expert havia visitat 477 instal·lacions eòliques a Alemanya, Dinamarca i Holanda i estudiava la possibilitat d'emprar l'energia eòlica en els assentaments sionistes a Palestina.

En els anys anteriors a la Primera Guerra Mundial, van aparèixer a Dinamarca els generadors de corrent continu (de gas i diesel). Quan va esclatar la guerra i va quedar tallat el subministre de combustible, els molins de vent per a la generació d'electricitat van proliferar molt. A l'any 1918, de 418 estacions rurals de generació d'electricitat, 120, és a dir, la quarta part, ho feien a partir del vent. Acabada la guerra, el seu nombre va disminuir, quedant-ne, a l'any 1920, unes 75.

La guerra va demostrar que Dinamarca era vulnerable en quant al subministre de petroli. Aixó va decidir la continuació dels experiments de la Cour (els seus treballs i comentaris sobre els mateixos van ser publicats a "Ingenioren", a "Fysisk Tidsskrift" i a "Tekniske Forenings Tidsskrift" entre els anys 1892 i 1908).

Entre els anys 1921 i 1924 es van realitzar una sèrie d'experiències portades conjuntament entre el "Statens Redskabsudvalg" (Comité Governamental de Maquinaria i Utilitatges) i el molí d'Askov, amb la finalitat de desenvolupar millors mètodes de mesura. Es construïren dos nous molins: un de 4 pales (diàmetre 16 m i alçada 20 m) i un multipala (diàmetre 7.6 m i alçada 16 m), ambdòs a Askov. Es mesuraven a l'hora la velocitat del vent (anemòmetre) i l'energia produïda, registrant-se ambdòs valors en una gràfica. Segons la fórmula que la Cour va proposar per al càlcul de la potència:

EL VENT I EL SEU PASSAT

$$P = S * (V^3) / 1700 \quad [\text{kW}]$$

essent: S la superfície de les pales [m²]

V la velocitat del vent [m/s]

el molí de 4 pales tenia que produir 40000 kWh a l'any (en una distribució de velocitats donada per el lloc en qüestió). Va iniciar el funcionament el 28 de juny de 1921 i va anar durant 105 dies produint 9030 kWh. Proporcionalment, la seva producció real a l'any fora 31500 kWh, menor que la calculada. Segons la fórmula de la Cour, la potència d'aquesta màquina, amb vent de 9 m/s, fora 20.6 kW. Les mesures realitzades donaven una potència a la sortida de la dinamo de 16 kW i una potència total de 19 kW.

El molí multipala, durant 114 dies, va produir 1500 kWh, que correspondria a una producció anual de 4800 kWh. La seva potència a 9 m/seg. mesurada va ésser de 3.1 kW.

Les experiències van seguir amb 8 molins més escampats per tot el territori danès. Cinc eren del tipus d'Askov, dues eren multipala i la darrera era una màquina dissenyada per l'enginyer P. Vinding, que tenia 5 pales, amb un diàmetre de 11 m. i estava al damunt d'una torre de 22 m. Aquesta màquina va produir, en un període de 240 dies, 11000 kWh., lo que representava una producció anual de 16700 kWh. La mesura de la seva potència va donar 15 kW a 9 m/s. (Arnfred, J.T., 1961)

Els molins dissenyats pel Dr. Vinding, anomenats "Agricco", s'escamparen, no solament per Dinamarca, sino també per altres països. Ja acabada la 1^a Guerra Mundial, en col.laboració amb J. Jensen, el Dr. Vinding va emprendre l'estudi d'una instal.lació eòlica trifàsica amb un generador assíncron, connectada a la xarxa de distribució elèctrica.

Una mica més tard, el professor Larsen va proposar emprar molins de corrent continu, i volcar l'energia a la xarxa mitjançant un grup convertidor rotatiu. Però a aquesta època va semblar una solució massa onerosa.

L'empresa de Hans L. Larsen, feia els molins Agricco, que tenien 5 i 6 pales, i s'anomenaven també motors "Hansell".

Però totes aquestes experiències foren aprofitades per la societat Lykkegaard (de Ferritslev, a l'illa de Fünen),

que cap als anys 30 comercialitzava molins de 4 pales, amb potències fins a 30 i 35 kW. Eren els populars molins anomenats "Aurora" de 5.5 m de diàmetre, pensats per petites centrals elèctriques i els "Mammoth" que es construïen amb diàmetres de fins 18 i 20 m, i tenien pales del tipus persiana. La dinamo, com en el molí d'Askov, estava al nivell del sòl i era accionada a través de mecanismes de transmissió des de l'eix principal del rotor, per mitjà d'engranatges cònics. Des de la base de la torre del molí hom podia regular la posició de les plaquetes de fusta que composaven les pales (a través d'un cable que travessava l'eix buit del rotor). Aquestes plaquetes, en cas de massa vent, s'obrien del tot, i quan el vent era feble, estaven unes a continuació de les altres, com si fossin una pala continua. Començaven a produir energia a 4-4.5 m/s. i la seva potència màxima la donaven amb vent de 11 m/s. Una màquina d'aquestes, de 18 m. de diàmetre, podia produir uns 50000 kWh. a l'any. La màxima producció registrada en un dia va ser de 600 kWh. El preu, inclosa la torre de 20 m., era 10930 coronas daneses, a l'any 1939 (Mayersohn, M., 1920; Stein, D., 1943).

COMPARACIÓ ENTRE ELS TRES TIPUS DE MÀQUINES
EÒLIQUES DANESSES (1921-1924)

Tipus de màquina	D (m)	S. E. (m ²)	P. V. (kW)	P. R. (kW)	EF.	S. P. (m ²)
4 pales	16	200	95	19	0.20	48
multipala	7.6	44	20.8	3.1	0.15	22
5 pales	11	95	45	15	0.33	28

essent: D = Diàmetre (m).
S. E. = Superfície Escombrada (m²).
P. V. = Potència del vent a 9 m/s. (kW).
P. R. = Potència real a 9 m/s. (kW).
EF. = Eficiència.
S. P. = Superfície de les Pales (m²).

3.3.4.2 Altres experiències eòliques del primer terç del present segle

3.3.4.2.1 La primera planta de proves d'aerogeneradors -

Amb una mica de retard respecte als danesos, Anglaterra també es va preocupar ben aviat de l'energia eòlica. L'any 1920 es va fundar la "British Electrical and Allied Industries Research Association", que va tenir en E. W. Golding un dels seus principals impulsors. Ja en aquesta dècada es va instal·lar la primera planta de prova de petits aerogeneradors (Anònim, 1926).

Era un centre experimental que tenia una superfície de 17 acres (unes 7 Ha.) i estava situat entre Harpenden i Luton, en un terreny força despejat. Els objectius d'aquest centre eren: a) la prova dels equips existents per poder subministrar als constructors les seves característiques i oferir-els-hi el millorament d'alguns components, b) el poder informar als usuaris del cost econòmic de les instal·lacions i c) recopilar dades meteorològiques referents a les probabilitats de tenir vent o calma (es van realitzar mesures sistemàtiques del vent entre el mes de juny de 1924 i el mes de maig de 1925).

Van provar 5 molins comercials, mesurant la potència de sortida per cada velocitat del vent, i la producció d'energia en un any. Amb les dades obtingudes realitzaren un estudi econòmic, suposant que l'interès del capital era del 5% i les despeses de manteniment i reparació eren l'1% del cost de l'instal·lació. La vida dels equips es van fixar en 15 anys, l'aerogenerador, i 10 anys, la bateria.

molí	P. kW	Pr. C	Pr. B. C	Ca. C s d	E. P.	Co. d
1	1.5	193	150	48 8 11	1028	11.3
2	0.4	80	50	18 2 8	456	9.5
3	0.25	120	—	15 15 8	326	11.6
4	10.0	400	500	130 13 4	7626	4.1
5	5.0	215	200	59 4 8	3576	4.0

essent: P. = Potència (kW).
 Pr. = Preu sense bateries (lliures).
 Pr. B. = Bateries (lliure).
 Ca. = Càrregues (lliures, Shillings...).
 E. P. = Energia produïda (kWh/any).
 Co. = Cost per BTU.

Es van estudiar també les variacions en les dimensions de les pales i com afectaven al preu del kWh produït.

Les conclusions d'aquest treball experimental realitzades per l'Institut d'Enginyeria Agrícola de l'Universitat d'Oxford (tot el treball va ésser publicat per Clarendon Press) eren:

"que en els llocs on la xarxa no hi arriba, la producció d'electricitat amb molins de vent era totalment competitiva amb qualsevulla altre forma de generació elèctrica de tamany semblant. Amb instal·lacions eòliques de major potència el preu del kWh era més baix que les tarifes de la llum i gairebé tant baix com les tarifes elèctriques industrials."

El treball, però, no arribava a aconsellar si era preferible instal·lar un aerogenerador, en comptes de connectar-se a la xarxa, en el cas de poder fer-ho.

Ja l'any 1925, en el "Royal Agricultural Society's Show" celebrat a Chester, s'oferien aerogeneradors construïts per la Young, Osmond & Young Ltd. londinenca, que desenvolupaven potències entre 5 i 50 H.P. (Anònim, 1925).

3.3.4.2.2 Herr Anton Flettner. -

També Herr Anton Flettner va construir un aerogenerador a l'any 1926 amb un original sistema de captació aprofitant l'efecte Magnus (Willhofft, F.D., 1927). Tenia un sistema de captació proveït amb 4 pales cilíndrico-còniques que giraven accionades per un motor elèctric cadascuna. Cada cilindre tenia una llargada de 5 m., amb un diàmetre a la base de 70 cm. i a la punta de 90 cm. El diàmetre total del captador era d'uns 20m, desarrotllant una potència de 30 kW. en un vent de 10 m/seg. El generador de corrent continua era atacat a través d'un multiplicador, amb una relació de multiplicació de 1:100. La torre tenia una alçada de 33 m.

L'efecte Magnus, reb el nom de Heirich Gustav Magnus (1802-1870), físic i químic alemany que va ésser professor de l'Universitat de Barlin, perquè es va interessar per l'estudi dels efectes que es produïen quan un cos cilíndric o esfèric gira dins d'un flux d'aire (Anònim, 1924). L'estudi d'aquest efecte el va presentar a Berlin (1853) i duia el títol: "On the reflection of projectiles".

Flettner va aplicar també l'efecte Magnus a la navegació. Ja a l'any 1924 va presentar davant la Institució Alemanya d'Arquitectes Navals el treball titolat: "L'aplicació del coneixement aerodinàmic a la propulsió de vaixells per mitjà del vent" (Anònim, 1924, a).

El 3 de desembre de l'any 1924 va fer una demostració amb el vaixell "Buckeau" a la badia de Kiel (Anònim, 1924, b), on se l'havia equipat amb dos canonades cilíndriques de 15.6 m. d'alçada, que tenien un diàmetre de 2.8 m. i eren d'acer d'un mil.límetre de gruix. Aquestes canonades tenien un moviment de rotació entorn el seu eix vertical, que les hi era donat per dos motors elèctrics reversibles de corrent continua, de 11 kW. cadascun, els quals eren accionats per un motor diesel de 45 H.P.

Abans de llençar-se a fer aquest prototipus de vaixell, amb el qual va travessar l'Atlàntic l'any següent (1925), havia experimentat amb un model a escala reduïda que tenia uns cilindres de 40 cm. d'alçada i 15 cm. de diàmetre accionats per mecanismes de rellotgeria.

Mitjançant canonades d'aquestes, variant el sentit de rotació i la velocitat de rotació, la força induïda sobre el vaixell era diferent i això permetia de maniobrar-lo.

També va provar una variant d'aquest tipus de governall, que consistia d'un cilindre principal amb dos braços, un a cada banda del principal, paralels i paralels al cilindre principal. Aquest nou governall incrementava la governabilitat del vaixell (Anònim, 1925, a).

Totes aquestes experiències per a l'impulsió eòlica de vaixells van interessar en gran manera als cercles de navegació marítima com ho demostren el seguit d'articles publicats en revistes de navegació de l'època (especialment a "Motor Ship" entre els anys 1924 i 1928).

3.3.4.2.3 Els rotors de Julius D. Madaras. -

Un altre original sistema de captació de la força del vent, també basat en l'efecte Magnus, fou provat a Burlington (New Jersey) en el mes d'octubre de l'any 1933 (Anònim, 1933). Aquest sistema consistia en una pista circular amb rails pels quals es desplaçaven un conjunt de 20 fins a 100 vagons, que tenien, en la part superior, uns cilindres giratoris de 27 m. d'altura i 8.5 m. de diàmetre.

Aquests cilindres giraven a una velocitat tal, que la seva part exterior agafava una velocitat de 23 m/s. i amb vents de 4.5 m/s. donava una força de 3.6 Tm. en direcció perpendicular a la direcció del vent (Anònim, 1933 a), ja que en incidir el vent sobre els cilindres giratoris es creaven unes forces que posaven en moviment el tren de vagons. Els vagons tenien generadors elèctrics en els eixos i es transmetia l'electricitat generada a través dels rails.

El projecte del Dr. Madaras fou finançat per "Public Service Electric & Gas", "Middle West Utilities", "Detroit Edison", "Standart Gas & Electric", "United Gas and Improvement" i "United Light and Power". Tenia a més a més, el recolzament de C. F. Hirshfeld, enginyer de la Detroit Edison.

El Dr. Madaras preveia que cada vagoneta podia desenvolupar una potència, amb vent favorable, de 1000 kW. El conjunt de vagons tenia que donar una potència de 40000 kW. (Lacroix, G., 1949).

3.3.4.2.4 El capità Savonius. -

El capità-enginyer Sigurd J. Savonius va realitzar proves amb un tipus d'artefacte eòlic que després s'ha popularitzat amb el seu nom.

Entre les mesos de novembre del 1924 i juny del 1925, Savonius va experimentar, a Helsingfors (Finlandia), amb un rotor d'eix vertical que consistia en dos semicilindres junts.

El primer prototipus que va construir tenia una alçada de 196 cm., una envergadura de 96 cm., essent el diàmetre de les plaques superior i inferior de 120 cm. La superfície escombrada quan girava era de 1.88 m². Pesava 50 kg.

Aquest captador eòlic tant original, accionava una bomba de pistó tubular de 34 cm. de diàmetre, que tenia una cursa regulable. Bombejava fins un màxim de 50 cm³ d'aigua per revolució, fins a un dipòsit situat a una distància de 11 m., amb una alçada útil de bombeig de 15 m.

En un vent de 3 m/seg. feia 36 revolucions per minut i bombejava 100 litres/hora. Però a 4 m/s. doblava les seves prestacions, doblant-les altre vegada a 6 m/s.

Savonius també va provar el seu rotor en un vaixell de 4.87 m. de llarg i 1.82 m. d'ample. El va equipar amb dos rotors de 280 cm. d'alçada, 67 cm. d'envergadura i un diàmetre a la base i a la punta de 88 cm. Amb vent de 10 m/s. anava a 6 knots, desenvolupant una força equivalent de 3 a 4 H.P. (Anònim, 1925, (b); Klemin, A., 1925; Savonius, S. J., 1931).

A despit de que aquest rotor tenia una eficiència del 31%, era molt ineficient per unitat de pes. Hom va calcular que per disposar d'una potència de 1000 kW. es necessitava un rotor de grans dimensions: 30 m. de diàmetre, 90 m. d'alçada, superfície escombrada 2700 m².

3.3.4.2.5 L'innovador Darrieus. -

A França, entre els anys 1927 i 1931, la "Compagnie Electro-Mecanique", a empentes del seu enginyer en cap, M. Darrieus, va emprendre la construcció de tres aerogeneradors de 8, 10 i 20 m. de diàmetre.

La principal novetat d'aquestes màquines va ésser que el generador elèctric, a partir del moment en que treballava a plena càrrega i augmentava la velocitat del vent, tenia un parell resistent més gran que el parell motor degut a l'incidència del vent sobre les pales. D'aquesta forma l'aerogenerador ja no girava a una velocitat proporcional a la del vent, sino que la relació entre les velocitats a la punta de les pales i la del vent disminuïa a mesura que la velocitat del vent augmentava. Això ho aconseguia amb unes pales que deixaven de treballar a sustentació i treballaven en règim de pèrdua, és a dir, que el seu rendiment aerodinàmic disminuïa quan la velocitat del vent augmentava.

Els tres prototipus que es van construir a Le Bourget foren:

Tipus	D.	N.P.	Material	P.	V. N.	V.R.
1	8	4	fusta	2	6	60
2	10	3	metàl·lica	4.5	6	90
3	20	3	metàl·lica	15	6	50

essent: D. = Diàmetre (m).
 N.P. = Nombre de pales.
 P. = Potència (kW).
 V.N. = Velocitat nominal (m/s).
 V.R. = Velocitat rotació (r.p.m.).

Però avui en dia hom coneix més a M. Darrieus per haver patentat un disseny d'aerogenerador d'eix vertical, que fins els anys 70 no serà dut a la pràctica (Lacroix, G., 1949).

3.3.4.2.6 La "Jacobs Wind Electric Co." de Fort Myers. -

Als E.U.A. el que avui és considerat el Pare de l'Energia Eòlica, va començar els experiments amb el vent en el ranxo del seu pare a Minnesota, als anys 20.

Aprofitant l'experiència en el desenvolupament de màquines eòliques, va fundar amb el seu germà, la "Jacobs Wind Electric Company" durant l'any 1931.

La Jacobs de Fort Myers va construir centenars d'aerogeneradors que foren instal·lats a tot el món. Cinc anys després de la seva fundació, la companyia va arribar a tenir 250 treballadors que manufacturaven centenars de màquines eòliques, les quals eren distribuïdes per una xarxa de 360 representants als E. U. A. i 35 a l'estranger.

Els aerogeneradors Jacobs eren màquines de 3 pales de fusta tractada, de diàmetres fins a 4.5 m. El seu sistema de regulació, variant l'angle de les pales, es fonamenta amb la força centrífuga produïda quan gira el rotor. Llurs potències anaven des-de 1.8 kW. fins 2.5 kW. (encara que després de la guerra en va fer fins a 3 kW). Produïen de 400 a 500 kWh. al mes amb vents de 5 a 9 m/s., durant 2-3 dies a la setmana. Anaven equipats d'un generador de c.c. de 6 pols que girava entre 125 i 225 rpm.

Les màquines Jacobs han funcionat en les condicions climàtiques més variades i adverses. A Alaska, al Canadà, a Finlàndia, a l'estació meteorològica Eureka (al cercle àrtic), etc. Com a dada curiosa, quan l'almirall Byrd va fer la seva expedició a l'Antàrtida, va utilitzar un aerogenerador Jacobs per proveir-se d'electricitat. Quan, a l'any 1955, M. L. Jacobs va recuperar aquest aerogenerador estava en molt bones condicions després d'haver funcionat 22 anys en condicions molt adverses.

També s'han emprat moltes màquines Jacobs en la protecció catòdica d'oleoductes a Nord i Sud Amèrica i a Arabia des de l'any 1937.

La Jacobs va funcionar normalment fins l'any 1957. El motiu per el qual va cessar de fabricar aerogeneradors és degut als programes d'electrificació rural, menats per l'Agència d'Electrificació Rural, i que van fer arribar les xarxes de distribució d'electricitat a les zones rurals (Jacobs, M. L., 1964; Toller, B., 1980 i 1980 a).

3.3.4.2.7 L'aerogenerador rus de Balaklava. -

Sense cap mena de dubte, la màquina eòlica construïda per l'U. R. S. S. l'any 1931 fou la més gran de totes les màquines eòliques provades per la producció d'electricitat en el transcurs del primer terç del nostre segle.

L'Unió Soviètica estava interessada en la plena utilització de totes les fonts d'energia ja que necessitava

grans quantitats d'energia elèctrica pels seus plans d'industrialització (Sectorov, W. R., 1934). Per això es va aixecar una màquina eòlica experimental, que tenia que servir de base per a la construcció d'aerogeneradors de 5000 kW. i més, que treballarien per complementar les centrals hidroelèctriques.

Aquesta màquina experimental es va aixecar a Balaklava (Crimea), on la velocitat mitjana anyal del vent era d'uns 7 m/s., i estava connectada a la xarxa de distribució elèctrica, a través d'una línia de 6.3 kV.

Consistia en un rotor de 3 pales de 30 m. de diàmetre. Desenrotllava una potència mecànica de 180 H.P. que era convertida en elèctrica mitjançant un generador d'inducció (asíncron) de 100 kW. (a 10.5 m/seg.). La velocitat de rotació era mantinguda constant, variant l'angle d'inclinació de les pales. Això s'obtenia per mitjà d'uns contrapesos que per força centrífuga variaven la posició d'uns alerons i per tant la de l'angle d'inclinació de les pales, mantenint constant la velocitat de rotació i la tensió.

El generador tenia una tensió nominal de 220 V. i una velocitat nominal de rotació de 600 r.p.m. L'eix de rotació estava inclinat 12 graus respecte del pla horitzontal. Quan la velocitat del vent arribava a la velocitat de connexió, aleshores es desfrenava l'eix i començava a produir energia. Per evitar la sobrecàrrega del generador, disposava d'un motor que accionava un reostat que introduïa més resistència en el circuit del rotor del generador. Un dispositiu accionat per la força centrífuga era l'encarregat de connectar/desconnectar el generador.

El pes total de tot l'enginy era 50 Tm.

Les pales eren de fusta i metàl·liques, recobertes d'una xapa d'acer. Tenien 11 m. de llargada i 2 m. d'amplada, a la base, i 1 m. a la punta. La gruixudària màxima de les pales era 0.68 m. Giraven entorn d'un tub de 0.35 cm. de diàmetre.

Tot aquest equip estava situat damunt d'una torre metàl·lica d'acer de 25 m. d'alçada, i tot el conjunt girava entorn de la torre, per mitjà d'un motor situat en una pota metàl·lica auxiliar apoiada en una plataforma on hi havia un carril circular. El motor de rotació, tenia una potència de 1.5 H.P. i era menat per un panell, perquè sempre el rotor estés de cara al vent.

Es van realitzar tot un conjunt de proves amb un anemòmetre situat a 25 m. d'alçada i distant 50 m. del molí, mesurant les potències promitges cada 20 minuts, per diferents velocitats del vent i diferents angles d'inclinació de les pales.

La producció anual d'energia era superior a 200000 kWh. (Sectorov, W. R., 1934; Gimpel, G., 1958).

Amb l'invasió nazi de l'URSS i la destrucció d'aquesta planta eòlica experimental, va finir l'intent soviètic de construir aerogeneradors de 30000 kW., tot i que en el transcurs de l'any 1933 es va celebrar la primera conferència sobre l'utilització de l'energia eòlica a l'Unió Soviètica (Anònim, 1933 a).

3.3.4.2.8 Encara alguns fets interessants. -

A Holanda, a l'any 1923, es va fundar la Societat per a la conservació dels Molins de Vent, que va restaurar 750 molins del tipus holandès (Golding, E. W., 1955).

A Alemanya, encara a finals del segle XIX funcionaven 18242 molins de vent, disminuint el seu nombre a mesura que començava a transcórrer el segle XX (Witte, H., 1950). Va ésser també a Alemanya que pels voltants de l'any 1920 es va construir l'aerogenerador Kumme, que tenia 6 pales, les quals estaven unides per tirants amb una prolongació de l'eix del rotor. Tenia el generador en posició vertical a la base de la torre (Scientific American, 1929).

3.3.4.3 El segon terç del nostre segle o la maduresa de l'energia eòlica -

Va ser en el transcurs de la segona tercera part del nostre segle quan l'energia eòlica per a la generació d'electricitat va arribar a la seva majoria d'edat, sobretot pel que fa referència a artefactes per dessota dels 1000 kW.

3.3.4.3.1 Els projectes colossals de Herman Honnef. -

Ja en els trancurs de l'any 1933 es va fer public el geganti projecte de l'alemany Honnef (Anònim, 1933 b), que

consistia en aixecar unes estructures metàl·liques de gairebé 500 m. d'altura, per aguantar 5 aerogeneradors de 25000 kW. cadascún, amb rotors de gran diàmetre.

Honnef calculava que artefactes d'aquest tipus podien produir grans quantitats d'energia, ja que segons càlculs que havia fet, basant-se en dades meteorològiques preses a Alemanya durant 20 anys, arribava a la conclusió que a alçades de 300 m. sobre el nivell del sòl hi havia suficient vent per a accionar màquines com la que ell proposava (Warrilow, W. E., 1933).

Tot i la magnitud d'aquest projecte, no semblava pas un projecte fora de lloc als tècnics d'aquella època, que consideraven totalment viable aixecar una estructura metàl·lica d'aquelles dimensions (l'altura efectiva de la torre de suport dels rotors era compresa entre 300 i 450 m.), emprant canonades de gairebé 2 m. de diàmetre en la base de la torre.

La gran novetat del sistema consistia en la utilització dels anomenats rotors a contrarotació. Eren dinamos en les quals les seves dues parts bàsiques, el rotor i l'estator, anaven units directa i independentment a un joc de pales que giraven en sentit contrari una de l'altre (una girant a 10 r.p.m. i l'altre a 7 r.p.m.). Honnef proposava diàmetres compresos entre 61 i 76 m.

Una firma no alemana va proposar a Honnef la cessió de la patent a canvi de 40 milions de marcs alemanys. Honnef va refusar la cessió del 51% dels seus drets i l'acord no va prosperar. No obstant AEG va treballar en el desenvolupament del generador, però el projecte no es va arribar a realitzar mai, degut sobretot al col·lapse del final de la guerra (Simmons, D. M., 1975).

També a Alemanya, Kleinhenz va proposar la construcció d'aerogeneradors de 10000 kW. La novetat era l'utilització de generadors acoblats directament a les pales. Així el portava a proposar alternadors de 500 pols, de gran diàmetre (28.5 m.) i baixa velocitat de rotació (12 r.p.m.).

Aquest projecte de màquina eòlica tenia un diàmetre de pales de 170 m. i una altura de torre de 250 m. (Lacroix, M., 1949).

A despit de la no realització de cap d'aquests projectes, abans de la segona guerra mundial es van arribar a

emprar moltes màquines eòliques a contrarotació, de petita potència. Arrencaven amb velocitats de vent molt baixes i van funcionar sempre molt bé.

Acabada la guerra, Herman Honnef va continuar batallant per a l'utilització de rotors a contrarotació, realitzant càlculs econòmics detallats de màquines de 5000-10000 kW. (Honnef, H., 1948).

Des-de la fundació, l'any 1944, de l'Associació de Recerca sobre Energia Eòlica del Reich, a Berlin, aquest organisme es va dedicar a les tasques de recollida d'informació referent a l'aprofitament de la força del vent (Simmons, D. M., 1975).

3.3.4.3.2 El primer intent de construcció d'una màquina -
eòlica superior als 1000 kW de potència
L'aerogenerador Smith-Putnam

El primer intent per a desenvolupar un gran sistema de generació d'electricitat mitjançant el vent, va ésser degut a Palmer C. Putnam i a la S.M. Smith Co., els quals dissenyaren i construïren l'aerogenerador de 1250 kW, que s'instal·là al cim d'una muntanyeta de l'Estat de Vermont: Grandpa 's Knob.

Era l'any 1934 quan Putnam vivia a Cape Cod (Massachusetts), i s'adonà que tenia vents forts i els preus de l'electricitat alts. Va tenir l'idea de construir un molí per fer corrent alterna i estar a l'hora connectat a la xarxa de distribució elèctrica. Va pensar en un sistema que subministrés electricitat quan fes vent i que la rebés de la xarxa quan no en fes gaire o gens.

Juntament amb alguns amics iniciaren el disseny i van cercar l'ajuda de Mr. T. S. Knight, vice-president de la General Electric Co., a través del degà de l'escola d'enginyeria del "Massachusetts Institute of Technology".

L'especialista en hidroelectricitat de la G. E. Co., Mr. Alan Goodwin va aconseguir que la S. Morgan Smith Co. de York (Pennsylvania) financés el projecte (la S. Morgan Smith fabricava turbines hidràuliques). A més a més va rebre la col·laboració del mundialment famós expert en aerodinàmica Theodore Von Kármán.

La "Central Vermont Public Service Corporation" va proporcionar un lloc on emplaçar la màquina i connectar-la a la seva xarxa de distribució a través d'una línia de 44000 Volts. La "Central Vermont" era una companyia de subministrament elèctric que necessitava comprar electricitat a altres companyies elèctriques per poder fer front a les puntes de demanda.

Els diferents components estructurals foren construïts per: E. G. Budd Manufacturing (les pales), Wellmann Engineering Co. (rotor, eix, multiplicador, connexió a la xarxa), General Electric Co. (l'alternador) i American Bridge (la torre).

En el mes d'octubre de l'any 1939 s'en inicià la construcció, que finalitzà durant el mes d'agost de 1941. Aleshores es realitzaren algunes proves i a la nit del 19 d'octubre de 1941 fou connectat per primera vegada a la xarxa. Bufava un vent d'onze metres per segon. Després d'un petit període de funcionament sense càrrega, hom ajustà l'angle de les pales fins que s'obtingué una potència de 700 kW.

Va funcionar fins que durant el mes de febrer de l'any 1943 se li va avariar un palier. Durant aquest temps va romandre connectat a la xarxa 695 hores i desacoplat per assaïjos 192 hores, produint en total 298240 kWh. Aquesta avaria no va poder ser reparada fins el 3 de març de 1945. No obstant, entre el 3 i el 26 de març va funcionar, acoplat a la xarxa, 143 h. produint 61780 kWh. (potència mitjana de 431 kW.) a despit que va ser un mes de març amb molt poc vent. Però el 26 de març, quan funcionava normalment en un vent de 9 m/s., es va trencar bruscament una pala, que va sortir disparada, aterrant a dos centenars de metres de distància. L'altre pala va resultar també avariada a resultes de xocar amb la torre.

El motiu del trencament van ésser les múltiples fissures de corrosió en la base de la pala.

A conseqüència d'aquest accident, la Morgan Smith, que havia finançat l'experiència (amb un milió i quart de dolars), va decidir abandonar el projecte.

Putnam, que cercava un sistema de producció d'electricitat a un baix cost, va concloure que el cost de kWh. produït eòlicament era més elevat que el produït per altres mitjans.

A despit de que aquesta tentativa s'acabés temporalment en un fracàs, en el llibre que va publicar P. C. Putnam (1948) explicant la seva experiència, hom pot llegir, en paraules del degà d'enginyeria del M. I. T., Dr. Vanevar Bush:

"aquesta màquina ha demostrat que en un futur no llunyà les cases podran ésser il·luminades i les fàbriques podran emprar l'energia produïda pels sistemes de conversió de l'energia eòlica".

Al cap d'un temps, un expert francès (Lacroix, G., 1949) es preguntava:

"cal que ens desesperem en veure al vent perdre el lloc que li pertany al costat d'altres fonts naturals d'energia?".

I ell mateix es responia:

"de cap manera, l'experiència de Grandpa 's Knob no es perderà i podem creure que una nova màquina de les mateixes característiques no tindria pas els mateixos defectes que es van presentar en la primera".

Tindrien per això, que passar més de 30 anys perquè es construís una màquina de dimensions comparables (Anònims, 1941; 1941 (a); 1942; 1942 (a) i 1948).

3.3.4.3.3 La maduresa de la tecnologia eòlica danesa - sota la direcció de J. Juul

En esclatar la segona guerra mundial i paralitzant-se totalment les importacions de combustibles fòssils, els productors d'electricitat danesos entraren en una difícil situació. Dinamarca no posseïa ni salts d'aigua ni mines de carbó, per tant la seva producció d'electricitat era totalment depenent de les importacions forànies de combustibles. La major part de centrals elèctriques del país eren instal·lacions municipals (487) de les quals només 13 produïen més de 5 milions de kWh. a l'any cadascuna (eren suficients per cobrir el 75% del consum de l'any 1938). A més a més, hi havia un gran nombre d'instal·lacions privades: una trentena de més de 30 kW. i un miler amb una potència total de 4000 kW.

Com que també existien instal·lacions de màquines eòliques, els productors d'electricitat es llençaren per aquest camí, sobretot en el transcurs dels anys 1940-1941.

Any	Mes	Nombre d'instal·lacions eòliques	Producció (kWh)
1940	Juliol	16	20000
	Agost	19	40000
	Setembre	28	80000
	Octubre	33	65000
	Novembre	37	105000
	Desembre	37	95000
1941	Gener	43	108000
	Febrer	44	100000
	Març	44	125000
	Abril	48	108000
	Maig	49	112000
	Juny	52	110000
	Juliol	59	90000
	Agost	60	130000
	Setembre	63	130000
	Octubre	64	190000
	Novembre	64	230000
	Desembre	65	265000

Nombre de centrals eòliques i producció mensual (Stein, G., 1943).

Com hom pot veure en la taula, a finals de l'any 1941 hi havien 65 instal·lacions eòlic-elèctriques que produïen

260000 kWh al mes. Es tractava majoritàriament de màquines "Mamouth" de 4 pales, de 14, 16 i 18 m. de diàmetre, amb potències fins 30-35 kW.

La producció màxima d'energia d'aquestes instal·lacions fou (Lacroix, G., 1949):

- en un mes (setembre 1941): 6300 kWh. A la fàbrica de Roerslev.
- en un dia (31 gener 1941): 518 kWh. A la fàbrica de Skamby.

El nombre màxim d'instal·lacions eòliques es va assolir l'any 1943, amb 78 molins que produïen electricitat (Arnfred, J. T., 1961).

Durant molts anys l'estació eòlic-elèctrica de Rodding, a Sønderjylland, que tenia un molí de 18 m. de diàmetre, instal·lat a 1.6 km. de distància de l'estació-elèctrica. El molí era aturat i engegat desde la central i durant 20 anys va produir en promig uns 43000 kWh/any, amb un manteniment mínim (Arnfred, J. T., 1961). Era un molí tipus Lykkegaard, de pales ajustables.

Per altre banda, el molí d'Askov (construït per La Cour) va subministrar electricitat al poblet del mateix nom, desde l'any 1902 fins l'any 1960. Si bé el molí original va ser destruït pel foc l'any 1929, va ésser reemplaçat per un altre d'igual el mateix any, que va funcionar sense parar fins l'any 1960, quan el poble va ser connectat a la xarxa elèctrica de la "Sønderjyllands Højspændingsværk". Arnfred (1961), en el seu treball presentat a la Conferència de les Nacions Unides sobre Noves Fonts d'Energia, Roma 1961, va avaluar el cost de l'electricitat produïda en 0.03-0.04 corones daneses cada kWh.

En aquesta època, a més a més dels molins Lykkegaard ja citats, van utilitzar-se els molins anomenats F.L.S.-Aeromotor, que eren fabricats per la Societat F.L. Smidth de Copenhague. Una dotzena d'aquests molins funcionaven a l'any 1942.

Aquests molins F.L.S.-Aeromotor, eren d'un disseny més estilitzat que els Lykkegaard, amb dues pales estretes. Estaven caracteritzats per funcionar amb una relació de velocitats, entre la punta de la pala i la del vent, més gran. Així, mentre aquesta relació era 2.5 pels molins Lykkegaard, pels F.L.S. era 9. Com a conseqüència tenien pales més petites i menys pesades. Tenien l'inconvenient, però, d'arrencar més difícilment.

Les pales eren de fusta lacada, amb el seu cantó d'atac protegit amb un revestiment de xapa. Estaven inclinades cap enrera, en la direcció de la resultant de la força centrífuga i de la pressió el vent, així treballaven a tracció.

El dispositiu per limitar la velocitat de rotació estava format per un aleró al llarg de tota la pala. Normalment estava amagat dins de la pala, però quan arribava a la velocitat de rotació prevista, i per l'efecte d'un dispositiu accionat per la força centrífuga, aquest aleró sortia de l'interior de la pala produint un efecte de frenat, impeding l'acceleració del rotor.

El mecanisme d'orientació estava format, al igual que en els molins Lykkgærd, per dues hèlices auxiliars de 6 pales cadascuna.

Els molins F.L.S.-Aeromotor no arrencaven pas per ells mateixos. Calia doncs arrencar-los, bé mitjançant un motor de "llençament", bé mitjançant el mateix generador actuant com motor, estant alimentat per les bateries. L'inici de funcionament era automàtic, doncs disposava d'un petit molinet, al cim de la torre, que tancava un contacte quan la velocitat del vent arribava a un valor determinat.

La dinamo estava situada a la part superior de la torre. En el cas d'estar connectada a una xarxa de corrent alterna (a l'any 1939, a Dinamarca, el 60% de l'energia distribuïda ho era a través de xarxes d'alterna, i la resta, el 40%, a través de xarxes de continua), la dinamo alimentava el motor d'un grup convertidor, possibilitant que el molí girés a velocitat variable.

Aquests molins eren montats al cim de torres metàl·liques, encara que degut a l'escassetat d'aquest material, moltes torres eren fetes de formigó, amb un escala interior.

Començaven a generar electricitat amb velocitats de vent superiors a 5 m/s. La seva potència nominal, 50 kW., era obtinguda amb vents de 10 m/s., encara que podia generar fins a 70 kW. (amb molins de 17.5 m. de diàmetre).

Hom preveia que els molins F.L.S. generarien de 200000 a 300000 kWh. a l'any. En realitat en generaven menys. La seva producció diària solia ésser de 1400 kWh., lo qual corresponia a una potència mitjana de 57.5 kW. La màxima

producció d'un molí d'aquests va ésser 69090 kWh.

El preu d'un molí F.L.S. de 17.5 m. de diàmetre (instal·lació completa sense bateries) era 55000 corones daneses (any 1943).

La màquina eòlica més gran de totes les aixecades per F.L.S. (en va construir 18) va ésser de 70 kW., tripala amb un diàmetre de 24 m. (450 m²) que es va instal·lar a l'illa de Falster (concretament a Gedser) l'any 1942. L'any 1958 encara funcionava produint gairebé 140000 kWh. a l'any (Gimpel, G., 1948; Arnfred, J. T., 1961). El kWh. produït per aquesta màquina sortia a mitat de preu que el generat a través de combustibles fòssils.

De l'any 1940 a l'any 1947, es van generar 18.6 GWh. eòlicament a Dinamarca (Fisher, J., 1975).

A més a més dels molins descrits, hi havia a Dinamarca un gran nombre d'instal·lacions eòliques de petita potència. Eren aerogeneradors tripala, de 2-3 m. de diàmetre, acoblats directament a dinamos. La tensió era compresa entre 6 i 220 V., essent la potència de 125 a 1000 W. (Stein, D., 1943).

Va ésser, per això, a partir del 1947 quan la "Sydostsjaellands Electricitets Aktieselskab, SEAS" (Laboratori d'Electricitat del Sud de Jutlandia), sota la direcció de J. Juul, va iniciar un seguit d'investigacions sobre la viabilitat d'emprar l'energia eòlica per a la producció d'electricitat, de forma que l'energia produïda es pogués introduir directament en les xarxes de distribució existents de corrent alterna.

Des-de la seva fundació, l'any 1917, la SEAS havia estat conscient de que podia ocórrer un col·lapse en el subministrament de combustibles fòssils.

La SEAS era una companyia de subministra d'energia elèctrica, amb seu a Haslev. Subministrava electricitat a la zona sud de l'illa de Zealand i a gran part de les illes de Falster i Lolland.

Els treballs de recerca empresos eren:

- mesuraments eòlics,
- investigació sobre perfils de pales en túnels de vent,
- construcció d'un molí experimental,

- mesures de l'eficiència i de la producció energètica del moli experimental,
- determinar els efectes dels vents sobre les màquines eòliques,
- construcció de noves plantes eòliques en un futur no llunyà,
- economia de les futures plantes d'energia eòlica.

Realitzà proves amb diferents tipus d'aparells de mesura del vent i en col·laboració amb l'Institut Meteorològic Danès posaren anemòmetres en molts llocs de Dinamarca.

Es construí un túnel de vent de 2.6 x 3.5 m. i per mitjà d'un motor elèctric de velocitat variable acoplat a una hèlice, hom conseguia velocitats de fins a 6 m/s. Allí s'hi provaren unes 30 pales diferents, escollint-se un perfil determinat per les seves millors característiques (Jουλ, J., 1954).

Les mesures realitzades en el túnel demostraren que els rotors de 3 i 4 pales donaven més energia que els de 2, sobretot si treballaven per dessota de la velocitat òptima a la punta de la pala.

Els objectius que Juul perseguia en construir una planta experimental a Vester Egesborg (illa de Zealand) eren:

- l'intent d'acoplar un generador trifàssic de corrent altern a una màquina eòlica i connectar tot el conjunt a les xarxes de distribució existents,
- provar a l'aire lliure les pales que en el túnel de vent havien donat les millors característiques,
- investigar l'efecte de l'anomenada "superfície escombrada per les pales",
- veure quina era la producció d'energia per unitat de superfície escombrada,
- trobar experimentalment: a) la velocitat òptima a la punta de la pala, b) els mecanismes per ajustar les pales i c) l'automatisme necessari per accionar-els,
- mesurar la pressió eòlica màxima en l'eix del molí.

Hom elegí un rotor de 4 pales de gairebé 8 m. de diàmetre (7.6 m.) i una alçada de torre de 12 m. La superfície escombrada per les pales era 45 m². Tenia dos generadors (un de 6 pols i un de 4 pols), de forma que quan la

EL VENT I EL SEU PASSAT

velocitat del vent arribava a 5 m/s. actuava el de 6 pols i quan arribava a 8-9 m/s. deixava actuar el de 6 pols i entrava en funcionament el de 4 pols. La potència nominal era de 13 kW.

Les proves inicials i les recerques bàsiques s'acabaren aviat, i el 1er. de maig del 1950 estava a punt per funcionar de forma continuada.

Una vegada escollides les pales i fetes algunes modificacions, el molí va funcionar continuament des d'el mes d'abril del 1951 fins l'any 1960, en que fou desmantel·lat, quan es va considerar que la seva tasca com molí experimental havia acabat.

A l'any 1951, SEAS es va fer càrreg de l'estació elèctrica de corrent continua de l'illa de Bogo (entre les illes de Zealand i Falstria). Aquesta estació disposava, a més d'un enginy diesel, d'un aerogenerador F.L. Smith amb dues pales de 8.75 m. (diàmetre 17.5 m.) i una àrea escombrada de 240 m². Tenia un potència de 35 kW.

SEAS va decidir la recuperació del molí i la seva reconstrucció per produir corrent alterna. Aprofitant el multiplicador original (relació de multiplicació 1:18.2) i la torre, canviaren les pales, posant-n'hi 3, d'un diàmetre de 13 m. i el generador (seria ara una màquina d'inducció assíncrona de 45 kW.). Va començar a funcionar durant el mes d'octubre de l'any 1952 (Juul, J., 1954).

Les produccions específiques d'energia d'ambdós molins van ésser de 525 kWh/m².any i 660 kWh/m².any respectivament.

	Vester Egesborg		Bogo	
	kWh.	kWh/m2.	kWh.	kWh/m2.
feb. 1953	2732	65	11334	85.8
mar.	2415	57.5	9033	68.3
abr.	1449	34.5	5004	37.9
mai.	994	23.7	4824	36.5
jun.	1502	35.8	4145	31.5
jul.	2145	51	5145	39
ago.	2414	57.4	7085	59
set.	1838	43.8	7000	53
oct.	1088	26	5000	38
nov.	2280	54.3	10600	80.3
des.	886	21	5600	42.5
gen. 1954	2304	55	11700	88.6
Total	22047	525	87170	660

Els resultats tan esperançadors obtinguts amb els molins de Vester Egesborg i de Bogo, van conduir a la "Danske Elevearkers Forening, DEF" (Associació Danesa de Treballs Elèctrics), sota l'impuls de la SEAS, a la creació d'un Comitè d'Energia Eòlica per continuar les tasques de recerca i experimentació amb la força del vent i el seu aprofitament. El Govern danès va concedir una subvenció de 300000 corones per a la construcció d'un molí experimental més gran, molt a la vora d'on l'any 1942 s'en havia instal·lat un de 70 kW., del tipus F.L.S.

El disseny i la construcció del molí de Gedser va ser fruit dels resultats obtinguts amb els experiments i l'experiència adquirida amb els molins de Vester Egesborg i Bogo.

El molí de Gedser va ser acabat de constuir a l'estiu del 1957. Després d'un període d'ajust i prova va començar a generar, en forma continuada, durant el mes de juny del 1958.

Les pales del molí de Gedser tenien un coeficient de potència màxim per una relació de velocitats entre la punta de la pala i el vent lliure de 5-6. Estaven unides entre elles per tirants, i també per tirants entre cada pala i una

prolongació de l'eix del rotor. La pala propiament dita (que tenia una amplada de 1.50 m.) només ocupava 3/4 parts de la seva llongitud (de 12 m. de llarg, només n'ocupava 9 m.).

Eren pales fixes, que quan la velocitat del vent pujava per sobre dels 15 m/s., començaven a treballar en règim de perdua ("stalling"), disminuint el seu rendiment aerodinàmic, doncs el coeficient de sustentació es redueix.

El 12% de la superfície de cada pala (la seva part més exterior), estava formada per un "flap" que actuava de frè quan hom volia aturar el molí. En funcionament normal, el "flap" era una continuació de la pala, però podia girar 60 graus respecte l'eix llongitudinal de la pala, quan era accionat per un motor hidràulic.

Respecte al pla de rotació, les pales formaven un angle de 16 graus a la base i 3 graus a la punta.

La transmissió des de l'eix principal del rotor fins al generador, es realitza a través de cadenes (eix primari-eix secundari, eix-secundari-eix generador) i politxes.

Per a funcionar el molí, cal que els connectors d'alta i de baixa tensió estiguin "on", així com el connector del circuit de control. Aleshores un connector magnètic tanca una vana i comencen a funcionar un motor elèctric i les bombes d'oli, donant pressió al circuit hidràulic. Això possibilita que actuadors dels "flaps" els posicionin de forma que esdevinguin la prolongació de la pala. Després un motor allibera el frè mecànic de l'eix del rotor. Si el vent és de 4-5 m/s. el rotor comença a girar. Tan aviat com el generador arriba a 750 r.p.m., un relé centrífug acciona un connector i el molí queda connectat a la xarxa, mentre el vent bufi per sobre de 4-5 m/s. Si la velocitat del vent disminueix per desota d'aquest valor, el generador actua aleshores com motor, xuclant energia de la xarxa, per lo que el relé de corrent inversa actua sobre el connector, desconnectant-lo de la xarxa.

El sistema d'orientació, funcionava en base a un panell que detectava la direcció del vent i donava una senyal a un motor que feia girar el molí per orientar-lo altre vegada cara al vent (Juul, J., 1961).

La comparació de les experiències realitzades amb els molins de Gedser i de Bogo va ser realitzada pel mateix Juul (1961 a), tant pel que fa referència als construïts als anys

1940 com els instal. lats els anys 50:

	nombre de pales	superfície escombrada (m ²)	potència (kW)
BOGO (1942)	2	240	35
GEDSER (1942)	3	450	70

Producció dels molins de Gedser i Bogo (1942):

	Gedser		Bogo	
	kWh.	kWh/m ² .	kWh.	kWh/m ² .
1943	135671	300	29220	122
1944	125800	280	28000	117
1945	117100	260	31889	132
1946	113640	252	20882	83
Total	492211	-	109991	-
Promig anyal	123000	272	27500	114

	nombre de pales	superfície escombrada (m ²)	potència (kW)
BOGO (1952)	3	132	45
GEDSER (1958)	3	450	200

Producció dels molins de Gedser i Bogo (1952-1958) :

	Gedser		Bogo	
	kWh.	kWh/m ² .	kWh.	kWh/m ² .
nov. 1959	25710	57.13	6324	47.91
des.	52840	117.42	11000	83.33
gen. 1960	31460	69.91	8165	61.86
feb.	44640	99.20	8487	64.30
mar.	34180	75.96	5431	41.14
abr.	38340	85.20	6757	57.19
mai.	27390	60.87	4225	32.01
jun.	23980	53.29	3588	27.18
jul. (a)	22000	48.89	4324	37.76
ago.	18920	42.04	3798	28.77
set.	20840	46.31	4165	28.77
oct.	30740	68.31	6195	46.93
Total	371040	824.53	72659	550.45

(a) per al molí de Gedser és una estimació, ja que aquest més només va produir 7880 kWh., degut a una avaria en un relé.

Així mentre la relació de superfícies d'ambdós molins de l'any 1942 era: $450/240 = 1.88$, la relació entre les produccions d'energia anuals (per metre quadrat d'area escombrada) respectives va ésser: $272/114 = 2.39$.

El molí de Gedser produïa 158 kWh. més que el molí de Bogo (per metre quadrat d'area).

La relació entre les superfícies dels molins de Bogo (1952) Gedser (1958) era: $450/132 = 3.4$, la relació entre les seves produccions específiques anuals d'energia va ésser: $824/550 = 1.5$.

El molí de Gedser produïa 374 kWh. més que el molí de Bogo (per metre quadrat d'area).

D'aquestes dades hom pot extreure les conclusions següents:

- * en una dècada la tecnologia per a l'aprofitament de la força del vent va evolucionar fortament, ja que la captació d'energia va incrementar-se 3 vegades per el molí de Gedser i gairebé 5 per el molí de Bogo.
- * comparant les produccions (any 1959-60) de Gedser i Bogo, es pot veure la gran importància que té la selecció d'emplaçaments escaients per a ubicar-hi Sistemes de Conversió d'Energia Eòlica, ja que el molí de Gedser produïa una vegada i mitja més d'energia que el de Bogo (per unitat de superfície de captació).

El molí de Gedser va funcionar sense parar des de l'any 1958 fins l'any 1967. Durant aquest període va subministrar un total de 2242000 kWh. a la xarxa, essent la seva producció màxima en un any, 367000 kWh. (any 1967).

3.3.4.3.4 E. W. Golding i les realitzacions eòliques - angleses

Era l'any 1943, quan la "North of Scotland Hydro-Electric Board" buscava quines màquines eòliques hi havia en el mercat, i només en trobava de petita potència. Al mes de gener de 1944, va fer un encàrrec formal a la "Electric Research Association, ERA", perquè realitzés proves comparatives amb les màquines que existien aleshores. Com a conseqüència d'aquestes proves, la Hydro-Board va concloure que els petits aerogeneradors no podrien fer una contribució substancial a l'electrificació del Nord-Oest d'Escòcia i va suggerir que caldria desenvolupar una màquina de 50 kW.

La E.R.A. organitzà doncs, una reunió a Londres (desembre 1947) per a discutir la possibilitat de generació eòlica d'electricitat a gran escala. Hi assistiren representacions de l'administració i de les organitzacions interessades en el subministre d'electricitat i en les conclusions de la reunió. Hom convidà la E.R.A. a crear un comitè per estudiar aquest problema en tots els seus aspectes. Així va néixer l'anomenat "Wind Power Generation Committee" (Venters, J., 1950), que va tenir en Golding un dels seus principals animadors.

La Hydro-Board estava convençuda de que a les illes Orkney hi havia bons emplaçaments per molins de vent. Per això la E.R.A. va iniciar mesuraments del vent, per determinar ràpidament quin era l'emplaçament més ventós d'un seguit de montanyetes escullides en una primera selecció. A l'agost del 1940, la decisió estava entre dos emplaçaments, que després de les mesures fetes a l'hivern 1948-1949, a altures de 21 m., hom va escollir el cim de Costa Hill (Golding, E. W., 1949).

Les raons per les quals hom va escollir instal·lar la primera màquina eòlica a les Orkney, foren les següents: aquestes illes són molt ventoses, tenien la població dispersa, els habitants desitjaven poder emprar electricitat, la Hydro-Board estava electrificant les illes amb xarxes d'11 kV., els emplaçaments proposats estaven a prop de les xarxes de distribució, etc. Però la principal raó va ser que l'energia eòlica podia representar un estalvi considerable de combustibles líquids, ja que aquests combustibles eren cars (Venters, J., 1950).

Segons el "Wind Power Generation Committee", una gran llista de problemes mecànics i elèctrics tenien de resoldre's abans de que un molí de vent es pogués construir, sobretot si es tractava d'una màquina experimental de 100 kW., com la que Hydro-Board volia. Aleshores, a Anglaterra, no es disposava pas d'experiència pràctica en el disseny d'aquestes màquines per a la generació de corrent alterna.

La "North of Scotland Hydro-Electric Board" va encomenar la construcció del molí a "Jonh Brown and Co. Ltd.", perquè estava molt interessat en el projecte i perquè tenia una gran experiència en treballs d'enginyeria. El contracte es va signar en el mes d'agost del 1949 i les úniques especificacions foren: potència 100 kW. i funcionament automàtic.

Les tres raons per les quals es va elegir una potència de 100 kW. foren: a) en comparació amb les màquines existents representava un increment de potència raonable, b) el cost era moderat, i c) permetia utilitzar diverses peces estandar que s'empraven en altres aparells (Venters, J., 1950).

Els objectius que hom perseguia amb la construcció i posterior funcionament del molí de 100 kW. eren: recollir dades referents al vent i a l'energia produïda per a adquirir l'experiència necessària per a poder iniciar el disseny d'alguna màquina eòlica més gran.

Aquesta planta eòlica experimental es va aixecar en el transcurs dels anys 1951-1952. Tenia una potència nominal de 100 kW. a una velocitat nominal del vent de 16 m/s.

El captador estava format per 3 pales de fusta de 5.18 m. de llargada cadascuna. La pala anava fixada a l'eix principal del rotor per un suport de 2.43 m. de llargada, donant el conjunt un diàmetre del cercle escombrat per les pales de 15.24 m. El material de les pales era fusta laminada a pressió, recobertes de plàstic. La junta del suport de la pala amb l'eix del rotor permetia certs moviments de tota la pala en el pla de rotació i en la direcció del vent (moviments de "dragging" i de "conning"), a mesura que s'incrementava la velocitat.

El moviment de rotació de l'eix principal (130 r.p.m.) era transmès cap al generador mitjançant un multiplicador, que pesava 2 Tm., que tenia una relació de multiplicació aproximada de 6:1.

El generador, de la Metropolitan-Vickers Electrical Co. Ltd., tipus R.W.12.048, era un generador d'inducció de 100 kW. de potència, 415 V., trifàssic de 50 Hz., 750 r.p.m. i pesava 2 Tm.

Disposava d'un sistema de control de la velocitat que possibilitava que el rotor girés gairebé a velocitat constant (cambiant l'angle d'inclinació de les pales). A més a més, permetia l'engegament del aerogenerador quan el vent era suficient i l'aturava quan n'hi havia poc. També disposava d'un sistema d'aturada d'emergència. La seqüència d'engegada-aturada era la normal d'una màquina assíncrona. La seqüència detallada està descrita en la referència (Anònim, 1955 a).

A conseqüència dels treballs de recerca empresos per la E.R.A. (Golding, E. W.; Stodhart, A. H., 1952), no solament es va realitzar la màquina experimental citada anteriorment, sino també la "British Electricity Authority" va interessar-se per la producció eòlica d'electricitat.

En comptes d'emprar el mètode clàssic de conversió eòlica, captador-multiplicador-generador, decidiren realitzar una màquina que fes servir el sistema de "depressió", que ja havia provat, a petita escala, a França, J. Andreau.

Estava format per un captador de dues pales buides, situades al cim d'un suport d'acer tubular buit. A la part

baixa de la torre de suport disposava d'una turbina acoplada a un generador elèctric de forma que no hi havia cap mena de transmissió mecànica entre el captador i el generador. El funcionament del sistema és el següent: el vent fa girar les pales, les quals per força centrífuga, expulsen l'aire del seu interior, creant una diferència de pressió entre la punta de la pala i la base de la torre, per on entra l'aire. Això fa que la turbina giri i accioni el generador.

Encara que l'eficiència i el cost d'una màquina d'aquestes era més petita i més gran que els de les màquines eòliques clàssiques, la B.E.A. la va escollir degut a les avantatges físiques i mecàniques que presentava (Enfield Cables, 1953) i que aquestes avantatges augmentaven a mesura que les màquines eòliques es fessin més grans.

Una màquina utilitzant aquest sistema i de 100 kW. de potència, es va aixecar a Prae-Wood, St. Albans (Hertfordshire), amb l'intenció de provar-la, i una vegada provada, aixecar-la en un lloc de la costa.

Construïda per "Enfield Cables Ltd.", per encàrrec de la B.E.A., va ésser dissenyada per "De Havilland Propellers Ltd.", l'equip elèctric dissenyat i construït per "The English Electric Co. Ltd.", i la torre dissenyada, construïda i aixecada per "Redhenge Iron and Steel Co."

En el mes de juliol de l'any 1953, la companyia Enfield Cable, va muntar una demostració d'equips per a l'aplicació de l'energia eòlica. La demostració va comptar amb un prototipus d'aerogenerador funcionant a depressió de 8 kW. de potència, al cim d'una torre de 8.5 m., un "electrode boiler" de 30 kW., un acumulador de vapor ("steam") i un motor de 2.5 HP., modificat per funcionar amb hidrògen (Anònim, 1953). en el lloc on es va realitzar aquesta demostració, ja es començava a construir l'aerogenerador de 100 kW.

Aquesta màquina experimental, estava situada al damunt d'una plataforma de formigó, en la qual hi havien 12 enclavaments formant un cercle de 29.25 m. Aquests fonaments aguantaven una torre tubular cònica d'acer, de 2.74 m. de diàmetre a la base i 1.30 m. a la punta. Estava aguantada per 12 cables galvanitzats inclinats 50 graus i separats tots a igual distància. Aquesta torre es podia abatre apoiant-se només en un punt de la base.

Les dues pales que formaven, al girar, un cercle de 24.38 m., eren d'una aleació d'alumini. Formaven un angle de 5 graus amb el pla vertical, és a dir, al girar feien un con.

El seu angle d'inclinació podia variar per mantenir constant la velocitat de rotació. Aquest moviment de les pales era realitzat hidràulicament. La velocitat de rotació era 95 r.p.m. Les pales eren situades a sotavent de la torre i el sistema d'orientació era assistit per un actuator, al qual li donava la senyal un penell (Enfield Cables, 1953).

La turbina estava situada verticalment en la base de la torre i era dissenyada per funcionar amb un cabal de 1655 m³. d'aire per minut. Tenia 47 pales en el rotor i 50 en l'estator i l'angle d'injecció era 28 graus. La seva velocitat de disseny era 1000 r.p.m. i la seva eficiència 85%. La turbina estava acoplada a un alternador síncron de 100 kW., 415 V. (Anònim, 1955).

La potència d'aquest artefacte s'incrementava des-de 0 fins a 100 kW., entre les velocitats del vent de 7.7 m/s. i 13.6 m/s. La potència romanía constant entre 13.6 m/s. i 29.5 m/s., en que la màquina s'aturava per motius de seguretat (Enfield Cables, 1953).

Aquest aerogenerador romanía connectat a la xarxa de distribució de la "Eastern Electricity Board", a través d'una línia de 11000 V. i d'un transformador de 200 kVA.

Les proves realitzades amb els dos aerogeneradors presentaren diverses dificultats, normals en ésser plantes experimentals. L'aerogenerador ubicat a Costa Hill, va funcionar donant la potència nominal durant el temps de les proves, inclús va aguantar potències de 150 kW. durant curts períodes de temps i va aguantar vents de més de 30 m/s.

Per continuar amb les experiències de l'aerogenerador Jonh Brown, s'en va dissenyar un de 250 kW., que mai es va arribar a construir (Golding, E. W., 1955 b; Anònim, 1955).

En quant a l'aerogenerador de depressió instal·lat a St. Albans (però que originariament tenia d'haver estat instal·lat a Mynydd Anelog, Alerderon, Caernarvonshire, país de Gales), les proves van donar un eficiència molt baixa, degut, sobretot, a que estava instal·lat en una zona amb una distribució vertical de vents molt pertorbada (Bonnefille, R., 1975).

L'any 1957, "Electricité et Gas d'Algerie" va fer-se amb la màquina que va ser instal·lada a "Grand Vent Deux", un lloc molt ventós. La màquina va començar a funcionar el

mes de novembre, de forma molt esperançadora: en pocs segons va arribar a la potència de 130 kW, i durant els 20 minuts següents no va baixar de 100 kW. (Anònim, 1958).

Cal tenir en compte que a Prae-Wood, només havia arribat a funcionar 60 hores en el període de 2 anys. La potència màxima que havia donat era 25 kW.

A "Grand Vent Deux", l'aerogenerador va funcionar durant 180 hores, donant una potència compresa entre 80 i 130 kW. Durant les proves realitzades es van posar en evidència els defectes del sistema (fuites d'aire per les juntes i altres). Aquests defectes foren solventats, però hom va abandonar l'experiència per raons de seguretat (Bonnefille, R., 1975).

També en aquesta època, el "Ministry of Fuel and Power" anglès va encomenar a "Folland Aircraft Ltd.", el disseny d'un aerogenerador de 3760 kW de potència nominal, a una velocitat nominal del vent de 15.6 m/s. Tenia un captador de dues pales amb un diàmetre de 69 m., que giraria a 42.5 r.p.m. La torre de suport, en forma de tripode, tenia una altura de 41 m. Aquest projecte tampoc es va arribar a realitzar mai.

Endemés d'aquestes experiències amb màquines de 100 kW i dels projectes més grans mai realitzats, la "Electric Research Association", en la seva estació d'investigacions eòliques de Cranfield, va realitzar tota una sèrie d'experimentacions amb instal·lacions d'assaig, per veure la possibilitat de construir un aerogenerador senzill i robust de 30 a 50 kW de potència, per al subministre d'energia a una xarxa elèctrica local o a una comunitat (Golding, E. W., 1956).

Més endavant, una altra màquina eòlica de 100 kW, va ser instal·lada a la illa de Man a l'any 1960, aprofitant el mateix generador que hom havia emprat a Costa Hill. Tenia també 3 pales, que formaven un diàmetre de 15.24 m. L'alçada de l'eix del rotor era 10 m. La velocitat nominal era 18.2 m/s. Aquesta màquina va ésser dissenyada per "Irwin and Partners" i construïda per "R. Smith Ltd" (Millar, M. N., 1982).

3.3.4.3.5 Franca es desperta tard, però es posa - a l'avantguarda

Encara que amb cert retard, França també es va incorporar en la cursa per a la captació de la força del vent.

No obstant una màquina eòlica danesa Lykkegaard va funcionar alguns mesos a Clamart, durant l'any 1948.

L'empresa estatal d'electricitat "Electricité de France" va experimentar tres màquines de gran potència. Va ésser el fruit del treball menat per la Divisió d'Energia Eòlica, sota la direcció de M.A. Argand, des-de l'any 1948 fins el 1966, i amb la col.laboració del "Bureau d'Etudes Scientifiques et Techniques, BEST", i Neyrpic (i la seva filial SO. GRE. A. H.).

El programa d'assaigs que EdF va dur a terme a Nogent-le-Roi, tenien els següents objectius:

- mesurar les característiques de una màquina eòlica gran a escala natural,
- analitzar les pèrdues energètiques,
- determinar l'ajust de l'excitació òptim,
- posar a punt mètodes d'explotació,
- comparar diferents sistemes de frenat,
- verificar els calculs de resistència de materials,
- simplificar els components,
- experimentar la transmissió d'energia per mitjà de cables que es puguin enrotllar, en comptes de col.lectors i escombretes,
- estudiar les distàncies mínimes en que cal posar varies màquines.

La màquina que es va posar era tripala, de pales fixes, les pales eren d'aleacions lleugeres, i formaven un cercle de diàmetre 30.19 m. Tenia una potència nominal de 800 kW., amb un vent de 16.7 m/s. L'altura de l'eix del rotor, per sobre del nivell del sòl, era 32 m. La velocitat de rotació del rotor era 47.3 r.p.m. i la de l'alternador sincron 1000 r.p.m. L'acoplament del rotor i l'alternador es feia per mitjà de dos multiplicadors de planetaris amb unes relacions

de multiplicació de 7.5:1 i de 3:1. El disseny d'aquesta màquina va ésser deguda a L. Romani i a B.E.S.T.

L'aerogenerador estava connectat a la xarxa (el generador de 800 kW i 3000 V.) mitjançant una doble etapa de transformació (3/15/60 kV.) i una línia de 15 kV. de 12 km. de llarg.

Aquesta instal·lació de Nogent-le-Roi va ésser un veritable banc de proves, com ho demostren els següents fets:

- des-del 15 de març de 1958 fins el 12 d'abril de 1962 va funcionar amb una hèlice "lenta" que es va comportar perfectament.
- entre el 15/3/58 i el 18/11/59 va funcionar 931 hores, de les quals 195 foren consecutives. Va ésser connectada a la xarxa 164 vegades.
- la potència màxima observada fou 930 kW., amb un vent de 20 m/s., havent-se observat una punta de 1025 kW.
- el 18/11/1959 es va avariar un coixinet, donant com a resultat danys en l'eix, en altres coixinets i en el ventilador de generador.
- el 13/4/1960 fou tornat a posar en funcionament, i des d'aquesta data fins al 12/4/1962 va funcionar bé amb algunes deficiències.
- el 30/8/1960 la potència va augmentar des-de 300 fins 900 kW. en qüestió de segons.
- les potències mitjanes observades foren:

870 kW.	durant	1 hora,
825 kW.	"	4 hores seguides,
683 kW.	"	12 hores seguides.
- durant la tempesta ocorreguda l'11 de gener de 1962, en la qual el vent va arribar a velocitats de 30 m/s., la màquina va aguantar perfectament.
- entre el 15/3/58 i el 12/4/62 va ser connectada a la xarxa 372 vegades, essent la durada màxima de connexió sense parar de 637 hores.
- el 12/4/1962 l'hèlice lenta fou substituïda per una de més ràpida, que girava a 71 r.p.m., en comptes de 47.3 r.p.m., amb la finalitat de no emprar els multiplicadors. Fins el 5/9/1963, va funcionar 307 hores. En aquesta data

es va trencar un pala degut a l'aparició de vibracions destructives, degudes a l'augment de la velocitat de rotació.

A despit dels problemes que es van presentar, normals en qualsevol prototipus, les conclusions a les que van arribar foren:

- la corba de potència era superior a la prevista.
- la regulació per "pèrdua" funcionava correctament.
- l'autoorientació funciona a partir de velocitats del vent superiors a 3 m/s., si l'hèlice gira.
- la connexió a la xarxa es fàcil i estable.
- les vibracions a les pales son febles.
- no es presentava cap signe d'envelliment després de 5428 hores de funcionament i 38000 hores d'exposició a l'intemperie.
- calia resoldre alguns problemes d'engras.
- el rendiment màxim de l'hèlice era 0.85.
- el rendiment màxim de l'aerogenerador era 0.7.

Després de les proves d'aquest aparell experimental de 800 kW., hom preveia la instal·lació d'un prototipus a Landunvez (Finistère) i tot seguit la construcció i implantació en sèrie d'aquestes màquines.

També hom volia continuar les proves amb dues hèlices de 45 m., posades una a cada costat d'un suport buit de ciment (semblant a una torre de refrigeració d'una central tèrmica), acoplades a dos generadors de 2 MW. cadascun, girant en sentit invers. Inclús hom es va plantejar construir un prototipus amb 4 hèlices de 50 m. i amb una potència total de 10 MW. (Bonafille, R., 1975).

Paral·lelament, la Societat Neyrpic va construir una variada gama d'aeromotors i aerogeneradors.

En quant a aeromotors per al bombeig d'aigua, va construir-ne de lents amb bomba de pistó (els clàssics multipala) i de ràpids amb bombes rotatives (Vadot, L.,

1957).

Pel que fa referència als aerogeneradors, Neyrpic en va provar dos. El primer de 132 kW. i un altre de 1000 kW.

La màquina Neyrpic D-21 va ésser instal·lada a Saint-Remy-des-Landes (La Manche) l'any 1958, que, a una velocitat nominal del vet de 12.5 m/s., donava una potència nominal de 132 kW.

Tenia un captador de 3 pales, que formaven un cercle d'un diàmetre de 21.20 m., el qual tenia una inclinació de 7 graus respecte al pla vertical. L'angle d'inclinació de les pales era variable, per poder regular la velocitat de rotació. Les pales eren d'alumini i més tard van ésser metal·liques, recubertes de material plàstic.

El sistema d'orientació estava format per dues hèlices auxiliars. El generador era d'inducció (assíncron) de 132 kW. de potència i 1530 r.p.m. Estava acoplat al rotor mitjançant un multiplicador, ja que la velocitat nominal de rotació del rotor era 56 r.p.m.

Va donar una potència màxima de 150 kW., amb un vent de 13.5 m/s., essent el seu rendiment màxim entre 0.5 i 0.6 (per velocitats del vent entre 10 i 13.5 m/s.).

Degut a fortes vibracions en la torre metàl·lica de suport (tenia 4 potes i 17 m. d'alçada), s'interromperen les proves per a reforçar-la. A continuació es va trencar una pala (28/6/59). Amb unes noves pales va funcionar normalment, des-dél novembre de 1962 fins el març de 1966, produint 700000 kWh. La producció mensual màxima va ésser 52000 kWh. Les aturades per incidents van totalitzar 59 dies (Bonafille, R., 1975; Argand, A., 1963).

Aquests bons resultats van animar a Neyrpic a projectar una nova màquina, però més gran.

També es va instal·lar a Saint-Remy-des-Landes. Tenia una potència nominal de 1000 kW., per una velocitat nominal del vent de 17 m/s. Tenia un captador de 3 pales, fetes de plàstic, situat a sotavent del suport, que tenia 30 m. d'alçada. La velocitat del vent a partir de la qual començava a donar potència era 6 m/s. Les pales tenien l'angle d'inclinació fix fins a la potència de 650 kW., i a partir a de 650 kW. era variable. Disposava d'un

multiplicador de dues etapes, per poder acoplar-se a la velocitat nominal del generador assíncron (1015 r.p.m., 300 V.).

Fou connectada a la xarxa el 13 de juny de 1963, quatre mesos després d'iniciat el muntatge. Va funcionar normalment fins el 18 de juliol, en que va tenir una avaria en la part de connexió a la xarxa. Les proves realitzades entre l'octubre de 1963 i el juny de 1964 van donar els resultats següents:

- vibracions la velocitat crítica de 1300 r.p.m.
- potència de 800 kW. a 15 m/s., essent la potència màxima obtinguda 1085 kW.,
- rendiment màxim 0.7 per un vent de 13-15 m/s.
- producció: 500000 kWh. en 7 mesos, dels quals 220000 kWh. foren produïts durant el mes de novembre de 1963.

Però en el mes de juny del 1964, es va trencar un coixinet del multiplicador. Aquesta ruptura, després de només 2000 hores de funcionament, fou deguda a un defecte de disseny del multiplicador (Argand, A., 1963; Bonnefille, R., 1975).

E.d.F. no només es va interessar per les màquines grosses, sinó que també va tenir interès en els petits aerogeneradors, tant els d'eix horitzontal com vertical.

J.B. Morel va realitzar un prototipus d'aerogenerador de 3 m. de diàmetre, que consistia en una llanta que entre ella i l'eix de la roda, s'aguantaven les pales. Va ser instal·lada a Saint-Nizier, a 1100 m. d'altura, l'any 1951. Les avantatges d'aquesta màquina eren que la transmissió de l'energia captada es realitzava a través de la llanta, no calien multiplicadors, la possibilitat d'usar pales de perfils molt prims, l'efecte estabilitzador de la llanta. Durant les proves, el rendiment va arribar a 0.45 i la potència a 4-8 kW. (a 15 m/s).

Morel també va proposar màquines d'aquestes fins potències de 1200 kW., que mai van passar de ser un projecte.

Un altre tipus d'aerogenerador va ésser d'eix vertical, semblant als antics molins del Síjistan. Després d'assaijos en túnels de vent, hom va construir un prototipus da

Fressinades (Mondragon), d'una potència de 7 kW. Va funcionar des-del 9 d'agost fins el 8 d'octubre de 1954, en que un temporal de "mistral" el va destruir, a causa d'una avaria en el sistema de frenat (Bonnefille, R., 1975).

3.3.4.3.6 Les avençades experiències del professor -
Hütter a Alemanya

No va ésser fins després de la segona guerra mundial quan la Comissió d'Energia del consell Federal Alemany es va preocupar realment de l'Energia Eòlica.

El ministre d'assumptes econòmics va aconsellar a l'Associació d'Estacions generadores d'electricitat (Frankfurt) que s'encarregués d'aquest tema. Al cap d'un quant temps es va crear la "Studiengesellschaft Windkraft".

La Allgaier Co. de Uingen (Wurttemberg) fabricava ja generadors eòlics de 8 kW tripales, de 10 m. de diàmetre. La seva velocitat de rotació era 86 r.p.m.. Anaven equipats amb generadors trifàsics de 230/380 V i 1500 r.p.m.

També la Nordwind GmbH construïa aerogeneradors de 18 kW, tripales.

Però va ésser sota la direcció del prof. Ulrich Hütter, de l'Institut de Tecnologia de Stuttgart, que es va emprendre entre l'any 1950 i el 1960 un ambiciós programa de disseny de pales per aerogeneradors (Hütter, U., 1954 i 1961).

Es construïren prototipus de 10 fins a 100 kW amb pales ultrallengeres, de fibra de vidre i plàstic.

La més gran, de 100 kW, va ser posada en funcionament a la tardor de l'any 1957, al cim d'una muntanya (de 760 m) al nord de Stotten (a uns 80 km a l'est de Stuttgart). Tenia un suport tubular, aguantat amb tirants, de 25 m d'altura. Era bipala i el diàmetre del cercle que formaven les pales al girar era 34 m. Va ser connectada a la xarxa al desembre de 1957. La seva velocitat nominal era 8 m/s. (42 r.p.m.). Va funcionar durant més de 6000 h. entre l'any 1957 i 1968. Ha estat fins molt recentment un dels projectes tècnicament més avançats (Simmons, D.M., 1975).

3.3.4.3.7 Altres Realitzacions i projectes a l'URSS i als EUA

A la U. R. S. S., després de l'experiència realitzada amb la màquina de 100 kW a Balaklava, hom tenia previst realitzar el projecte d'un aerogenerador de 1000 kW per a instal·lar a Ali-Petri (Crimea). Sembla que algunes dificultats trobades en la construcció dels components mecànics de l'instal·lació per poder funcionar amb seguretat, foren el motiu per el qual es va abandonar el projecte.

En canvi molt bons resultats es van obtenir amb aerogeneradors de 12 m. de diàmetre, que tenien una potència nominal de 12 kW a 8 m/s. Es construïen a la fàbrica Petrowski a Cherson. Estava previst que a partir de l'any 1943 sortirien de les fàbriques soviètiques 28500 artefactes eòlics cada any. Això representava una potència instal·lada de 120000 kW i una producció d'energia de 312 milions de kWh amb un vent de 5 m/s. (Lacroix, G., 1949).

També en aquesta època es construïen els aerogeneradors ZWEI-D-30 (tripala, 30 m. de diàmetre, 50 kW a 8 m/s, 25 r.p.m.), i SMP-D-34 (tripala, 34 m de diàmetre, 250 kW a 12 m/s, 33 r.p.m.). Aquest darrer disposava d'un generador auxiliar més petit (55 kW) emprat en vents febles, per augmentar la producció d'energia (Vadot, L., 1958).

Als E. U. A., a despit de que el programa d'electrificació rural va fer molt mal a l'indústria dels aerogeneradors, la societat Windcharger havia subministrat més de 50000 aerogeneradors de petita potència abans d'entrar a la dècada del anys 50. (Lacroix, G., 1949).

També als E. U. A., a la dècada del anys 40, en Percy H. Thomas, que havia fet una valoració del potencial eòlic nordamericà per la "Federal Power Commission", va analitzar detalladament la producció d'electricitat mitjançant el vent i els seus efectes en la xarxa de distribució.

Els treballs de P. H. Thomas foren publicats per la "Federal Power Commission" en forma de monografies. La primera titulada "Electric Power from the Wind" (març 1945), estava dedicada a la construcció i funcionament de l'aerogenerador Smith-Putnam. També describia uns aerogeneradors de rotor múltiple de 7500 kW. i 6500 kW. El primer constava de 2 rotors bipales i el segon de 2 rotors tripales. Thomas proposava utilitzar generadors de corrent continu i convertidors síncrons. Basant-se en extrapolacions i estimacions a partir de l'aerogenerador

Smith-Putnam, concluïa que els costos d'instal·lació de les màquines que proposava anirien de \$68/kW a \$75/kW, però creia que calia construir prototipus per confirmar-ho.

El segon informe, del març de 1946, era dedicat a descriure detalladament les màquines de 7500 i 6500 kW. Serien torres metàl·liques, d'estructura, que a 145 m. sobre el nivell del sòl, suportant els dos rotors de 61 m. de diàmetre. També hi comentava el frenament de la pala del molí de Grandpa 's Knob i reiterava la necessitat d'emprar grans unitats (entre 5000 i 10000 kW) per part de les companyies elèctriques.

Al gener de 1949, es va publicar el seu tercer informe, en el que comparava les característiques aerodinàmiques de les pales de 3 molins (el de Smith-Putnam, un d'anglès i el seu). Reiterava una vegada més la necessitat de construir prototipus.

El darrer informe (febrer 1954), comentava la integració dels grans aerogeneradors en les xarxes elèctriques existents i ja argumentava que la generació eòlica d'electricitat estava justificada si el seu cost era més baix que les centrals tèrmiques modernes (en aquells anys eren de 250000 kW). I concluïa que màquines de 2000 a 4000 kW podrien complir aquest requisit (Anònim, 1948; Lacroix, G., 1948; Lines, Ch., 1973).

3.3.4.3.8 Els que van sobreviure i els continuadors -

A despit de totes les traves que van fer que l'energia eòlica es deixés d'utilitzar i a despit de totes les argumentacions que es feien en l'època en contra de l'ús de l'energia eòlica, hi van haver moltes persones que van continuar creient en ella, com font d'energia renovable, no contaminant i gratuïta.

Així als E. U. A., als inicis de la dècada del anys 70 encare hi havien 150000 aeromotors multipala per el bombeig d'aigua (Eldridge, F.R., 1975 i 1980; Torrey, V., 1976) i diferents fabricants d'aquests artefactes (Aermotor, Dempster, ...) que havien sobreviscut la gran patacada que va representar, durant els anys 20, el programa d'electrificació rural.

També al Canadà organismes com l'Institut de Recerca Brace, de la Facultat d'Enginyeria de la Universitat McGill

(Quebec), van iniciar l'any 1961 la recuperació de la informació dispersa existent sobre energia eòlica. L'any 1963 va començar a donar cursos de tecnologia eòlica i les seves aplicacions, els primers dels quals van ésser dirigits per E.W. Golding, que 10 anys avans havia dirigit el programa eòlic anglés. Van instal·lar i provar un aerogenerador Quirk (1 kW) a Barbados (1962-66), un aerogenerador del tipus Andreau de 9 kW (1963-64), un aerogenerador Savonius per a autoconstrucció (1964) i un prototipus de 10 H.P. per a irrigació (1965-67) i per a la dessalació d'aigua per òsmosi inversa (Anònim, 1968; Lawand, T.A. , 1973).

A alguns països també van sobreviure fabricants d'aerogeneradors de petita potència: Aerowatt a França, Elektro a Suïssa, Lubing a Alemanya, Dunlite a Austràlia, etc.

3.4 PETITA HISTÒRIA DE L'APROFITAMENT DE LA FORÇA DEL VENT ALS PAÏSOS CATALANS

Hom es pot preguntar si havent-se emprat la força del vent a molts països del món, quin paper va tenir a casa nostra el vent, si és que en va tenir algun.

Aquest apartat es una primera aportació a lo que algun dia serà la història de l'energia eòlica al nostre país.

3.4.1 Els orígens i el seu desenvolupament

Els Països Catalans com tots el països riberencs de la Mar Mediterrània han emprat el vent tant per a desplaçar-se com per treure 'n força mecànica.

De la gran quantitat de molins de vent que han existit en èpoques passades al nostre país, en queden molt pocs exemplars actualment, i encara menys en queden de reconstruïts on es pugui observar el funcionament de llurs parts essencials.

La primera referència que he trovat, és la ja citada (Levi-Provençal, E.E., 1938), on es parla dels molins de vent que varen muntar els antics a Tarragona.

Sense cap mena de dubte on més es van desenrotllar va ésser a les Illes.

A Mallorca, immediatament després de la Conquesta, sembla que no existien encara molins de vent, almenys en quantitat apreciable (Sanchis Guarner, M., 1955), pel que es desprèn dels "Capítols de Moliners i Traguiners" promulgats el 1436, on no s'hi parla per res de molins de vent. Això no obstant, consta documentalment l'existència d'un molí de vent, el 1395, "qui està a l'ostal d'En Truyols, al molí del vent", dins la Ciutat de Mallorca, a la vora de la porta de Sant Antoni.

En el museu diocesà de Mallorca hi ha un retaule de l'escola flamenca (segle XV) en el qual apareix un molí de vent amb torre cilíndrica, teulada cònica mòbil i 6 aspes.

Des d'un punt de mira, purament lingüístic (Moll, F. de B., 1943): "la nomenclatura del molí de vent, estudiada com a matèria de lexicologia històrica, té per nota general distintiva el caracter fonament romànic dels seus components. El molí de vent no conté que sapiguem, ni un sol mot de procedència aràbica".

Els molins de vent de Mallorca són molt semblants al croquis d'un molí que es conserva de la ciutat de Rodes de finals del segle XV (Ebersolt, J., 1929) i que és molt semblant als molins sicilians, tots de 6 aspes, en comptes de quatre, com els molins de la Manxa, de la Provença i de Sicília.

Els Molins balears es trobaven aliniats en grups de 5 o 6, com en un dels molinars més coneguts, el del Jonquet, al raval de Santa Catalina, al ponent de Palma, que ja figura en el bell i curiós plà de la ciutat de Mallorca, confeccionat l'any 1644 per Antoni Garau. Els molins del Jonquet ja van ser motiu de discòrdia, com es veu en un document de l'any 1680 (Sanchis Guarner, M.):

"Rafael Sitjes, Guillem Oliver, Miquel Oliver y Joan Flexes, moliners de vent, duenyos de set molins de Santa Catalina, diuen que han tingut noticia que la viuda de Bernat Simó tracta de fabricar molí de vent y casses en un trastet de terra de té junt als dits molins, qui no arriba a mig cortó, i té senyat lo loch a hont pretén edificar, qui solament dista de les sitjes cosa de catorse o quinse passos, oposant-se a l'ayre y vent de mitjorn y xaloch, qui fa vent més freqüent per la conservació del gra qui 's guarda en dites sitjes universals, per haver-se donat la escarada ab presupposit de que les cases han de tenir més de vint-y-sinch palms de alt, y de quadrat vint passes

quadrades, y el molí en mig, de altitud de sexanta-sinch palms; la qual obra, si es posa en exexució, farà notable perjudici a les sitjes, contra el bé comú: no solament causaria est dany, si també impresidia la espedició del moldre als dits molins ja fabricats, y estos embaraçarienal que 's pretén fer, ab què no 's podria moldre en uns y altres tant com se mol en los fabricats, que redundaria en dany de benefici comú. Per tant, noticiant los suplicans a V. Senyories, a qui expecta com a Pares de la República relar el comú benefici y no permèter que 's cause dany als particulars, sien de son servey dignar-se ordenar, o no permèter, que ladita viuda pose executió la obra que intenta, que adames se dirà en benefici comú el impedir-la, no quedaran... los supplicants en los seus molins, y ho rebran a singular favor."

"Boll. de la Soc. Arq. Lul.", VII, 14.

Conta que ja l'any 1577, es va concedir un permis a Ciutadella a un tal Bartomeu Pons per construir un molí de vent, que hom suposa que va ser el primer en funcionar a l'illa de Menorca (Mercadal, D., 1981). Sembla segur que en el segle XVIII hi havia més de 60 molins de vent a l'esmentada illa.

Ja en el segle XVIII els moliners, que tenien cura dels molins de vent, ja estaven constituïts en gremis.

En canvi, els molins de vent no van ésser introduïts a Eivissa fins a mitjans del segle XIX. La data més antiga de la que hom te referència és la de 1840, trovada sobre la porta d'un molí de Sant Antoni (Spelbrink, W., 1938). A mitjans del segle passat, segons va contar un vell moliner a l'autor citat, només hi havien, a les Illes Pituïses, molins de sang.

Ben al contrari, a les Illes Balears, hi havien cap al 1884 centenars de molins de vent. Només a Maó, a la meitat del segle XIX n'hi havien 27, a Ciutadella 12, etc. (Mercadal, D., 1981).

Tots aquests molins, estaven desapareixent cap als anys trenta (Moll, F. de B., 1934). La seva desaparició va ésser radical a conseqüència del rigorós intervencionisme de l'Estat en els anys d'escassetesa subsegüents a la guerra civil.

El molí balear té bastants variants. Generalment les torres de base circular (d'un diàmetre exterior aproximat de 3,5m.) s'assentaven sobre una base molt més ampla, que podia ésser circular, quadrangular o romboidal. Les parets tenien una gruixendària de 60-70 cm. (Alcover, A.M.; Moll, F. de B.; Sanchis Guarner, M., 1956).

La torre tenia una teulada mòbil cònica, tapada amb joncs. El molí solia tenir 3 o 4 pisos. L'altura de la torre oscil·lava de 8 a 10 m, sense la teulada. A Menorca i generalment a Mallorca, la torre estava situada a sobre de la casa del moliner, amb una terrassa se servia per col·locar les veles sobre les aspes del molí ("s'envelador").

Les aspes o antenes, generalment 6, estaven constituïdes per troncs de 7 a 10 m. de llargada, travessats en tota la seva extensió per unes barres que formaven unes graelles amb les barres col·locades paral·lelament. El plà de les graelles de cada aspa amb el plà dels troncs de les antenes formava un petit angle per facilitar la incidència del vent. Aquest angle podia ser variat pel moliner, tensant o destensant les cordes que unien les puntes de les pales amb les puntes de l'eix de girada.

També van existir a Mallorca molins amb un altre tipus d'antenes. A Alcúdia n'hi havia un amb 8 antenes sense graelles, amb veles triangulars. Aquest molí era semblant als andalusos de la Puebla de Guzman. (A Mykonos -Grecia- hi havia molins semblants però amb 12 antenes). També a Inca va haver-hi un molí de 6 aspes sense graelles i de la meitat de cada aspa sortia una altra barra que formava un angle de 45 graus. La figura formada per les aspes era un dodecàgon i tenia 12 veles triangulars.

Les veles, que se subjectaven a les graelles de les anteriors, eren quadrangulars i generalment de cotó. El moliner s'encarregava de "regular" la superfície de la vela exposada al vent, recollint-les més o menys diagonalment (antena desenvelada, vela escoada, vela plena, vela escapçada, vela aplegada, vela esquarterada).

La transmissió de l'energia captada es realitzava a través d'una roda motriu solidària a l'eix i que transmetia el moviment a les rodes que molien el gra. Solia ser de rodes de pedra de 2 m. de diàmetre, i éssent la part superior la part activa.

L'orientació del molí per poder captar el màxim d'energia es realitzava manualment. Era una operació

laboriosa i lenta, que es feia mitjançant una palanca i perns.

Practicament iguals als de Mallorca eran els molins de vent existents a Menorca, Eivissa i Formentera.

Un molí d'aquests arribava a moldre en dotze hores de vent fort i regular unes cinquanta quarteres de blat (unes 3517 litres), mentre en la mateixa jornada amb vent continuat però feble solament en molia dotze.

Es realment difícil de comprendre l'abandó del molins de vent de les Balears, a despit de que als anys cinquanta s'en va restaurar algón, encara que van acabar convertits en cabarets a l'època del "boom" turístic.

Tal com deia en Santiago Rusiñol:

"un molí (de vent) vell és una cosa tan hermosa i tan venerable com quasevol edifici històric, i si així com avui tot tira per la utilitat de les coses, es tirés per la qualitat, creiem que els pocs molins de vent que queden, com a record del que foren, s'hauriem de declarar monuments, i, en lloc d'haver-hi un moliner, tenir-hi un conservador, que altres conservadors hi ha per a conservar coses menys dignes i mancades de tota bellesa". (L'illa de la Calma, Barcelona, Ed Selecta, 1942)

A Catalunya també hi ha hagut molins de vent. (Sanchis Guarner, M., 1955). Consta que n'hi havia un a Palamós (1512). Així mateix, l'any 1584 els consellers municipals de Barcelona van fer-ne construir dos a la vora de la Creu Coberta (Hostafrancs), l'any 1628 van decidir d'arreglar-los i de construir-ne dos més a la muralla i l'any 1644 van acordar de construir-ne alguns altres.

Al País Valencià, a principi del segle XX hi havia molts molins de vent, dels quals només es coneixen algunes torres quasi destruïdes.

De la gran quantitat de molins que han existit en èpoques passades al nostre país, es queden molt pocs exemplars actualment, i encara menys reconstruïts on es pogués observar el funcionament de llurs parts essencials.

Al contrari del que ha passat en molts països (Dinamarca, Països Baixos, Anglaterra, etc.), a Catalunya sembla que hi hagi interès a oblidar allò que un dia foren aquells estranys artefactes que captaven l'energia del déu Eolo. D'aquesta manera es pot comprendre per què al nostre país s'han dedicat tan pocs esforços a estudiar i a conservar els molins de vent que un dia van jugar un paper important per cobrir les necessitats energètiques de la societat.

L'única excepció pot-ser va tenir lloc quan es va desmontar pedra per pedra el Moli de Sant Pere Nou (Menorca) perquè l'havia comprat una persona benestant de Colera (Alt Empordà), la qual el va fer montar de nou i funcionava perfectament pel anys trenta (Mercadal, D., 1981).

3.4.2 L'Energia eòlica a l'època contemporània

3.4.2.1 El gran desenvolupament de l'Energia Eòlica - a les illes

Llevat dels molins dedicats a la molta de cereals, també a les illes es van desenvolupar els artefactes eòlics per a bombar aigua. El més coneguts són l'anomenat "moli de ramell" i el moli metàl·lic de torre quadrada.

El moli de ramell va ser inventat per Damià Reixach, fuster que vivia al Molinar de Llevant i era fill de moliner. El primer prototipus el va construir l'any 1854 i es va escampar rapidament per tota l'horta. Eran molins de fusta, en els que les veles havien estat substituïdes per planxes de fusta (com una persiana), repartides en grups de 6, 8, o 10 sectors, que eren separats per unes barres radials. La cua del moli servia per orientar-lo de cara al vent, i la seva perpendicularitat amb el pla format per el ramell, podia ésser modificat a voluntat, servint com de regulació. A més a més el nombre de pales podia canviar-se a voluntat, segons el vent. La bomba que empraven aquests molins, si primerament era feta de fusta de pi, mes endavant va ésser feta de ferro. Era una bomba simplement aspirant. El diàmetre del ramell solia ésser comprès entre 4 i 7 m. L'alçada mitja de la torre era de 6 m.

El nombre de molins de vent dedicats a regar que hi havia a l'any 1931 a les illes Balears era 3124 i 510 a València.

En un cens realitzat a l'any 1958 a l'horta de Llevant de Palma, es van arribar a comptar més de 1400 artefactes per

pouar aigua, dels quals només un centenar eren motobombes i sínies. La resta eren molins de vent (Rosselló, V.M., 1958). Per entendre la importància dels molins de vent en les tasques d'irrigació, cal dir que s'en arribaven a comptar 70 per quilometre quadrat al nord del poble de Sant Jordi corresponent a cada molí una superfície de 1,4 Ha.

En canvi el molí metàl·lic de torre quadrada es va introduir a les Illes més tard que no al Principat. Hom cita l'any 1934 a partir del qual va penetrar massivament aquest molí a Mallorca. En el cens citat dels 1400 molins censats, més de 800 eren metàl·lics, estaven funcionant quan es va realitzar el cens. A l'any 1958 el cost d'un molí d'aquest tipus era 75000 ptas. Amb una bomba de 25 m. de recorregut i a un règim de 14 r.p.m. (marinada normal), ponava 294,375 litres/minut. és a dir 17,62 metres cúbics a l'hora.

3.4.2.2 L'energia eòlica al Principat -

Que jo sàpiga no existeix cap cens de molins de vent realitzat al Principat, si s'exceptua el cens d'artefactes emprats per a bombar aigua realitzat avans de la guerra (1932). En aquest cens es comptabilitzava la xifra de 1208 molins.

Aquest fet va impulsar al qui avui presenta aquesta tesi a sol·licitar un ajut de treball per fer aquesta tasca, a Omnium Cultural, en la seva convocatòria de novembre del 1978. L'ajut sol·licitat amb el títol: "Estudi i recerca històrica sobre les tecnologies emprades en l'aprofitament de la força del vent als Països Catalans (aportació a la història de la tecnologia)", va ésser concedit durant el mes de maig del 1979.

L'estudi va tenir qu' ésser limitat a l'àrea de Catalunya degut a impediments sobretot de tipus econòmic.

Desd'aleshores l'autor ha recorregut nombrosos pobles i llocarrets de Catalunya, entrevistat multitud d'usuaris de molins de vent, per arribar al resultat de que avui es presenta.

CAPITOL 4

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

En aquest apartat hom determina el paper que va jugar l'aprofitament de la força del vent al nostre país.

Aquesta tasca ha estat possible mercès a una llarga i pacient labor d'enquesta a la major part d'instal·lacions, que avui es conserven, que aprofiten o aprofitaven la força del vent per desenrotllar sobretot treball mecànic.

Cal dir que l'aportació que es realitza es absolutament original, ja que no existeix cap cens a nivell de tot Catalunya d'instal·lacions eòliques.

Aquesta aportació no preten, de cap manera ésser definitiva, ja que pot ser millorada tant qualitativament com quantitativament.

A tall d'exemple, només vull esmentar que hores d'ara, ja dispo de informació de més d'una desena d'instal·lacions que no han pogut ser incluídes en el present treball.

4.1 INTRODUCCIÓ

Una forma d'abordar el coneixement del potencial eòlic d'un país o territori donat, pot ésser a partir de l'esbrinament de les formes d'utilització de la força del vent.

Un país on s'hagin emprat artefactes eòlics per a captar la força del vent i convertir-la en energia útil, és un país on fa vent. Quantificar quan en fa serà una tasca posterior.

Com que en el transcurs dels darrers 50 anys no s'ha fet cap estudi referent al paper que va representar aquesta font d'energia en cubrir les necessitats energètiques de la societat catalana, degut sobre tot al despreci en que hom va abocar les fonts d'energia renovables, tot afavorint les no renovables fòssils, això va ésser motiu suficient per llençar-me a indagar fins a quin punt s'havia aprofitat el vent a casa nostra.

4.2 FNNTS D'INFORMACIÓ

La font d'informació original va ésser l'enquesta personal realitzada per l'autor durant les visites fetes als diferents llocs on encara hi han molins de vent (vegeu Enquesta, primera versió).

Quan l'autor portava més d'un any realitzant aquest treball de camp, va rebre una carta d'un estudiant d l'Escola Politècnica de Girona, que tenia el projecte de fer un treball semblant a les Comarques dels dos Empordans, el Gironès i part de la Selva, i sol.licitava informació general d'energia eòlica.

Posteriorment (juliol 1980), aquella persona em va fer una visita perquè li expliqués de quina forma i quina metodologia emprava per a la realització del cens. L'hi vaig passar una còpia de l'enquesta que jo emprava en el treball de camp i ens dividirem el treball: ell censava els molins de les comarques gironines i jo la resta de Catalunya. Per altre part, també vam acordar fer unes primeres visites conjuntament a molins de vent gironins. Les visites conjuntes es concretaren a l'hivern de l'any 1980.

Posteriorment (inici de l'any 1982), durant la realització dels treballs previs per a la confecció del Mapa Eòlic Català i havent realitzat una enquesta a tots els municipis de Catalunya referent al vent i a les seves aplicacions, va ésser possible completar la llista de municipis on el vent havia estat utilitzat o s'estava utilitzant encara. (Puig, J. i Meseguer, C., 1982).

Així doncs, les fonts documentals han estat les següents:

- * Cens de molins de vent realitzat per l'autor (des-de l'any 1979 fins a l'actualitat).
- * Cens de molins de vent de les comarques gironines realitzat per en Jordi Tió (durant l'any 1981).

- * Resultat de l'enquesta "El vent i les seves aplicacions" a tots els municipis de Catalunya (gener-maig 1982).

La primera tasca que vaig abordar, en haver reunit la informació procedent de les tres fonts citades, va ésser la comprovació de les dades procedents de l'enquesta als municipis amb les procedents de les visites personals. En la majoria de cassos vaig poder comprovar la coincidència d'ambdues fonts i, en aquells cassos que hi havia gran discrepància, vaig realitzar visites personals als municipis en qüestió per a confirmar les dades.

Donada la magnitud de la informació reunida, la següent tasca va ésser l'elecció del mètode de tractament de les dades. Evidentment vaig escollir un mètode de tractament informàtic, però perquè això fora possible va ésser necessari transformar les enquestes personals, per poder possibilitar la codificació de la informació; (vegeu Enquesta, segona versió).

Elegits els codis, es va procedir a la confecció de la base de dades, gravant totes les dades recollides i convenientment codificades, sobre un suport magnètic que possibilités la seva lectura des d'un sistema informàtic.

4.3 ENQUESTES EMPRADES

A continuació és reproduïen les dues versions de l'enquesta que hom va realitzar per poder dur a bon termini, tant el treball de camp com la codificació posterior de la informació.

4.3.1 Enquesta. Primera Versió

Localització geogràfica exacta:

Fabricant:

Any d'instal·lació:

Modificacions realitzades:

Utilització passada i present:

Estat actual:

Característiques Tècniques:

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

- Sistema de captació:
 - tipus de rotor:
 - nombre de pales:
 - diàmetre de la roda:

- Sistema d'orientació:

- Sistema conversor de l'energia captada:
 - cigüenyal
 - excèntrica
 - caixa
 - vergallina
 - engras
 - dinamo/alternador

- Sistema de bombeig:
 - profunditat pou:
 - situació de la bomba:
 - alçada de l'aigua:
 - tipus de bomba:
 - volum aspirat per r. p. m.:

- Sistema de suport:
 - metàl.lic:
 - d'obra:
 - mixte:

- Sistema d'acumulació d'energia:
 - bassa/dipòsits:
 - bateries:

Croquis:

Altres informacions interessants:

Fotografies realitzades:

4.3.2 Enquesta. Segona Versió.

Localització geogràfica:

comarca
municipi
adreça
nom

Fabricant:

comarca
municipi
adreça
nom

Any d'instal·lació: conegut/desconegut (1/0)
any

Utilització:

passada (1)
bombejar aigua (1), fer electricitat (2), moldre (3)
present (2)
bombejar (1), fer electricitat (2), moldre (3), parat (4)

Estat actual:

irrecuperable (1), recuperable (2), funciona (3)

Sistema de captació:

de cara al vent (1), d'esquena al vent (2)
nombre de pales: cossos
nombre de pales per cos
diàmetre del rotor (cm.)

Sistema d'orientació-regulació:

pales fixes:
cua d'orientació articulada: pala paral·lela al
plà del rotor (1)
eix de rotació
descentrat... (2)
cua d'orientació fixe i eix de rotació basculant (3)
cua d'orientació fixe i frè aerodinàmic (4)
pales orientables (5)

Sistema de conversió de l'energia captada:

mecànic (1), elèctric (2)
cigüenyal (1), excèntrica (2),
caixa d'engranatges (3) i verga
accionament directe (4), multiplicació (5)
bomba: de pistó (1), de membrana (2), rotativa (3)
generador: dinamo (4), alternador (5)

Sistema de suport:

torre aïllada (1), torre adosada a la casa (2)
metal·lica (1), d'obra (2), mixt (3)
alçada sobre el sòl (cm.)

Sistema d'acumulació:

bassa o dipòsit (1), bateries (2), xarxa elèctrica (3)
capacitat d'acumulació en litres/ampers-hora

Sistemes auxiliars:

fondària del pou respecte del nivell del sòl (m.)
ubicació de la bomba respecte del nivell del sòl (m.)
volum aspirat per cada revolució del rotor (1/rev.)

Fotografies:

nombre
codis

Altres informacions interessants:

4.4 CODIFICACIÓ UTILITZADA

Vaig escollir una codificació numèrica, exceptuant el codi corresponent a la procedència de la informació, que va ésser alfabètic.

4.4.1 Codificació de la localització geogràfica del moli

La localització geogràfica del moli està fixada per el nom-adreça del usuari del moli, el municipi i la comarca on està instal.lat.

Per a les comarques hom ha triat els codis numèrics compresos entre el 01 i el 38.

Els municipis de cada comarca tenen assignat un número que va del 001 al "nnn", corresponent al darrer municipi de la comarca, considerant els municipis ordenats en ordre alfabètic.

El nom-adreça de l'usuari ve donat per un número que va del 001 al "mmm", segons el nombre de molins dins del municipi.

4.4.2 Codificació de fabricants

Per a l'assignació del codi als fabricants de molins hom ha diferenciat entre fabricants del país i fabricants estrangers.

En quant als fabricants del país, s'els ha assignat els codis de comarca i de municipi corresponents al lloc on tenien ubicat el seu taller. A més a més he donat un tercer codi corresponent a cada fabricant dins del municipi (en el cas d'haver-ni més d'un).

En quant als fabricants foranis, s'els ha assignat arbitrariament un codi de comarca igual a 99, i un codi de municipi de tres xifres que comença per el número 001.

En els cassos que el fabricant no ha pogut ésser identificat, he assignat un codi de zeros si el fabricant era del país, i un codi de 99 i la resta zeros si el fabricant era forani.

Cal dir també, que he trobat molts usuaris que s'havien construït ells mateixos el molí. Aquets anomenats autoconstractors, tenen assignat uns codis idèntics per a la localització geogràfica del molí i per a la del fabricant.

4.4.3 Llista de molins visitats.

Codi i localització geogràfica

En l'anex SPSS es dona la llista sencera dels molins visitats, que corresponen a les dues primeres fonts d'informació citades. La tercera font emprada, si bé hom coneix la localització dels molins, hom desconeix la major part de les característiques dels mateixos, exceptuant la localització geogràfica i la utilització.

Allí s'hi poden trobar els codis utilitzats juntament amb el seu corresponent nom i localització.

4.4.4 Llista de fabricants de molins.

A continuació es donen les llistes de fabricants localitzats, tant del país com de fora. Cal dir que la majoria d'ells, avui ja no existeixen com a fabricants.

01 018 01	Gemr, St. Boi de Llobregat
02 002 01	Gil i Foix, Barcelona
02 002 02	Autobat, Barcelona
02 002 03	Velox, Barcelona
04 015 01	T. Salles, St. Cugat del Valles
04 015 02	J. Jové, St. Cugat del Valles
04 018 01	Humet, Sta. Perpetua de la Mogoda
06 021 01	M. Obanell, Figueres
06 021 02	P. Brunet, Figueres
07 004 01	Obanell, La Bisbal d'Empordà
07 025 01	I. Pernal, St. Feliu de Guixols
07 025 02	Almar, St. Feliu de Guixols
07 025 03	F. Castelló, St. Feliu de Guixols
09 005 01	A. Planas, Caçà de la Selva
09 005 02	J. Vidal, Caçà de la Selva
09 016 01	Sagrera, Fornells de la Selva
09 017 01	J. Feliu, Salt
09 017 02	Balmes, Girona
09 019 01	P. Jacob, Llagostera
09 019 02	A. Canet, Llagostera
10 013 01	R. Baguè, Maçanet de la Selva
10 024 01	J. Marqués, Vidreres
24 045 01	M. Alier, Vic
24 045 02	Font, Vic

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

24 045 03	J. Vila, Vic
00 000 00	No identificat del país
99 001 01	Aermotor, Conway, Arkansas 72032, E. U. A.
99 002 01	Jacobs, Fort Myers, Florida, E. U. A.
99 003 01	Challenge, Batavia, Illinois, E. U. A.
99 004 01	Flint and Walling, Kendallville, Indiana, E. U. A.
99 005 01	Winco, Minneapolis, Minnesota, E. U. A.
99 006 01	Freeman, Racine, Wisconsin, E. U. A.
99 007 01	Dandy,
99 008 01	Sam,
99 000 00	No identificat forani

Referent als molins estrangers, cal dir que eran venuts per persones del país. He pogut detectar quatre representants:

Juan Guillen, Alacant (rep. Aermotor)
Cayetano Cornet, Barcelona (rep. Jacobs)
Joan Vilosa Puigert, Girona (rep. Challenge)
Alberto Ahles, Madrid (rep. Flint and Walling)

Actualment, cap d'ells existeix com a representant de molins americans.

No obstant, avui encara comercialitza aerogeneradors, GEMZ de Sant Boi de Llobregat, i molins de bombeig, Aermotor de Conway, Arkansas, E. U. A.

A més a més, a la comarca d'Osona, recentment hom ha instal·lat un molí de bombeig de més de 4 m. de diàmetre fet per un ferrer. Tambè es dona el cas de ferrers locals que reconstrueixen molins antics i, no sols ferrers, sino usuaris individuals que tornan a posar en funcionament molins que estaven parats.

4.5 QUANTIFICACIÓ DELS MOLINS DE VENT DE CATALUNYA

Per a la quantificació dels molins de vent de Catalunya des d'els diferents aspectes que m'interessava estudiar (localització, fabricant, any d'instal·lació, utilització, estat actual, tecnologia, etc.), he utilitzat els serveis informàtics del Centre de Càlcul de la Universitat Autònoma de Barcelona, a través del terminal VT-100 del Departament de Geografia. Es un ordinador Digital, VAX 11/780 amb 2500 Kb de memòria principal.

En quant al "software", he fet servir el paquet de programes "SPSS - Statistical Package for Social Sciences"

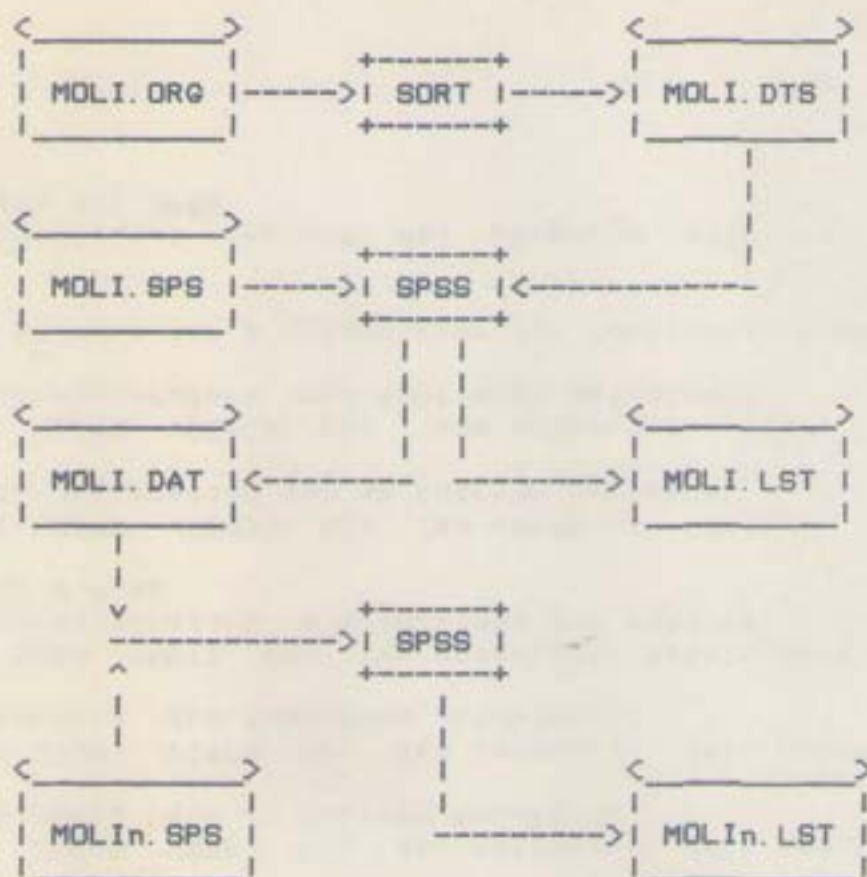
(Nie, N.H. et al., 1975; Klecka, W. et al., 1975; Hadlai Hull, c., 1981; Norusis, 1982), que permet realitzar els més variats càlculs estadístics entre variables procedents d'enquestes. A més a més he fet servir els programes estandar per classificar (Digital E.C., 1980).

La utilització del SPSS requereix configurar l'arxiu de dades convenientment. Així les dades procedents de les tres fonts d'informació han format l'arxiu que te per nom MOLI.ORG. Aquest arxiu classificat per ordre de codi de comarca, codi de municipi i codi d'usuari ha donat lloc a l'arxiu MOLI.DTS.

A més cal fer un programa que defineixi les variables originals de les dades (que van de la V1 a la V35 i que corresponen a les dades de l'enquesta), crei noves variables que ens puguin interessar per l'estudi, anomenades VG... (com són les potències dels molins, el nombre de pales, etc.), estableixi els formats de sortida de les variables i crei un nou arxiu que conté tota la informació de les variables i la informació de les dades. És un arxiu intern del SPSS anomenat MOLI.DAT i que l'usuari no hi té accés.

Una vegada creat aquest arxiu només cal anar fent els programes per els càlculs estadístics que hom vol realitzar amb les variables.

L'esquema de tot el procés es pot veure tot seguit.



4. 5. 1 El Programa MOLI.

Es el programa que conté la informació de com estan disposades les diferents variables en els registres de l'arxiu de dades. Aquestes variables són:

V1, V2, V3:	Comarca, Municipi, Usuari del molí.
V4:	Font d'informació.
V5, V6, V7:	Comarca-país, Municipi, Fabricant.
V8, V9:	Any d'instal·lació.
V10:	Utilització passada.
V11:	Utilització present.
V12:	Estat actual.
V13, V14, V15, V16:	Sistema de Captació.
V17:	Sistema orientació/regulació.
V18, V19, V20:	Sistema conversió energia captada.
V21, V22, V23:	Sistema de suport.
V24, V25:	Sistema d'acumulació.
V26, V27, V28:	Sistemes auxiliars.
V29 fins V25:	Nombre i codis de fotografies.

Endemés conté les variables generades següents:

- VG1: Número absolut de municipi. S'obté multiplicant el codi de la comarca per mil i sumant-li el codi del municipi.
- VG2: Número absolut de fabricant. S'obté multiplicant el codi de comarca per cent mil, sumant-l'hi el resultat de multiplicar el codi de municipi per cent, y sumant al resultat, el codi de fabricant.
- VG3: Nombre de pales del molí. S'obté multiplicant el nombre de cossos pel nombre de pales de cada cos.
- VG4: Serveix per agrupar els molins en classes segons el diàmetre del rotor.
- VG5: Serveix per agrupar els molins en classes segons l'alçada de la torre de suport.
- VG6: És el quadrat del diàmetre expresat en metres.
- VGB3, VGB5, VGB7: Són les potències totals dels molins de bombeig corresponents a velocitats del vent de 3, 5 i 7 m./seg.
- VGBR3, VGBR5, VGBR7: Són les potències dels molins de bombeig que es podrien recuperar.
- VGBF3, VGBF7, VGBF9: Són les potències dels molins de bombeig que funcionen actualment.
- VGE4, VGE8, VGE12: Són les potències totals dels aerogeneradors a velocitats del vent de 4, 8 i 12 m./seg.
- VGER4, VGER8, VGER12: Són les potències dels aerogeneradors que es podrien recuperar.
- VGEF4, VGEF8, VGEF12: Són les potències dels aerogeneradors que funcionen actualment.
- VG15: Serveix per a diferenciar els fabricants estranjers.

El llistat complert del programa està en l'Anex de llistats del SPSS.

4.5.2 Llistat de la Base de Dades. El Programa MOL11.

Aquest programa serveix per a llistar tota la base de dades diferenciant intel·ligiblement totes les variables. El llistat està dividit en 3 parts per limitacions físiques (amplada del paper) del dispositiu d'impressió. Les variables que apareixen amb el valor (-1) significa que hom no coneix la dada corresponent.

El llistat complert d'aquest programa està en l'Anex de llistats del SPSS.

4.5.3 Nombre de molins per comarca. El Programa MOL12.

El Programa MOL12 dona la distribució estadística del nombre de molins per comarca. Cal destacar que només hi han 5 comarques catalanes on no s'ha detectat cap molí: Garrotxa, Terra Alta, Segarra, Pallars Jussà i Vall d'Aran. Les demés comarques han emprat o empran la força del vent.

La distribució posada en ordre decreixent és:

<u>COMARCA</u>	<u>NOMBRE DE MOLINS</u>
Selva	83
Baix Empordà	79
Gironès	79
Anoia	46
Alt Empordà	44
Baix Llobregat	43
Valles Occidental	34
Montsià	32
Maresme	29
Bages	29
Osona	26
Vallès Oriental	24
Baix Camp	18
Urgell	18
Tarragonès	17
Alt Camp	14
Alt Penedès	14
Conca Barberà	11
Garrigues	8
Noguera	8
Ribera	7
Barcelonès	5
Baix Ebre	5
Garraf	3
Solsonès	3
Baix Penedès	2
Ripollès	2

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

Alt Urgell	2
Pallars Sobirà	2
Cerdanya	1
Berguedà	1
-----	-----
TOTAL	692

és d'observar que el 35% dels molins censats a Catalunya, d'un total de 692, estan a les Comarques de la Selva, el Baix Empordà i el Gironès.

La mitjana de la distribució de molins per Comarques es 21 molins i la desviació típica 23 molins.

En l'Anex de llistats hom pot observar el llistat corresponent a aquesta distribució i el programa emprat per a realitzar la distribució estadística del nombre de molins per comarca.

4.5.4 Nombre de Molins per Municipi. El Programa MOL13.

Aquest programa dona la distribució estadística del nombre de molins per municipi.

Si bé la concentració més gran de molins de vent es dona al municipi d'Ampostà, cal dir que avui tots són irrecuperables. (Enquesta de Municipis Catalans, 1982).

El segueixen en nombre de molins Caçà de la Selva (24 molins), Piera i Sant Feliu de Guixols (23 molins), Vic, Vilobí d'Onyar i Tarragona (13 molins).

A Caçà de la Selva la majoria no funcionen, encare que molts són recuperables. Quatre funcionen actualment (3 del país i un americà). Un d'ells era emprat a l'hora per pouar aigua i donar força motriu a una petita fàbrica de suro. La majoria van ésser instal.lats abans d'acabar el segle passat i els darrers instal.lats ho van ésser durant la dècada dels anys quaranta.

A St. Feliu de Guixols n'hi ha 11 funcionant, dels quals 9 han estat instal.lats a la dècada dels anys setanta (la major part autoconstruïts). La resta es van instal.lar durant el primer terç del nostre segle i són els únics que queden en funcionament dels molts que van ésser instal.lats aleshores. Es pot destacar el Molí de les Comes, que amb un

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

diàmetre de 5 metres, va servir fins l'any 1965 per a la distribució d'aigües a St. Feliu.

A Vic, dels 13 censats, només en funciona un. Encare que a tota la Plana n'hi han 26, 3 d'ells funcionant. Un d'ells es l'únic que resta dels que van ésser instal·lats a principis de segle per un artesà local. Un altre va ser totalment autoconstruït, per substituir-ne un que havia funcionat durant 80 anys i havia estat construït a base de fusta. Va ser posat en funcionament l'any 1979, poua aigua a raó de més de 8000 litres/hora, girant a 80 r.p.m. La bomba no es de pistò sino de diafragma i l'engràs és totalment automàtic. El darrer dels tres, va ésser instal·lat a l'any 1981 i té un diàmetre de gairabé 5 m.

En l'Anex de llistats del SPSS hi ha el llistat i l'execució del programa.

4.5.5 Nombre de molins instal·lats per cada fabricant.

El Programa MOL14

Aquest programa serveix per a calcular el nombre de molins que va instal·lar cada fabricant.

En la relació que s'adjunta (vegeu llistat i execució del programa en l'Anex de llistats del SPSS), a més d'haver-hi els fabricants del país i de fora (la relació de codis esta explicada en l'apartat 4.4), hi consta també la llista d'autoconstructors de molins.

El fabricant al qual se l'hi han censat més molins és A. Planas de Caçà de la Selva, seguit del americà Challenge, Humet de Sta. Perpetua de la Moguda, Dandy (americà), P. Brunet de Figueres, I. Pernal de St. Feliu de Guixols i Aermotor (americà).

De la relació original de 692 molins, hom desconeix qui va fabricar-los en 404 casos, que apareixen al final del llistat com "missing".

4.5.6 Nombre de molins instal·lats cada any.

El Programa MOL15

El programa MOL15 calcula quants molins es va anar instal·lant al llarg dels anys.

El primer molí que he censat és un molí fariner del segle XV a Garriguella (Alt Empordà). Avui es fa servir de restaurant després de haver estat durant alguns anys una discoteca.

De fet el primers molins de bombeig que he trobat daten de mitjans del segle passat, havent-s'en instal·lat un 19.5% dels que hom coneix la data d'instal·lació abans de l'any 1900. Entre 1900 i 1936 s'en van instal·lar el 50.2%, entre 1939 i 1965 el 19.1% i entre 1970 i la actualitat el 11.2%. Observant el llistat hom pot donar-se compte, que a partir de l'any 1970 hi ha un lleuger increment del nombre d'instal·lacions.

Del total de molins censats (692), hom desconeix l'any d'instal·lació en 415 casos que apareixen com "missing" en el llistat.

4.5.7 Nombre de molins segons el seu ús

Els Programes MOL16 i MOL17

Segons la utilització que els molins censats van tenir en el passat, els he classificat utilitzant el programa MOL16. Per a bombejar aigua s'en empraven 576 (83.5%), per a generació d'electricitat 111 (16.1%), un per de moldre grà i dos que servien a l'hora per a bombejar i generar.

Segons la seva utilització present n'hi ha 66 que bombejen aigua (9.6%), 43 que generen electricitat (6.2%), i 581 d'aturats (84.2%), be siguin de bombeig o elèctrics. El programa que ha servit per a la realització d'aquest càlcul es el MOL17.

4.5.8 Nombre de molins segons l'estat actual de conservació

El Programa MOLiB

Segons l'estat de conservació, dels 692 molins censats n'hi han 350 que no són recuperables o ho serien molt difícilment (50.7%), 231 que podrien ser recuperats fàcilment (33.5%) i podrien tornar a funcionar i 109 que encara avui funcionen (15.8%).

4.5.9 Nombre de molins segons la tecnologia dels seus

components

Segons la tecnologia de les diverses parts o sistemes de que consta un artefacte per a captar i transformar la força del vent en energia útil, he adoptat la classificació que segueix a continuació.

4.5.9.1 Nombre de molins segons el Sistema de Captació -

Els Programes MOLi9, MOLi10 i MOLi11.

Segons si el rotor estava situat al davant o al darrera de la torre, en relació a la direcció d'on ve el vent, els he agrupat en molins "cara al vent" i molins "esquena al vent". Dels 303 molins dels quals hom disposa d'aquestes dades, n'hi han 296 "cara al vent" (97.9%) i 7 "esquena al vent" (2.3%).

Segons el nombre de pales que té el sistema de captació els he agrupat. Van des-de dues fins a 80 pales, corresponent els de poques pales a aerogeneradors i els de moltes a molins de bombeig. Es pot destacar que el nombre de pales més emprat és 18 en 47 cassos (15.8%), seguit per 8 pales en 44 cassos (14.8%) i 24 pales en 41 cassos (13.8%). Hom desconeix el nombre de pales en 395 molins dels censats.

Segons el diàmetre del rotor, he agrupat els molins en intervals de mig metre, éssent el límit inferior per dessota d'un metre i el superior per sobre de 4 metres. Dels 297 cassos en que es disposa de les dades del diàmetre, 98 molins el tenen comprès entre 2.5 i 3 metres (33%) i 61 molins el tenen comprès entre 1.5 i 2 metres (20.5%). Només en 7 cassos hom té molins amb diàmetres més grans de 4 metres (2.4%).

Els llistats complerts corresponents als tres programes MOLI9, MOLI10 i MOLI11 es troben en l'Anex corresponent als llistats del SPSS.

4.5.9.2 Nombre de molins segons el sistema d'orientació-
-regulació. El Programa MOLI12.

En l'estudi d'aquesta variable hom ha trobat 393 cassos en que es desconeix el sistema d'orientació-regulació que empra el molí.

Dels coneguts només 4 molins (1.3%) varien l'angle d'inclinació de les pales segons la velocitat del vent. La resta, 295 molins (98.7%), tenen les pales fixes.

Dels que tenen les pales fixes, 118 molins (40%) empren una pala paralela al pla del rotor per posar-lo obliquament al vent quant bufa massa, 176 (59.9%) tenen l'eix de rotació del rotor descentrat respecte a l'eix de la torre, això produeix el mateix efecte que la pala paralela quan el vent es excessiu. Només 1 molí empra un frè aerodinàmic.

El programa MOLI12 es troba en l'Anex de llistats del SPSS.

4.5.9.3 Nombre de molins segons el sistema de conversió de -
l'energia captada. Els Programes MOLI13, MOLI14
i MOLI15.

Dels 301 molins dels quals hom coneix el sistema de conversió de l'energia captada 275 són mecànics (91.4%) i 26 elèctrics (8.6%).

Segons el sistema de transmissió de l'energia captada, n'hi han 31 (10.3%) que empren cigüenyal i verga, 155 (51.5%) que empren excèntrica i verga, 89 (29.6%) que empren caixa d'engranatjes (reductora) i 26 (8.6%) que utilitzen transmissió directe.

En quant a l'organ actiu, 273 molins (90.7%) fan servir bomba de pistó, 26 (8.6%) empren dinamo elèctrica, 1 molí utilitza una bomba de membrana i un altre una bomba rotativa.

Els llistats de les instruccions dels programes MOL113, MOL114 i MOL115, així com els resultats obtinguts de les seves execucions respectives, estan en l'Anex de llistats del SPSS.

4.5.9.4 Nombre de molins segons el sistema de suport. -
Programes MOL116, MOL117 i MOL118.

Segons la ubicació del suport del molí, he distingit dos cassos: quan la torre estava ubicada en un lloc aïllat i quan estava al costat o sobre la teulada de la casa. En l'estudi de aquesta variable hi ha 395 cassos en què no es disposa d'informació (apareixen com "missing" en el llistat). Dels 297 cassos amb informació, 278 molins (93.6) tenen la torre en un lloc aïllat i només 19 (6.4%) la tenen al costat o al cim de la teulada.

Segons el tipus de suport emprat, he diferenciat 4 cassos: metàl·lica, d'obra, mixt (parcialment d'obra, parcialment metàl·lica) i de fusta. Hi ha 392 cassos sense informació. De la resta, 103 (34.3%) tenen el suport d'obra, 95 (31.7%) el tenen metàl·lic, 95 (31.7%) mixt i 7 (2.3%) el tenen de fusta.

En quant a l'alçada del suport respecte al nivell del sòl, he agrupat els molins per intervals de dos metres, éssent el límit inferior fins a 2 m. i el superior a partir de 20 m. Hi ha 95 molins amb torres d'alçada compresa entre 6 i 8 m. (31.9%), 62 (20.8%) entre 4 i 6 m., 60 (20.1%) entre 8 i 10 m. i 38 (12.8) entre 10 i 12 m. La resta fins a 298, tenen alçades de la torre de suport, que en percentatge, contribueixen menys del 10%.

En l'Anex de llistats del SPSS hi ha els llistats d'instruccions dels programes MOL116, MOL117 i MOL118, i les seves execucions.

4.5.10 Nombre de molins segons la potència

De tots els molins censats, cal diferenciar dos tipus fonamentals: els molins que giren poc a poc i els molins que giren depressa.

4. 5. 10. 1 Nombre de molins de bombeig segons la potència -
El Programa MOL119.

Els molins lents són fonamentalment els anomenats "multipala". Començan a girar amb vents de velocitats compreses entre 2 i 3 m./seg. El parell d'arrancada es relativament gran. En assajos realitzats en túnels de vent (le Gourieres, D., 1980) als Laboratotis Eiffel, hom ha observat que el rendiment energètic d'aquests molins és màxim als voltants de $l=1$, és a dir per aquell vent en el qual les puntes de les pales de molí, giren a una velocitat igual a la velocitat del vent.

Com que la Potència Mecànica que hom pot extreure del vent és més petita que la Potència Disponible en el vent, en un factor anomenat Coeficient de Potència, CP (< 1), aleshores:

$$PM = 0.5 * CP * d * S * V^3$$

essent: PM la potència mecànica recuperable [W]
 CP coeficient de potència
 d la densitat de l'aire [1.27 kg/m³]
 V la velocitat del vent [m/s]
 S la superfície de captació [m²]

Les condicions per les quals el rendiment energètic és màxim pels molins multipala ($l = 1$) corresponen a un coeficient de potència, CP=0.3, és a dir a una captació efectiva d'energia igual al 50% del limit de Betz (Betz, A., 1927).

Per tant, pel càlcul de la potència màxima que hom pot obtenir amb molins multipala, és d'aplicació la següent expressió matemàtica:

$$PM = 0.15 * (D^2) * (V^3) \quad [W]$$

Com que per els molins censats coneixem el diàmetre de captació, es pot calcular aquesta potència. Ho faré per a velocitats dels vent de 3, 5 i 7 m./s. respectivament.

Aleshores, les expresions a aplicar seran:

$$\begin{aligned} PM3 &= 5.05 * D^2 & [W] \\ PM5 &= 18.75 * D^2 & [W] \\ PM7 &= 51.45 * D^2 & [W] \end{aligned}$$

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

El Programa MOLI19 és el que llista el nombre de molins segons la potència, per a velocitats del vent de 3, 5 i 7 m./s., però només per aquells molins dels quals coneixem el diàmetre.

Els tres primers llistats ens donen (per les tres velocitats del vent), la potència desenvolupada pels molins de bombeig, dels quals hom coneix el diàmetre i que si avans bombejaven, ara estan parats o continuen bombejant. Són 272 molins i a 7 m./s. desenvolupen una potència de 123.742 kW.

Els tres següents llistats donen també, per les tres velocitats de vent, la potència que desenvolupen els molins de bombeig que son recuperables. Són 169 molins i a 7 m./s. desenvoluparien una potencia de 78.231 kW.

Els tres darrers llistats també ens donen, per les tres velocitats de vent, la potència desenvolupada pels molins de bombeig que encare funcionen. Són 47 molins i a 7 m./s. desenvolupen una potència de 19.695 kW.

La resta de molins fins 272, é a dir 56, són molins irrecuperables.

A partir de les dades de la taula, hom pot considerar que la potència mitjana dels molins de vent (amb vent de velocitat 7 m./s.), mou entorn de 450 W.

4.5.10.2 Nombre d'aerogeneradors segons la potència. - El Programa MOLI20

Els molins ràpids tenen generalment 2, 3 o 4 pales. Comencen a girar amb velocitats de vent de l'ordre de 4-5 m./seg. En assajos realitzats en túnels de vent (le Gourieres, D. 1980) als Laboratoris Eiffel, hom ha observat que el rendiment energètic d'aquests molins és màxim als voltants de 1=6, és a dir per aquell vent en el qual les puntes de les pales del molí giren a una velocitat sis vegades més gran que la velocitat del vent.

El Coeficient de Potència sol estar, en aquest cas, pel voltants de 0.4. Aleshores hom pot calcular la potència mitjançant:

$$P = 0.20 * (D^2) * (V^3) \quad [W]$$

Com que pels molins censats coneixem el diàmetre de captació, es pot calcular la potència. Ho faré per a velocitats del vent de 4, 8 i 12 m./s. respectivament.

Les expressions a aplicar seran:

$$PM4 = 12.8 * D^2 \quad [W]$$

$$PMB = 102.4 * D^2 \quad [W]$$

$$PM12 = 345.6 * D^2 \quad [W]$$

El Programa MOL120 és el que llista el nombre d'aerogeneradors segons la potència i per a velocitats del vent de 4, 8 i 12 m./s., però només per aquells aerogeneradors dels quals coneixem el diàmetre.

En els tres primers llistats apareix la potència desenvolupada pels aerogeneradors, per a les tres velocitats de vent avans dites, dels quals hom coneix el seu diàmetre i que si bé avans generaven electricitat, ara o bé estan parats, o bé continuan generant electricitat. Són 23 aerogeneradors i a 12 m./s. desenvolupen una potència de 44.9 kW.

En els llistats següents apareix també, per a les tres velocitats del vent, la potència desenvolupada pels aerogeneradors que són recuperables. Són 5 i a 12 m./s. desenvoluparien una potència de 9.5 kW.

En els tres darrers llistats també apareix, per a les tres mateixes velocitats del vent, la potència que desenvolupen els aerogeneradors que ancore funcionen. Són 14 aerogeneradors i donen una potència de 29.8 kW.

La resta d'aerogeneradors fin 23, és a dir 4, són aerogeneradors irrecuperables.

A partir de les dades de la taula, hom pot considerar que la potència mitjana dels aerogeneradors, per a velocitats del vent de 8 i 12 m./s., està compresa entre 600 i 1900 W.

4.5.11 Nombre de molins per comarca segons l'ús passat,

l'ús present i l'estat actual. El Programa MOL124

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

A més dels Programes MOL12, MOL16 i MOL18, que ens han permès trobar el nombre de molins per comarca, el nombre de molins segons el seu ús passat, el seu ús present i l'estat actual dels mateixos, he cregut convenient, per a donar una visió de conjunt, creuar les variables que apareixen descrites independentment en els quatre programes citats al començament.

Aquesta tasca és la que realitza el Programa MOL124. En primer lloc, ens permet conèixer el nombre de molins per comarca segons el seu ús passat (pàgines 1-7 del llistat). Després, ens permet saber el nombre de molins per comarca segons l'ús present (pàgines 8-13 del llistat). En tercer lloc, ens dona el nombre de molins per comarca, segons el seu estat actual (pàgina 14-19 del llistat).

No salament ens permet saber el nombre absolut de molins de cada comarca segons l'ús passat, l'ús present i l'estat actual, sino que també ens dona els percentatges d'ús de cada comarca i dins del total.

Un segon bloc d'informació s'obté creant, a l'hora, les variables comarca, ús passat i ús present. Això ens permet conèixer, dins de cada comarca i segons l'ús que hom feia dels molins en el passat, quants n'hi han avui que encara funcionin (tant bombejant aigua com generant electricitat), i quants n'hi han d'aturats. Aquesta informació està en el llistat del programa, entre les pàgines 20 i 31.

El tercer i final bloc d'informació, ha estat possible d'obtenir mitjançant el creuament de 4 variables a l'hora: la comarca, l'ús passat, l'ús present i l'estat actual dels molins. Per tant ara ja sabem el nombre de molins, dins de cada comarca i segons l'ús que s'en feia en el passat, que estant aturats són recuperables (és a dir, es podrien tornar a posar en funcionament), o són irrecuperables (és a dir, que difícilment podrien tornar a funcionar), i quants de bombeig i de generació estant funcionant. (Tota la informació està compresa entre les pàgines 32 i 48 del llistat).

Més endavant hom pot veure les taules que resumeixen els resultats obtinguts mitjançant el Programa MOL124.

4.5.12 Taules resum

Les taules que resumeixen els resultats assolits en aquest treball es donen a continuació :

NOMBRE MOLINS DE CATALUNYA
(diàmetre conegut)

ESTAT ACTU.		IRREC	RECUP	EN FUNCIONAM.		TO	
US PRESENT		A T U R A T S		BOM	GEN	T AL	
U							
S	BOM.	56	169	47	-	272	
P	GEN.	4	5	-	14	23	
A							
S	MDL.	-	-	-	-	-	
S							
A	B+G.	-	-	-	-	-	
T							
T	ESTAT						
D	ACTUAL	60	174		61	295	
T							
A	US						
L	PRESENT		234		47	14	295

NOMBRE MOLINS DE CATALUNYA
(diàmetre desconegut)

ESTAT ACTU.		IRREC	RECUP	EN FUNCIONAM.		TO	
US PRESENT		A T U R A T S		BOM	GEN	T AL	
U							
S	BOM.	239	47	18	-	304	
P	GEN.	49	10	-	29	88	
A							
S	MDL.	1	-	-	-	1	
S							
A	B+G.	1	-	1	-	2	
T							
T	ESTAT						
D	ACTUAL	290	57		48	395	
T							
A	US						
L	PRESENT		347		19	29	395

MOLINS DE VENT A CATALUNYA

NOMBRE MOLINS DE CATALUNYA
(nombre total)

ESTAT ACTU.		IRREC	RECUP	EN FUNCIONAM.		TO
US PRESENT		A T U R A T S		BOM	GEN	T AL
U						
S	BOM.	295	216	47	-	576
P	GEN.	53	15	-	43	111
A						
S	MOL.	1	-	-	-	1
S						
A	B+G.	1	-	1	-	2
T						
ESTAT						
O	ACTUAL	350	231	109		690
US						
L	PRESENT	581		66	43	690

POTÈNCIA MOLINS DE CATALUNYA
(diàmetre conegut)
kW.

ESTAT ACTU.		IRREC	RECUP	EN FUNCIONAM.		TO
US PRESENT		A T U R A T S		BOM	GEN	T AL
U						
S	BOM.	25.8	78.2	19.7	-	123.7
P	GEN.	1.7	2.8	-	8.8	13.3
A						
S	MOL.	-	-	-	-	-
S						
A	B+G.	-	-	-	-	-
T						
ESTAT						
O	ACTUAL	27.8	81.0	28.5		137.0
US						
L	PRESENT	108.5		19.7	8.8	137.0

POTÈNCIA MOLINS DE CATALUNYA
(diàmetre desconegut)
kW.

ESTAT ACTU.		IRREC	RECUP	EN FUNCIONAM.		TOTAL
US PRESENT	A T U R A T S	BOM	GEN			
U S	BOM.	107.6	21.1	8.1	-	136.8
P A	GEN.	29.4	6.0	-	17.4	52.8
S S	MOL.	-	-	-	-	-
A T	B+G.	1.1	-	0.4	-	1.5
T O T A L						
ESTAT ACTUAL		138.1	27.1	25.9		191.1
US PRESENT		165.2		8.5	17.4	191.1

POTEENCIA MOLINS DE CATALUNYA
(total)
kW.

ESTAT ACTU.		IRREC	RECUP	EN FUNCIONAM.		TOTAL
US PRESENT	A T U R A T S	BOM	GEN			
U S	BOM.	133.4	99.3	27.8	-	260.5
P A	GEN.	31.1	8.8	-	26.2	66.1
S S	MOL.	-	-	-	-	-
A T	B+G.	1.1	-	0.4	-	1.5
T O T A L						
ESTAT ACTUAL		165.6	108.1	54.4		328.1
US PRESENT		273.7		28.2	26.2	328.1

CAPÍTOL 5

LA QUANTIFICACIÓ DE LA FORÇA DEL VENT

Quan alguna persona es planteja l'aprofitament d'una font d'energia, el primer que salta a la vista és arribar a quantificar el seu potencial dins del país, sobretot si la font d'energia es renovable i està a l'abast.

La quantificació de la força del vent, de cara a un futur aprofitament energètic, serà el meu objectiu.

Diferents mètodes s'han utilitzat a diversos països, i diverses avaluacions ja s'han realitzat, algunes fa ja força anys. Les més recents van començar a la dècada dels anys 70 que va significar el renèixer i el retrobament del vent com recurs energètic.

Al nostre país, amb molt de retard s'han iniciat tímids treballs en aquest camp per part d'organismes de l'administració pública juntament amb empreses elèctriques.

En aquest capítol després d'una breu descripció de les variables que s'empren per a quantificar el potencial eòlic, es realitza una aportació de síntesis de les diferents avaluacions que s'han realitzat en alguns països.

En una segona part es realitza una exhaustiva descripció de les fonts d'informació que avui hi ha disponibles a Catalunya, realitzant-ne una valoració.

Com a enquadrament de la tasca que es realitza en els capítols que segueixen, realitzo una primera aportació quantitativa del Potencial Eòlic de Catalunya basant-me en diferents mètodes generals aplicats tant a fora del país com a l'Estat.

Al final es discuteix la possibilitat de realització o no d'una valoració quantitativa més detallada dels recursos eòlics, basant-se amb les dades avui disponibles.

5.1 AVALUACIÓ DEL POTENCIAL EÒLIC

L'Estimació de la força del vent com a recurs energètic presenta problemes ben diferenciats de les estimacions dels recursos energètics no renovables, tant dels anomenats fòssils (carbó, petroli, gas natural) com dels fissils (urani, tori).

La quantitat d'energia disponible a partir del vent (GED) varia al llarg de l'any (d'una estació a l'altre) i en el transcurs del dia (d'una hora a una altre). Endemés l'energia del vent és molt sensible a les condicions topogràfiques del lloc o de la zona on vulgui fer-se la captació.

La quantitat d'energia que hom pot extreure del vent (QEE) en un territori donat, és a dir la quantitat d'energia que pot ser produïda per una xarxa de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica (SCEE) depen fonamentalment de les característiques específiques dels artefactes escollits, de l'alçada on es fa la captació i de l'espaiat horitzontal de les màquines captadores de l'energia eòlica.

Degut a la problemàtica específica que presenta l'avaluació del vent com a font d'energia, diferents mètodes d'estimació s'han proposat. De fet hom els pot agrupar en aquells que estimen l'energia disponible (ED) i aquells que estimen l'energia que hom pot extreure (EE).

5.1.1 Avaluació de l'energia disponible

L'energia disponible en la força del vent o també el subministre natural d'energia eòlica es pot definir com el flux energètic per unitat de temps i per unitat de superfície exposada perpendicularment a la direcció del vent.

De fet correspondria a un Sistema Convertor d'Energia Eòlica (SCEE) que tingués una eficiència de conversió del 100% i una capacitat de generació energètica il·limitada.

La Potència, o l'Energia per unitat de temps, disponible a través d'una superfície S [m²] perpendicular a

un flux eòlic, que es desplaça amb una velocitat V [m/s], ve donada per

$$PD = 0.5 * d * S * V^3 \quad [\text{Nm/s } \text{o} \text{ W}]$$

essent d la densitat de l'aire en [kg/m³]

Un mètode de caracteritzar el potencial energètic de diferents llocs, és a través d'estimar el promig de Potència Disponible (PDM) per unitat de Superfície.

$$PDM/S = 0.5 * d * \langle V^3 \rangle$$

essent $\langle V^3 \rangle$ una velocitat promitjada durant un període de temps donat.

Aquesta Potència Disponible per unitat de Superfície es mesura em W/m².

Un altre mètode de representació de l'energia mitjana anyal disponible és en kWh/m², és a dir transformant l'expressió anterior tot multiplicant-la per 8760 hores/any i convertint els W en kW. Aleshores :

$$8.76 * (PDM/S) = 4.38 * d * \langle V^3 \rangle$$

Cal dir que moltes vegades la potència eòlica per unitat de superfície perpendicular al vent es més elevada que la potència solar per unitat de superfície horitzontal (Eldridge, F.R., 1977).

5.1.2 Avaluació de l'energia que hom pot extreure

La quantitat d'energia que hom pot extreure del vent depèn per una banda de la quantitat d'energia disponible (o subministre natural d'energia eòlica) i per altre banda de les característiques operacionals de l'artefacte emprat per a realitzar la captació.

Per tant la potència (mecànica) d'un Sistema de Conversió d'Energia Eòlica (SCEE) que capta un flux d'aire de densitat d (kg/m³) i velocitat V (m/seg) ve donada per:

$$PM = 0.5 * CP * d * S * V^3 \quad [\text{W}]$$

essent S (m²) la superfície de captació i CP l'anomenat Coeficient de Potència.

També han pot expressar el Coeficient de Potència (CP) pel cocient entre la Potència Mecànica obtinguda (PM) i la Potència Disponible en el vent (PD). De fet el Coeficient de Potència depèn de la velocitat del vent i més exactament de la relació de velocitats entre la velocitat en la part més perifèrica de les pales i la velocitat lliure del vent.

Hi ha estimacions de l'energia que han pot extreure a partir de promitjar l'expressió anterior, és a dir promitjant la velocitat del vent (V) i el coeficient de potència (CP). Aleshores:

$$PMm = 0.5 * CPm * d * S * < V ^ 3 >$$

Una altre expressió per donar l'energia que hom pot extreure és l'anomenat "capacity factor" o factor de càrrega (CF), que és el cocient entre la Potència Mecànica (PM) i la Potència Nominal (PN), essent la Potència Nominal la corresponent a la velocitat Nominal (VN) del vent.

També hi ha qui expressa l'energia que hom pot extreure del vent en unitats d'energia per unitat de potència nominal (emprant 8760 h/any vegades el factor de càrrega, si es tracta d'un any; o el nombre d'hores d'un mes si es tracta d'un mes).

5.2 AVALUACIONS FETES A DIFERENTS PAISOS

5.2.1 Avaluacions primerenques

A l'U. R. R. S i sota la direcció del Buro Central d'Energia Eòlica es va arribar a estimar que els vents que bufaven sobre l'Unió Soviètica contenien una potència de 10000 milions de kW. (Anònim, 1933 a).

A partir de l'any 1920 en que es va fundar la "British Electrical and Allied Industries Research Association", a Anglaterra, essent E. W. Golding el seu principal animador, aquesta entitat, conjuntament amb els Ministeris d'Agricultura i d'Energia i amb la col.laboració de la indústria elèctrica, realitzà un estudi sistemàtic dels vents a la costa oest de les illes, arribant a sel.leccionar possibles emplaçaments per a ubicar-hi algún Sistema Conversor d'Energia Eòlica. (Golding, E. W., Stodhart, A. H., 1952).

El primer problema que es plantejaven era quants llocs ventosos hi havia al país:

"A la pràctica caldria determinar quanta energia podria ésser extreta si hom disposés comercialment de màquines eòliques modernes i eficients de forma que un nombre suficient d'elles es podessin emprar per interceptar els vents que bufan a la vora de la superfície de la terra. Avui no es poden donar xifres doncs no coneixem quants emplaçaments eòlics tenim" (Venters, J., 1950).

No obstant això, es realitzaren una sèrie d'estimacions a partir de 10 emplaçaments situats a Escòcia.

Les investigacions fetes per "Electrical Research Association" des de l'any 1948, van mostrar que es podia obtenir 4000 kWh/any per kW instal·lat, amb velocitats nominals de 13 m/s.

Més de 100 estacions de mesura s'instal·laren. De 65 emplaçaments, situats a alçades entre 4 m i 850 m sobre el nivell del mar, 39 tenien velocitats mitjanes de vent per sobre de 9 m/s, donant, amb velocitats nominals de 13 m/s, entre 3000 i 4750 kWh/any per kW instal·lat (Golding, E. W., 1955 a i 1955 b).

Desde la fundació de la "Reich Wind Energy Research Association" a Berlin, durant l'any 1944, es van realitzar tasques de recollida de dades del vent, no arribant-se però a realitzar cap avaluació del potencial eòlic alemany (Simmons, D. M., 1975).

A l'any 1952, la "Danske Elvearkers Forening" (l'Associació Danesa de Companyies Elèctriques) va fundar una Comissió d'Energia Eòlica, la qual realitzà mesures les paràmetres del vent a diferents llocs del país. Les seves conclusions foren: a la costa oest de la península de Jutlandia hom podia produir 1000 kWh. per metre quadrat de superfície escombrada per les pales, en tant que a les costes orientals de les illes es podia obtenir 100 kWh/m². (Simmons, D. M., 1975).

També a França, després de la 2a guerra mundial, es va dedicar un esforç considerable per a conèixer l'estructura del vent des-dél nivell del sòl fins a 100 m. d'alçada (Ailleret, P., 1946 i 1948; Lacroix, G., 1949; Serra, L.,

1953).

L'aportació més important, va ésser sens dubte el desenvolupament d'anemometres especials, és a dir artefactes que mesuraven gairebé velocitats instantànies (anemòmetres de cil.lindre rugós, amb una constant de temps menor a 1/10 de segón) i energímetres que mesuraven directament l'energia eòlica que produiria un aerogenerador per unitat de superfície escombrada (Argand, A., 1961; Salomon, J. 1967). S'instal.laren uns 350 aparells de mesura repartits per tot el territori francès (algúns inclús es va instal.lar en territori català). En algunes zones hom va trobar que es podia recuperar teòricament una energia de 4000-5000 kWh/m² a l'any. Per exemple, a la costa NW de Bretanya, hom podia disposar de 5000 kWh/m² any. Un aerogenerador de 30 m de diàmetre, escombrant una superfície de 700 m², podria produir teòricament 3.5 GWh/any.

A l'Estat Espanyol, la "Comisión Nacional de Energias Especiales" creada a l'any 1953, sota la direcció de l'enginer P. Blanco Pedraza va dur a terme una callada tasca de prospecció de llocs escaients per a aprofitar la força del vent. Després d'establir estacions de mesura repartides per tot l'estat, van arribar a dibuixar un mapa de línies d'igual velocitat del vent, en el qual s'observen zones eòlicament favorables a l'estret de Gibraltarr, a Galicia, a Catalunya, a ambdues Castelles, i a la vall de l'Ebre (Barasoain, J. A. i Fontan, L., 1955 i 1961).

5.2.2 Avaluacions de la potència disponible per unitat de superfície realitzades als Estats Units d'Amèrica

En aquell país americà, es van realitzar tres avaluacions del potencial eòlic disponible basant-se en el mètode d'estimar la Potència Disponible per unitat de Superfície.

La primera avaluació referent a New Mexic va ésser feta pels Laboratoris Sandia (Reed, J.W., et al., 1974), i va ésser seguida per les avaluacions de la ERDA, "Energy Research and Development Administration", (Coty, V.A., 1976 i Garate, J.A., 1977).

Tots aquests treballs van ser combinats en el primer mapa eòlic (de potència disponible per unitat de superfície) americà a través del treball realitzat en el "Battelle Pacific Northwest Laboratories" (Elliott, D.L., 1977).

De fet aquest mapa va resultar molt semblant als mapes de velocitats mitjanes del vent, obtinguts per P. Thomas (1945) per una banda i per l'altre el pel National Climatic Center (1974).

També es va realitzar una avaluació a partir de les dades de vent a altes capes de l'atmosfera i extrapolant-les a l'alçada estandar sobre el nivell del sòl (General Electric, 1977).

Endemés d'aquestes avaluacions realitzades a nivell de tots els Estats Federals, també s'han realitzat avaluacions a escala regional, comprnent un o més estats.

Així hom pot citar els realitzats a New Mexic (Reed, J.W., T. al., 1974), a Texas (Nelson, V. i Gilmore, E., 1974) a Alaska (Wentink, T., Jr, 1976), a Oregon (Hewson, e.W., J al., 1976), a Iowa (Tackle, E.S., i Brown, J.M., 1976), a Florida (Chandra S, 1978), etc.

5.2.3 Avaluacions de la potència que es pot extreure

A partir de suposar un Coeficient de Potència (CP) promig alguns autors (Todd, C.J., 1977) han estimat l'energia mitjana que hom pot extreure d'una xarxa o parc de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica (SCEE).

Així mateix algún autor (Stodhart, A.H., 1973) ha avaluat els kWh per kW nominal que hom pot extreure d'un hipotètic SCEE que tingui una velocitat nominal de 11 m/s. Un càlcul semblant va ser desenvolupat per Petterssen a partir de la màquina Smith-Putnam de 1.25 MW. (Putnam, P.C., 1948).

També, per aquest mateix mètode, es va realitzar un mapa (Justus, C.G., et al, 1976) que donava la potència que es pot extreure als E. U. A, expressada en funció del Factor de Càrrega per el MOD-0 de la NASA (potència nominal 100 kW. amb vent de 8 m/s a 61 m. d'alçada).

5.2.4 Avaluacions eòliques recents als E. U. A

De fet totes les avaluacions citades abans es poden considerar com precursoras del treball que, apartir de mitjans de la dècada dels anys 70, s'emprendria i que es poden sintetitzar així:

- * valoracions eòliques primerenques (1974),
- * síntesis de totes les valoracions realitzades (1977),
- * posta a punt de tipus de metodologia i tecnologies per realització de valoracions eòliques regionals.
- * aplicació del punt anterior a la regió NW (1978)
- * valoració dels recursos eòlics a les 12 regions dels E. U. A. (1980-1981)
- * valoració energètica nacional (1981)
- * millora i actualització de les valoracions regionals (1982)

Tots aquells estudis i avaluacions primerenques van fer planer el camí per a la confecció del mapa referent al potencial eòlic mitjà a 10 m. i a 50 m. d'alçada. En base als treballs realitzats a la zona del Noroest del Pacífic (Hewson, E. W., i Wade, J. E., 1978) que comprenia els estats de Washington, Oregon, Idaho, Montana i Wyoming. Aquest mapa es va realitzar dins del programa del "Battelle Pacific Northwest Laboratories" i el seu objectiu va ésser la valoració energètica del vent a les 12 regions en que hom va dividir la part continental dels Estats Units, Alaska, Hawai, Territoris del Pacífic, Puerto Rico i les Illes Verges.

El resultat d'aquestes recerques foren els "Wind Energy Resource Atlas" següents:

- Vol 1. The Northwest Region (Elliott, D., L., 1980)
- Vol 2. The North Central Region (Freeman, D. L., et al., 1981)
- Vol 3. The Great Lakes Region (Patton, D. L., et al., 1981)
- Vol 4. The Northeast Region (Pickering, K., E., et al., 1980)
- Vol 5. The East Central Region (Brode, R., et al., 1980)
- Vol 6. The Southeast Region (Zabransky, J., et al., 1981)
- Vol 7. The South Central Region (Edwards, R., L., et al., 1981)
- Vol 8. The Southern Rocky Mountain Region (Andersen, S., R., et al., 1981)

- Vol 9. The Southwest Region (Simon, R., L., et al., 1980)
- Vol 10 Alaska (Wise, J., L., et al., 1981)
- Vol 11 Hawai and Pacific Islands Region (Schroeder, T., A., et al., 1981)
- Vol 12 Puerto Rico and U.S. Virgin Islands (Wegley, H., L., et al., 1981)

que van ser publicats entre l'abril de 1980 i el març de 1981.

El mapa que en va resultar va ser presentat a Washington, durant el mes d'octubre de 1981 (Elliott, D.L., Barchet, W.R., 1981), al mateix temps que la base de dades que ha fet possible aquest monumental treball (Barchet, W.R., 1981).

Aquests 12 atles tenen en compte que siguin d'utilitat a una ampla gama d'usuaris, que siguin útils tant a escala regional, estatal o local, que siguin fàcils d'interpretar, etc. Evidentment no resolen el problema de la valoració energètica d'un emplaçament concret.

Serveixen per estimar els recursos eòlics en zones ben exposades al vent, de baixa rugositat i lliures d'obstruccions, i no serveixen per estimacions a petita escala o puntuals.

Per a possibilitar la realització dels mapes que mostren la variació geogràfica dels recursos eòlics, van escollir la densitat de potència (o potència per unitat de superfície) en comptes de la velocitat del vent, ja que aquella incorpora els efectes combinats de la distribució de les velocitats del vent i la dependència de la densitat de potència de la densitat de l'aire i del cub de la velocitat del vent. L'extrapolació vertical de les velocitats del vent a 10 i a 50 m. d'alçada es va realitzar en base a la llei:

$$V / V_0 = (H/H_0) ^ (1/7)$$

que es aplicable per llocs ben exposats al vent.

Cada Atlas subministre per cada mes de l'any i per cada quadrícula (1/3 de grau, llngitud per 1/4 de grau, latitud) dels E. U. A. la velocitat mitjana del vent, el flux d'energia eòlica, les desviacions típiques de la velocitat i el flux, el coeficient d'irregularitat (o "pattern factor"), els coeficients de la distribució de Weibull (el factor d'escala

i el factor de forma) i el nombre d'observacions.

La realització de les 12 valoracions regionals eòliques als E.U.A. van donar lloc a més a més a un ingent volum de dades. Aquestes dades van ser organitzades en una base de dades que fonamentalment conté tres tipus de dades: dades descriptives de l'estació de mesura (nom, ubicació, latitud/llongitud/alçada sobre el nivell del mar, alçada de l'anemòmetre, exposició de l'anemòmetre, etc.), distribucions estadístiques de freqüències (velocitats i velocitats mitjanes, per cada hora, per direcció, per mes en cada estació), variacions anuals i interanuals (per cada mes i per cada any, la mitjana i la desviació típica de la velocitat del vent i del flux energètic eòlic, el coeficient d'irregularitat i el nombre d'observacions), xarxa de dades (fluxe eòlic estacional i anual, forma de la superfície del eòl, etc per a cada cel·la).

5.2.5 Altres avaluacions realitzades: l'Atlas de Vent

Danès

L'Atlas eòlic danès és el resultat d'un projecte de recerca entorn de les condicions climàtic-eòliques a Dinamarca. El seu objectiu va ésser l'avaluació dels recursos eòlics de cara a cercar emplaçaments per a ubicar-hi Sistemes Convertors d'Energia Eòlica (SCEE). El Projecte, finançat pel Programa Eòlic del Ministeri d'Energia i les Companyies Elèctriques daneses, va ésser dut a terme conjuntament pel Laboratori Nacional Riso i l'Institut Meteorològic Danès (Petersen, E.L., et al, 1981).

El Laboratori Riso va desenvolupar un mètode que permet determinar la producció d'energia d'un SCEE concret col·locat en un emplaçament que tingui un determinat tipus de terreny. El mètode es aplicable en terrenys no montanyosos en zones de latitud temperada. L'exactitud del mètode desenvolupat es tal que permet estimar, en molts cassos, la producció d'energia amb un error més petit del 5%.

Aquest mètode es basa en suposar que la distribució probabilística de la velocitat del vent s'aproxima a una distribució de Weibull.

Es va classificar els tipus de superfície del terreny en 4 classes, depenent de la rugositat.

La rosa del vents es va considerar dividida en 8 sectors.

Aleshores per cada tipus de terreny i per cada direcció de vent van tabular els dos coeficients de Weibull (el coeficient de forma i el d'escala). Endemés van tabular per cada tipus de terreny els 2 coeficients suposant que el terreny era el mateix en totes les 8 direccions.

Aquesta metodologia va ésser aplicada a una sèrie de dades de 15 anys en que es mesurava cada 3 hores: la pressió (per determinar el vent geotròfic, es a dir el vent a uns 1000 m. d'alçada), la temperatura i el vent procedents de la torre meteorològica del Riso, (de 123 m. d'alçada) per a determinar l'estabilitat, i mesures, d'elevada qualitat, del vent procedents de 15 estacions meteorològiques.

D'aquesta forma qualsevol futur usuari d'un SCEE pot saber, per un emplaçament donat, i un artefacte eòlic concret, quina energia pot esperar obtenir al llarg del temps.

Aquest mètode podria ésser aplicat per a qualsevol altre regió, fora de Dinamarca, havent realitzat les mesures de pressió superficial i disposant de dades eòliques fiables.

5.2.6 Altres avaluacions. El cas de la Republica

Federal Alemanya

A l'any 1980 també Alemanya Federal va acabar de fer la valoració del seu potencial eòlic.

Per a la realització de l'avaluació dels recursos eòlics, van diferenciar tres conceptes:

- el potencial eòlic teòric, que no és res més que l'energia cinètica continguda en el vent.
- el potencial eòlic tècnicament utilitzable, que és la màxima energia cinètica que es pot extreure del vent, d'acord amb les lleis de la natura i d'acord amb l'estat de la tecnologia, i ser convertida en energia utilitzable.
- el potencial eòlic economicament utilitzable, és aquella part del potencial tècnicament utilitzable que es pot convertir en energia

ótil a un cost econòmic que justifiqui el seu ús en front d'altres fonts d'energia.

Com que de l'1.5% al 2.5% de l'energia que el sol irradia cap a la terra, constantement és convertida en energia cinètica dins de l'atmosfera, i com que Alemanya Federal té una superfície de 0.25×10^6 km², el potencial eòlic teòric es de 1.5×10^{14} TWh a l'any.

Per avaluar el potencial tècnicament utilitzable van partir de les dades eòliques procedents de 16 estacions de mesura. Eran majoritàriament mesures horàries exceptuant dues estacions (que mesuraven mitjanes cada 10 minuts) i l'estació de la torre olímpica de Munich que feia 10 mesures per segon. Les sèries de dades anaven de 4 fins a 9 anys i les alçades de mesura anaven de 5 a 290 m. sobre el nivell del sol.

Totes les mesures es van uniformar a 100 m. d'alçada. A partir de definir una màquina concreta (GROWIAN I) i prenent-la com a referència, juntament amb les distribucions de freqüència del vent obtingudes a partir de les dades meteorològiques, van estimar el potencial tècnicament utilitzable.

La xifra que donen referent al potencial tècnicament utilitzable es de 220 TWh/any. Això equivaldria al 65% de l'energia elèctrica generada a la RFA durant l'any 1977 i al 30% de l'energia elèctrica que pensen generar l'any 2000.

Per a avaluar el potencial econòmicament utilitzable van realitzar un model de simulació per a l'integració de l'energia eòlica a la xarxa d'energia elèctrica. La conclusió a la que van arribar és que en una primera etapa sols seria competitiu un 10% del potencial econòmicament utilitzable. Això es 22 TWh/any.

Voldria dir 20 parcs eòlics, cadascún amb una potència instal·lada de 300 MW (serien 100 Growians de 3 MW cadascún). Produiran 19 TWh/any eòlics. L'índex de penetració seria del 8.2% respecte del sistema elèctric alemany, cobriria el 7% de la demanda elèctrica total i desplaçarien el 2.2% (1500 MW) de la potència instal·lada convencional. Representaria, en total instal·lar 2000 Growians.

Si s'instal·lessin 40 parels eòlics de les mateixes característiques, es produirien 38 TWh/any (el 14% de la demanda elèctrica) i desplaçarien 2160 MW (el 3,2% de la potència instal·lada convencional). Seria instal·lar 4000 Growians.

Això és una estimació conservadora del potencial eòlic de la regió costanera del nord d'Alemanya, que comprén el 14% de la superfície total de la RFA. Els 4000 Growians ocuparien el 0,2% de la superfície de l'esmentada zona.

5.2.7 El Mapa Eòlic Espanyol i el Mapa Eòlic Català

No ha estat fins l'any 1981 que l'Administració de l'Estat Espanyol i la Generalitat han decidit emprendre els treballs necessaris per arribar a conèixer els potencials eòlics de l'estat i de Catalunya respectivament.

Llàstima que s'hagin deixat passar més de 7 anys des que l'Administració Nordamericana reemprengué les tasques per a valorar el potencial eòlic al seu país.

Però el més greu és que han passat 21 anys (!) des que el Director de la "Comisión Nacional de Energías Especiales" va escriure (Blanco Pedraza, P., 1961):

"la resolución de los mismos (és referia a alguns problemes que aleshores plantajava l'aprofitament de la força del vent) contribuiria a accelerar el aprovechamiento industrial de esta fuente de energia, asunto de gran interés para nuestro país, que no esté sobrado de recursos energéticos. Por ello me atrevo a sugerir a los especialistas a que compete el estudio de cada uno de los problemas citados, que no regateen esfuerzo y colaboración, para encontrar las soluciones aceptables y que contribuyan de este modo al aprovechamiento, en beneficio de todos, de esa riqueza natural que es la energía eólica" (els subratllats són meus).

5.2.7.1 El "Mapa Eòlico Nacional" -

L'anomenat "Mapa Eòlico Nacional" serà en realitat el Mapa Eòlic de tot l'Estat Espanyol.

Cal remontar-se al Conveni existent (2/4/1981) entre el "Instituto Nacional de Meteorología" i la "Dirección General de Innovación Industrial y Tecnología" per a veure els orígens de la realització del "Mapa Eòlic Nacional". Aquest conveni era per a la realització conjunta de programes d'investigació en el camp comú de la Meteorologia i Contaminació Atmosfèrica d'origen industrial.

A partir de l'interés mostrat per algunes companyies elèctriques per conèixer el potencial eòlic de les seves zones, es va establir un altre Conveni (22/7/81) entre la "D.G.I.I y T", el "C.E.E.", el "I.N.M" i "A.S.I.N.E.L" per a la realització d'un projecte anomenat "Mapa Eòlic Nacional", el qual consistiria en valorar el potencial eòlic espanyol segons l'avant projecte presentat per el "I.N.M".

El projecte comprèn la valoració eòlica a 3 escales espaials:

- a) nacional: determinació del mapa eòlic, delimitació de les conques eòliques, característiques del vent, potència mitjana aprofitable i corbes de duració de potència.
- b) zonal: determinació de les característiques eòliques d'una zona determinada, calculant la distribució espacial de la potència eòlica aprofitable i la delimitació de subzones òptimes.
- c) puntual: estimació de l'aprofitament de l'energia eòlica en un emplaçament determinat.

En quant al punt a), s'ha dividit l'Estat Espanyol en una quadrícula de 12 de latitud per 12 de llongitud, on s'hi posaran equips de mesura i registre. Totalitzaran 67 a la península i 13 a les illes. El període de mesura mínim serà un any.

En quant al punt b), el nombre de mesuradors d'una zona estarà comprés entre 5 i 10, essent el període de mesura comprés entre 6 mesos i un any.

En quant al punt c), els mesuradors de vent seran 3-5 funcionant 3 mesos, i després instal·lació d'una torre de 50 m. amb 3 mesuradors a diferents nivells, funcionant entre 6 mesos i 1 any.

Els 80 aparells de mesura seran aportats per la "D.G.I.I.T". El "C.E.E" i "ASINEL" finançan els treballs i "ASINEL" finançarà tots els estudis zonals i puntuals.

L'execució del Programa per part del "I.N.M" comprèn les fases següents:

- projecte,
- prescripcions tècniques dels mesuradors,
- elecció dels emplaçaments,
- instal.lació dels mesuradors,
- manteniment i revisió,
- recollida i centralització de la informació,
- control, recepció, informatització, banc de dades,
- tractament de les dades,
- estudis parcials i generals,
- publicació dels resultats.

Sembla, de moment que el Programa s'ha encallat en el 3 punt, després d'haver enviat uns qüestionaris a tots els "Centros Zonales del INM" (en total 15) sol·licitant informació general, anyal i per estacions, referent a l'existència de molins de vent, tallavents, ... així com informació sobre indicadors biològics.

5.2.7.2 El Mapa Eòlic de Catalunya -

El Departament d'Indústria i Energia de la Generalitat de Catalunya, conjuntament amb les Empreses Elèctriques Catalanes va convocar (15/7/1981) un concurs per a l'adjudicació del Treball: "Estudis prèvis i de definició dels equips necessaris per a la confecció del Mapa Eòlic de Catalunya".

Aquest estudi comprendrà:

- metodologia a seguir per a la confecció del Mapa,

- dades necessàries,
- dades existents,
- definició de les dades a mesurar,
- definició dels aparells a utilitzar per a la medició i dels seus costos, així com la seva localització,
- definició del sistema de tractament de dades,
- confecció del Mapa
- proposta de sistema d'actualització del Mapa.

El 12/11/1981 es va fallar el resultat del Concurs i a primers d'any es van iniciar les tasques esmentades en la memòria presentada per l'equip guanyador (Puig, J.; Meseguer, C., 1982).

Actualment està en fase normal de realització, després d'haver enquestat tots els municipis de Catalunya, per recollir informació sobre el vent i el seu aprofitament (Puig, J. i Meseguer, C., 1982 a).

Dels 935 municipis enquestats (via Ajuntament i Unió de Pagesos), es disposa d'informació de 511 (representa el 54.65 % dels enquestats).

Això ha permès classificar els municipis del nostre país en: molt ventosos, bastant ventosos, poc ventosos, molt poc ventosos i gens ventosos, en base a un codi que va de 5 (molt vent) a 0 (gens de vent); i ha donat lloc a l'anomenat Mapa Popular de Vent a Catalunya.

L'enquesta també ha permès detectar 150 noms de llocs geogràfics que en el seu topònim hi ha la paraula "vent", ha permès recopilar 228 noms diferents dels vents a les comarques, 702 possibles emplaçaments o llocs en fa més vent del municipi (103 situats en municipis "molt ventosos", 359 en municipis "bastant ventosos", 64 en municipis "poc ventosos" i la resta 176 en municipis "molt poc o gens ventosos"). Endemés ha permès localitzar 81 observadors (amb aparells de mesura o sense) del vent i uns 500 molins de vent (mecànics i/o elèctrics).

L'enquesta també ha permès conèixer les 10 comarques més ventoses, segons els coneixements populars de la gent (és a dir aquelles que la mitjana dels municipis està compresa entre "bastant" i "molt ventosos").

5.3 LA QUANTIFICACIÓ DEL VENT A CATALUNYA DES D'EL PUNT DE MIRA DEL SEU APROFITAMENT ENERGÈTIC

Per a poder realitzar una quantificació precisa del vent al nostre país, caldria disposar d'observacions d'aquest fenomen meteorològic al llarg de períodes de temps continuats, en llocs repartits per tota la geografia, de manera que es cubris la més variada gama de zones diferenciades.

Avui per avui, això no és possible degut a tota una sèrie de raons, que es tractaran en el transcurs del present capítol.

Algunes d'aquestes les exposo ja d'entrada:

- la no cobertura, per les estacions meteorològiques existents avui de tot el territori nacional català, sino tant sols de la part costanera.
- la no adequació de les instal·lacions existents, a la mesura específica del vent, tant pel que fa referència a la seva ubicació física, com pel que fa al tipus d'aparells de mesura i registre emprats.
- la no disponibilitat de suficients mesures del vent en alçada a Catalunya.

A despit de la manca i fiabilitat de les dades disponibles, avui per avui és possible realitzar una quantificació del vent a Catalunya, que si bé pot ser inexacta, té el valor de representar una base per a la tasca d'anar realitzant aquesta valoració d'una forma dinàmica, és a dir a mesura que hom disposi d'informació més precisa.

En aquest apartat, a més de donar un llistat exhaustiu de les fonts d'informació, més ben dit de mesura, avui existents, es realitzaran unes primeres valoracions del

potencial eòlic de Catalunya, basant-se en mètodes publicats i de reconeguda acceptabilitat (Jarrass, L., et. al., 1981; Cardona, J.L., 1981).

5.3.1 Fonts d'informació disponibles

Les fonts d'informació referents als paràmetres característics dels vents, són per una banda els registres meteorològics que normalment aplega el "Instituto Nacional de Meteorologia, I.M.N), a través de les estacions meteorològiques que depenen dels "Centros Zonales"; i per altra banda les dades recollides per la "Comisión Nacional de Energias Especiales" als anys cinquanta.

També disposan de registres de vent algunes companyies de producció i distribució d'energia elèctrica que tenen instal·lats aparells de mesura en embassaments i centrals tèrmiques.

En darrer terme, i motivat pels problemes ecològics ocasionats pel "desenvolupament econòmic" dels darrers anys, es disposa de sèries curtes i/o irregulars de mesures del vent en les estacions d'ICDNA, (vigilància contra incendis forestals), en determinades ciutats (contaminació atmosfèrica), etc.

5.3.1.1 "Centro Meteorológico Zonal del Pirineo - Oriental"

Disposa dels registres eòlics d'un seguit d'estacions meteorològiques, que es llisten a continuació :

ESTACIÓ	PERIODE DE REGISTRE	MESURES DIARIES	ESTAT ACTUAL
C. N. Ascó	1972-1977	4	funciona
Baetulo	1975-1981	4	funciona
Cap Begur	1945-1968	3	inexistent
Barcelona:			
Universitat	1933-1936	4	inexistent
Travessera	1936-1970	3-4	inesistent
Dressanes	1970-1981	4	funciona
Putxet	1974-1981	4	funciona
Obs. Fabra	1903-1981	1-3	funciona
Aeroport Barc.	1946-1981	3-4	funciona
C. T. Cubelles	1977-1981	4	funciona
Figueres	1945-1981	3	funciona
Girona	1935-1977	3	inexistent
Aeropot Girona	1972-1981	4	funciona
Granollers	1964-1975	-	inexistent
la Molina	1952-1981	3	funciona
Pobla Mafumet	1973-1981	4	funciona
Lleida	1944-1981	3-4	funciona
Turo de l'Home	1940-1981	3-4	funciona
Base Aerea Reus	1952-1981	3	funciona
Sabadell	1946-1979	-	inexistent
St. Cugat	1951-1962	1	inexistent
St. Llorenç	1957-1978	3	inexistent
Seo d'Urgell	1945	3	inexistent
Taradell	1950-1954	2-3	inexistent
Vic	1951-1962	3	inexistent
St. Julià	1940-1941	3	inexistent
Tarragona	1935-1981	3	funciona
Obs. de l'Ebre	1949-1981	4	funciona
C. N Vandellós	1968-1981	4	funciona
C. T. Cercs	1978-1981	2	funciona
C. T. Figols	1948-1977	2	inexistent

Les mesures diàries que hi ha registrades oscil·len entre 1 i 4, a les hores solars següents: 1h, 7h, 13h, 18h. Em refereixo a les dades que hi ha disponibles al "Centro Meteorològic Zonal del Pirineo Oriental", a Barcelona.

Cal manifestar que hi ha algunes estacions que tenen més registres diaris. Però aquestes dades no estan al "Centro Zonal" sino en la mateixa estació. Són les següents:

ESTACIÓ	MESURES	DIARIES
Barcelona-Putxet	10	
Aeroport Barcelona	48	
C. T. Cubelles	24	
Aeroport Girona	48 (abril-nov)	34(nov-abril)
Turó de l'Home	7	
Base Aerea Reus	10	
Observatori de l'Ebre	24	
C. N. Vandellós	24	

5.3.1.2 "Comisión Nacional Energias Especiales" -

Les dades que aquesta Comissió va recollir, durant el temps que va funcionar, estan dipositades al INTA ("Instituto Nacional de Tecnicas Aeroespaciales").

Desde l'any 1954, en que es va crear la "Comisión Nacional de Energias Especiales", depenent del "Patronato Juan de la Cierva de Investigaciones Científicas", establí una xarxa de medició dels paràmetres del vent a tot l'Estat Espanyol. En total foren 55 estacions de mesura, de les quals 43 estaven equipades amb anemòmetres, 7 amb energímetres i la resta amb ambdós tipus d'aparells.

Pel que fa a referència a Catalunya va realitzar mesures especials en els següents punts de la geografia catalana :

PUNT DE MESURA	TEMPS DE MESURA	WATTS/M2
Montjuïc	4 anys (A)	78
Cap Begur	5 anys (A)	134
Cap Creys	9 anys (A)	286
Port Bou	3 anys (E)	1134
Manso Seco	3,2 anys (E)	219

5.3.1.3 Altres observadors i estacions de mesura -

Amb motiu de la realització dels treballs previs per a la confecció del Mapa Eòlic de Catalunya (Puig, J. i Meseguer, C., 1982 a) es va realitzar una enquesta a tots els municipis de Catalunya, demenant, entre altres coses, si hi

havien o hi havian habut estacions de mesura del vent de qualsevol tipus.

Com resposta hom va obtenir un ampli ventall d'observadors del vent a Catalunya, que va des de persones afeccionades a la meteorologia fins a observadors dels fars, de les torres forestals, etc. Els mètodes de mesura emprats per aquests va des d'aparells clàssics fins a mesura a ull (escala Beaufort), tot passant per anemometres de placa utilitzats tant per moltes escoles com per alguna empresa elèctrica en els seus embassaments.

La relació d'aquests observadors és la següent:

ESTACIÓ	TIPUS D'APARELL	MESURES	DIARIES
Aeroport			
Cerdanya-Andorra	de cassoletes	3	
Solvay	de cassoletes	24	
Vilaseca	de cassoletes	1	
Escola (Aiguafreda)	de placa	1	
Cardedeu	de cassoletes	2	
Mataró	de cassoletes	1	
L'Escala	de cassoletes	1	
Estartit	escala Beaufort	3	
Far de Palamos	escala de 0-6 visual		1
Far de Tossa	escala de 0-6 visual	1	
Far de St Sebastià	escala de 0-6 visual	1	
Far de Roses	escala de 0-6 visual	1	
Far de Cap de Creus	escala de 0-6 visual	1	
Far Port de la Selva	escala de 0-6 visual	1	
Col.legi (Palamos)	de placa	2	
Club Nàutic			
St. Feliu de G.	cassoletes	1	
La Bisbal de Falset	escala Beaufort	1	
Radio Liberty (Pals)	d'hèlice	12	
S. A. T. Vall d'en Bas	cassoletes	1	
Breda	escala Beaufort	1	
el Vendrell	escala Beaufort	2-3	
Centre Lèctura (Reus)	E. B i cassoletes	2	
Rindecanyes	de placa	1	
Escola (Montbrió)	de placa	1	
Escola (Rindoms)	de placa	1	
Escola (Mora la Nova)	de placa	1	
Escola (La Sènia)	de placa	1	
Esterri d'Aneu (HECSA)		1	
Ivars de Noguera		1	
Baqueira (Salardó)		1	
Talarn (FECSA)	de placa	1	
Camarassa (FECSA)	de placa	1	
Estay-gento (FECSA)	de placa	1	
Capdella (FECSA)	de placa	1	

Molinos (FECSA)	de placa	1
Pobla de Segur (FECSA)	de placa	1
Manresa (FECSA)	de placa	1
Casa Barba (FECSA)	de placa	1
Ribas (FECSA)	de placa	1
Freser (FECSA)	de placa	1
Sta Margarita (FECSA)	de placa	1
Serós (FECSA)	de placa	1
Tabescan (FECSA)	de placa	1
Viella (FECSA)	de placa	1
Flix (FECSA)	de placa	1
la Baqueira (FECSA)	de placa	1
Arties (FECSA)	de placa	1
Llavorsí (FECSA)	de placa	1
Bosost (FECSA)	de placa	1
Terradets (FECSA)	de placa	1
Sils (FECSA)	de placa	1
St Boi (FECSA)	de placa	1
Canelles (ENHER)	cassoletes	recorregut diari
Cavallers (ENHER)	cassoletes	recorregut diari
Sta Anna (ENHER)	cassoletes	recorregut diari
Ribarroja (ENHER)	cassoletes	recorregut diari
Escales (ENHER)	cassoletes	recorregut diari
Puig de Montagut (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
La Baltasana (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Prat del Compte (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Llagostera (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Casa Mundet (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
La Tirvia (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)
Solsona (ICONA)	cassoletes	1 (mesos d'estiu)

A més d'aquest observadors i estacions de mesura en l'enquesta als municipis també es va detectar l'existència de les estacions de mesura del I. M. N. ja citades en l'apartat 5.1.

5.3.2 Valoració de les dades existents

Si bé de les llistes confeccionades en l'apartat anterior es podria deduir una regular cobertura de tot el territori nacional català, l'estudi detallat dels diferents tipus d'estacions de mesura mena a la conclusió de que caldria modernitzar, coesionar i reubicar tota aquesta xarxa, si hom vol fer-la útil des d'el punt de mira d'una valoració energètica del vent.

De totes les estacions existents, molt poques estan ubicades en emplaçaments on s'hi pugui instal·lar un Sistema Conversor d'Energia Eòlica (SCEE), és a dir en un lloc, que

per la seva topografia sigui eolicament favorable.

De les estacions que havien existit cal exceptuar de l'afirmació anterior, les estacions de mesura que va instal·lar la desapareguda "Comisión Nacional de Energias Especiales".

Això ja és una gran limitació, que es confirma quan s'estudien les dades registrades, sobretot si s'observa com es passa de les dades mesurades i registrades sobre una banda continua de paper, a les dades escrites en els fulls del I.N.M. La lectura visual d'una banda, ben poc llegible puntualment, suposa la introducció d'errors en les velocitats puntuals.

Una altra gran limitació és la gran diversitat d'aparells i de sistemes de mesura. Anemòmetres de cassolletes, d'aquests n'hi ha que mesuren la velocitat instantània i altres que mesuren recorreguts diaris del vent; anemòmetres de placa; escala Beaufort, escala dels Farsi; etc. etc.

Endemés cal afegir a tot això, que en les sèries llargues de dades s'han produït canvis en la ubicació física de l'aparell de mesura, be sigui perquè ha canviat la posició, be perquè ha canviat l'alçada on es feia la mesura.

Per posar només un exemple, l'observatori del Turó de l'Home, al massís del Montseny, fa més de cinc anys que te avariat l'aparell de mesura i de registre, doncs un temporal va abatre la torre i va fer malbé l'aparell.

A hores d'ara, encara no tenen instal·lat el nou, el qual va tardar molt en arribar de Madrid, doncs no tenen assignat pressupost per a la torre de suport. Mentrestant, i a despit de les reclamacions constants de l'observador, realitzen les mesures del vent amb un anemòmetre manual ben poc precís. I això passa a un dels observatoris clau, pel que fa al vent, de Catalunya.

Una tasca de coesió de tota aquesta diversitat de dades eòliques i d'estructuració d'una xarxa d'observació i mesura és urgent de crear al nostre país. Llàstima que hagin passat més de 20 anys des que el president de la "Comisión Nacional de Energias Especiales" recomenés:

"Con vistas a la prospección eólica interesa el desarrollo de un anemómetro con las siguientes características:

- a) capacidad de registro automático durante períodos de tiempo no inferiores al mes.
- b) que el registro de sus bandas sea susceptible de ser analizado por máquinas calculadoras automáticas, con vistas a la obtención y clasificación de los datos estadísticos del viento.
- c) que la duración de su servicio, en las condiciones meteorológicas que debe realizarlo, no sea inferior a 10 años, con revisión de frecuencia no inferior a 2 años"

(Blanco Pedraza, P., 1961)

i no s'hagi fet absolutament res en aquest camp.

Un fet més que posa de relleu la poca fiabilitat de les dades disponibles en els fulls emmagatzemats en el "Centro Zonal del Pirineo Oriental" de Barcelona, és el fet de que en el projecte conjunt (hispa-nordamericà) de l'Institut d'Investigacions Pesqueres i el "Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratories" en el qual es desenrotlla una investigació de les corrents marines en la plataforma continental mediterrània, s'hagin rebutjat les dades de vent contingudes en les fulles del "Centro Zonal" i s'hagi optat per la digitalització de les dades contingudes en les bandes originals registrades (Ballester, A., 1982).

Per totes aquestes raons he decitit emprar les dades procedents de l'enquesta als municipis catalans (Puig, J. i Meseguer, C., 1982) ja que és força coherent amb el resultat de la primera valoració realitzada, a partir de les dades del I. M. N. per Meseguer (1978).

5.3.3 Diverses avaluacions del Potencial Eòlic Català aplicant mètodes generals d'estimació

5.3.3.1 Segons el mètode emprat a la R.F.A -

Si partim de lo que s'ha discutit en l'apartat 3.1.1.2, és a dir, que des d'un punt de mira de la circulació

general a gran escala i en valors promitjos anyals i espaials, es pot considerar que el 0.7% de la radiació solar incident a les elevades capes de l'atmosfera (aproximadament 2.3 W/m²) es dedica a la creació de l'energia cinètica (ja s'ha dit també que hi ha autors que creuen convenient corregir aquesta xifra, doncs no coincideix gaire amb estimacions directes realitzades, que donen xifres compreses entre 4 i 10 W/m²).

L'estimació del Potencial Eòlic Teòric a la República Federal Alemanya (Jarass, L., et al., 1981) és realitzat a partir de la consideració de que a les capes altes de l'atmosfera, la fracció dedicada a la creació de l'energia cinètica és 6.85 W/m². Per a la superfície de la República Federal això representa un Potencial Eòlic Teòric de:

$$PET = 1.5 * 10^4 \text{ TWh/any}$$

Ara bé, com que aquesta quantitat no és totalment recuperable, sino només una fracció, que depèn per una banda de les lleis de la natura i per altre de l'estat de la tecnologia disponible per poderla convertir en energia útil, els autors citats consideren un Potencial Eòlic tecnicament utilitzable de 220 TWh/any.

$$PTU = 220 \text{ TWh/any.}$$

A més a més, si s'introdueixen els costos econòmics que fan justificable l'utilització de l'energia eòlica en comparació a altres fonts d'energia, l'equip alemany conclou que en una primera etapa el Potencial Eòlic Economicament utilitzable és un 10% de l'anterior.

$$PEU = 22 \text{ TWh/any}$$

Per avaluar que representen aquestes quantitats es pot veure l'apartat 3.5.2.5.

Seguint aquest mateix tipus de deducció per el cas de Catalunya, acceptant les mateixes bases a partir de les quals s'ha realitzat l'avaluació del Potencial Eòlic a la República Federal Alemanya, es pot concloure que:

- el Potencial Eòlic Teòric Català seria de 1931.79 TWh/any.
- el Potencial Eòlic Tecnicament utilitzable seria de 28.3 TWh/any.

- el Potencial Eòlic Economicament utilitzable seria de 2.8 TWh/any.

Per tenir una idea de l'ordre de magnitud, cal saber que avui a Catalunya s'utilitza un Potencial Hidràulic de l'ordre dels 5.3 TWh/any (Segarra, P., i Alario, J., 1981).

5.3.3.2 Segons el mètode emprat per l'I.N.I. -

En una publicació del Programa solar de l'Institut Nacional d'Indústria (Cardona, J.L., 1981) es realitza una estimació de la Potència Elèctrica d'Origen Eòlic que podria instal·lar-se a l'Estat Espanyol.

Es parteix del Mapa Eòlic de l'Estat Espanyol realitzat per l'extingida "Comisión Nacional de Energias Especiales" (Barasoain, J.A., Fontan, L., 1955 i 1961) i d'un mapa de potències eòliques mitjanes (Sanchez Tarifa, C., 1980). Estima la superfície Total de l'Estat Espanyol en que la velocitat del vent pot ser superior a 5 m/s (35000 km²). Suposa que la superfície útil per a instal·lar hi aerogeneradors es de l'ordre de 10% de l'anterior i que els aerogeneradors es situen en els vertex d'una quadrícula, que te el costat igual a 10 vegades el diàmetre de l'àrea escombrada per les pales. Suposa també que la potència mitjana dels aerogeneradors és de 0.35 kW per metre quadrat d'àrea escombrada.

Amb aquest hipòtesis arriba a la conclusió de que la potència elèctrica d'origen eòlic que es podria instal·lar a l'Estat Espanyol seria de:

$$PEE = 9.625 * 10^6 \text{ MW.} = 9625 \text{ MW.}$$

Considerant que en les zones d'estudi, la velocitat mitja del vent és de 6 m/s, i que la velocitat nominal de l'aerogenerador és aproximadament 10 m/s, es pot dir que el temps de funcionament dels aerogeneradors en que funcionarien a potència nominal es del 25% (unes 2200 hores). Aleshores l'energia produïda per una xarxa d'aerogeneradors amb una potència instal·lada de 9625 MW. seria de 21.175 TWh/any.

Amb aquest mateix mètode de càlcul i a partir del primer Mapa Eòlic Català realitzat (Meseguer, C., 1978) he fet una estimació suposant que les comarques de l'Alt i Baix Empordà, el Maresme, el Garraf, el Baix Camp, la Ribera, el

Montrià i el Baix Ebre, tenen velocitats mitjanes de vent superiors a 5 m/s.

Seguint les mateixes hipòtesis s'obté una superfície a ocupar per aerogeneradors de 585.7 km² (1'1.8 % de la superfície total de Catalunya) i una superfície escombrada per les pales dels aerogeneradors de 4.6 km². Això representaria una potència instal·lable de 1610 MW.

PEE = 1610 MW.

Suposant les mateixes condicions de funcionament que en el cas espanyol (2200 hores), s'obté una energia produïda de 3.55 TWh/any.

5.3.3.3 Primera valoració eòlica catalana -

A partir de les dades del "Centro Meteorológico Zonal del Pirineo Oriental", es va elaborar (Meseguer, C., 1978) el primer Mapa Eòlic de Catalunya. Aquest Mapa definia ja clarament unes àrees que podien tenir una potencialitat eòlica elevada, encara que, per exemple, a l'Alt Empordà (zona del Cap de Creus), la potència per unitat de superfície escombrada per les pales era molt més baixa que la donada pel Mapa Francès elaborat als anys cinquanta (ja tractat en l'apartat 3.5.2.1.).

Aquest Mapa ja va estat situat en els seus justos termes en un treball (Meseguer, C.; Oliva, A.; Puig J., 1979) en ja es plantejaven les directrius del que tenia que ésser un Pla pel Desenvolupament de l'Energia Eòlica a Catalunya. Allí es podia llegir:

"No obstant, la major part d'estacions existents avui estan dedicades a la meteorologia, i no serveixen pas per a fer una valoració seriosa i profunda dels recursos energètics que el vent pot aportar a casa nostra. Poden servir, com a molt, per a fer una primera valoració del potencial eòlic a Catalunya".

En aquest treball citat, ja es feia una primera estimació de la quantitat d'energia que produïrien uns Sistemes Convertors d'Energia Eòlica, instal·lats en 24 emplaçaments eòlicament favorables. Representaven una potència eòlica instal·lada de 16.6 MW. i tenien una producció de 37.153 GWh/any. La potència instal·lada a cada

emplaçament oscil.lava entre 500 i 1000 kW.

Aquesta primera valoració es pot extrapolar avui, quan hom disposa dels resultats de l'Enquesta als Municipis Catalans (Puig, J.; Meseguer, C., 1982) realitzada durant els treballs previs per a la confecció del Mapa Eòlic Català. Aquesta enquesta va donar el resultat d'uns 700 emplaçaments eòlicament favorables a Catalunya. D'ells n'hi han 103 situats en municipis que segons el "saber popular" són molt ventosos i uns 359 en llocs bastant ventosos.

Realitzant doncs aquesta extrapolació, a partir del treball on es fa la primera estimació de potència eòlica a Catalunya, hom obté el següent resultat:

Nombre d' emplaçaments:	103
potència instal.lada:	71,24 MW.
energia produïda:	156,73 GWh.
Nombre d'emplaçaments:	359
potència instal.lada:	248,31 MW.
energia produïda:	575,75 GWh.

5.3.4 Es possible quantificar el potencial eòlic de Catalunya ?

Al llarg del present Capítol, s'han descrit les dades que hom disposa per a realitzar una possible valoració del potencial eòlic del país, i es palesa la manca de fiabilitat de les mateixes deguda a un seguit de raons, algunes ja exposades.

Per poder realitzar una valoració, a partir de dades mesurades del vent, caldria disposar d'una xarxa d'estacions de mesura que complissin, per lo menys, amb els següents requisits (W.M.O., 1971):

- a) Que l'estació de mesura estigui situada en lo que la "World Meteorological Organization" defineix com terreny despejat, és a dir, que la distància entre el punt de mesura i qualsevulla obstrucció o obstacle, en qualsevulla direcció, sigui d'almenys 10 vegades l'alçada de l'obstrucció o de l'obstacle.
- b) Que l'aparell de mesura estigui a una alçada d'almenys dues vegades l'alçada de

l'obstacle, en el cas de que l'aparell sigui situat a barlovent de l'obstrucció.

- c) Que la situació de l'aparell de mesura sigui a una alçada compresa entre cinc i deu vegades l'alçada de l'obstacle, en el cas de que l'aparell estigui situat a sotavent de l'obstrucció.
- d) Que si l'aparell de mesura està situat al damunt d'un edifici, l'alçada per sobre de la teulada sigui almenys més gran que una o una i mitja vegades l'alçada entre el nivell del sòl i la part més elevada de l'edifici.

En qualsevol cas en que un aparell de mesura del vent no compleixi aquests requisits, s'ha demostrat que les mesures realitzades estan falsejades.

Mentre no existeixin estacions de mesura que compleixin amb les condicions esmentades, hom podria optar per dir que no es pot fer l'avaluació del potencial eòlic català. Aquesta és precisament l'opinió que es manifesta en el Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya (Segarra, P. i Alario, J. (coordinadors), 1981, pag 132):

"No es pot fer una estimació de la potència eòlica utilitzable a Catalunya, ja que no existeixen dades suficients. Per tant, sembla necessària, tal com s'ha fet en altres països més avançats en la matèria, l'anàlisi de les dades del vent existent i l'establiment d'una xarxa de mesurament eòlic abans de l'estudi, de la construcció i de l'experimentació de plantes d'aprofitament del vent a petita i a gran escala". (El subratllat es meu).

Amb criteris d'aquest tipus avui encara no hi hauria cap aprofitament hidroelèctric a Catalunya.

Tot i que l'afirmació del Llibre Blanc, pugui ser atribuïda a qui avui presenta aquesta Tesi (ja que va formar part de l'equip encarregat d'elaborar la part referent a energia eòlica), en realitat entre les tasques a desenvolupar per l'equip eòlic, convocat pel Departament d'Indústria i Energia (Segarra, P., març 1981), no hi era la d'avaluar el potencial eòlic català. Només hi havia un punt, el 3a, en el que es deia textualment: "dades necessàries per a una avaluació de les possibilitats futures a Catalunya". I

aquesta tasca és la que es va dedicar a fer l'equip eòlic. Però d'aquí a afirmar que "no es pot fer una estimació de la potència eòlica utilitzable a Catalunya", n'hi va un troç, ja que és desconèixer, com a mínim, la primera avaluació realitzada (Messeguer, C.; Oliva, A.; Puig, J., 1979).

Que es pot realitzar una avaluació del potencial eòlic del país, amb les dades que avui es disposa, es un fet ja dit en l'apartat 5.3.3, on es donen diverses avaluacions, dues a partir de mètodes generals i una tercera afinant ja més.

Ara bé el meu objectiu serà elaborar un model que partint d'unes dades, que poden ser el reflex dels coneixements populars sobre el vent, ens permeti determinar el potencial eòlic del país, municipi per municipi i quantificar-lo per demostrar que avui existeix la possibilitat de fer-ho.

CAPITOL 6

METODOLOGIES DE CALCUL

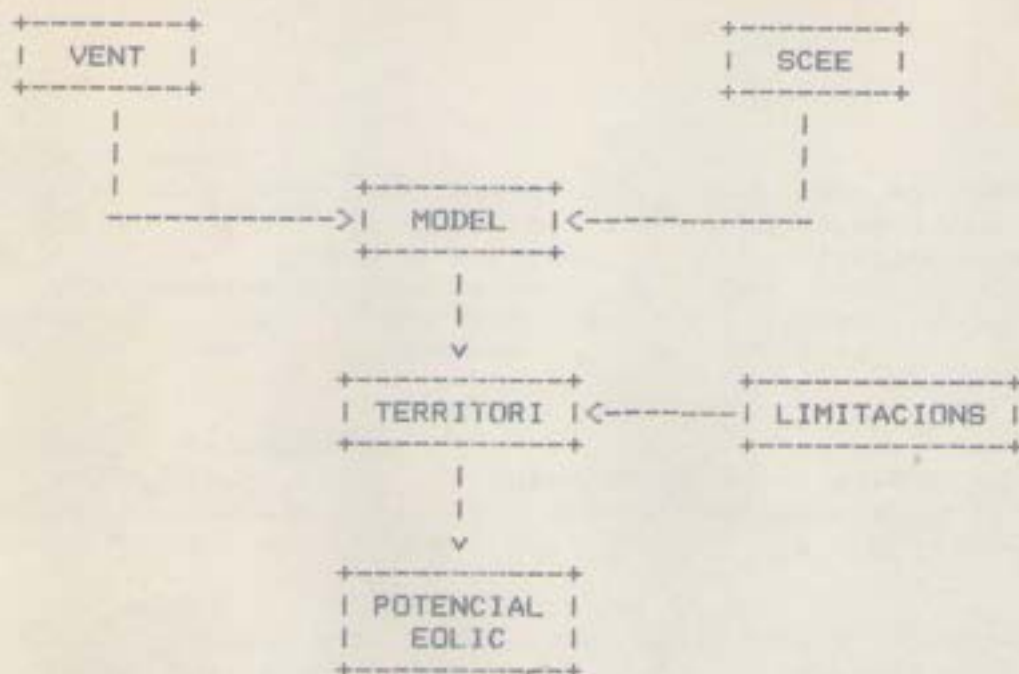
En aquest Capítol és realitza una síntesi de les diferents metodologies de càlcul, que avui disposem, per a estimar i determinar tots aquells paràmetres que ens calen per a elaborar un model que ens permeti determinar el potencial eòlic del nostre país.

També es discuteixen les avantatges i inconvenients d'unes o altres, i així mateix les limitacions, si n'hi ha, de les mateixes.

Es centra en 4 metodologies diferenciades:

- * metodologia per a estimar la funció de densitat de probabilitat de la velocitat del vent,
- * metodologia per a determinar la funció de potència d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica i altres característiques,
- * metodologia per fixar limitacions en l'aprofitament territorial d'una font d'energia renovable i dispersa com és el vent,
- * metodologia per al càlcul del nombre de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica que una superfície donada d'un territori pot contenir, segons diferents disposicions geomètriques.

Basant-me en d'aquestes metodologies de càlcul, elaboraré un model que, partint d'unes dades eòliques determinades, partint d'uns Sistemes Convertors d'Energia Eòlica concrets, partint d'unes limitacions fixades i amb una disposició espacial escollida, permeti fer una estimació del Potencial Eòlic d'un territori al qual s'hi aplica el model.



Per dur a terme l'objectiu proposat, d'avaluar el Potencial Eòlic, emprant alguna d'aquestes metodologies, s'han elaborat uns programes de càlcul que combinen alguns d'aquests aspectes (distribució del vent, funció de potència, distribució espacial, etc.) per assolir la fita que ens hem marcat.

6.1 METODOLOGIA PER A ESTIMAR LA DISTRIBUCIÓ DE FREQUÈNCIES DE LA VELOCITAT DEL VENT.

6.1.1 El vector vent i les seus components.

La velocitat del vent és una magnitud vectorial en un espai de tres dimensions.

Es representa normalment mitjançant un vector velocitat promig (V) que es compon amb un altre vector que representa les fluctuacions aleatòries del vent entorn del vector promig.

En una representació cartesiana, les components del vector velocitat són:

- u: la component en direcció a l'est
- v: la component en direcció al nord
- w: la component vertical

En una representació en coordenades esfèriques, les components del vector vent serien:

- V: la magnitud del vector velocitat
- A: l'angle format per V i la direcció nord en el pla horitzontal
- B: l'angle format per V i el pla horitzontal

De fet, amb els aparells de mesura usuals, anemòmetres de cassoletes o d'hèlice i panells, hom mesura únicament les components horitzontals del vector velocitat del vent, és a dir la projecció sobre el pla horitzontal del vector velocitat del vent.

6.1.2 Distribucions estadístiques de la velocitat del vent

6.1.2.1 La Distribució normal de dues variables -

La distribució normal de dues variables (Crutcher, H. L., Baer, L., 1962):

$$p(u, v) = (2 \cdot \text{PI} \cdot \text{Su} \cdot \text{Sv})^{(-1)} \cdot (1 - r^2)^{(-1/2)} \cdot \exp(-1^2 / (1 - r^2))$$

$$\text{amb } 1^2 = ((u - \text{Mu}) / \text{Su})^2 - 2 \cdot r \cdot (u - \text{Mu}) \cdot (v - \text{Mv}) / (\text{Su} \cdot \text{Sv}) + (v - \text{Mv}) / \text{Sv})^2$$

suposa que les dues components (u i v) de la velocitat del vent és distribueixen normalment. Com es pot veure en la seva expressió matemàtica necessita que hom conegui 5 paràmetres per a representar-la:

- Mu i Mv: velocitats mitjanes de les components u i v
- Su i Sv: desviacions típiques de les components u i v
- r: coeficient de correlació entre les components u i v

Aquesta distribució és de difícil aplicació en el marc de l'energia eòlica per dues raons. Per una banda la complexitat de l'expressió matemàtica. Per l'altre, la necessitat de conèixer 5 paràmetres del vent.

6.1.2.2 La distribució de Pearson de tipus III -

Putnam (1948) va emprar la distribució de Pearson del tipus III, que no és res més que la família de corbes Gamma.

6.1.2.3 La distribució de Rayleigh -

També s'ha fet servir la distribució de Rayleigh (o la Chi amb dos graus de llibertat). De fet si en la distribució normal de dues variables fem $\mu_u = \mu_v = r = 0$ i $\sigma_u = \sigma_v = s$ es redueix a la de Rayleigh.

6.1.2.4 La distribució de Weibull -

Entre aquests dos extrems hom ha optat (Justus, C. G., 1974; Justus, C. G. et al, 1976; Wentink, T., 1976; Hennessey, J. P., 1977) per la distribució de Weibull.

La distribució de Weibull per a la velocitat del vent V , s'expressa així (funció densitat de probabilitat):

$$p(V) = (k/c) * (V/c)^{(k-1)} * \exp(-(V/c)^k)$$

on c es l'anomenat Factor d'Escala [m/s]

i k es l'anomenat Factor de Forma [adimensional]

En realitat aquesta família de corbes és la que en representar les velocitats del vent s'anomena Corba de Freqüències de Velocitat.

De fet la distribució de Rayleigh és un subconjunt de la de Weibull, amb el valor de k igual a 2.

La probabilitat de tenir una velocitat més petita o igual a una determinada (probabilitat acumulada) ve donada per:

$$p(V \leq V_X) = \text{integral entre } 0 \text{ i } V_X \text{ de } p(V) * dV = \\ = 1 - \exp(-(V_X/c)^k)$$

Aquesta és la Corba de duració de velocitats del vent.

La probabilitat de tenir una velocitat més gran o igual a una determinada ve donada per:

$$p(V > V_X) = \text{integral entre } V_X \text{ i infinit de } p(V) * dV = \\ = \exp(-(V_X/c)^k)$$

I la probabilitat de tenir una velocitat compresa entre dos valors donats és:

$$p(V_X < V < V_Y) = \text{integral entre } V_X \text{ i } V_Y \text{ de } p(V) * dV = \\ = \exp(-(V_X/c)^k) - \exp(-(V_Y/c)^k)$$

A partir de la distribució hom pot calcular els valors de la velocitat més importants:

- * la velocitat corresponent al percentil 50, és a dir la mediana, serà:

$$VM = c * (\ln 2)^{1/k}$$

- * la velocitat mitjana serà:

$$Vm = \int_0^{\infty} p(V) * dV = c * \text{GAMMA}(1+1/k)$$

essent "GAMMA" la funció matemàtica del mateix nom

- * la desviació típica de la distribució serà s, essent:

$$s^2 = \int_0^{\infty} (V-Vm)^2 * p(V) * dV = (c^2) * (\text{GAMMA}(1+2/k) - (\text{GAMMA}(1+1/k))^2)$$

- * la mitjana dels cubs de les velocitats del vent serà:

$$\langle V^3 \rangle = \int_0^{\infty} V^3 * p(V) * dV = (c^3) * \text{GAMMA}(1+3/k)$$

Com es pot veure, les relacions Vm/c , s/Vm , el Coeficient d'Irregularitat (o "Pattern Factor") $\langle V^3 \rangle / \langle Vm^3 \rangle$ i VM/Vm depenen únicament del Factor de Forma k:

$$Vm/c = \text{GAMMA}(1+1/k)$$

$$s/Vm = ((\text{GAMMA}(1+2/k) / (\text{GAMMA}(1+1/k))^2) - 1)^{1/2}$$

$$\langle V^3 \rangle / \langle Vm^3 \rangle = \text{GAMMA}(1+3/k) / (\text{GAMMA}(1+1/k))^3$$

$$VM/Vm = (\ln 2)^{1/k} / \text{GAMMA}(1+1/k)$$

Exponent un altre alt 2 per a s

Hom pot avaluar també aquelles velocitats que més contribueixen en la distribució ($V0$), en la velocitat mitjana ($V1$) i en l'energia mitjana ($V3$), buscant els màxims de la funció $(V^n) * p(V)$ quan $n=0, 1, 3$. Aquests valors són:

$$V0/Vm = ((k-1)/k)^{1/k} / \text{GAMMA}(1+1/k)$$

$$V1/Vm = 1 / \text{GAMMA}(1+1/k)$$

$$V3/Vm = ((k-2)/k)^{1/k} / \text{GAMMA}(1+1/k)$$

Les avantatges d'utilitzar la distribució de Weibull són (Justus, C. G. et al., 1978):

- * és una distribució de dos paràmetres, depenent de c i k . Per tant és més general que la de Rayleigh i és més fàcil d'aplicar que la distribució normal de dues variables que requereix cinc paràmetres,
- * en molts cassos la distribució de Weibull és una representació força acceptable de les distribucions obtingudes amb les dades mesurades,
- * amb els paràmetres de Weibull, c i k , coneguts a una alçada determinada, hom pot usar una metodologia determinada per ajustar aquests dos paràmetres a la nova alçada desitjada.

6.1.3 Diferents mètodes per a estimar els dos paràmetres de la distribució de Weibull

Per a realitzar l'estimació dels dos paràmetres c i k de la distribució de Weibull hi ha diferents mètodes depenent fonamentalment de les dades obliques de que hom disposi i del grau de sofisticació que hom desitji emprar per assolir els resultats (Justus, C. J. et al., 1978).

6.1.3.1 Ajust de la distribució observada pel mètode dels mínims quadrats

Si les velocitats dels vent observades les agrupem en n intervals $0-V_1, V_1-V_2, \dots, V_{n-1}-V_n$ i cada interval presenta unes freqüències d'ocurrència de f_1, f_2, \dots, f_n ; els paràmetres c i k es poden arribar a obtenir a partir de la realització d'un ajust pels mínims quadrats de la corba de probabilitats acumulades $p_1=f_1, p_2=f_1+f_2, p_3=f_1+f_2+f_3, \dots, p_n=f_1+f_2+\dots+f_n$.

aplicant a la corba de probabilitats acumulades de Weibull les transformacions:

$$x_i = \ln V_i$$

$$y_i = \ln (-\ln (1-p_i))$$

la corba de probabilitats acumulades queda convertida en la recta següent:

$$y = a + b * x$$

Aleshores es tracta de trobar els millors valors de a i b que s'ajusten a la distribució.

Hom pot arribar a trobar-los, tant si es tracta de distribucions en les que cada interval té un pes unitat o diferent, per l'ajust clàssic dels mínims quadrats.

Per al cas en que cada interval té un pes unitat:

$$a = (\text{SUM}(Y_i) * \text{SUM}(X_i^2) - \text{SUM}(X_i) * \text{SUM}(X_i * Y_i)) / D$$

$$b = (n * \text{SUM}(X_i * Y_i) - \text{SUM}(X_i) * \text{SUM}(Y_i)) / D$$

amb $D = n * \text{SUM}(X_i^2) - (\text{SUM}(X_i))^2$

i essent SUM equivalent a sumatori

Aleshores els dos paràmetres c i k de la distribució de Weibull es poden calcular en funció de a i b :

$$k = b$$

$$c = \exp(-a/b)$$

6.1.3.2 Metodologies de càlcul a partir del coneixement de les quartils 1ª, 2ª (mediana) i 3ª

Les velocitats corresponents a les quartils es defineixen a partir de :

$$p(V \leq V_{0.25}) = 0.25$$

$$p(V \leq V_{0.50}) = 0.50 \quad ; \quad V_{0.50} = V_M$$

$$p(V \leq V_{0.75}) = 0.75$$

Doncs bé, en el cas de que no tenim o no coneixem la distribució observada de velocitats però coneixem aquests percentils, es poden calcular els coeficients c i k a partir de :

$$k = \ln(\ln 0.25 / \ln 0.75) / \ln(V_{0.75} / V_{0.25}) = 1.573 / \ln(V_{0.75} / V_{0.25})$$

$$c = V_M / (\ln 2)^{(1/k)}$$

6.1.3.3 Mètode de càlcul a partir del coneixement de la mitjana i de la desviació típica de les velocitats del vent

Els dos paràmetres c i k de la distribució de Weibull poden ésser estimats si tant sols coneixem la velocitat mitjana i la desviació típica.

$$V_m \quad i \quad s = (\langle V^2 \rangle - V_m^2)^{1/2}$$

Com que c i k estan relacionats amb ambdós estadístics (paràgraf 6.1.2.), aleshores:

$$V_m = c * \text{GAMMA} (1+1/k)$$

$$(s/V_m)^2 = (\text{GAMMA}(1+2/k) / (\text{GAMMA}(1+1/k))^2) - 1$$

essent s/V_m el Coeficient de Variació i GAMMA la funció matemàtica del mateix nom

La millor fórmula per al càlcul de k és emprar la aproximació següent:

$$k = (s/V_m)^{-1.086}$$

que equival a:

$$s/V_m = ((\text{GAMMA}(1+2/k) / (\text{GAMMA}(1+1/k))^2 - 1)^{1/2})$$

sempre que : $1 \leq k \leq 10$

Aleshores, conegut k, es pot trobar c a partir de :

$$c = V_m / \text{GAMMA} (1+1/k)$$

6.1.3.4 Mètode de càlcul suposant que hom coneix les velocitats mitjana i màxima en un període donat

Les expressions donades en el paràgraf anterior no es poden aplicar si no coneixem almenys la mitjana i alguna estimació de la desviació típica de les velocitats del vent.

En alguns casos només es coneix la velocitat mitjana i la màxima mensual, és a dir aquella velocitat associada amb el recorregut del vent d'un metre, realitzat més depressa (V_{MAX}).

Aleshores aquesta velocitat màxima pot considerar-se com un estimador del coeficient k de Weibull.

$$V_{MAX} = i [m] / t [seg]$$

La probabilitat de tenir una velocitat més gran o igual a V_{MAX} (probabilitat acumulada) és :

$$\begin{aligned}
 p(V \geq V_{MAX}) &= 1/d * 24 * 3600 = 1/86400 * d = 1/86400 * d * V_{MAX} = \exp(-(V_{MAX}/c)^k) \\
 &= 1/86400 * d * V_{MAX} = \exp(-(V_{MAX}/c)^k)
 \end{aligned}$$

essent d el nombre de dies per mes

Desenrotllant aquesta expressió :

$$V_{MAX}/c = (\ln(86400 * d * V_{MAX}))^{1/k}$$

i com que :

$$V_m/c = \text{GAMMA}(1+1/k)$$

aleshores dividint queda :

$$V_{MAX}/V_m = (\ln(86400 * d * V_{MAX}))^{1/k} / \text{GAMMA}(1+1/k)$$

Per a trobar el valor de k , coneguts V_{MAX} i V_m , cal procedir iterativament.

Una vegada conegut k , trobar c és immediat :

$$c = V_m / \text{GAMMA}(1+1/k)$$

Ara bé, com que per als valors usuals de k la funció $\text{GAMMA}(1+1/k)$ val aproximadament 0.9, en comptes d'iterar, es pot procedir al calcul de k mitjançant la següent expressió aproximada :

$$k = \ln(\ln(86400 * d * V_{MAX})) / \ln(0.9 * V_{MAX}/V_m)$$

6.1.3.5 Mètode de càlcul a partir de la tendència del Factor de Forma (k) versus Velocitat Mitjana (V_m)

A partir de l'estudi de les distribucions de Weibull corresponents a 140 estacions de mesura al llarg i a l'ample dels E. U. A. (a 10 metres sobre el nivell del sòl), Justus i col·laboradors (1976a) van obtenir les expressions de les funcions que lliguen el paràmetre k amb la velocitat mitjana a 10 metres d'alçada, per una variança mitja, una gran variança (percentil 90) i una variança baixa (percentil 10) :

$$k = 1.05 * V_m^{(1/2)} \text{ per una variança baixa}$$

$$k = 0.94 * V_m^{(1/2)} \text{ per variança promitja}$$

$$k = 0.83 * V_m^{(1/2)} \text{ per variança alta}$$

El significat dels percentils 90 i 10 és el següent : per a una determinada velocitat mitjana el 10 % dels valors de k estarien per dessota de $0.83 * V_m^{(1/2)}$ i el 90 % dels valors

de k estarien per dessota de $1.05 \cdot V_m^{(1/2)}$.

Per tant només amb una estimació qualitativa del grau de variabilitat del vent en un lloc i amb la velocitat mitjana (V_m) hom pot estimar k .

La estimació de c és immediata quan es coneix k :

$$c = V_m / \text{GAMMA}(1+1/k)$$

6.1.3.6 Mètode de càlcul per iteracions successives -

Un mètode de càlcul més precís per a estimar els dos paràmetres de la distribució de Weibull és el que van introduir Tackle i Brown (1977). S'anomena Tècnica d'Iteració de la Màxima Versemblança. És un mètode de molt més difícil aplicació, ja que hom introdueix un tercer paràmetre FO per tenir en compte la freqüència de calmes :

$$p'(V) = FO * \text{DELTA}(V) + (1 - FO) * p(V)$$

on $\text{DELTA}(V)$ és la funció de Dirac

$p(V)$ és la distribució de Weibull

$p'(V)$ és la distribució de Weibull corregida per tenir en compte les calmes

Requereix iterar successivament per arribar a estimar els paràmetres c i k .

6.1.4 Distribució de Weibull a alçades diferents de la del aparell de mesura

Normalment hom disposa de dades de vent (velocitats i direccions) mesurades a una alçada determinada però hom vol estimar la distribució de freqüències a una alçada diferent.

La projecció de les distribucions probabilístiques de les velocitats mitjanes del vent està relacionada amb la estadística d'ocurrència de varis vectors que la influeixen (la estabilitat atmosfèrica per exemple), si es tracta de mitjanes mensuals o anuals.

Quan es tracta de velocitats podríem dir "instantànies" (velocitats promitjades en intervals d'un minut), la projecció de les distribucions de velocitats s'estableix a partir de la teoria de la Similitud de les capes límits de

l'atmosfera, establerta per Monin i Obukov l'any 1954. Diferents mètodes de projecció s'han proposat tenint en compte la radiació solar neta (radiació incident menys la radiació d'ona curta i llarga que surt) o disposant d'informació sobre els tipus d'estabilitat atmosfèrica.

Pel nostre cas, ens interessa la projecció de la distribució de velocitats del vent en base a mesures promitjades en intervals de temps més grans que una hora.

Normalment s'utilitza la expressió:

$$V_m(z) = V_{ma} * (Z / Z_A) ^ ALFA$$

essent $V_m(z)$ la velocitat mitjana del vent a l'altura z ,
 V_{ma} la velocitat mitjana del vent a l'altura de l'anemòmetre
 Z_A l'altura de l'anemòmetre
 Z l'altura on es vol saber la velocitat

L'exponent ALFA que apareix en la expressió no té uns valors universals sino que depèn de la rugositat del terreny i del tipus d'estabilitat atmosfèrica.

S'ha proposat (Justus, C.G. i Mikhail, A., 1976b) que l'exponent ALFA vingui donat per la expressió:

$$ALFA = (0.37 - 0.088 * \ln V_{ma}) / (1 - 0.088 * \ln(Z_A/10))$$

Si hom només coneix la distribució de la velocitat del vent a una alçada determinada i hom no disposa d'informació referent a la estabilitat atmosfèrica, és possible estimar els nous paràmetres de la distribució de Weibull a la nova alçada (Justus, C.G. et al., 1978) mitjançant :

$$c(Z) = c_A * (Z/Z_A) ^ ALFA$$

$$k(Z) = k_A * (1 - 0.088 * \ln(Z_A/10)) / (1 - 0.088 * \ln(Z/10))$$

on Z i Z_A són les altures en metres

$$i \quad ALFA = (0.37 - 0.088 * \ln c_A) / (1 - 0.088 * \ln(Z_A/10))$$

essent c_A i $c(Z)$ expressats en m/s

Evidentment les limitacions a l'ús d'aquestes expressions venen donades perquè només són vàlides en terreny pla i homogeni.

Per terreny pla s'enten aquell que les diferències d'alçada entre el lloc en qüestió i els seus voltants, dins d'un radi de 12 km., siguin inferiors a 60 m. Endemés totes les elevacions que tinguin una relació alçada/amplada menor a 0.016, dins de 4 km., tenen que tenir una diferència

d'alçades entre el seu punt més alt i el més baix que sigui una tercera part o menys que la diferència d'alçades entre la part més alta de l'aparell de mesura i el terreny.

6.2 METODOLOGIES PER A ESTIMAR LES CARACTERÍSTIQUES D'UN SISTEMA CONVERSOR D'ENERGIA EÒLICA

Ja en l'apartat 3.2. s'ha arribat a obtenir la expressió matemàtica que ens dona la Potència Mecànica (PMEC) d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica :

$$PMEC (V) = CP(1, b) * 0.5 * d * S * (V^3)$$

Com que, normalment, els S.C.E.E. disposen de superfícies de captació circulars :

$$S = PI * R^2 = PI * D^2 / 4$$

Aleshores (a partir d'ací hom dirà simplement P(V) a la Potència Mecànica, en comptes de PME(V)) :

$$P(V) = CP(1, b) * 0.5 * d * (V^3) * PI * (D^2) / 4$$

Per tant, per a poder estimar les característiques de Potència d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica, cal conèixer el Coeficient de Potència CP.

6.2.1 Diverses metodologies per a estimar la funció de

Potència versus la Velocitat del Vent d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica

Totes es basen en aproximar funcions de diferents graus per simular l'augment de potència d'un aerogenerador, entre la Velocitat de connexió (VC) i la Velocitat Nominal (VN).

La relació entre la potència i la velocitat del vent és cúbica (P proporcional a V³). Evidentment els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica no estan dissenyats per funcionar en velocitats molt grans de vent, ja que seria costós fer dissenys que augmentessin aquestes velocitats (caldrà equipar-los amb components que seguissin la llei cúbica del vent). La majoria de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica solucionen el problema fixant una Velocitat anomenada de Desconnexió (VD) per damunt de la qual el Sistema té potència nul·la. I entre la Velocitat Nominal (VN) i la de Desconnexió (VD) el S.C.E.E. té una Potència Nominal (PN) independentment de la velocitat del vent.

Per tant per aproximar aquest funcionament hom ha proposat:

$$P(V) = 0 \quad \text{per } V < V_C$$

$$P(V) = A + B \cdot V + C \cdot V^2 \quad \text{per } V_C = V = V_N$$

$$P(V) = P_N \quad \text{per } V_N < V = V_D$$

$$P(V) = 0 \quad \text{per } V < V$$

6.2.1.1 Model lineal entre les Velocitats de Connexió i Nominal

El model més senzill que s'ha proposat és el que suposa un creixement lineal de la potència entre la Velocitat de Connexió (V_C) i la Velocitat Nominal (V_N):

$$P(V) = 0 \quad \text{per } V < V_C$$

$$P(V) = A + B \cdot V \quad \text{per } V_C = V = V_N$$

$$P(V) = P_N \quad \text{per } V_N < V = V_D$$

$$P(V) = 0 \quad \text{per } V < V$$

Imposant les condicions de funcionament : potència nul·la a V_C i potència nominal a V_N , hom pot resoldre el sistema resultant i obtenir A i B (essent $c=0$):

$$P(V_C) = A + B \cdot V_C = 0$$

$$P(V_N) = A + B \cdot V_N = P_N$$

$$A = P_N \cdot V_C / (V_C - V_N)$$

$$B = P_N / (V_N - V_C)$$

$$C = 0$$

Aquest model té l'inconvenient que sobreestima molt la potència que hom pot obtenir d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica.

Per corregir aquest fet, s'han proposat altres models que es desenvolupen a continuació.

6.2.1.2 Model quadràtic entre les Velocitats de Connexió - i Nominal

Per intentar obtenir una aproximació que s'acosti més a la realitat de funcionament dels Sistemes Convertors d'Energia Eòlica, s'ha proposat (Justus, C. G., 1978b; Justus, C. G. et al., 1976) el model quadràtic :

$$P(V) = 0 \quad \text{per} \quad V < V_C$$

$$P(V) = A + B \cdot V + C \cdot V^2 \quad \text{per} \quad V_C \leq V \leq V_N$$

$$P(V) = P_N \quad \text{per} \quad V_N < V \leq V_D$$

$$P(V) = 0 \quad \text{per} \quad V > V_D$$

amb les correccions següents :

$$P(V_C) = A + B \cdot V_C + C \cdot V_C^2 = 0$$

$$P(V_N) = A + B \cdot V_N + C \cdot V_N^2 = P_N$$

$$P(V_I) = A + B \cdot V_I + C \cdot V_I^2 = P_N \cdot (V_I / V_N)^3$$

essent

$$V_I = (V_C + V_N) / 2$$

i la solució del sistema és:

$$A = P_N \cdot V_C \cdot [V_I - 2 \cdot V_N \cdot (V_I / V_N)^3] / 2 \cdot (V_N - V_I)^2$$

$$B = P_N \cdot [V_N - 3 \cdot V_I + 4 \cdot V_I \cdot (V_I / V_N)^3] / 2 \cdot (V_N - V_I)^2$$

$$C = P_N \cdot [1 - 2 \cdot (V_I / V_N)^3] / 2 \cdot (V_N - V_I)^2$$

Aquest model dona valors de la potència més petits que l'anterior, però té el defecte que es presenten potències negatives en alguna part de la funció si $V_C < 26\% V_N$.

6.2.1.3 Model potencial en funció del Factor de Forma - de Weibull

Per evitar les potències negatives que en alguns cassos es presenten en el model quadràtic, s'ha proposat (Powell, W. R., 1981) l'expressió següent:

$$P(V) = 0 \quad \text{per } VC < VC$$

$$P(V) = A + B \cdot V^k \quad \text{per } VC \leq V < VN$$

$$P(V) = PN \quad \text{per } V \geq VN$$

$$P(V) = 0 \quad \text{per } V < V$$

en el qual hom pot trobar A i B, imposant les condicions

$$P(VC) = A + B \cdot VC^k = 0$$

$$P(VN) = A + B \cdot VN^k = PN$$

i aleshores :

$$A = PN \cdot VC^k / (VC^k - VN^k)$$

$$B = PN / (VN^k - VC^k)$$

essent l'exponent k el Factor de Forma de la distribució de Weibull.

6.2.1.4 Model cúbic entre les Velocitats de Connexió i Nominal

Un mètode més acurat per a la determinació de la corba de potència és el proposat per Justus (1978a) i Justus i Mikhail (1978). Es realitza a partir de trobar previament la funció del Coeficient de Potència (CP).

6.2.1.4.1 Estimació del Coeficient de Potència

A l'hora de voler conèixer el Coeficient de Potència es poden donar múltiples situacions.

La més senzilla és que el fabricant del Sistema Conversor d'Energia Eòlica subministri la corba CP(l,b). Aleshores si la velocitat de rotació (VRO) i l'angle d'inclinació (b0) són coneguts i constants, queda perfectament determinada la funció CP(l,b) i per tant hom pot calcular :

$$P(V) = CP(l, b0) \cdot 0.5 \cdot d \cdot (V^3) \cdot PI \cdot (D^2) / 4$$

essent $l = R \cdot VRO / V$

Pot donar-se el cas d'un Sistema, que tingui la velocitat de rotació variable, de tal forma que es variin l'angle d'inclinació (β) i la velocitat de rotació (V_R) per mantenir constant el Coeficient de Potència (CPM). Aleshores aquesta màquina tindria una potència :

$$P(V) = CPM * 0.5 * d * (V^3) * PI * (D^2) / 4$$

Però lo que ocorre amb més freqüència és que hom no disposa de totes les dades per determinar CP(β , V). En aquests casos la corba del Coeficient de Potència té que estimar-se a partir d'altres informacions disponibles (Justus, C.G., 1978a):

- * Si hom coneix el Coeficient de Potència a la relació de velocitats de disseny (l_M), és a dir aquella l_M que fa màxim el Coeficient de Potència (CPM). A més a més coneixem la Potència Nominal (P_N) del Sistema per la Velocitat Nominal (V_N) i que per dessota de la Velocitat de Connexió (V_C), el Sistema té potència nul·la. Aleshores una bona aproximació al CP(V) s'obté a partir de :

$$CP(V) / CPM = 0 \quad \text{per } V < V_C$$

$$CP(V) / CPM = 1 - A * (VM/V - 1)^2 - B * (VM/V - 1)^3 \quad \text{per } V_C \leq V < V_N$$

$$CP(V) / CPM = (CPN/CPM) * (VN^3) / V^3 \quad \text{per } V_N < V < V_D$$

$$CP(V) / CPM = 0 \quad \text{per } V > V_D$$

on A i b es calculan a partir de :

$$CP(V_C) / CPM = 1 - A * (VM/V_C - 1)^2 - B * (VM/V_C - 1)^3 = 0$$

$$CP(V_N) / CPM = 1 - A * (VM/V_N - 1)^2 - B * (VM/V_N - 1)^3 = CPN / CPM$$

$$\text{essent } CPN = P_N / 0.5 * d * VN^3 * PI * (D^2) / 4$$

$$\text{i si hom fa : } RN = (VM/V_N - 1)$$

$$RC = (VM/V_C - 1)$$

$$CCP = CPN / CPM$$

aleshores :

$$A = (RN^3 - (1 - CCP) * RC^3) / D$$

$$B = (RC^2 * (1 - CCP) - RN^2) / D$$

$$\text{essent } D = (RN^2) * (RC^2) * (RN - RC)$$

- * Si no es coneix el Coeficient de Potència (CPM) a la relació de velocitats de disseny (1M), una bona aproximació per trobar CP(V) és suposar que el Coeficient de Potència Màxim de disseny és el Coeficient de Potència Nominal i que la velocitat de Disseny és la Nominal :

$$CPM = CPN \quad VM = VN$$

i substituir aquests valors en les expressions anteriors.

Així hom obté:

$$CP(V) / CPN = 1 - A * (VN/V - 1)^2 - B * (VN/V - 1)^3$$

amb $A = 0$ i $B = 1 / (VN/VC - 1)^3$

- * També es pot trobar el Coeficient de Potència CP(l,b) a partir de la teoria aerodinàmica dels rotors, sabent els Coeficients de Sustentació (CL) i d'Arrastre (CD) en les diverses seccions del perfil d'una pala, i sabent l'angle d'inclinació (b), tots ells, en funció de la velocitat del vent.

6.2.1.4.2 Càlcul de la Corba de Potència -

Una vegada coneguda la funció del Coeficient de Potència CP(l,b) es pot obtenir la expressió de la potència :

$$P(V) = CP(l,b) * 0.5 * d * (V^3) * PI * (D^2)/4$$

i de la Potència Nominal :

$$PN = CPN * 0.5 * d * (VN^3) * PI * (D^2)/4$$

i dividint ambdues :

$$P(V) / PN = (CP(l,b)/CPN) * (V^3/VN^3)$$

aleshores :

$$P(V) = 0 \quad \text{per } V < VC$$

$$P(V) = PN * (CPM/CPN) * (V/VN)^3 * [1 - A * (VM/V - 1)^2 - B * (VM/V - 1)^3] \quad \text{per } VC \leq V \leq VN$$

$$P(V) = PN \quad \text{per } VN < V \leq VD$$

$$P(V) = 0 \quad \text{per } VD < V$$

i desenrotllant la expressió obtinguda :

$$P(V) = PN * [CPM / (CPN * VN^3)] * \\ * [(1-A+B) * V^3 + (2*A-3*B) * VM * V^2 + \\ + (3*B-A) * VM^2 * V - B * VM^3]$$

En el cas simplificat, citat en l'apartat anterior, en que :

$$A = 0 \quad i \quad B = 1 / (VN/VC-1)^3$$

tindriem :

$$P(V) = PN * [CPM / (CPN * VN^3)] * \\ * [(1+B) * V^3 - 3 * B * VM * V^2 + \\ + 3 * B * VM^2 * V - B * VM^3]$$

6.2.1.5 Model quadràtic per a SCEE amb velocitat de rotació lleugerament variable

Els models per a determinar la funció Potència versus la velocitat del vent, citats anteriorment, normalment s'empren per a avaluar les característiques d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica amb velocitat de rotació constant.

A vegades, però, hom disposa de Sistemes Conversors amb velocitat de rotació lleugerament variable. Aleshores aquestes màquines tenen el Coeficient de Potència CP gairebé constant pel damunt de la Velocitat de connexió (VC) fins arribar a la Velocitat Nominal (VN).

S'ha proposat (Justus, C. G. i Mikhail, A., 1978) el següent model :

$$\begin{aligned} P(V) &= 0 && \text{per } V < VC \\ P(V) &= PN * (A + B * (V/VN) + C * (V/VN)^2) && \text{per } VC \leq V < VC + D \\ P(V) &= PN * (V/VN)^3 && \text{per } VC + D < V < VN \\ P(V) &= PN && \text{per } VN \leq V < VD \\ P(V) &= 0 && \text{per } VD < V \end{aligned}$$

on $VC \leq V < VC + d$ és el camp de variació de la velocitat al voltant de la Velocitat de Connexió (VC) en el que el Coeficient de Potència (CP) és menor que el Coeficient de Potència Màxim (CPM).

i on $VC + D < V < VN$ és el camp de variació de velocitats en el que el CP és aproximadament constant i igual al CPM.

Si hom fa

$$d = D / VN \quad i \quad CN = VC / VN$$

i a més a més s'imposen les condicions, que la potència es fa nulla quan la velocitat s'apropa a VC i que la Potència varia proporcionalment al cub de la velocitat entre VC+D i VN :

$$A + B*CN + C*CN^2 = 0$$

$$A + B*(CN+d) + C*(CN+d)^2 = (CN+d)^3$$

$$B + 2*C*(CN+d) = 3*(CN+d)^3$$

les solucions del sistema són :

$$C = (CN+d)^2 * (2*d-CN) / d^2$$

$$B = 3 * (CN+d)^2 - 2 * C * (CN+d)$$

$$A = -B * CN - C * CN^2$$

6.2.2 Potència Mitjana d'un SCEE i Energia anual produïda

Els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica poden ésser considerats com sistemes de sortida no linial. Per tant, per a calcular la Potència Mitjana en un període donat de temps cal integrar la funció :

$$P_m = \text{integral entre } 0 \text{ i infinit de } P(V)*p(V)*dV$$

essent P(V) la funció Potència versus velocitat i p(V) la funció de distribució de velocitats del vent.

La funció de la Potència s'ha expressat en l'apartat 6.2. i la de distribució de velocitats en l'apartat 6.1.

De fet caldria distingir entre la Potència Promitjada a curt termini i a llarg termini (Justus, C.G., Mikhail, A., 1978), però per avaluar el Potencial Eòlic de Catalunya a partir de les dades eòliques del Mapa Popular (velocitats mitjanes de vent estimades a cada municipi) ens interessarà només a llarg termini.

Empraré per tant la distribució de velocitats de vent de Weibull obtinguda a partir de la velocitat del vent a cada municipi i la funció de la potència dels SCEE emprats.

L'energia produïda s'estima integrat la mateixa expressió però havent transformat previament la corba de freqüències de velocitats, en hores/any en que el vent bufa entre dues determinades velocitats i havent despreciat les

hores per desconnexió de la Velocitat de Connexió (VC) i per sobre de la Velocitat de Desconnexió (VD) del Sistema Conversor d'Energia Eòlica escollit.

6.2.3 Factor de Càrrega i Factor de Recuperació

Una manera de mesurar la potència que hom pot extreure del vent emprant un SCEE, és avaluant la seva Potència Mitjana en un període de temps determinat.

és a dir, avaluant :

$$P_m = \text{integral de } P(V) * p(V) * dV$$

$$\text{essent } P(V) = C_P(V) * 0.5 * d * (V^3) * S$$

havent-se estimat a partir d'alguna de les expressions donades en l'apartat 6.2., i amb

$$p(V) = (k/c) * (V/c)^{(k-1)} * \exp(-(V/c)^k)$$

si hom ha emprat la distribució de Weibull.

El Factor de Càrrega és el cocient entre la Potència Promitja (P_m) i la Potència Nominal (P_N) del SCEE :

$$FC = P_m / P_N = \text{integral entre 0 i infinit de FFCC}$$

$$\text{essent } FFCC = C_P(V) * (V^3) * p(V) * dV / (C_{PN} * V_N^3)$$

$$\text{amb } P_N = C_{PN} * 0.5 * d * (V_N^3) * S$$

Una altre manera de mesurar la potència que hom pot extreure és a partir de fer la relació entre la Potència Promitja (P_m) i la Potència d'un SCEE que tingues constant al seu Coeficient de Potència (CPM). Aquesta relació és el Factor de Recuperació.

$$\begin{aligned} FR &= P_m / P_M = FC * P_N / CPM * 0.5 * d * S * \text{integral de } (V^3) * p(V) * dV = \\ &= FC * C_{PN} * 0.5 * d * (V_N^3) * S / CPM * 0.5 * d * S * \langle V^3 \rangle = \\ &= (C_{PN} / CPM) * FC * (V_N^3 / \langle V^3 \rangle) = \\ &= (C_{PN} / CPM) * FC * (V_N^3 / V_m^3) / CI \end{aligned}$$

expressió que relaciona els Factors de Càrrega (FC), de Recuperació (FR) i el Coeficient de Irregularitat (CI).

6.3 METODOLOGIA PER A IMPOSAR LIMITACIONS

Quan hom ha descrit la metodologia per a estimar la distribució de freqüències del vent i per a avaluar les característiques d'un SCEE, hom està en condicions d'avaluar el Potencial Eòlic d'una regió determinada.

Però per poder-ho dur a termini cal fer una elecció: quants SCEE s'ubicaran a la zona en estudi?. Una sola unitat o moltes unitats agrupades en "parcs" o "granjes" ?.

Per fer una elecció d'aquest tipus hom no pot prescindir d'altres factors com els següents :

- * territori : topografia,
utilització del sòl,
cobertura del sòl,
geologia/geofísica,.....
- * població : quantitat,
distribució espacial,
necessitats,
treball,.....
- * aigües : superficials,
subterrànies,
pluviometria,.....
- * recursos : minerals,
energètics clàssics,
energètics renovables,
geotèrmics,.....
- * activitats productives ;
necessitats,
infraestructures,
energia (variacions horàries/
estacionals/anys)
etc.

En el cas dels SCEE la primera limitació i la més important és que no totes les zones d'un territori donat són aptes per a la instal·lació dels esmentats SCEE, ja que hom requereix unes condicions climatològiques i topogràfiques escaients i que es tradueixen en que les zones siguin suficientment ventoses.

Una vegada conegudes les zones eòlicament favorables, cal integrar aquest coneixement amb tots els factors citats més amunt per ajudar a prendre la decisió de quants SCEE posat en una zona donada.

Un seriós intent d'aproximació sistemàtica a la gestió dels recursos energètics en funció dels seus impactes sobre els altres recursos naturals va ser proposat

pel Grup de Recursos de l' I. I. A. S. A., del qual un dels seus principals impulsors és Michel Grenon (Resources Group, IIASA, 1979). és l'anomenat W.E.L.M.M. : "Water, Energy, Land, Materials and Man power".

La metodologia WELMM consisteix en crear dues bases de dades : una referent als Recursos i l'altre sobre la Utilització d'aquests recursos.

La Base de Dades de Recursos conté els principals elements que permeten estimar el patrimoni d'un territori donat. Això ho realitzen de dues formes:

- prendre una regió definida de forma ètnica, geogràfica, política o administrativa i intentar definir tots els seus potencials,
- prendre com punt de partida un jaciment natural donat i definir entorn seu la regió afectada per la seva explotació.

En quant al primer enfoc, que és el que ens interessa aquí, es divideix el territori en malles d'1 km² i, a partir de diferents fonts d'informació (satèl·lit Landsat, mapes generals i temàtica, dades puntuals i específiques, etc.), hom introdueix de 100 a 150 paràmetres en cada malla, representant informació a diferents nivells referent a :

- * aigua : aigües superficials i zones humides,
aigües subterrànies,
pluviometria,....
- * energia : recursos minerals i energètics,
recursos geotèrmics,
recursos eòlics,
recursos solars (ensoleïament),....
- * territori : sols de roca,
sols forestals,
sols erms,
sols agrícoles,
sols alterats artificialment,
sols edificats,
sols recoberts o estabilitzats artificialment,....
- * topografia: altitud mitjana,
tipus de relleu,...
- * geologia/geofísica :
roques superficials,
buidos naturals,
sismicitat,.....
- * població : nombre d'habitants,

nombre d'actius,....

que corresponen als 5 grans apartats que donen nom al WELMM : "Water, Energy, Land, Materials and Man power".

Una base de dades construïda així podria ésser de gran utilitat per avaluar els recursos energètics renovables d'un territori donat, doncs contindria la informació suficient per estimar la biomassa (a partir dels tipus de cultius i boscos i la seva superfície), la solar (a partir d'un tipus d'habitat donat i de la densitat de població), la eòlica (a partir del mapa eòlic i d'uns SCEE donats), etc.

La Base de Dades sobre la utilització dels recursos o base de dades d'instal·lacions energètiques conté informació sobre instal·lacions tipus per aprofitar recursos energètics.

Per cada instal·lació energètica s'hi trobaria, en la base de dades, un conjunt d'informacions qualitatives i quantitatives i de descripcions referents a la construcció i instal·lació de cadascuna d'elles.

Pel que fa referència a la construcció hom agrupa la informació en dos grans apartats:

- característiques generals de la instal·lació,
 - * identificació,
 - * tecnologia emprada,
 - * tamany,
 - * dades econòmiques,....

- necessitats en recursos naturals i humans imprescindibles per a la seva construcció,
 - * aigua,
 - * energia,
 - * territori,
 - * materials,
 - * treball humà,....

Pel que fa referència al funcionament, també es reuneix la informació en dos grups :

- característiques generals :
 - * identificació,
 - * fluxes energètics d'entrada i de sortida,
 - * fluxes d'altres materies,
 - * descripció del funcionament,
 - * vida útil,
 - * eficiència energètica,
 - * disponibilitat,

- * dades econòmiques,
- * impactes,....

- necessitats en recursos naturals i humans imprescindibles pel funcionament de la instal·lació :

- * aigua,
- * energia,
- * territori,
- * materials,
- * treball huma,.....

Evidentment tota aquesta informació va associada a la seva font d'origen i a un index de qualitat i precisió.

Posar en funcionament unes bases de dades d'aquestes característiques és realment molt difícil, com han pogut constatar els membres del Grup de Recursos de la IIASA, doncs per una banda els organismes, tant públics com privats, són molt reticents a donar informació - i la que és pública moltes vegades és inservible, doncs o no es pot verificar la seva certesa o a vegades no es disposa dels valors absoluts als que referir els percentatges.

Una tasca així, és molt costosa en temps, en diners i en persones. Per això que surt del marc del present treball.

A despit de les dificultats esmentades un primer intent de construcció de bases de dades d'aquest tipus es presenta aquí, doncs per una banda es presenten unes bases de dades referents a instal·lacions de SCEE : la de Molins de Vent emprats a Catalunya i la de SCEE més importants desenvolupats i en estat de desenvolupament al món (veure l'anex de llistats de SCEE)

Evidentment la resposta plantejada al començament del present apartat, cal cercar-la en la interacció de molts factors citats aquí, ja que no es pot decidir posar tantes instal·lacions energètiques (o en el nostre cas SCEE) en un territori donat sense avaluar aquells factors).

No obstant aquesta metodologia corre el risc de ser utilitzada per tots aquells que s'han apropiat el dret de prendre decisions, justificant-se en que són els únics que poden interpretar correctament la informació emmagatzemada, en detriment de totes aquelles persones directament implicades en la problemàtica a resoldre i/o afectades per les decisions preses a espatlles seves.

De fet aquesta metodologia d'anàlisi ja s'està utilitzant en forma tecnocràtica, però crec que pot ser emprada de forma descentralitzada i implicant-hi directament les persones que viuen en el territori donat, doncs permetria

disposar de la informació necessària per poder prendre decisions en forma col·lectiva i democràtica en un nivell d'igualtat, sense delegar la presa de decisions fora de la comunitat.

6.4 METODOLOGIA PER A LA UBICACIÓ DE GRUPS DE SISTEMES

CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA

Normalment el condicionament més important per a la ubicació espacial d'un o més SCEE és que l'emplaçament escollit reuneixi unes condicions eòliques i topogràfiques determinades.

Una vegada trobada una zona eòlicament favorable, i sabent més o menys el nombre de Sistemes a instal·lar-hi, només queda per resoldre el problema de com els situem. O més ben dit, quin posicionat en l'espai utilitzarem.

Una forma de resoldre el problema és cercar emplaçaments bons i ubicar-hi, en cada emplaçament, un SCEE que generalment serà de gran potència.

Una altre forma és ubicar en una zona eòlicament favorable un conjunt de Sistemes Conversors, per intentar captar el màxim de la força del vent en la zona.

En aquest darrer cas direm que els SCEE estan agrupats formant un "parc" o una "granja". S'anomenen així si els Sistemes Conversors del grup són relativament propers en l'espai (normalment compresos dins d'una distància de 10 km.).

Més d'un "parc" o "granja" distribuïts espacialment dins d'un territori donat (d'un país, per exemple) formarien una "xarxa" de "parcs" de Sistemes Conversors d'Energia Eòlica.

Si hom escolleix l'agrupament espacial de varis SCEE queden encara per resoldre dos problemes més. El primer, a quina distància estaran separats uns dels altres, per evitar les interferències entre ells. El segon, quina disposició geomètrica adoptarà el conjunt de Sistemes Conversors dins del "parc" o "granja".

És evident que la potència generada per un "parc" de SCEE pot ser més petita que la potència generada pel mateix nombre de SCEE, en les mateixes condicions eòliques, però sense agrupar.

Força estudis teòrics s'han realitzat per investigar la influència d'uns Sistemes Conversors sobre altres quan estan agrupats en "parcs". Així, mentre Reed et al. (1974)

arriben a la conclusió que separant els Sistemes Conversors una distància de 2-3 vegades el seu diàmetre, el Sistema situat a sotavent recuperarà el 90 % de la potència que tindria si rebés el vent sense estar afectat per la interferència dels altres Sistemes.

En canvi, Templin (1974) i Crafoord (1975) conclouen que en un "parc" de SCEE, els que estan en la desena fila (si estan separats 10 vegades el seu diàmetre) recuperen el 80 % de la potència original, però Garate (1977) diu que el 80 % de recuperació es dona en la segona fila i que per minimitzar les interferències cal separar-los unes quinze vegades el seu diàmetre.

També s'han realitzat simulacions a escala, dins de túnels de vent (Bultjes, P. J. H., 1978), trobant-se influències despreciables a partir de 6.5 vegades el diàmetre.

De fet però, el model més usat per avaluar la quantitat d'energia perduda en un "parc" de SCEE és el desenvolupat per Lissaman (1977), per encàrreg del "National Board for Energy Source Development" suec i que ha estat aplicat a Suècia (Faxen, T., 1978) i demostra que la geometria del "parc" de SCEE és fonamental si hom vol maximitzar l'energia a extreure.

En els darrers tres anys molts models matemàtics s'han anat desenvolupant, a partir sobre tot dels ja citats, alguns purament teòrics (Taylor, P. A., 1980) i altres teòric-pràctics a base de mesures realitzades en túnels de vent (Vermeulen, P. E. J., 1980).

Algunes conclusions a les que s'ha arribat són :

- * la velocitat nominal òptima d'un "parc" d'aerogeneradors és més baixa que la d'un SCEE aïllat, essent aquest efecte més important a mesura que el "parc" conté més Sistemes Conversors (Bossanyi, E. A. et al., 1980).
- * "parcs" amb SCEE separats de 5 a 10 vegades el diàmetre del rotor, poden arribar a donar densitats de potència de 2-10 MW. per km² de superfície ocupada (Bultjes, P. J. H. i Milborrow, D. J., 1980).

En quant a la geometria cal saber, per fixar-la, la direcció dels vents predominants, doncs és el factor que ens fixarà la geometria que utilitzarem.

Així, es proposen configuracions geomètriques rectangulars per llocs on hi ha direccions predominants de vent, i configuracions geomètriques triangulars on no hi hagin direccions de vent que predominin.

En l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya" s'hi poden trobar uns gràfics que reflexen la disposició dels SCEE en l'espai, tant si els agrupem en cel·les quadrangulars com triangulars.

En una cel·la elemental quadrada, s'hi poden posar 4 SCEE, un a cada punta. La superfície ocupada serà (considerant la distància de separació K vegades el diàmetre D) :

$$SQE = (K * D) ^ 2$$

En canvi, en una cel·la triangular n'hi caben 3, un en cada vèrtex, i la superfície ocupada és :

$$STE = ((K * D) ^ 2) * (3 ^ 1/2) / 2$$

S'ha confeccionat un programa de càlcul que ens permet determinar el nombre de SCEE que es poden ubicar en una superfície de territori donat, si coneixem el diàmetre del SCEE i la separació entre dos d'ells, expressada com el nombre de diàmetres.

El llistat del Programa i els resultats de la seva execució per K = 10 i diàmetres de 10 i 24 metres, es poden trobar en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

A continuació dono una taula resum dels resultats, podent-se observar que en una configuració triangular sempre s'hi poden ubicar més SCEE, per unitat de superfície, que en una estructura quadrada.

MALLA SUPERFICIE (KM2)	QUADRANGULAR K=10		TRIANGULAR K=10	
	NOMBRE DE SCEE D=12	NOMBRE DE SCEE D=24	NOMBRE DE SCEE D=12	NOMBRE DE SCEE D=24
1	81	25	85	27
2	144	36	175	52
3	225	64	264	68
4	289	81	333	85
5	361	100	451	126
6	441	121	495	126
7	529	144	588	150
8	576	144	687	175
9	676	169	742	203
10	729	196	855	232

CAPITOL 7

LA TECNOLOGIA PER APROFITAR LA FORÇA DEL VENT

En el present apartat hom escolleix dos tipus de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica per fer possible la valoració del Potencial Eòlic de Catalunya. L'elecció es fonamenta amb uns criteris determinats que també es citen en el transcurs de l'exposició.

L'aportació que hom presenta és la de realitzar una síntesi dels diferents factors implicats a l'hora d'escollir un S.C.E.E. i que podem resumir en factors tecnològics, dimensionals, operacionals i d'impacte sobre la trama natural de la terra.

L'opció d'escollir els dos tipus de S.C.E.E., que ací és proposen, em sembla la més realista que es pot fer avui, mentre s'estan desenvolupant altres S.C.E.E., pot-ser més avançats, que ben probablement estarem en condicions de poder construir i fer servir si començem a construir i emprar els que ja avui són disponibles.

7.1 ALGUNS CRITERIS PER A LA TRIA D'UN SISTEMA CONVERTOR D'ENERGIA EÒLICA

Tal com he descrit en els Apartats 2.5. i 3.3. hom pot veure que hi ha una gran varietat de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica.

Per una part aquells que van ser emprats durant la dècada del anys cinquanta i per altre part el que s'estan desenvolupant o s'han desenvolupat en el transcurs de la dècada dels anys setanta.

En quant a l'escala, tamany o dimensió hom pot disposar de S.C.E.E. de petita potència, de potència mitjana i de gran potència, encara que els límits d'aquesta divisió son arbitraris i relatius.

Pel que fa a la tecnologia, hom pot fer l'elecció entre un S.C.E.E. dissenyat i desenvolupat íntegrament al país, encara que aprofitant tot el bagatge d'experiència acumulat més enllà del límits territorials de casa nostra.

També, referent a la tecnologia emprada, hom pot triar un Sistema Conversor tecnològicament "madur" o un Sistema Conversor tecnològicament "immadur", entenent per "madura" aquella tecnologia que per lo menys es mantindrà a uns costos econòmics constants si més no decreixents (Commoner, B., 1980) en el transcurs del temps.

En relació a l'impacte que qualsevol Sistema Conversor d'Energia Eòlica té sobre la trama natural (vivent o no vivent) d'una regió donada, podem escollir sistemes amb impactes diferents, tant des d'un punt de mira clàssic (aigua, energia, territori, materials, mà d'obra) com des d'un punt de mira intrínsec al sistema mateix, és a dir, considerat el S.C.E.E. com una eina, (apropiada per la mà de l'esser humà per a realitzar una tasca específica al servei d'una finalitat) que engloba l'artefacte en si mateix i la forma d'emprar-lo, la persona que l'opera i els codis d'operació,.... (Illich, I., 1974).

Un altre aspecte a tenir en compte, a l'hora de triar un determinat Sistema de Conversió, està implícit en la forma d'Energia que necessitem en l'ús final, i en la disponibilitat, és a dir si cal disposar de l'energia al mateix moment o bé la cobertura de la necessitat energètica pot esperar un determinat període de temps. Aquest darrer factor és el que ens fixa la necessitat de tenir sistemes d'emmagatzament.

7.2 ELECCIÓ DELS SISTEMES CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA A EMPRAR EN L'AVALUACIÓ DEL POTENCIAL EÒLIC DE CATALUNYA

Hom ha elegit dos Sistemes Conversors que seran emprats com de referència en el model que proposo per avaluar el potencial eòlic del país.

El primer pot ser qualificat com de petita potència, mentre que el segon es pot qualificar de potència mitjana.

Ambdós es basen en Sistemes previa i ampliament provats en un país, de dimensions semblants (una mica més gran i una mica menys poblat) al nostre.

En quant al S.C.E.E. de petita potència, és un disseny semblant als amplis i majoritàriament emprats a Dinamarca, país on hi ha 1 molí de vent per cada 10000 persones, totalitzant cap a 500 molins de vent (OVE, 1981; Ministry of Energy, 1981).

Hom pot fer-se una idea de la maduresa de la tecnologia utilitzada en la construcció d'aquests Sistemes Convertors d'Energia Eòlica, quan es publica normalment la producció energètica semanal (i acumulada desde la instal·lació) d'origen eòlic de més d'una cinquantena de Sistemes, compresos entre potències de 4 kW i 55 kW, interconnectats amb la xarxa de distribució elèctrica, i hom observa que s'havien produït 3941339 kWh fins a finals del mes de maig de l'any 1981 (Danske Vindkraft-Vaerker, 1981), i que a Dinamarca hi ha una quarantena de fabricants de S.C.E.E. i que existeix una Associació de plantes eòliques de producció d'energia que té més de 1400 membres (OVE, 1981). Cal dir que aquesta cinquantena de S.C.E.E. citats han estat instal·lats a partir de l'any 1976.

En quant al S.C.E.E. de potència mitjana es basa en el disseny de J. Juul, utilitzat a Gedser on la S.E.A.S. (Sydostsjaellands Elektricitets Aktieselskab) i el D.E.F. (Danske Elvaerker Forening) el van construir l'any 1950 i que va funcionar ininterrompudament, de forma automàtica sense majors dificultats mecàniques entre els anys 1958 i 1967. Posteriorment, entre el mesos de juny de 1978 i abril de 1979 va ser posat en funcionament una altra vegada, en un programa conjunt entre els Departaments d'Energia Danès i Nordamericà, amb 87 sensors, estudiant-se detallament les seves característiques (Lundsager, P.; Frandsen, S.; Christensen, C. J., 1980).

Aquest S.C.E.E. ha servit de base per el desenvolupament del programes eòlics d'alguns països.

Actualment hi ha cinc S.C.E.E. en funcionament (3 als E. U. A., 1 al Canadà, i 1 al Regne Unit) subministrant normalment energia elèctrica, que es basen en el disseny realitzat per J. Juul, si bé amb millores tecnològiques de l'època actual. Aquests artefactes són comercialitzats amb

el nom de MP-200.

El primer (MP1-200) va ésser instal·lat per a subministrar energia elèctrica a la xarxa de la ciutat de Gosnold (Illa de Cuttyhunk, Massachusetts), en el mes de juliol de 1977. El sistema elèctric de l'illa té una potència instal·lada de 465 kW i en aquest sistema va ésser connectat al MP1 de 200 kW de potència. Aquest primer Sistema va ésser un prototipus per avaluar les seves característiques i servir de demostració. A l'any 1980 el Sistema va ser equipat amb un dispositiu elèctric, de ràpida resposta, per governar la velocitat, permetent una taxa de penetració del 100%, mantenint la freqüència en 60 ± 0.5 HZ, fins velocitats de vent de 18 m/s, essent la primera experiència de penetració en un 100% de l'energia eòlica dins d'un sistema elèctric síncron.

El segon i tercer Sistemes (MP2-200) funcionen normalment des de principis de l'any 1981 en les xarxes de la "Nova Scotia Power Corp." i de la "Pacific Power and Light", el primer bombejant aigua per augmentar la capacitat hidroelèctrica de la central de "Wreck Cove" i el segon subministrant energia elèctrica a la xarxa de la "Pacific Power and Light", companyia que endagat un ambiciós programa d'aprofitament de les Energies Renovables. (Rose, M.B., 1981; WTG Energy Systems, 1980; Pacific Power and Light, 1981).

El quart Sistema (MP4-200) està instal·lat a "Little Equinox Mountain", estat de Vermont i el cinquè MP5-200 ha estat comprat per la "Central Electricity Generating Board" anglesa per instal·lar-lo a Carmathen Bay, País de Gal·les (Millar, M.N., 1982).

7.2.1 Sistemes Convertors d'Energia Eòlica de referència

7.2.1.1 Descripció del Sistema Convertor d'Energia Eòlica de Petita Potència

Aquest S.C.E.E. està format per un captador de 3 pales, d'eix horitzontal, amb les pales unides entre elles i unides a l'eix mitjançant tirants.

La posició del captador respecte de la torre és "upwind". Les pales consten de 2 parts, essent la part més perifèrica un dispositiu de frenat centrfug i la part central fixe, treballant aerodinàmicament en règim de pèrdua en augmentar la velocitat del vent.

Les pales van subjectes a l'eix, mitjançant un tronc de piràmide, essent l'angle d'inclinació de l'eix, respecte del pla horitzontal, 7 graus. També les pales, en girar formen un con de 7 graus respecte al pla perpendicular a l'eix de rotació i el cercle que dibuixen té un diàmetre de 12 m.

La llongitud de cada pala es 5.80 m., la corda a la base 0.80 m. i la corda a la punta 0.40 m. La pala és guerdada formant un angle de 27 graus a la base i 1 a la punta.

Per adoptar la velocitat de rotació del captador a la del generador, s'utilitza un multiplicador d'engranatges helicoidals.

El sistema de generació d'energia elèctrica consta de 2 generadors d'inducció trifàsics, de diferent potència nominal per aprofitar millor els vents, tant quan el vent es feble com quan el vent és el nominal.

El sistema d'orientació està format per dues hèlices auxiliars situades a sotavent de la torre, les quals permeten mantenir el captador sempre orientat de cara al vent.

La potència nominal del Sistema i les velocitat característiques (de connexió nominal i de desconnexió) s'escolliran depenent del règim de vents de la zona, permetent l'adaptació òptima del Sistema a la distribució de vent.

El sistema disposa dels controls necessaris per funcionar tant en règim de connexió a una xarxa elèctrica com en règim de funcionament aïllat/autònom.

Un Sistema Conversor d'aquestes característiques ha estat guanyador del concurs convocat per el "Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial" i que està essent desenvolupat per un grup cooperatiu català. (Ecotècnia, 1981).

7.2.1.2 Descripció del Sistema Conversor d'Energia Eòlica de Potència Mitjana

El S.C.E.E. de Potència Mitjana consta d'un captador de 3 pales, d'eix horitzontal.

La posició del captador respecte de la torre de suport és "upwind". Les pales tenen el 17 % de la seva part més perifèrica mòbil (actua de frè), accionada hidràulicament, i el 84 % restant fix.

Les pales van unides rigidament a l'eix del rotor, essent l'angle d'inclinació de l'eix, respecte del pla horitzontal, 8 graus. En girar les pales formen un cercle de 24 m. de diàmetre; encara que propiament la pala té una llargada de 9 m., de la qual 1.5 m. correspon a la part mòbil més exterior. La corda de la pala és d'1.5 m. tant a la base com a la punta, i l'angle de guerxat és de 14 graus.

La velocitat de rotació del rotor, 30 r.p.m. és transformada, mitjançant un multiplicador convencional de 3 etapes, en 1200 r.p.m. que és la velocitat de gir del generador.

El generador pot ser sincron o assíncron, trifàssic.

El mètode d'orientació és actiu, és a dir, que a partir d'un sensor de la direcció del vent hi ha un actuador (servomotor hidràulic) que el fa girar, cercant la direcció del vent, a una velocitat de 0.1 r.p.m.

La potència nominal del Sistema i les velocitats característiques (de connexió, nominal i de desconexió) s'escolliran també en funció del règim de vents de la zona, permetent l'adaptació òptima del Sistema a la distribució del vent.

7.3 JUSTIFICACIÓ DE L'ELECCIÓ

Evidentment l'elecció dels dos Sistemes Convertors d'Energia Eòlica per a l'avaluació del Potencial Eòlic de Catalunya no ha estat una tria a l'atzar, ni arbitrària, sino que, d'acord amb els criteris apuntats en l'apartat 7.1., he procedit seguint una valoració que ha tingut en compte els següents criteris:

- tecnològics,
- dimensionals,
- operacionals,

-impacte sobre la trama natural de la terra.

En quant als aspectes econòmics, si bé és un dels factors a tenir en compte a l'hora de l'elecció juntament amb els altres citats, considerar-lo aïlladament i en forma totalment preponderant per comparar un S.C.E.E. a altres sistemes energètics és entrar de ple en el camp del prejudici polític-ideològic (Dickson, D., 1978). Quan s'estan utilitzant mètodes de producció energètica primant combustibles, subvencionant tecnologies, deixant de considerar aspectes globals (impactes de tota mena), electrificant mig país amb preus polítics (Esquerdo, J.L., 1981; G.J., 1982; Perelló, R., 1982), etc., podem fer nostra la qüestió, que Ms. L. Romani va llençar a l'aire en el transcurs d'una conferència pronunciada a l'Associació d'Enginyers de Catalunya: "qui sap o qui pot dir el preu real de l'energia?" (Romani, L., 1980). Seria objecte d'una tesi completa la valoració econòmica real, amb tots els seus aspectes, d'un S.C.E.E. Una valoració purament econòmica de S.C.E.E. de fins a 9 kW de potència ha estat realitzada en les condicions del nostre país (Cardona, J.L., 1981).

Entre els criteris tecnològics valorats ha estat que el seu disseny, desenvolupament, producció i operació es pogués realitzar per persones del país i dins del mateix país.

La prova de que a casa nostre s'està en capacitat de fer possible la tasca de produir energia mitjançant Sistemes Convertors d'Energia Eòlica la tenim, per una part, en la diversitat de projectes industrials de tota mena que avui s'estan desenvolupant i per l'altre, en el fet de que un grup cooperatiu de tècnics hagi estat guanyador d'un concurs convocat pel "Centro para el desarrollo Tecnológico y Industrial, C.D.T.I." de Madrid per a dissenyar, construir el prototipus i provar un S.C.E.E. del rang de 15 kW de potència (Ministerio Industria y Energia, 1981).

En quant als components estructurals que componen un S.C.E.E. majoritàriament són emprats en altres aplicacions específiques i, d'alguns, inclòs s'ha construït el prototipus. (Cabré, M., 1981).

En quant a les dimensions, s'ha valorat que els Sistemes poguessin cobrir les necessitats energètiques humanes, de forma comunitària. Si bé tot i estant d'acord amb la coneguda frase de E.F. Schumacher (1973): "Small is beautiful", cal ser conscient de fins a quin punt pot créixer lo petit sense deixar d'ésser bonic i fins a quin punt pot fer-se petit lo gran sense deixar d'ésser eficient.

L'elecció realitzada no suposa pas rebutjar Sistemes Convertors d'Energia Eòlica més grans, com el de Tvind per exemple, ja que la dimensió, el tamany estan relacionats per una banda amb les necessitats i per l'altra amb l'impacte sobre la trama natural de la terra que el S.C.E.E. pugui tenir.

Pel que fa a l'experiència operacional, l'elecció ha estat clara, doncs avui aquests dos tipus de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica són el més provats i els que tenen resultats més satisfactoris; tal com s'ha explicat en l'apartat 7.2.

En quant a l'impacte que sobre la trama natural de la terra té un S.C.E.E. cal distingir entre l'impacte del Sistema Convertor d'Energia Eòlica en si mateix (és a dir, els requeriments materials necessaris en la construcció, durant el seu funcionament i el seu desmantel·lament al final de la seva vida útil) i l'impacte que el seu ús implica en les relacions socials de les persones, ja que tota tecnologia, i per descomptat l'emprada en l'aprofitament del recursos energètics, indueix en qualsevulla societat organitzada un conjunt de conceptes, de models, de relacions i de poders que configuren la manera de viure de les persones que la formen.

Si bé fins fa poc no es tenia en compte el criteri de l'impacte (i desgraciadament a molts llocs encare no s'hi té) avui hi ha eines per valorar-lo, com és l'anomenat "Technology Assessment" als països anglosaxons i que al podríem anomenar "Valoració Tecnològica" (N.A.T.A., 1979-1982) i també l'anàlisi W.E.L.M.M. "Water, Energy, Land, Materials and Man power", ja citat en l'apartat 6.3., del qual en l'apartat 7.4. s'en proposen les línies fonamentals per a desenvolupar la metodologia d'aplicació pel que fa a l'aspecte energètic i que podria ésser objecte per si sol d'una tesi doctoral, ampliant-lo en l'aspecte de materials i feina (en les diverses fases de construcció, operació, desmantel·lament), així com en l'aspecte de l'ús de la terra durant l'operació del Sistemes Convertors d'Energia Eòlica.

També la major part dels impactes de l'ús de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica al nivell d'un futur no llunyà poden ser valorats de forma significativa, com es veurà en l'apartat 7.5.

En quant a l'impacte que un S.C.E.E. implica en les relacions social de les persones, la seva gran avantatge està en el fet de que, en ser Sistemes per a l'aprofitament d'una font d'energia que és, en forma natural, descentralitzada,

pot fer més planer el camí cap a l'autonomia de les persones i de les comunitats. No obstant també un S.C.E.E. pot ser utilitzat en forma contrària, és a dir, reforçant la tendència de la societat actual cap a un control centralitzat de les energies renovables per part de qualsevol mena de tecno-burocràcia.

7.4 BALANC ENERGÈTIC D'UN SISTEMA CONVERSOR D'ENERGIA EÒLICA

L'anàlisi energètic que s'exposa a continuació, fora necessari de realitzar per a qualsevol sistema de producció d'energia que hom es proposi fer servir.

Els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica que s'empren aquí per avaluar el Potencial Eòlic de Catalunya, són Sistemes per a la producció d'energia elèctrica.

Per a suministrar energia elèctrica a partir d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica hom requereix almenys dos tipus de despeses d'energia, cadascun compost per un seguit de conceptes específics; com es descriu a continuació.

7.4.1 Energia Directe i Indirecte associada amb el disseny i la construcció del sistema (EDIC)

En aquest concepte hom hi engloba els conceptes específics següents:

EDIC-P: equivalents energètics de les activitats de preconstrucció, incloent les activitats d'enginyeria i managment,

EDIC-E: equivalent energètic del elements emprats en la construcció del Sistema,

EDIC-C: energia emprada durant la construcció del Sistema.

7.4.2 Energia Associada amb el Funcionament i Manteniment del sistema (EAFM)

Aquí hom hi engloba els conceptes següents:

- EAFM-O: energia necessària per a operar els sistemes de control, motors, il.luminació, etc. necessàris en tots S.C.E.E.,
- EAFM-C: equivalent energètic dels combustibles emprats per poder disposar de lubricants, fluids pels elements de control, vehicles, etc.,
- EAFM-R: energia associada als subministres i reemplaçament d'elements del Sistema.

7.4.3 METODOLOGIA

L'anàlisi energètic de Sistemes Convertors d'Energia Eòlica s'ha desenvolupat als E.U.A. (Devine, W.D., 1977), però no més s'ha aplicat a sistemes Convertors de gran potència (superior als 1000 kW).

Evidentment els resultats obtinguts allà no són aplicables als dos Sistemes Convertors d'Energia Eòlica que he escollit, però aquí m'interesa únicament plantejar la metodologia d'anàlisi, doncs crec que és aplicable en el moment d'elegir un o altre sistema convertor, com un element més de decisió juntament amb altres criteris.

Suposem les següents variables:

EE : producció d'energia elèctrica del S.C.E.E.,
EES: energia elèctrica subministrada,
EESN: energia elèctrica subministrada neta,
P: percentatge de pèrdues per transmissió,
EPT: energia primària total necessària,
ETN: energia tèrmica necessària,
EEN: energia primària equivalent a l'energia elèctrica necessària,
EEC: energia elèctrica consumida pel S.C.E.E.,
essent:

$$EES = EE - P * EE$$

$$EESN = EES - EEC$$

$$EPT = ETN + EEN$$

La metodologia seria calcular per un S.C.E.E. concret, d'una part, l'energia primària total necessària a partir del requeriments energètics de cadascun dels components de EDIC, de EAFM. Per l'altra part caldria calcular la producció energètica en el transcurs de la seva vida útil. A partir d'aquests conceptes hom pot establir fins a quin punt un S.C.E.E. és un productor net d'energia i en quant temps produeix l'energia que ha estat necessari gastar per fer-lo possible.

A partir de cadascun dels conceptes establerts hom defineix les següents relacions:

- * Quantitat d'energia elèctrica subministrada pel S.C.E.E. per cada unitat d'energia fòssil gastada per a fer-lo possible (suposant que l'energia elèctrica gastada ha estat produïda en tèrmiques de combustibles fòssils):

$$R1 = EES / EPT$$

- * Quantitat d'energia elèctrica subministrada pel S.C.E.E. per cada unitat d'energia elèctrica que hagués estat produïda si tota l'energia primària, necessària per fer possible el S.C.E.E., hagués estat transformada en elèctrica pels mètodes clàssics:

$$R2 = EES / \text{equivalent elèctric de EPT}$$

- * Quantitat neta d'energia elèctrica subministrada pel S.C.E.E. per cada unitat d'energia tèrmica necessària per fer possible el Sistema:

$$R3 = EESN / ETN$$

- * Quantitat d'energia primària total necessària per unitat d'energia elèctrica subministrada pel S.C.E.E.:

$$R4 = EPT / EES$$

- * Quantitat d'energia tèrmica necessària per unitat d'energia elèctrica neta subministrada pel S.C.E.E.:

$$R5 = ETN / EESN$$

Aquest tipus d'anàlisi es vàlid per aquelles aplicacions de l'energia eòlica en les que la producció d'energia obtinguda a través d'un S.C.E.E., és emprada en desplaçar combustibles fòssils, és a dir, augmentat la

capacitat de generació d'un sistema elèctric estalviant els combustibles clàssics.

7.5 L'IMPACTE DE LA UTILITZACIÓ DELS SISTEMES CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA

Ja s'ha dit que l'impacte dels S.C.E.E. pot ser avaluat de forma significativa.

Considerant només el Convertidor és evident, com es dedueix de l'exposició que segueix, l'impacte en la major part dels camps seria considerablement més petit que el dels sistemes de producció d'energia convencionals, comparant sobre la base d'una igual producció energètica. Els impactes que existeixen són de naturalesa ben diferents que els riscos associats als sistemes convencionals (que s'ens ofereixen com alternatives a la situació actual): la pol·lució i la radioactivitat. L'impacte dels S.C.E.E. no està associat amb períodes de latència llargs ni amb petites probabilitats d'accidents de greus conseqüències.

Es veritat que encara no es disposa d'una gran experiència pel que fa a S.C.E.E. grans. Això té especial importància amb el risc d'un accident, en el cas de falles associades amb prototipus de S.C.E.E. A despit d'això, les conseqüències d'un accident d'aquest tipus serien modestes i no tindrien efectes a llarg termini.

Respecte a l'impacte dels sistemes de transmissió i d'emmagatzament, associats amb l'ús més o menys generalitzat de S.C.E.E., és un impacte comú a tots els sistemes energètics, però és proporcional a la quantitat d'emmagatzament i de transport necessari al sistema.

Els Sistemes Convertors d'Energia Eòlica segurament necessitarien una capacitat de transmissió lleugerament superior als convencionals, però només en el cas d'una massiva penetració dels S.C.E.E. hom necessitaria una substancial quantitat de capacitat d'emmagatzament, però en molts llocs aquesta capacitat ja existeix si es disposa de sistemes de producció hidroelèctrics i/o nuclears. En aquest cas cap mena d'impacte nou s'introduiria (Sorensen, B., 1980).

Per valorar l'impacte d'un sistema de producció d'energia cal tenir en compte dos aspectes: el tipus d'ús i

el sistema de recolrament o substitució. El tipus d'utilització és important ja que determina quins mètodes alternatius tenim i també determina quin sistema de recolrament necessitem. Així, en les condicions actuals, en que cal subministrar energia en qualsevol moment en que hi hagi demanda, calen dispositius d'emmagatzament i sistemes en "back-up" que permetin la regulació del sistema. Per tant la valoració dels impactes te que incloure la fabricació, l'operació i manteniment dels utilitatges i el desmantelament dels sistemes de conversió, emmagatzament i transmissió d'energia tal com es requereix en les aplicacions actuals.

Aquest tipus de valoració pot ser comú a tots els sistemes energètics.

A continuació faig una llista dels possibles impactes dels Sistemes Convertors d'Energia Eòlica:

- seguretat: poden donarse situacions de posar en perill vides humanes (accidents durant construcció i manteniment, accidents deguts a avaries en els seus components, etc.).
- salut: els efectes sobre la salut de les persones es poden donar durant la construcció (fibres i resines en construcció de pales, pols i substancies químiques en la construcció de torres de formigó, durant la manufactura de l'acer, etc.).
- soroll: els S.C.E.E. poden produir sorolls deguts a la interacció entre les parts mòvils i les parts fixes del sistema, sorolls en els sistemes mecànics de transmissió i de conversió. Poden ser audibles (infrasons com els produïts pel MOD-1 americà; en canvi a Tvind que te la mateixa potència no s'en produeixen).
- interferències: els S.C.E.E. poden distorsionar les senyals de telecomunicació, degut tant a la reflexió sobre la seva estructura, com a la modulació produïda per les propietats elèctriques de les parts mòvils.
- condicions de treball: les condicions de treball pels operadors i encarregats del manteniment són bones.
- visual: l'impacte visual pot ser degut al S.C.E.E., a les línies de transmissió i als sistemes d'emmagatzament. En quant al propi Sistema Convertor, pot tenir un impacte visual important quan s'utilitza formant "parcs" o "granjes" de S.C.E.E. A la R.F.A., els projectes que proposen la instal·lació de 4000 Growians agrupats en 40 parcs, tindrien un impacte relativament petit en comparació amb l'impacte actual dels 17000 km.

de línies de transmissió d'elevat voltatge, als estats del Nord d'Alemanya, que representen l'existència de 50000 torres de suport en aquella regió. Quan els S.C.E.E. s'utilitzin aïllats els uns dels altres, l'impacte visual seria mínim, sobretot si es cuida el disseny.

- microclimàtic: l'efecte que la captació de l'energia continguda en el flux d'aire tindria, és la disminució de la velocitat del flux a sotavent del S.C.E.E., que pot donar lloc a canvis en la temperatura, la humitat, etc., encara que en mesures realitzades en aparells actuals en funcionament no s'ha observat cap canvi significatiu.
- ecosistema: els efectes sobre l'ecosistema poden anar des de l'extracció dels materials emprats en la seva construcció (els S.C.E.E. són poc intensius en materials comparats amb altres sistemes energètics), fins a la operació mateixa del sistema (que pot representar un risc per ocells i insectes voladors) i dels sistemes de transport i d'emmagatzament (sobretot si s'usen embassaments amb tot l'estol d'efectes: sedimentació, modificació dels aquífers, evaporació, perill de ruptura de la contenció, pèrdua de terres fèrtils, reubicació de persones, etc.). També, segons el seu emplaçament, pot ser necessari l'obertura de noves vies d'accés, que poden tenir un cert impacte sobre el medi físic.
- climatològic: hom podria imaginar que la utilització massiva de l'energia eòlica pogués afectar la climatologia global del planeta terra, ja que la formació i la dissipació de l'energia eòlica es una part de lo que hem nomenat "cicle de l'energia solar", menat per les forces associades amb l'escalfament de l'atmosfera i el consegüent transport d'energia. La part de l'energia solar necessària per a mantenir la circulació general de l'atmosfera és, en promig, 1.2×10^{15} W., o sia el 0.7 % de la radiació solar a les capes altes de l'atmosfera. Aquesta quantitat es igual a la quantitat d'energia cinètica continguda en els moviments de l'aire, perduda per fricció. Evidentment, en una situació d'equilibri, una quantitat igual d'energia cinètica es torna a crear (convertint en moviment, l'energia potencial i l'energia interna, com resultat de les diferències de pressió i de temperatura dins de l'atmosfera). L'extracció mitjançant S.C.E.E. pot representar un increment de les pèrdues per fricció, d'energia cinètica, però com que el consum energètic total de la humanitat es molt més petit que l'esmentada quantitat, caldria un ús molt massiu de l'energia eòlica per afectar-la. No obstant es podria reestablir l'equilibri, però calen més estudis teòrics amb models per estimar els possibles efectes.

CAPITOL 8

ELABORACIÓ I APLICACIÓ DEL MODEL

En aquest capítol es descriuen les línies mestres de com s'ha procedit a elaborar el Model per valorar el Potencial Eòlic de Catalunya, les seves Comarques i cadascun dels seus Municipis.

També es detalla la forma com s'ha procedit a aplicar-lo a cadascuna de les entitats territorials del país.

Tot això s'ha reflexat en la elaboració d'una col·lecció de Programes d'ordinador, escrits en llenguatge BASIC, però que utilitzen algunes subrutines escrites en FORTRAN i altres facilitats del Sistema VAX-11, que és l'equip informàtic del Centre de Càlcul de la Universitat Autònoma de Barcelona.

En síntesi aquests programes de càlcul permeten :

- * calcular la funció de densitat de probabilitat de la velocitat del vent en un lloc donat,
- * calcular les característiques d'un Sistema Conversor d'Energia Eòlica, fonamentalment la seva funció de potència,
- * calcular el temps de funcionament en cada règim específic del Sistema Conversor, així com l'energia produïda en cadascun d'ells,
- * calcular el nombre de SCEE que es poden ubicar en una superfície donada, suposant una determinada estructura geomètrica de disposició i una separació entre cada Sistema Conversor fixada,
- * calcular el potencial eòlic de tots i cadascun dels Municipis de Catalunya, les seves Comarques i del País sencer.

8.1 BASES DE PARTENÇA

En els capítols 6 i 7 s'han desenvolupat les metodologies de càlcul a aplicar en el Model per a la evaluació del Potencial Eòlic de Catalunya i s'han triat uns determinats Sistemes Conversors d'Energia Eòlica.

Hom podia haver partit de les dades eòliques (velocitats i direccions del vent) registrades per el "Instituto Nacional de Meteorologia", o registrades per altres institucions.

He rebutjat el seu ús, per varies raons. La primera és que em mereixen una gran desconfiança, motivada per conèixer quins aparells s'utilitzen, com els empen i quina metodologia fan servir. Ja s'ha mencionat tota aquesta problemàtica en el Capítol 5.

Un segon motiu ha estat el fet que actualment i en el marc del treball "Estudis previs i de definició dels equips necessaris per a la confecció del Mapa Eòlic de Catalunya" (Puig, J. i Meseguer, C., 1982), ja s'està realitzant la tasca de valoració de les dades eòliques disponibles avui a Catalunya.

En tercer lloc, perquè personalment he considerat més suggestiu treballar amb unes dades, que podien ser considerades com el reflex de la cultura eòlica que avui tenim a Catalunya. Són les dades obtingudes el 1'Enquesta als Municipis Catalans (Puig, J. i Meseguer, C., 1982) realitzada dins el marc del treball citat abans.

Soc conscient que aquestes dades poden distorsionar la realitat, però crec que no la distorsionen pas més que si hom hagués treballat amb les dades mesurades amb els aparells de mesura i registre avui disponibles.

Una de les preguntes que es feien el 1'Enquesta era "quant vent feia en el Municipi". Qui responia podia triar entre les cinc opcions següents :

5. Molt vent
4. Bastant vent
3. Poc vent
2. Molt poc vent
1. No en fa gens

Com es pot veure, cada resposta tenia associat un codi numèric, de l'1 al 5. Es pot observar que el Codi mig correspon a "Poc vent", triat expressament per evitar sobreestimacions massa optimistes.

Els resultats de l'Enquesta estan detallats en la Taula que es dona a continuació, en la que hom té el Codi de Vent Mig en la Comarca, corresponent als Municipis que efectivament han contestat l'Enquesta i el Codi de Vent que s'ha utilitzat pels Municipis que no l'han contestada, el qual és sempre inferior al Codi Mig de Vent Comarcal corresponent. A més a més hi ha informació referent al nombre de municipis enquestats, de respostes rebudes i de respostes vàlides.

TAULA DE CODIS DE VENT COMARCALS

Comarca	CVEN	CVE	NM	NR	PER%	RV
Baix Llobregat	3.25	2.5	27	15	55.5	14
Barcelonès	1.75	1.0	7	4	57.1	2
Maresme	3.38	3.0	30	14	46.7	13
Vallès Occid.	3.28	2.5	23	12	52.2	12
Vallès Orien.	3.08	2.5	41	20	48.8	20
Alt Empordà	4.55	4.0	68	40	58.8	40
Baix Empordà	4.17	3.5	36	24	66.7	23
Garrotxa	3.04	2.5	21	14	66.7	14
Gironès	3.71	3.0	36	19	52.8	17
Selva	3.29	2.5	25	14	56.0	14
Alt Camp	4.33	4.0	23	12	52.2	12
Alt Penedès	3.71	3.0	25	14	56.0	14
Baix Penedès	4.00	3.5	12	7	58.3	7
Garraf	4.00	3.5	8	2	25.0	2
Tarragonès	3.42	3.0	22	13	59.1	13
Baix Camp	4.50	4.0	27	20	74.1	20
Conca Barberà	3.79	3.0	21	12	57.1	12
Priorat	3.74	3.0	24	17	70.8	17
Ribera d'Ebre	4.00	3.5	14	10	71.4	10
Baix Ebre	4.83	4.0	13	11	84.6	11
Montsià	4.34	3.5	11	8	72.7	8
Terra Alta	4.38	3.5	12	8	66.7	8
Cerdanya	3.20	2.5	16	5	31.3	5
Osona	2.91	2.5	47	23	48.9	23
Ripollès	3.15	3.1	24	13	54.2	13
Anoia	3.59	3.0	34	17	50.0	17
Bages	3.38	3.0	35	20	57.1	19
Berguedà	3.20	2.5	30	5	16.7	5
Solsonès	3.64	3.0	14	11	78.6	11
Garrigues	3.59	3.0	25	17	68.0	17
Noguera	3.50	3.0	35	17	48.6	17
Segarra	3.71	3.0	21	7	33.3	7
Segrià	3.54	3.0	42	28	66.7	28
Urgell	3.50	3.0	26	17	65.4	16
Alt Urgell	3.67	3.0	19	3	15.8	3
Pallars Jussà	3.40	3.0	17	10	58.8	10
Pallars Sobirà	3.58	3.0	15	6	40.0	6
Vall d'Aràn	3.50	3.0	9	4	44.4	4

CVEN : codi vent segons l'enquesta

CVE : codi vent suposat pels municipis que no

han contestat l'enquesta
 NM : nombre municipis enquestats
 NR : nombre municipis que han contestat
 PER% : percentatge de respostes sobre total
 comarcal
 RV : nombre respostes vàlides

Tal com ja s'ha dit en l'apartat 6.1.3., la distribució de Weibull que hom ha escollit, no té en compte la freqüència de calmes, és a dir el temps durant el qual es pot considerar que el vent no bufa. Per fer més real la estimació de la distribució de freqüències de la velocitat del vent, calculada a partir del Codi de Vent corresponent, hom ha corregit les distribucions obtingudes, decremantant de l'àrea total, compresa entre la corba i l'eix d'abscises, un percentatge determinat de calmes.

He escullit un 40 % de calmes per a tots els municipis per considerar-ho una xifra raonable, ja que l'única informació que es disposa és a partir de les dades mesurades. Un treball realitzat (Meseguer, C., 1978) sobre les dades disponibles al I.N.M., dona la següent llista de percentatges de calma, per diverses estacions de mesura :

TAULA DE CALMES

Lleida	36 %
Ascó	40 %
Roquetes	8 %
Vandellós	7 %
Tarragona	15 %
Reus	11 %
Pobla Mafumet	10 %
C. T. Cubelles	43 %
Aeroport Prat	14 %
Travessera	25 %
St. Cugat	44 %
Badalona	24 %
Granollers	1 %
St. Lorenç	4 %
Turó de l'Home	5 %
Vic	20 %
Aeroport Girona	43 %
Girona	43 %
Cap Begur	11 %
Figueres	30 %
La Molina	17 %
Seu d'Urgell	31 %

ELABORACIÓ I APLICACIÓ DEL MODEL

El fet d'escollir una xifra elevada, ha estat per a introduir un element més en el model i que aquest element fos conservador.

A més a més del Codi de Vent i del percentatge de Calmes, com que la base espacial triada va ser la municipal, he utilitzat la Superfície dels Municipis de Catalunya.

Amb aquestes dades i les corresponents a la codificació de la Regió, Comarca i municipi, he configurat una Base de dades, que té la estructura següent :

Codi de Regió.....	1	posició (sencera)
Codi de Comarca.....	2	posicions (senceres)
Codi de Municipi.....	2	posicions (senceres)
Codi de Vent.....	2	posicions (un decimal)
Superfície.....	5	posicions (dos decimals)
Percentatge de Calmes.....	2	posicions (sencera)
Nom del Municipi.....		alfanumèrica

El llistat corresponent a aquesta Base de Dades es pot consultar en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

8.2 ESQUEMATITZACIÓ DEL MODEL

El present model, l'esquema del qual es dona a continuació, parteix de la coneixença d'unes dades de vent determinades (en el nostre cas el Codi Municipal de Vent), de la utilització d'uns Sistemes Convertors d'Energia Eòlica donats (un de 12 metres de diàmetre i l'altre de 24, descrits en el Capítol 7) i de la imposició d'unes limitacions pel que fa a la capacitat d'un territori de contenir un determinat nombre de SCEE.

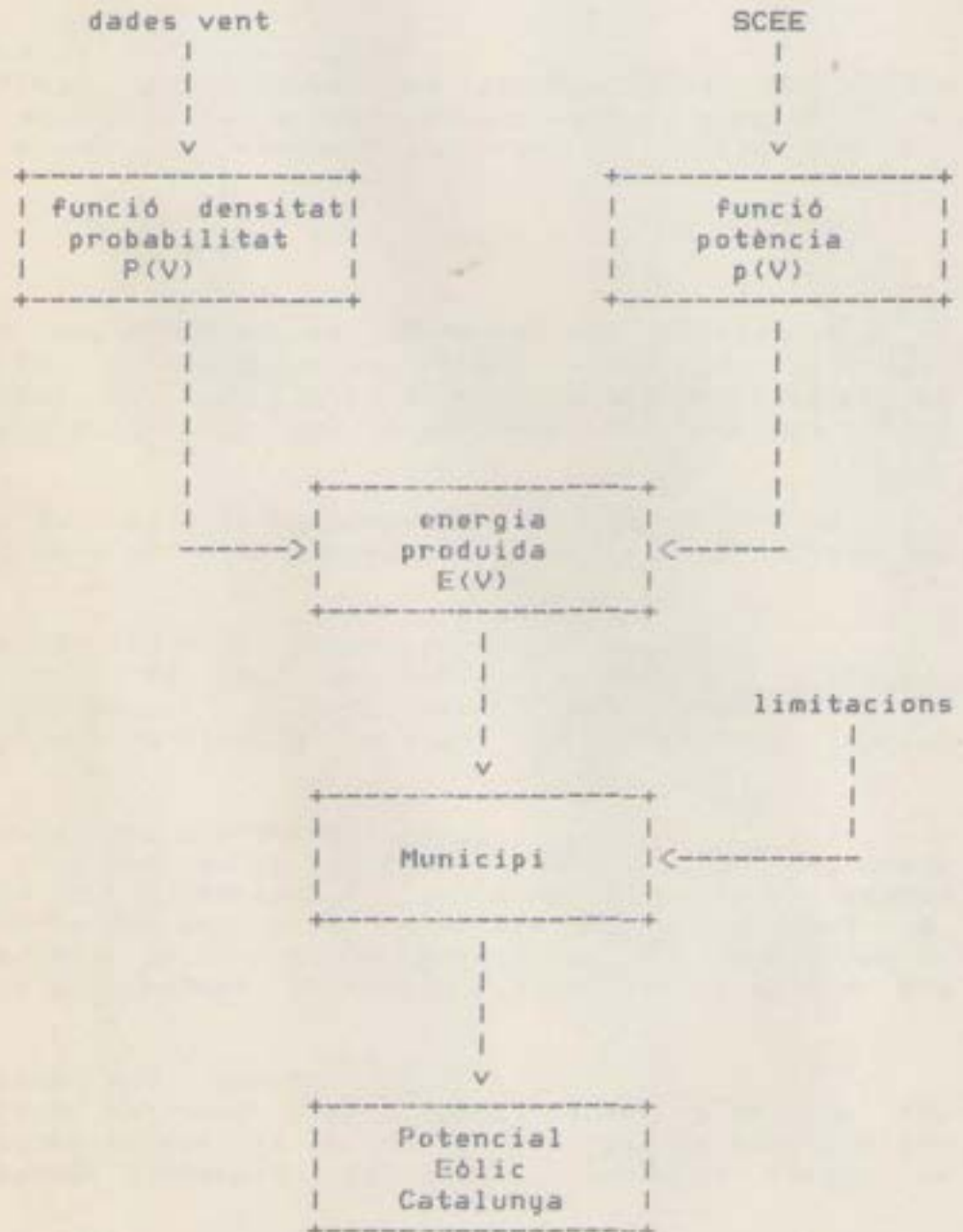
A partir del Codi Municipal de Vent s'estimarà la Funció de Densitat de Probabilitat de la velocitat del vent en el Municipi en qüestió.

En base als SCEE escollits es calcularà les seves respectives Funcions de Potència, adaptades a la distribució de vent corresponent al Municipi on s'ubicarien els Sistemes

Conversors.

Conegudes ambdues Funcions, es determinarà el temps de funcionament dels SCEE, en el règim de vent determinat i l'energia produïda pels mateixos.

Les limitacions que m'imposaré feran referència a la superfície a utilitzar per ubicar-hi els Sistemes Conversors, la distància de separació entre ells i la disposició que adoptaran dins de la superfície utilitzada.



8.3 ESTIMACIÓ DE LA DENSITAT DE PROBABILITAT
DE LA VELOCITAT DEL VENT PER CADA MUNICIPI

Evidentment l'elecció del tipus de dades, a partir de les quals es calcularà la funció de densitat de probabilitat de la velocitat del vent, condiciona el mètode a aplicar, per avaluar l'esmentada funció.

De tots els mètodes de càlcul existents avui en dia, que permeten trobar la funció de Weibull per unes condicions de vent donades, i que han estat exposats en el Capítol 6, concretament en l'apartat 6.1.3., s'ha escollit el mètode de càlcul "a partir de la tendència del Factor de Forma versus la Velocitat Mitjana del Vent".

El motiu de la elecció ha estat, el voler fer el càlcul partint, única i exclusivament, del coneixement de l'anomenat Codi de Vent Municipal, i que en l'apartat anterior es diu com s'ha confeccionat.

Aleshores s'ha identificat el Codi de Vent Municipal amb una hipotètica Velocitat Mitjana del Vent en el Municipi.

A continuació s'ha fet la hipòtesi de que els llocs més ventosos del Municipi, és a dir els eòlicament més favorables per a instal·lar-hi SCEE, tenen una Velocitat Mitjana del Vent dos punts per sobre del seu respectiu Codi de Vent.

$$V_m = CV + 2 \quad [m/s]$$

és una Hipòtesi raonable si es té en compte que els llocs més afavorits per a instal·lar-hi algun SCEE, estan en llocs enlairats, on les condicions topogràfiques produeixen una acceleració del flux eòlic.

Amb aquest supòsit, es procedeix a calcular els Factors de Forma (k) i d'Escala (c) de Weibull a 10 metres d'alçada, suposant coneguda la velocitat mitjana a 10 metres. El mètode de càlcul està descrit amb detall en l'apartat 6.1.3.5.

A partir d'ací estem en condicions d'estimar la velocitat mitjana del vent a diferents alçades.

Com que s'han escollit dos Sistemes Convertors d'Energia Eòlica que tenen l'eix del rotor a 12 i 24 metres d'alçada respectivament, aquestes seran les altures a les quals es calcularà les velocitats mitjanes del vent.

El mètode de càlcul està descrit detalladament en l'apartat 6.1.3.6.

També es trobaran les velocitats que més contribueixen en la distribució, en la velocitat mitjana i en l'energia mitjana (apartat 6.1.2.4.).

Endemés, uns vegada calculats tots aquests paràmetres, ja coneixem la funció de densitat de probabilitat de la velocitat del vent, altrament dita de Weibull, a les alçades de 12 i 24 m.

El Programa que realitza tots aquests càlculs, és l'anomenat WEIPOT. Calcula les distribucions de Weibull a 12 m. i a 24 m. d'alçada, donant el llistat dels resultats, per cada Codi Municipal de Vent entre 1 i 5, incrementant de 0.5 en 0.5. Aquest llistat dona es coordenades de cada punt de les dues funcions $p(V)$ i a més a més dibuixa les dues distribucions.

Per el càlcul de la funció GAMMA, necessària per trobar els paràmetres de Weibull, he utilitzat el paquet de programes matemàtics SSP-Scientific Subroutine Package (Digital E. C., 1980a). Per dibuixar les funcions he emprat el paquet anomenat VPLOTT (Gooley, M., 1981).

8.4 ESTIMACIÓ DE LA FUNCIÓ DE POTÈNCIA DELS SISTEMES

CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA

Tal com s'ha expressat en el Capítol 7, s'han escollit dos Sistemes Convertors, un de petita potència i un de potència mitjana. En l'apartat 7.2.1. hom pot trobar la descripció més detallada d'ambdós.

Existeixen diverses metodologies per a estimar teòricament la Funció de Potència d'un Sistema Convertor d'Energia Eòlica, tal com he expressat en l'apartat 6.2.1., depenent fonamentalment del SCEE escollit.

Com que els dos Sistemes Convertors escollits originàriament funcionen amb generadors d'inducció assíncrons, els quals permeten girar a velocitats de rotació lleugerament variables, he cregut més adient triar el mètode descrit en l'apartat 6.2.1.5. que és el que més s'acosta al règim de funcionament del tipus de màquines proposades.

No obstant això no seria impediment per si en comptes d'emprar màquines assíncrones, utilitzéssim màquines síncrones de velocitat de rotació fixe aleshores el model convenientment modificat seria igualment vàlid.

Per tant s'ha partit de dos SCEE de 12 i 24 m. de diàmetre, amb uns Coeficients de Potència respectius de 0.43 i 0.35 (corresponen, el primer al CP màxim de disseny de la màquina que s'està desenvolupant al nostre país, i el segon al CP màxim mesurat experimentalment en el molí de Gedser).

Les demés característiques de funcionament dels dos Sistemes han estat fixades en funció del règim de velocitats de vent del Municipi.

La Velocitat Nominal, en funció de la Velocitat Mitjana, essent la relació en la majoria de SCEE de l'ordre de dues vegades :

$$VN \text{ aproximadament igual a } 2 * Vm$$

La Velocitat de Connexió està compresa entre 0.4 i 0.5 vegades la Velocitat Nominal (Justus, C. G., 1978).

La Velocitat de Desconnexió compresa entre 1.0 i 2.5 vegades la Velocitat Nominal (Justus, C. G., 1978).

En el model que proposo, a més de verificar les relacions citades, fixo que la Velocitat mínima de Connexió sigui 3.5 m/s pel SCEE de petita potència i la màxima de 5 m/s. En quant al de mitjana potència els valors fixats són de 5 i 7 respectivament.

Pel que fa a la Velocitat de Desconnexió, la fixo com a màxim en 20 m/s per ambdós Sistemes.

Tot això ve imposat per voler aprofitar els règims de vent estimats a partir dels Codis Municipals de Vent.

Una vegada determinades les característiques anteriors, cal cercar la corba de potència del SCEE. Això es realitza de la forma com s'ha descrit en l'apartat 6.2.1.5.

El programa que realitza tots aquests càlculs és l'anomenat WEIPOT, el qual, per cada Codi de Vent, determina les característiques de cada SCEE, llistant-les i dibuixant les corbes de potència respectives.

Després de determinar les coordenades de les esmentades funcions s'utilitza el paquet de programes anomenat VPLOT (Gooley, M., 1981) per dibuixar-les.

El llistat del Programa i els resultats de la seva execució per cada Codi Municipal de Vent, estan inclosos en l'anex Informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

8.5 DETERMINACIÓ DEL TEMPS DE FUNCIONAMENT I DE L'ENERGIA PRODUÏDA

Una vegada obtingudes la funció de densitat de probabilitat de la velocitat del vent i la funció de potència del SCEE adaptat a aquella, s'ha procedit a calcular els temps de funcionament (és a dir les àrees compreses entre la funció de Weibull i l'eix d'abscises per una part i compreses entre la Velocitat de Connexió -VC- i de Desconnexió -VD- del SCEE per l'altre), els temps d'atur forçat del Sistema Conversor (quan la velocitat del vent és inferior a VC i superior a VD), i els períodes de calma.

Tot això s'ha realitzat integrant la funció en intervals, de forma numèrica. El desenvolupament d'aquest càlcul es pot veure en el llistat del Programa PECAT - Potencial Eòlic de Catalunya - inclòs en l'anex informàtic del mateix nom.

Al mateix temps que s'integrava la funció de Weibull i en els règims de funcionament dels dos Sistemes Conversors d'Energia Eòlica escollits (entre VC i VN, i entre VN i VD), es calculava la potència corresponent a cada interval (a partir de la funció de potència), amb lo que, coneixent temps i potència hom pot obtenir l'energia en cada interval. Acumulant aquests valors, s'obté l'energia produïda pels SCEE escollits, en el règim de vent fixat per la funció de densitat de probabilitat de la velocitat del vent, estimada a partir del Codi Municipal de Vent.

Tots aquests càlculs estan realitzats en el Programa citat, PECAT - Potencial Eòlic de Catalunya -.

8.6 DETERMINACIÓ DEL NOMBRE DE SISTEMES CONVERSORS D'ENERGIA EÒLICA A UBICAR EN EL MUNICIPI

Per a calcular el nombre de SCEE a ubicar en una zona determinada s'ha utilitzat la metodologia descrita en l'apartat 6.4., escollint-se com estructura bàsica la malla triangular, amb un SCEE en cada vèrtex estant separats 10 vegades el seu diàmetre.

S'ha escollit la malla triangular perquè per unitat de superfície és la que permet ubicar més nombre de Sistemes Conversors.

En quant a la superfície, s'ha considerat el 10 % de la superfície de cada municipi, com possible superfície per instal·lar-hi SCEE.

L'elecció d'aquesta xifra, no vol dir que sigui la òptima ni la aconsellable. Com que era necessari partir d'una xifra s'ha escollit aquesta perquè coincideix amb el percentatge donat en l'estimació del potencial eòlic de l'Estat Espanyol per l'INI (Cardona, J.L., 1981).

Evidentment la forma de determinar la superfície disponible serà en realitat força més complexa, ja que caldrà tenir en compte molts més factors com ja s'ha explicat en l'apartat 6.3.

Aquest càlcul està inclòut com una Subrutina en el Programa PECAT, que calcula el Potencial Eòlic de Catalunya.

8.7 DESCRIPCIÓ DEL PROGRAMA DE CÀLCUL DEL POTENCIAL EÒLIC DE CATALUNYA

A partir de les metodologies descrites, amb la base de dades eòlica municipal i amb els condicionaments imposats, tots ja descrits en el Capítol 6 i en els apartats 8.1, 8.2., 8.3. i 8.4., s'ha confeccionat un Programa de càlcul que, amb la informació bàsica de cada municipi, determina:

- * la funció densitat de probabilitat :
 - els paràmetres de Weibull a 12 i 24 m. d'altura,
 - les velocitats més significatives.

- * la funció de la potència dels SCEE escollits :
 - velocitats característiques,
 - potència nominal,
 - hores de funcionament en cada règim específic,
 - energia produïble en cada règim de funcionament,
 - energia anual produïble per cada SCEE,
 - hores de funcionament anuals,
 - hores sense funcionar.

- * potencial eòlic del municipi :
 - nombre de SCEE a utilitzar,
 - energia total-anual produïble,
 - potència total instal·lable.

A més, fa les acumulacions respectives per cada Comarca i dona :

- codi comarcal mig de vent,
- nombre total-comarcal de SCEE,
- potència total-comarcal instal·lable,
- energia anual total-comarcal produïble.

és a dir el Potencial eòlic Comarcal.

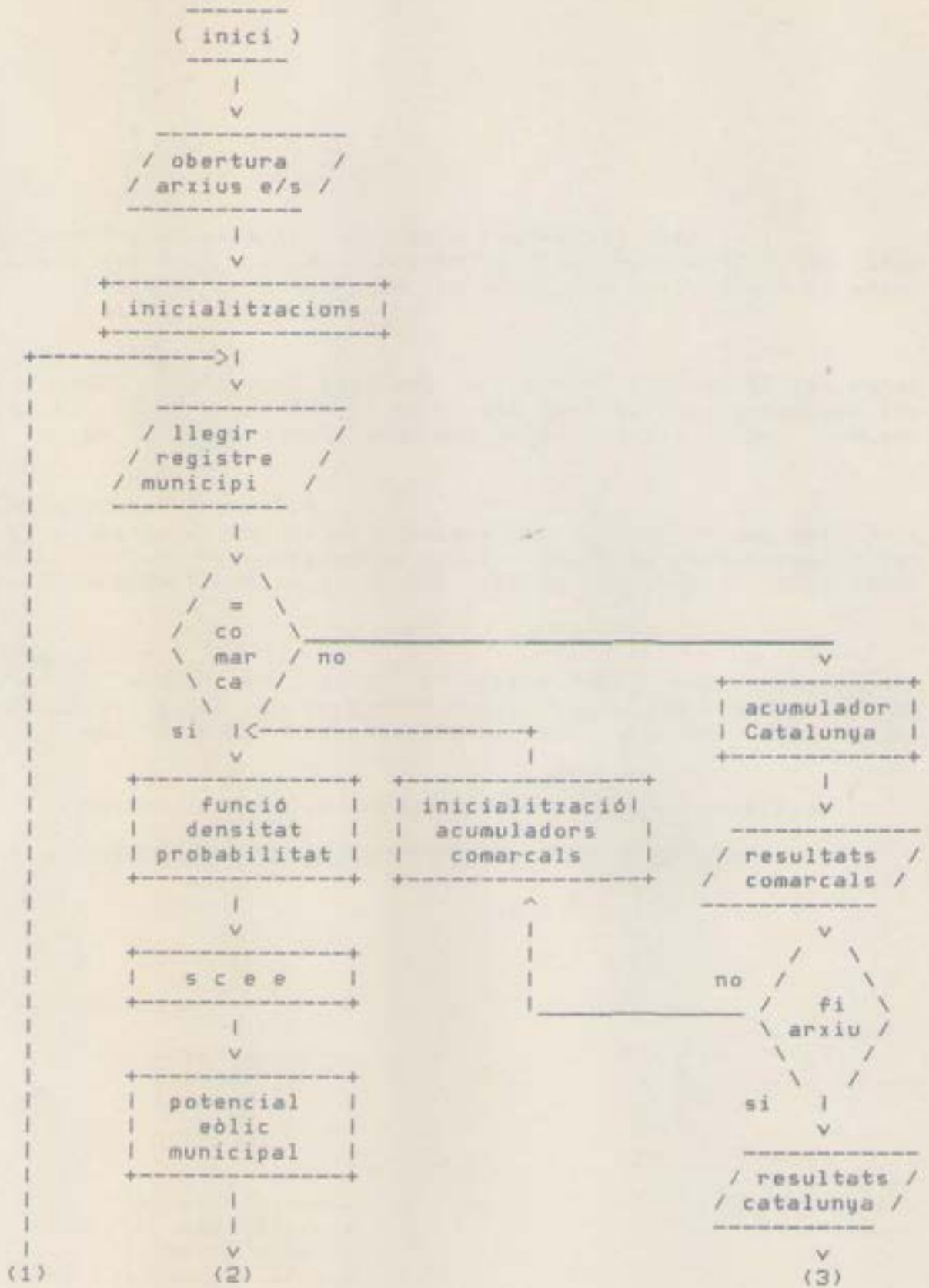
Els resultats comarcals també s'acumulen per poder donar, al final, el Potencial Eòlic de Catalunya.

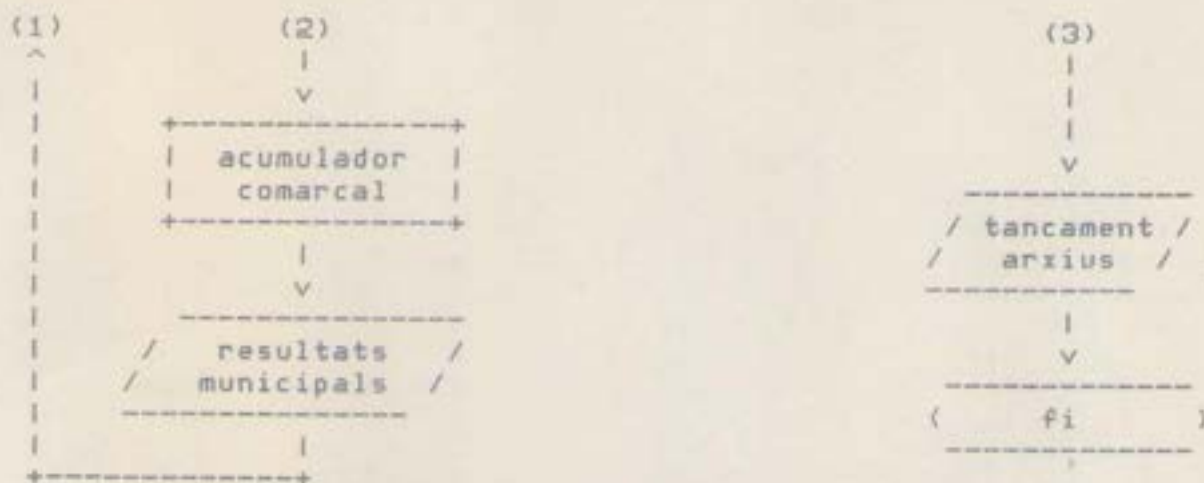
Aquest Programa de càlcul s'ha executat dues vegades, la primera suposant que s'emprava el SCEE de petita potència (12 m. de diàmetre) i la segona suposant la utilització del SCEE de mitjana potència (24 m. de diàmetre).

El llistat del Programa de càlcul del Potencial Eòlic de Catalunya, anomenat PECAT, es pot trobar en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya".

Els llistats corresponents al'execució del Programa, per ambdós SCEE, també estan en el mateix anex.

A continuació es dona un diagrama de fluxe simplificat del Programa de càlcul del Potencial Eòlic de Catalunya.





8.8 PERSPECTIVA DE FUTUR EN L'APLICACIÓ DEL MODEL

Aquest model s'ha elaborat amb diferents objectius.

Per una banda poder disposar d'una eina per valorar el Potencial Eòlic de Catalunya partint dels coneixements que en aquest moment es tenen, i especialment els coneixements populars.

Aquesta eina però, també preten que sigui utilitzable per valorar els Potencials eòlics de zones determinades quan es disposi de mesures dels paràmetres del vent, amb suficient garantia de fiabilitat.

No solament això, sino que permet, a més a més, partir d'uns SCEE determinats, però que hom pot substituir-los per qualsevol altre SCEE del qual es coneguin algunes de les seves característiques.

Per aquestes raons, és un model que resta obert al futur per a fer més precisa l'estimació del potencial d'una font d'energia renovable i dispersa com és el vent.

CAPÍTOL 9

RESULTATS I CONCLUSIONS

9.1 CONCLUSIONS PRINCIPALS

La primera conclusió a la que he arribat, en fer aquest treball, és que Catalunya pot ser considerada com un país moderadament ventós.

Hom pot fer aquesta afirmació basant-se en els coneixements populars que tenia i encara té el nostre poble. Be sigui els que antigament tenia, com n'és una mostra el fet que hi hagin recopilats més de 300 refranys populars que fan referència al vent (apartat 3.1.2.1.); be sigui pels coneixements que encara és conserven, com ho demostren la quantitat de noms diferents que s'ha donat al vent a les comarques del Principat: més de 200 noms (apartat 3.1.2.4.).

Aquesta conclusió es pot apoïar en la considerable quantitat de treballs científics relatius al vent realitzats entre els anys 1915 i 1936 (apartat 3.1.2.2.), per l'equip dirigit per el Dr. Eduard Fontseré, treball bruscament estroncat per l'alçament militar del 1936, que provocà la dispersió de l'equip humà i la pèrdua de gran part del material aplegat. Una país on s'ha estudiat el fenomen vent es un país on, amb tota seguretat, fa vent; però es pot donar el cas d'un país on, a despit de fer vent, no es dongui al fenomen la importància que té. Aquest fet és el que ha ocorregut desgraciadament al nostre país des de l'any 1939. Encara avui hom no dispose a Catalunya d'una xarxa d'observació i mesura com la que va crear el Dr. E. Fontseré.

Altres fets que reafirmen aquesta conclusió són els resultats obtinguts en l'enquesta "el vent i les seves aplicacions" (apartats 3.1.2.4., 5.2.7.2. i 8.1.) i el nombre de molins de vent localitzats i censats a Catalunya (capítol 4).

La segona conclusió es pot formular dient que a Catalunya, l'aprofitament de la força del vent va tenir una importància considerable en cubrir les necessitats energètiques del món rural, sobretot entre finals del segle XIX i els anys 50. Els gairebé 700 molins localitzats al nostre país, a l'any 1982, pot ésser una mostra dels molts més que, amb tota probabilitat, existiren aquí. Més d'un centenar dels localitzats eren dedicats a la generació d'electricitat i practicamente la resta dedicats al bombeig d'aigua. Exceptuant 5 Comarques (Garrotxa, Terra Alta, Segarra, Pallars Jussà i Vall d'Aran), en totes les restants s'hi han trobat molins de vent. Això no vol pas dir que en les 5 Comarques citades no faci vent, pot-ser que les seves necessitats energètiques fossin cobertes per altres procediments. També pot haver ocorregut que els molins que hipoteticament hi podien existir m'hagin passat desapercibuts.

és una realitat important constatar aquesta utilització passada de l'energia eòlica a Catalunya, ja que és un punt més a favor de l'afirmació de que el nostre país es una país moderadament ventós.

No vull pas dir que l'aprofitament de la força del vent només s'hagi presentat en la forma de molins de vent, doncs eren ben conegudes les aplicacions del vent al transport (navegació amb vela) i a l'aventament de la palla, en les eres, després de batre.

Una tercera conclusió és que, a despit de la manca de fiabilitat de les dades provinents de les estacions de mesura actualment existents (apartat 5.3.2. i 8.1.), es pot realitzar un quantificació del Potencial Eòlic de Catalunya en base a coneixements populars (apartat 8.1.).

Unes primeres estimacions, a mena de tanteig, realitzades en base a mètodes generals han donat els resultats següents:

- segons el mètode emprat a la R. F. A. (apartats 5.2.6. i 5.3.3.1.), el potencial tecnicament utilitzable a Catalunya serà de l'ordre de 30 TWh/any i l'economicament utilitzable a 3 TWh/any.
- aplicant el mètode utilitzat per l'I.N.I. (apartat 5.3.3.2.) la potència instal·lable podria ésser de l'ordre de 1600 MW i l'energia produïble 3.5 TWh/any.
- extrapolant el mètode fet servir per realitzar la primera valoració eòlica catalana (apartat 5.3.3.3.), a aquells emplaçament que, segons el

saber popular, són eòlicament favorables, s'obté una potència instal·lable de l'ordre dels 320 MW i una energia produïble de 730 GWh/any.

Situats en aquest marc es va procedir a la elaboració d'un model matemàtic que partint de l'anomenat Codi Municipal de Vent (apartat 8.1.) determinés la distribució de velocitats del vent en el Municipi (apartats 6.1.2.4., 6.1.3.5. i 8.3.).

Una vegada coneguda la distribució de velocitats del vent, havent escollit uns determinats S.C.E.E. amb uns determinats criteris d'elecció (apartats 7.1. i 7.3.), el model procedeix a determinar la distribució de velocitats del vent a l'alçada dels respectius eixos de rotació dels S.C.E.E. escollits (apartat 6.1.4. i 8.3.) i procedeix a la determinació de les demés característiques dels S.C.E.E., de forma que s'adequin al règim de vent del municipi (apartats 6.2.1.5. i 8.4.).

Conegudes la distribució de velocitat del vent en el Municipi i les característiques del S.C.E.E., es calculen les hores de funcionament i l'energia produïda per cadascun dels S.C.E.E. elegits (apartat 8.5.).

Per a determinar el nombre de S.C.E.E. a ubicar en el Municipi, i després d'haver escollir una distribució espacial en forma de triangles (apartats 6.4. i 8.6.) per tenir una major capacitat, i una separació entre S.C.E.E., de 10 vegades el seu diàmetre, s'ha imposat com a única limitació, encara que les limitacions a imposar s'han discutit abastament (apartat 6.3.), la d'ocupar com a màxim un 10 % de la superfície del Municipi. Aquest model matemàtic ha permès determinar el Potencial Eòlic de cada Municipi, de cada Comarca i el total de Catalunya, simulant unes condicions de vent, tecnològiques, d'ubicació espacial i d'ocupació superficial.

9.2 RESULTATS

Els resultats per a cada Municipi, Comarca i total de Catalunya, pels dos tipus de S.C.E.E. (de 12 i 24 m. de diàmetre), estan en els llistats inclosos en l'anex informàtic "Potencial Eòlic de Catalunya". Un resum dels resultats comarcals es dona tot seguit en forma de taula. Així hom pot observar que 274529 Sistemes Convertors d'Energia Eòlica de petita potència (diàmetre: 12 m., i

RESULTATS I CONCLUSIONS

potències nominals compreses entre 6 i 77 kW.), amb una Potència Instal·lable de 10113 MW produirien 5336.6 GWh a l'any. Així mateix, 74227 Sistemes Convertors d'Energia Eòlica de potència mitjana (diàmetre: 24 m. i potències nominals compreses entre 43 i 456 kW.), amb una Ptència Instal·lable de 16904.1 MW produirien 7717.9 GWh a l'any.

RESULTATS I CONCLUSIONS

COMARCA	CMV	NSCEE unitats	POT. MW	ENERGIA GWh/any
Baix Llobregat	2.89	4146	114.5	66.1
Barcelonès	1.21	1431	11.9	8.8
Maresme	3.17	3646	112.6	63.5
Vallés Occ.	2.91	5477	162.9	91.5
Vallés Ori.	2.78	7400	193.1	113.5
Alt Emp.	4.32	11986	663.9	309.9
Baix Emp.	3.93	6260	290.0	147.8
Garrotxa	2.86	6064	156.6	92.5
Gironès	3.33	7398	252.7	138.2
Selva	2.94	8399	232.1	133.3
Alt Camp	3.93	5079	260.3	126.1
Alt Penedès	3.4	4703	175.8	92.8
Baix Penedès	3.79	2358	106.5	55.4
Garraf	3.63	2150	85.7	46.8
Tarragonès	3.25	3033	111.4	59.9
Baix Camp	4.37	5950	350.2	160.5
Conca Barberà	3.45	5400	199.2	106.5
Priorat	3.48	4541	172.3	92.1
Ribera d'Ebre	3.86	6851	290.7	154.4
Baix Ebre	4.69	8733	625.9	261.9
Montsià	4.11	5626	320.0	147.1
Terra Alta	4.08	6272	330.5	158.6
Cerdanya	2.72	4763	120.9	71.4
Osona	2.70	10513	257.7	153.1
Ripollès	2.85	8152	225.0	129.8
Anoia	3.29	7872	287.2	154.3
Bages	3.2	11249	388.9	212.6
Borguedà	2.62	10377	254.8	147.8
Solsonès	3.5	8377	329.7	171.8
Garrigues	3.4	7702	277.7	150.2
Noguera	3.24	15675	487.9	275.4
Segarra	3.24	5205	106.8	93.1
Segrià	3.36	13497	475.6	257.4
Urgell	3.31	5809	209.8	114.4
Alt Urgell	3.11	11852	381.7	212.7
Pallars Jussà	3.24	13817	487.2	262.7
Pallars Sobirà	3.23	11533	355.0	197.8
Vall d'Aràn	3.22	5233	187.9	101.7
TOTAL		274529	10113	5333.6

RESULTATS I CONCLUSIONS

COMARCA	CMV	NSCEE unitats	POT. MW	ENERGIA GWh/any
Baix Llobregat	2.89	1177	204.6	106.1
Barcelonès	1.21	371	20.5	13.9
Maresme	3.17	1004	194.9	99.1
Vallès Occ.	2.91	1491	277.9	138.5
Vallès Ori.	2.78	2043	338.0	179.5
Alt Empordà	4.32	3345	1125.6	424.3
Baix Empordà	3.93	1745	496.2	208.7
Garrotxa	2.86	1628	265.3	142.5
Gironès	3.33	2039	432.9	209.7
Selva	2.94	2268	393.0	201.6
Alt Camp	3.93	1387	432.6	170.3
Alt Penedès	3.4	1279	296.9	136.0
Baix Penedès	3.79	666	184.0	79.4
Garraf	3.63	594	146.0	66.9
Tarragonès	3.25	853	193.6	90.6
Baix Camp	4.37	1669	592.4	217.4
Conca Barberà	3.45	1487	339.9	158.5
Priorat	3.48	1257	294.7	136.5
Ribera d'Ebre	3.86	1857	484.3	214.4
Baix Ebre	4.69	2319	990.8	321.1
Montsià	4.11	1478	507.0	188.4
Terra Alta	4.08	1674	531.4	207.9
Cerdanya	2.71	1287	205.7	110.5
Osona	2.70	2892	447.0	241.4
Ripollès	2.85	2233	384.0	199.7
Anoia	3.29	2142	479.9	225.5
Bages	3.2	2995	644.4	311.0
Berguedà	2.62	2802	435.5	227.0
Solsonès	3.5	2238	544.8	243.8
Garrigues	3.4	2119	472.4	224.0
Noguera	3.24	4141	807.7	409.1
Segarra	3.24	1405	283.0	141.2
Segrià	3.36	3625	795.3	376.4
Urgell	3.31	1602	359.4	170.3
Alt Urgell	3.11	3077	618.9	309.0
Pallars Jussà	3.24	3647	793.7	378.2
Pallars Sobirà	3.23	3018	584.0	294.4
Vall d'Aràn	3.22	1373	306.0	145.1
TOTAL		74227	16904.1	7717.9

Per poder comparar aquestes xifres amb la situació energètica actual a Catalunya es dona a continuació una taula on es pot veure la Potència Instal·lada a (31/12/1980) i l'Energia Produïble (en un any mitjà):

	POTÈNCIA INSTAL·LADA (MW) (%)		ENERGIA PRODUÏBLE (GWh/any) (%)	
Hidràulica:				
Bombeig	88	1.8	-	-
Embassament	1068	21.5	3324	18.3
Fluent	486	9.8	1338	7.4
Total H.:	1642	33.1	4662	25.7
Tèrmica Convencional:				
Carbó	170	3.4	1020	5.6
Fuel-oil	1673	33.8	5856	32.2
F.O/gas	970	19.6	3395	18.7
Gas-oil	-	-	-	-
Mixtes	-	-	-	-
Total T. C.:	2813	56.8	10271	56.5
Tèrmica Nuclear(*):	500	10.1	3250	17.8
TOTAL CATALUNYA	4955	100.0	18184	100.0

Font: El Llibre Blanc de l'Energia a Catalunya (1981).

(*) inclou el 25 % de participació d'E. D. F. a la C. N. de Vandellòs.

Com es pot veure s'ha arribat a unes xifres, tant pel que fa a la potència instal·lada com a l'energia produïble, que mereixen ser tingudes en compte, a despit que no tenen la pretensió de ser matemàticament exactes, si realment es preten caminar vers una fita de real de diversificació energètica del país i cap a una autonomia en matèria d'energia. Això seria possible si es dediquessin els recursos necessaris a l'energia eòlica, lo qual possibilitaria que molts municipis de casa nostra podessin assolir un grau d'autoabastiment energètic important (combinant l'energia eòlica amb altres fonts d'energia locals).

RESULTATS I CONCLUSIONS

Altres resultats assolits, són les Bases de Dades construïdes i els Programes d'ordinador que implementen, tots junts, el model que he proposat per a l'avaluació del Potencial Eòlic de Catalunya.

Dues bases de dades tecnològiques : una dels molins de vent usats o en ús a Catalunya i l'altre la base de dades de S.C.E.E. al món. I una base de dades eòlica municipal que podrà anar millorant-se en tant en quant es disposi d'uns escaients aparells de mesura i d'un seriós Programa de Prospecció Eòlic.

Uns programes que representen el "software" bàsic que te que acompanyar a qualsevol pla de prospecció eòlic.

9.3 CONCLUSIONS ADICIONALS

L'aprofitament de la força del vent havia estat una activitat ampliament difosa en èpoques passades en que la societat humana es fonamentava en l'ús dels recursos - entre ells, els energètics - renovables (apartats 3.3.1., 3.3.2. i 3.3.3.).

Un ampli reneixement en la utilització de l'energia eòlica es va donar entre finals del segle XIX i els anys 50 del nostre segle (apartat 3.3.4.), accentuant-se aquesta utilització en èpoques d'escassetesa, provocades per conflictes bèlics, i passant-se, ja aleshores, en evidència la vulnerabilitat d'una societat basada en l'ús generalitzat de combustibles fòssils foranis.

La tecnologia per a l'aprofitament del vent va demostrar la seva maduresa per dessota de les potències d'un Megawatt, a la dècada dels anys 50-60 (apartat 3.3.4.).

L'energia eòlica va ésser deixada d'utilitzar i postergada arreu del món, i especialment en tots els països que s'havien introduït, o estaven introduint-se, en la via industrialista de desenvolupament, degut a raons, no tant tècniques com estratègic-polítiques i amb l'opinió en contra de tècnics de l'època (apartat 2.5).

També a l'Estat Espanyol hi va haver qui va aixecar la veu per trencar una llança en factor de l'energia eòlica i la seva introducció en l'escenari energètic d'aleshores (apartats 2.5 i 5.2.7.).

Després d'una trentena d'anys durant els quals l'energia eòlica no solament ha estat abandonada sinó també desprestigiada, afirmant que implicava un retorn al passat, estem assistint avui a un renèixer, amb renovada força, de la utilització de la força del vent a molts països (apartats 2.5.1., 2.5.2., 2.5.3., 2.5.4. i 2.5.5.).

Això permet intuir que l'energia eòlica té un esperançador futur, a curt, mig i llarg termini, amb lo qual tornarà a ocupar el lloc que li pertoca dins del context energètic, contribuirà en la tasca de diversificació energètica que molts països tenen dramàticament plantejada, ajudarà a l'autoabastiment i a l'autosuficiència energètica de moltes regions, i permetrà, amb la seva renovabilitat, poder disposar d'un recurs energètic inexhaurible.

Aquest esdevenidor contrasta amb la realitat eòlica de Catalunya, on pràcticament no es dedica cap esforç, exceptuant alguna honrosa excepció, a posar els mitjans que possibilitin la reintroducció de l'energia eòlica al país (apartat 2.2. i 5.2.7.2.).

Resta només desitjar que no passin altre vegada 30 anys o més, abans que l'energia eòlica torni renèixer a casa nostra.

CAPITOL 10

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Agulló, T. LA TRAMUNTANA. Marinas, Barcelona, 1917
- Aerospace Corp. and California Energy Commission WIND ENERGY FOR CALIFORNIA. C.E.C., Sacramento, Ca., mar. 1978
- Ailleret, P. L'ENERGIE EOLIENNE, SA VALEUR ET LA PROSPECTION DES SITES. Revue Generale de l'Electricité, Vol. 55, No. 3, Mar. 1946
- Ailleret, P. LA RECHERCHE DES SITES QUI POURRAIENT CONVENIR A UNE UTILISATION DE L'ENERGIE DU VENT. La Meteorologie, abr-jun. 1948
- Albertosa, L.M. LOS CLIMAS DE CATALUNYA. ESTUDIO DE CLIMATOLOGIA DINAMICA. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona, 1973
- Alcover, A.M., Moll, F. de B. i Sanchis Guarnier, M. DICCIONARI CATALA-VALENCIA-BALEAR. Mallorca, 1956
- Alegre, P. MAPA DE CATALUNYA DE BASE MUNICIPAL, E. 1:250000. Institut Universitari d'Estudis Territorials, U.A.B., Bellaterra, 1976
- Alpina, Equip Editorial. MAPA TOPOGRAFIC DE CATALUNYA, E. 1:250000. Editorial Alpina, Granollers, 1978
- Alonso, S. ALGUNOS ASPECTOS METEOROLÓGICOS DE LOS TEMPORALES DE LEVANTE. Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona, 1975
- Alonso, S. i Puigcerver, M. ENERGÈTICA DE LOS TEMPORALES DE LEVANTE DE LA COSTA CATALANA. Asamblea Nacional de Geodesia y Geofisica, Barcelona, 1976
- Alvarez, B. LOS ARADOS SE CONVIERTEN EN ESPADAS. B. I. E. N., No. 18-19, des. 1981

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Amades, J. ASTRONOMIA I METEOROLOGIA POPULARS. Butlletí de Dialectologia Catalana, XVIII, 1930
- Amades, J. LLIBRE DEL TEMPS QUE FA. Barcelona. 1938.
- Andersen, T. S., Bodenschatz, C. A., Eggers, A. G., Huges, P. S., Lampe, R. F., Lipner, M. H., Csornhorst, J. R. EXECUTIVE SUMMARY MOD-OA 200 kW WIND TURBINE GENERATOR DESIGN AN ANALYSIS REPORT. N. A. S. A., CR-165127, 1980.
- Anglada, J. SONDATGES DE L'ATMOSFERA LLIURE A BARCELONA. Notes d'estudi del Servei Meteorològic de Catalunya, Vol. II, No. 28, 1924 Vol. II, No. 31, 1925
- Anònim. THE MAGNUS EFECT. The Engineer, Vol. 138, 21 nov. 1924
- Anònim. THE FLETTNER ROTOR. The Engineer, Vol. 138, 28 nov. 1924a
- Anònim. THE FLETTNER ROTOR SHIP. The Engineer, Vol. 138, 12 des. 1924b
- Anònim. THE ROYAL SHOW. The Engineer, Vol. 140, 17 jul. 1925
- Anònim. THE FLETTNER DEVELOPMENTS. The Engineer, Vol. 139, 2 gen. 1925a
- Anònim. WING ROTOR. The Engineer, Vol. 140, 21 ago. 1925b
- Anònim. WINDMILLS FOR THE GENERATION OF ELECTRICITY. The Engineer, Vol. 141, 4 jun. 1926
- Anònim. WIND-RITOR EXPERIMENTS "DECIDEDLY SATISFACTORY". Electrical World, Vol. 102, 28 oct. 1933
- Anònim. ELECTRICITY FROM WIND. The Electrician, 24 nov. 1933a
- Anònim. GERMAN WIND-POWER ON GRANDIOSE SCALE. Electrical Wrold, 15 jul. 1933b
- Anònim. SMITH-PUTNAM WIND TURBINE. Mechanical Engineering, Vol. 63, jun. 1941
- Anònim. WORLD'S LARGEST WIND-TURBINE PLANT NEAR COMPLETION. Power, No. 6, 1941a
- Anònim. SMITH-PUTNAM WIND TURBINE. Engineering, Vol. 154, No. 3994, 31 jul. 1942
- Anònim. WIND-POWER PLANT CONTINUES OPERATION. Power Plant Engineering, Vol. 46, oct. 1942a

REFERENCIES BIBLIOGRAFQUES

- Anònim. POWER FROM THE WIND. Engineering, Vol.166, No. 4320, 13 nov. 1948
- Anònim. NORTH OF SCOTLAND TRIES WIND POWER. Electrical World, Vol. 137, No. 9, 3 mar. 1952
- Anònim. POSSIBILITIES OF WIND POWER. Engineering, Vol. 176, 10 jul. 1953
- Anònim. WIND GENERATED ELECTRICITY. Engineering, Vol. 185, NO. 4800, 25 mar. 1955
- Anònim. WIND-DRIVEN GENERATOR ON COSTA HEAD. Engineering, Vol. 180, No. 4667, 8 jul. 1955a
- Anònim. WIND POWER : BRITISH MACHINE IN ALGERIA. Engineering, Vol. 185, No. 4880, 7 mar. 1958
- Anònim. PUTTING THE WIND TO WORK. Engineering, Vol. 206, No. 5353, 22 nov. 1968
- Anònim. SUÈCIA : GENERACIÒN DE ENERGIA EÒLICA. Energia, Vol. 4, No. 1, gen-feb. 1978
- Anònim. GROWIAN WINDMILL WILL PRODUCE 3 MW. International Power Generation, set. 1979
- Anònim. WHAT'S IN THE WIND WITH RENEWABLES ?. Electrical Review, Vol. 208, No. 1, 9 gen. 1981
- Anònim. SMALL AEROGENERATORS PERFORMING WELL. Electrical Review, Vol. 208, No. 9, 6 mar. 1981
- Anònim. UN CENTRE D'ESSAIS A LANNION. Le Matin, 19 ago. 1981
- Anònim. WIND POWER : CHEAPER THAN COAL ?. Electrical Review, Vol. 209, No. 8, 11 set. 1981
- Anònim. 105 MW. OF WIND POWER FOR CALIFORNIA. Electrical Review, Vol. 209, No. 9, 18 set. 1981
- Anònim. FRENCH GOVERNMENT BLOWS NEW LIFE INTO WIND POWER PROJECTS. Electrical Review, Vol. 209, No. 18, 20 nov. 1981
- Argand, A. MESURE DES PARAMETRES CARACTERISTIQUES DE L'ENERGIE EOLIEENNE EN VUE DU CHOIX DES SITES FAVOURABLES A L'INSTALLATION D'AEROMOTEURS. Proc. of the U.N. Conf. on New Sources of Energy - Wind Power Roma, 21-31 ago. 1961 Vol. 7, U.N. New York, 1964
- Argand, A. L'ENERGIE EOLIEENNE. Progrès-Sciences-Techniques, 1963.

REFERENCIES BIBLIOGRAFIGUES

- Arnfred, J. T. ON WINDKRAFTEN. Ingenioren, 1919.
- Arnfred, J. T. DEVELOPMENTS AND POTENTIAL IMPROVEMENTS IN WIND POWER UTILIZATION. Proc. of the U.N. Conf. on New Sources of Energy - Wind Power Roma, 21-31 ago. 1961 Vol. 7, U.N. New York, 1964
- A.T.V. Working Group on Wind Power. WIND POWER IN THE ELECTRICITY SUPPLY SISTEM. A.T.V., Dinamarca, 1977
- A.T.V. VINDKRAFT. A.T.V., Dinamarca, 1975
- Autors Varis. THE GLOBAL 2000 REPORT TO THE PRESIDENT : ENTERING THE TWENTY-FIRST CENTURY. Penguin Books, New York, 1982
- Ayres, E. i Scarlott, Ch. A. ENERGY SOURCES, THE WEALTH OF THE WORLD. McGraw-Hill, New York, 1958
- Baker, R. J. S. FEEDING THE GRID OR MEETING LOCAL NEEDS. Natta Newsletter, No. 8, nov-des. 1980
- Ballester, A. COMUNICACIÓ PERSONAL. Barcelona, jul. 1982
- Barasoain, J. A., Fontan, L. LA ENERGIA DEL VIENTO Y SU APROVECHAMIENTO. Comisión Nacional de Energias Especiales Report EE/101, Madrid, 1955
- Barasoain, J. A., Fontan, L. PROSPECTING FOR WIND POWER WITH A VIEW OF ITS UTILIZATION. Proc. of the U.N. on New Sources of Energy - Wind Power Roma, 21-31 ago. 1961 Vol. 7, U.N., New York 1964
- Baratech, R. C. PUJOL: NO PODEMOS VOLVER A LOS MOLINOS DE VIENTO. El Noticiero Universal, 29 mai. 1982
- Barbour, E. HOMEMADE WINDMILLS OF NEBRASKA. Farallones Institute, Occidental, Ca., (reedició de l'original de 1898)
- Barchet, W. R. WIND ENERGY DATA BASE. Fifth Biennial Wind Energy Conf. and Workshop Washington, 5-7 oct. 1981
- Battelle (Columbus) Laboratory. ENVIRONMENTAL STUDIES RELATED TO THE OPERATION OF WIND ENERGY CONVERSIONS SYSTEMS, FINAL REPORT. N. T. I. S., des. 1977
- Beck, T. BEITRAGE ZUR GESCHICHTE DES MASCHINENBANES. Berlin, 1900.
- Bedford, L. A. W., Lindley, D., Swift Hook, D. T. WIND ENERGY R AND D IN THE U.K. Fifth Biennial wind Energy Conf. and Workshop Washington, 1981

- Beer, M. NRC WIND PROGRAM PROCEEDING TO "LOGICAL STEP". Canadian Renewable Energy News, oct. 1980
- Beer, M. NRC'S 4 MW. WIND MACHINE GETS OTTAWA GO-AHEAD. Canadian Renewable Energy News, feb. 1981
- Beer, M., Hoffman, D. ARK'S FUTURE UNCERTAIN AS FEDS TO RENEW AGREEMENT WITH P. E. I. Canadian Renewable Energy News, ago. 1981
- Beer, M. AEROWATT AIMS AT THIRD WORLD. Renewable Energy News, feb. 1982
- Berg, P. i Tukul, G. RENEWABLE ENERGY AND BIOREGIONS. Planet Drum Foundation, San Francisco, Ca., 1980
- Betz, A. WINDENERGIE UND IHRE AUSNUTZUNG DURCH WINDMÜHLEN. Aus Naturwissenschaft und Technik, Göttingen, 1926
- Betz, A. DIE WINDMÜHLEN IM LICHT NEUERER FORSCHUNG. (traducció anglesa) U.S. National Advisory Committee for Aeronautics, ago. 1928
- Beurskens, H. J. M., et al. LOW SPEED WATER PUMPING WINDMILLS. 3th. Int. Sym. on Wind Energy Systems Lyngby, Dk., ago. 1980
- Blanco Pedraza, P. PROBLEMAS PLANTEADOS POR EL APROVECHAMIENTO DE LA ENERGIA EÓLICA. Revista de Ciencia Aplicada, A. 15, No. 79-80-81, 1961
- Bodmer-Turner, S. WIND REPORT. Massachusetts Office of Consumer Affairs, Boston, Ma., 1978
- Boeing Engineering and Construction. MOD-2 WIND TURBINE SYSTEM CONCEPT AND PRELIMINARY DESING REPORT. N. A. S. A., CR-159609, 1979
- Bonnefille, R. LES REALIZATIONS D'ELECTRICITE DE FRANCE CONCERNANT L'ENERGIE EOLIENNE. La Houille Blanche, No. 1, 1975
- Bonneville Power Administration. BUILDING THE WORLD'S FIRST WIND FARM. B. P. A. -D. O. E., 1981
- Bookchin, M. POR UNA SOCIEDAD ECOLOGICA. Ed. Gustavo Gili, Barcelona, 1978
- Borremans, V. GUIDE TO CONVIVIAL TOOLS. Library Journal (13) special issue, 1979
- Bossanyi, E. A., Maclean, C., Whittle, G. E., Dunn, P. D., Lipman, N. H., Musgrove, P. J. THE EFFICIENCY OF WIND TURBINE CLUSTERS. 3rd. Int. Sym. on Wind Energy Systems

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Lynghby, Dk., 1980
- Bourdon, M. WIND TEST SITE SET TO START WHEN FUNDING FINALIZED. Canadian Renewable Energy News, oct. 1980
 - Bourdon, M. NATION'S FIRST WIND FARM NOT WITHOUT RISKS. Canadian Renewable Energy News, Vol. 4, No. 2, abr. 1981
 - Boyle, G. i Harper, P. RADICAL TECHNOLOGY. Wildwood House Ltd., Londres, 1976
 - Braasch, R. H. THE DESIGN, CONSTRUCTION, TESTING AND MANUFACTURING OF VAWT. 2nd. Int. Sym. on Wind Energy Systems Amsterdam, 1978
 - British Wind Energy Association. WIND ENERGY FOR THE EIGHTIES. Peter Peregrinus Ltd., 1982
 - Brooks, D. W. ZERO ENERGY GROW FOR CANADA. Mc-Clelland and Stewart, Toronto, 1981
 - Builtjes, P. J. H. THE INTERACTION OF WINDMILL WAKES. 2nd. Int. Sym. on Wind Energy Systems Amsterdam, 1978
 - Builtjes, P. H. J. i Milborrow, D. J. MODELLING OF WIND TURBINE ARRAYS. 3rd. Int. Sym. on Wind Energy Systems Lynghby, Dk., 1980
 - Bureau of Reclamation. WIND POWER FROM MEDICINE BOW. U.S. Department of Interior, 1981
 - Cabré, M. SISTEMA DE CONNEXIÓ AUTOMÀTICA D'AEROGENERADORS A LA XARXA DE DISTRIBUCIÓ D'ENERGIA ELÈCTRICA. Jornades de Política Industrial i Energètica, Barcelona, 1981
 - California Energy Commission. WIND ENERGY ASSESSMENT OF CALIFORNIA. C.E.C., Sacramento, Ca., 1981
 - California Energy Commission. WIND ENERGY IN CALIFORNIA. C.E.C., Sacramento, Ca., 1981a
 - California Energy Commission. WIND ENERGY : INVESTING IN OUR ENERGY FUTURE. C.E.C., Sacramento, C., 1981b
 - Campmany, M. BIBLIOGRAFIA DE LA METEOROLOGIA CATALANA. Notes d'Estudi del Servei Meteorològic de Catalunya Vol. 5, No. 68, Barcelona, 1937
 - Campo, G. SONDATGES DE L'ATMOSFERA LLIURE A BARCELONA (1924-1936). Notes d'estudi del Servei Meteorològic de Catalunya No. 33-36-38-42-44-46-52-57-59-64-67, Barcelona, 1926-1937

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Carbonell, J., Carreras, J. GRAN ENCICLOPEDIA CATALANA. Volums I al III editats per Editorial 62 Volums IV al XV editats per Enciclop. Catalana S. A. Barcelona, 1969-1980
- Cardona, J. L. ENERGIA EOLICA Y AEROTURBINAS : POSIBILIDADES DE UTILIZACION EN ESPAÑA. Publicaciones del Programa Solar del I. N. I., No. 6, 1981
- Caro Baroja, J. DISERTACION SOBRE MOLINOS DE VIENTO. Revista de Dialectologia y Tradiciones Populares, Tomo VIII, C. S. I. C., Madrid, 1952
- Caty, G. F. CRISIS ENERGETICA : ¿ UNA OPORTUNIDAD PARA LA CIVILIZACION ?. Comunidad Europea, No. 2, 1981
- Centre Excursioniste de Catalunya. DICCIONARI NOMENCLATOR DE POBLES I POBLETS DE CATALUNYA. Ed. Aedos, 2ª edició, barcelona, 1964
- Cervantes, M. de. EL INGENIOSO HIDALGO DON QUIJOTE DE LA MANCHA. Tomo I, Vol. VIII. Nueva Edición Crítica, Madrid, 1947
- Chandra, S. WIND ENERGY POTENTIAL IN FLORIDA : A FURTHER ASSESSMENT. Florida Solar Energy Center, jun. 1978
- Clark, R. TECHNOLOGY FOR AN ALTERNATIVE SOCIETY. New Scientist, 11 gen. 1973
- Cliff, W. C. GENERALIZED WIND CHARACTERISTICS AND THEIR EFFECT ON WIND TURBINE OUTPUT. Wind Technology Journal, Vol. 2, No. 1-2, 1978
- Corominas, J. ENERGIA I TECNOLOGIA ALTERNATIVA. Escola Tècnica Superior d'Enginyers de Telecomunicació, Barcelona, 1979
- Corominas, J. i Puig, J. L'AUTONOMIA ENERGETICA DE CATALUNYA : UNA OPCIO POSSIBLE. Ciència, No. 6, mai. 1982
- Corominas, J. i Puig, J. LA DUBTOSA RENDIBILITAT DE L'ENERGIA NUCLEAR. El Món, 25 jun. 1982
- Costa Morata, P. ENERGIA : EL FRAUDE Y EL DEBATE. Gaya Ciencia, Barcelona, 1978
- Courriet, K. et al. SHINING EXEMPLES : MODEL PROJECTS USING RENEWABLE RESOURCES. Center for Renewable Resources, Washington, 1980
- Critical Mass Energy Project. 1979 : 2000 NUCLEAR MISHAPS. C. M. E. P., Washington, 1980

REFERANCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Critical Mass Energy Project. ACCIDENTS INVOLVING RADIOACTIVE TRANSPORT. C.M.E.P., Washington, 1980a
- Critical Mass Energy Project. NUCLEAR POWER PLANT SAFETY SCOREBOARD 1980 : 3800 MISHAPS. C.M.E.P., Washington, 1981
- Comisión Nacional de Energías Especiales. MEDIDAS DE VIENTO. C.N.E.E., (dipositades a l'I.N.T.A.), Madrid
- Commoner, B. THE CLOSING CIRCLE. A. A. Knopf, New York, 1971
- Commoner, B. THE POWERTY OF POWER. A. A. Knopf, New York, 1976
- Commoner, B. L'ENERGIA ALTERNATIVA. Edit. Riuniti, 1978
- Commoner, B. i Tiezzi, E. NUCLEARE E SOLARE : DUE SCELTE A CONFRONTO. Sapere, No. 813, set-oct. 1978
- Cortés, J. LUNARIO PERFECTO. PRONOSTICO GENERAL Y PARTICULAR DEL REINO Y PROVINCIAS. Francisco Sabater editor, Barcelona, 1904
- Coty, U. A. WIND ENERGY MISSION ANALYSIS. E. R. D. A., abr. 1976
- Crafoord, C. AN ESTIMATE OF THE INTERACTION OF A LIMITED ARRAY OF WINDMILLS. Univ. of Stockholm, 1975
- Crutcher, H. L. i Baer, L. COMPUTATIONS FROM ELIPTICAL WIND DISTRIBUTION STATISTICS. Journal of Applied Meteorology, No. 14, 1962
- CSENE-Committee for the Study of the Economics of nuclear Energy. NUCLEAR ENERGY : THE REAL COST. The Ecologist, Camelford, 1982
- Curtice, D. et al. THE STUDY OF DISPERSED SMALL WIND SYSTEMS INTERCONNECTED WITH A UTILITY DISPRIBUTION SYSTEM : INTERIM REPORT. PRELIMINARY HARDWARE ASSESSMENT. N. T. I. S., 1980
- Curtice, D. et al. OPERATION OF SMALL WIND TURBINES ON A UTILITY DISTRIBUTION SYSTEM. FINAL REPORT. Windbooks, New York, 1981
- Danske Vindkraft-Vaerker. NATURALIG ENERGI. Knebel, Dk., 1980-1981-1982
- Daviatan, H. WIND POWER AND ELECTRIC UTILITIES : A REVIEW OF THE PROBLEMS AND PROSPECTS. Brookhaven National Laboratory, abr. 1978

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Del Campo Aguilera, A. ENERGIA HIDRAULICA EN ESPAÑA. SITUACION Y PERSPECTIVAS. Boletín Informativo de la Fundación Juan March, Madrid, feb. 1980
- Derry, T. K. i Williams, T. I. HISTORIA DE LA TECNOLOGIA : DESDE LA ANTIGUEDAD HASTA 1750. Siglo XXI de España Edit., Madrid, 1977
- Devine, W. D. AN ENERGY ANALYSIS OF A WIND ENERGY CONVERSION SYSTEM FOR FUEL DISPLACEMENT. Oak Ridge Associated Universities, Feb. 1977
- Dickson, D. TECNOLOGIA ALTERNATIVA. H. Blume Edic., Madrid, 1978
- Digby, A. A HISTORY OF TECNOLOGY, VOL. 1. C. Singer, E. Holmyard i A. Hall (editors) Clarendon Press, Oxford, 1954
- Digital Equipment Corp. DEC STANDARD RUNOFF. DSR USER'S GUIDE. D. E. C., Marlborough, Ma., 1979
- Digital Equipment Corp. SORT/MERGE USER'S GUIDE. D. E. C., Marlborough, Ma., 1980
- Digital Equipment Corp. SCIENTIFIC SUBROUTINES PROGRAMMER'S REFERENCE MANUAL. SPS Version 1.2. D. E. C., Marlborough, Ma., 1980a
- Digital Equipment Corp. VAX-11 BASIC. USER'S GUIDE. D. E. C., Marlborough, Ma., 1980b
- Doporto, M. LA TURBULENCIA DINAMICA DE LA ATMOSFERA EN BARCELONA. Avant, serie A (memòries), Vol. X, Barcelona, 1938
- Dubey, M. i Coty, U. IMPACT OF LARGE WIND ENERGY SYSTEMS IN CALIFORNIA. C. E. C., Sacramento, Ca., 1981
- Ebersolt, J. ORIENT ET OCCIDENT. RECHERCHES SUR LES CROISADES II. Paris, 1929
- Ecotècnia S. Coop. MEMORIA DEL PROYECTO DE DESARROLLO DE UN PROTOTIPO DE AEROGENERADOR DE 10 kW. Barcelona, 1981
- Ehrlich, P. R., Ehrlich, A. H. POPULATION, RESOURCES, ENVIRONMENT : ISSUES IN HUMAN ECOLOGY. Reading, San Francisco, Ca., 1972
- Eldridge, F. R. WIND MACHINES. Mitre Corporation, N. T. I. S., oct. 1975
- Eldridge, F. R. COMMERCIALIZATION OF SMALL-SCALE WIND MACHINES. Mitre Corporation, jun. 1977

REFERENCIES BIBLIOGRAFQUES

- Eldridge, F. R. WIND MACHINES. Van Nostrand Reinhold, 1980
- Electrical Research Association. DEVELOPMENT OF LARGE WIND TURBINE GENERATORS. A DESIGN FEASIBILITY AND COST STUDY. E. R. A., Londres, 1979
- Elliott, D. ALTERNATIVE TECHNOLOGY - WHY NOT ? Natta Newsletter, No. 6, jul-ago. 1980
- Elliot, D. i Peak, S. BIG BUSSINES. Natta Newsletter, No. 15, gen-feb. 1982
- Elliott, D. L. SYNTESIS OF NATIONAL WIND ENERGY ASSESSMENTS. Battelle Pacific Northwest Laboratories, jul. 1977
- Elliott, D. L. i Barchet, W. R. NATIONAL WIND RESOURCE ASSESSMENT. Fifth Biennial Wind Energy Conference and Workshop Washington, 5-7 oct. 1981
- Energy Technology Support Unit. ENVIRONMENTAL IMPACT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES. Department of Energy, Londres, mar. 1979
- Energy Technology Support Unit -ETSU-. THE FUTURE FOR WIND ENERGY IN THE U. K. ReNews, jun. 1981
- Enfield Cables Ltd. 100 kW. WIND-DRIVEN ELECTRIC GENERATOR. Engineering, Vol. 175, 13 feb. 1953
- Equipo de Ingenieros Jóvenes. LAS INSACIABLES TARIFAS ELECTRICAS. Novatècnia, No. 2, mar-abr. 1976
- Esquerdo, J. L. SITUACION DE LA ELECTRIFICACION RURAL EN CATALUNYA. Jornades de Política Industrial i Energètica, Barcelona, 1981
- Faxen, T. WAKE INTERACTION IN AN ARRAY OF WINDMILLS. THEORY AND PRELIMINARY RESULTS. 2nd. Int. Sym. on Wind Energy Systems Amsterdam, 1978
- Fisher, J. THE PAST AND THE FUTURE OF WIND ENERGY IN DENMARK. 2nd. Workshop on Wind Energy Conversion Systems. Washington, 1975
- Fishlock, D. TILTING AT WINDMILLS TO MAKE NUCLEAR POWER ACCEPTABLE. Natta Newsletter, No. 10, mar-abr. 1981
- Flavin, C. WIND POWER : A TURNING POINT. Worldwatch Paper, NO. 45, 1981
- Flavin, C. A RENAISSANCE FOR WIND POWER. Environment, Vol. 23, No. 8, oct. 1981a

- Flettner, A. THE STORY OF THE ROTOR. F. O. Willhoft, NYC., 1926
- Folch i Guillèn, R. LA VEGETACIÓ ALS PAÏSOS CATALANS. Ketres Ed., Barcelona, 1981
- Fontserè, E. TREBALLS DE L'ESTACIÓ AEROLÒGICA DE BARCELONA. Archius de l'Institut de Ciències, I. E. C., Any III, No. 3, 1915 Any IV, No. 8-9, 1917
- Fontserè, E. DESARROLLO DE LA BRISA MARINA EN EL LITORAL DE BARCELONA. Acadèmia de Ciències i Arts, 3ª Ep., Vol. XI, Barcelona, 1915a
- Fontserè, E. SOBRE ELS VENTS ESTIVALS DE CONVECCIÓ, A LA COSTA CATALANA. Arxius de l'Institut de Ciències, I. E. C., Vol. V, No. 3, 1918
- Fontserè, E. SOBRE EL REGIMEN NORMAL DE LOS VIENTOS SUPERIORES EN BARCELONA DURANTE LOS MESES DE VERANO Y OTORO. Secció de Ciències, Fac. de Ciències, Barcelona, 1920
- Fontserè, E. L'OMBRA DELS ALTS PIRINEUS DAMUNT CATALUNYA. Butlletí del Centre Excursionista de Catalunya, Vol. XXX, Barcelona, 1920a
- Fontserè, E. SONDATGES A L'ATMOSFERA LLIURE A BARCELONA AMB GLOBUS PILOTS DURANT ELS ANYS 1916-1920. Notes d'Estudi del Servei Meteorològic de Catalunya, Vol. I, No. 14, 1922 No. 19, 1923
- Fontserè, E. SONDEOS DE LA ATMOSFERA EN AVION. Ibèrica, Tortosa, 1923a
- Fontserè, E. EL SERVICIO METEOROLOGICO DE CATALUNYA EN AEROPLANO. Mundo Gráfico, Madrid, 5 des. 1923b
- Fontserè, E. NOTA SOBRE LA PERIODICIDAD EN LA ESTRUCTURA DEL VIENTO. Assoc. Española para el Progreso de las Ciencias Congreso de Salamanca, Vol. IV, Madrid, 1923c
- Fontserè, E. DIE "LLEVANTS" DER KATALANISCHEN KUSTE. Homenatge al Prof. Hugo Hergersell, Beiträge zur Physik der Frein Atmosphäre, XV, Leipzig, 1929 traducció catalana : Els Llevants a la Costa Catalana Notes d'Estudi del Servei Meteorològic de Catalunya, No. 41, Barna, 1929
- Fontserè, E. SOBRE LA MACROESTRUCTURA DEL VIENTO EN EL OBSERVATORIO FABRA. Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, Memorias, 3ª epoca, Vol. XXVI, No. 4, Barcelona, 1942

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Fontserè, E. LA TRAMUNTANA AMPURDANESA I EL MESTRAL DEL GOLF DE SANT JORDI. Arxius de la Secció de Ciències, I. E. C., Barcelona, 1950
- Fraenkel, P. L. THE USE OF WIND POWER FOR PUMPING WATER. A contribution for B. W. E. A. position paper on Wind Power British Wind Energy Association, 1980
- Fung, K. T., Scheffler, R. L., Stolpe, J. WIND ENERGY. A UTILITY PERSPECTIVE. I. E. E. E. Power Engineering Society Summer Meeting Minneapolis, Mn., 1980
- Garate, J. A. WIND ENERGY MISSION ANALYSIS. E. R. D. A., feb. 1977
- Gella Iturriaga, J. REFRANERO DEL MAR. Madrid, 1944
- General Electric Space Division. WIND ENERGY MISSION ANALYSIS. G. E. Co., feb. 1977
- General Electric Co. MOD-1 WIND TURBINE GENERATOR ANALYSIS AND DESIGN REPORT. N. A. S. A., CR-159495, Mai. 1979
- Gil Sordo, V. ESPAÑA PUEDE DOBLAR SU PRODUCCION HIDROELECTRICA. La Vanguardia, 15 gen. 1981
- Gilbert, L. J. SYNCRONISATION OF THE DOE/NASA 100 kW. WIND TURBINE GENERATOR WITH A LARGE UTILITY NETWORK. N. A. S. A., TM-73861, 1977
- Gimpel, G. THE WINDMILL TODAY. Engineering, Vol. 185, No. 4812, 30 mai. 1958
- Gimpel, J. LA REVOLUCION INDUSTRIAL EN LA EDAD MEDIA. Taurus Ed., Madrid, 1981
- G. J. SE INVIRTIERON 394 MILLONES PARA LA ELECTRIFICACION RURAL EN CATALUNYA. La Vanguardia, 3 abr. 1982
- Ginosar, M. A PROPOSED LARGE-SCALE WIND ENERGY PROGRAM FOR CALIFORNIA. Energy Sources, Vol. 5, No. 2, 1980
- Glasgow, J. C., Birchenough, A. G. DESIGN AND OPERATION EXPERIENCE ON THE U. S. DOE EXPERIMENTAL MOD-0 100 kW. WIND TURBINE. 13th. Intersociety Energy Conversion Eng. Conf. San Diego, 1978
- Glasgow, J. C., Robbins, W. H. UTILITY OPERATIONAL EXPERIENCE ON THE NASA/DOE 200 kW. WIND TURBINE. 6th. Energy Technology Conference Washington, 1979
- Gofman, J. W. i Tamplin, A. R. POISONED POWER Rodale Press, Emmaus, Pa., 1979

- Gofman, J.W. RADIATION AND HUMAN HEALTH. Sierra Club Books, San Francisco, Ca., 1981
- Golding, E.W. LARGE-SCALE GENERATION OF ELECTRICITY BY WIND POWER. PRELIMINARY REPORT. E.R.A., Technical Report, Ref.C/T 101, 1949
- Golding, E.W. THE POTENTIALITIES OF WIND POWER FOR ELECTRICITY GENERATION WITH SPECIAL REFERENCE TO SMALL-SCALE OPERATION. E.R.A., Technical Report, Ref.W/T 16, 1949a
- Golding, E.W. i Stodhart, A.H. THE SELECTION AND CHARACTERISTICS OF WIND POWER SITES. E.R.A., Technical Report, Ref.C/T 108, 1952
- Golding, E.W. THE ECONOMIC UTILIZATION OF WIND ENERGY IN ARID AREAS. Proc. of the New Delhi Sym. on Wind and Solar Energy 22-25 oct. 1954 U.N.E.S.C.O., Paris, 1956
- Golding, E.W. THE UTILIZATION OF WIND, SOLAR RADIATION AND OTHER LOCAL ENERGY RESOURCES. FOR THE DEVELOPMENT OF A COMMUNITY IN AN ARID OR SEMI-ARID AREA. Proc. of the New Delhi Sym. on Wind and Solar Energy 22-25 oct. 1954 U.N.E.S.C.O., Paris, 1956
- Golding, E.W. THE GENERATION OF ELECTRICITY BY WIND POWER. E and F N Spon Ltd., Londres, 1955 5 a reedició 1978
- Golding, E.W. WIND POWER GENERATION : PROGRESS DURING PAST SIX YEARS REVIEWED. Electrical Review, Vol. 156, 1 abr. 1955a
- Golding, E.W. ENERGY FROM THE WIND. Engineering, Vol. 179, No. 4654, 8 abr. 1955b
- Golding, E.W. POTENCIALIDAD ECONOMICA DE LA ENERGIA EOLICA. Revista de Ciencia Aplicada, Vol. 10, No. 50, mai-jun. 1956
- Goldsmith, E. R. D. (editor). A BLUEPRINT FOR SURVIVAL. Harmondsworth, 1972
- Gomis, C. METEOROLOGIA I AGRICULTURA POPULARS. Barcelona, 1888
- Gooley, M. THE VPLLOT COMBINATION USER'S, INSTALLATION AND REFERENCE MANUAL. Millikin University Computer Center, Decatur, Il., 1981
- Griera, A. ELS NOMS DELS VENTS EN CATALA. Butlletí de dialectologia Catalana, jul-des. 1914
- Groupe de Bellevue. PROJET ALTER : ETUDE D'UN AVENIR ENERGETIQUE POUR LA FRANCE AXE SUR LE POTENTIEL

REFERANCIAS BIBLIOGRAFICAS

- RENOUVELABLE. Paris. 1978
- Groupement de Scientifiques pour l'Information sur l'Energie Nucleaire ELECTRO-NUCLEAIRE : DANGER. Ed. du Seuil, Paris, 1977
 - Guerrero, J. CAMPO DE CRIPTANA. La Vanguardia, 9 ago. 1981
 - Hadlai Hull, C. i Nie, N. H. SPSS-UPDATE 7-9, NEW PROCEDURES AND FACILITIES. McGraw Hill Book Co., NY, 1981
 - Hamilton, R. CAN WE HARNESS THE WIND ?. National Geographic, Vol. 148, des. 1975
 - Hennessey, J. P. SOME ASPECTS OF WIND POWER STATISTICS. Journal of Applied Meteorology, 16, 1977
 - Herforth, C. i Nybroe, C. SOL-VIND HANDBOG. Informations Forlag, 1977
 - Hewson, E. W., Baker, R. W., Brownlow, R. WIND POTENTIAL IN SELECTED AREAS OF OREGON. Oregon State University, jun. 1976
 - Hewson, E. W. i Baker, R. W. WIND POWER. NETWORK WIND POWER OVER THE PACIFIC NORTHWEST. Dept. of Atmospheric Sciences, Oregon State Univ., gen. 1978
 - Hewson, E. W. i Unde, J. E. WIND POWER POTENTIAL IN THE PACIFIC NORTHWEST REGION. Oregon State University, jun. 1978
 - Hita, el Arcipreste de. EL LIBRO DEL BUEN AMOR. Ed. Julio Cejador, Madrid, 1913
 - Hoffman, D. IREG 3-BLADER TO YIELD DESIGN SPINOFFS. Canadian Renewable Energy News, mai. 1981
 - Hoffman, D. WORLD'S FIRST WINDFARM GENERATES 600 kW. Canadian Renewable Energy News, jun. 1981
 - Hoffman, D. REDISCOVERING OLD TECHNOLOGY. Canadian Renewable Energy News, set. 1981
 - Hoffman, D. WIND'S STUDY'S SAYS B. C. HYDRO PLAYING OSTRICH. Canadian Renewable Energy News, set. 1981
 - Hoffman, D. PUMPED STORAGE. Canadian Renewable Energy News, set. 1981
 - Hoffman, D. BRITISH UTILITY BUYS U. S. BUILT 200 kW. WINDTURBINE. Canadian Renewable Energy News, oct. 1981
 - Hoffman, D. 600 UNIT WIND FARM ANNOUNCED. Canadian Renewable Energy News, oct. 1981

- Hoffman, D. TESTING. Renewable Energy News, feb. 1982
- Hoffman, D. MOD-2 IDLED BY CUTS. Renewable Energy News, abr. 1982
- Hoffman, D. CALIFORNIA WINDFARMING. Renewable Energy News, mai. 1982
- Hoffman, D. ALCOA ABANDONS DARRIEUS, TWO NEW FIRMS TAKE OVER. Renewable Energy News, jun. 1982
- Hoffman, D. P.G. AND E. SIGNS 30 YEARS WIND DEAL. Renewable Energy News, Vol. 5, No. 3, jun. 1982
- Hoffman, D. WORLD'S FIRST MUNICIPALITY OWNED WINDFARM ERECTED. Renewable Energy News, Vol. 5, No. 4, jul. 1982
- Hoffman, D. WORLD'S MOST POWERFUL WIND GENERATOR ERECTED. Renewable Energy News, Vol. 5, No. 5, ago. 1982
- Holloway, J. i Manabe, S. Monthly Weather Revue, 99, 1971
- Holst, H. POUL LA COUR : 13/4/1846 - 24/4/1908 Fysisk Tidsskrift, 1907-1918
- Honnef, H. WIND POWER GENERATION. Electrical Review, Vol. 143, No. 3695, 17 set. 1948
- Hosta, J. de. CRONICA DE LA PROVINCIA DE CIUDAD REAL. Madrid, 1865
- Hütter, U. PLANNING AND BALANCING OF ENERGY OF SMALL-OUTPUT WIND POWER PLANT. Proc. of the New Delhi Sym. on Wind and Solar Energy 22-25 oct. 1954 U. N. E. S. C. D., 1956
- Hütter, U. THE AERODYNAMIC LAYOUT OF WING BLADES OF WIND TURBINES WITH HIGH TIP-SPEED RATIO. Proc. of the Conf. on New Sources of Energy Roma, 21-31 ago. 1961 U. N., Vol. 7, NY, 1964
- Illich, I. DESCHOOLING SOCIETY. Harper and Row, 1971
- Illich, I. ENERGY AND EQUITY. Calders and Boyers Ltd., 1972
- Illich, I. TOOLS FOR CONVIVIALITY. Harper and Row, 1973
- Illich, I. ALTERNATIVA AL DESARROLLO. El Viejo Topo, mai. 1980
- Irving, W. LIVES OF THE SUCCESSORS OF MAHOMET. Henry G. Bohn, Londres, 1850

REFERNCIES BIBLIOGRAFIGUES

- Jacobs, M. L. EXPERIENCE WITH JACOBS WIND-DRIVEN ELECTRIC GENERATING PLANT, 1931-1957. Proc. of the Conf. on New Sources of Energy Roma, 21-31 ago. 1961 U.N., Vol. 7, NY., 1964
- Jarass, L., Hoffman, L., Jarass, A., Obeimair, G. WIND ENERGY: AN ASSESSMENT OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC POTENTIAL. A CASE STUDY FOR THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY, COMMISSIONED BY THE INTERNATIONAL ENERGY COMMISSION. Springer-Verlag, Berlin, 1981
- JBC Scientific Corp. NORTHEAST REGIONAL ASSESSMENT STUDY FOR SOLAR ELECTRIC OPTIONS IN THE PERIOD 1980-2000. J. B. C., abr. 1979
- Johannson, T. B. i Steen, P. SOLAR SWEDEN: AN OUTLINE TO A RENEWABLE ENERGY SYSTEM. Secretariat for Future Studies, Stockholm, 1977
- Jungk, R. EL ESTADO NUCLEAR. Editorial Critica, Barcelona, 1979
- Justus, C. G. WIND DATA COLLECTION AND ASSESSMENT. Proc. of the Initial Wind Energy Data Assessment Study. Asheville, NC., 29-31 jul. 1974 NSF-RA-N-75-020, mai. 1975
- Justus, C. G., Hargraves, W. R., Yalcin, A. NATION WIDE ASSESSMENT OF POTENTIAL OUTPUT FROM WIND POWERED GENERATORS. Journal of Applied Meteorology, 15, 1976
- Justus, C. G., Hargraves, W. R., Mikhail, A. REFERENCE WIND SPEEDS DISTRIBUTIONS AND HEIGHT PROFILES FOR WIND TURBINE DESIGN AND PERFORMANCE EVALUATION APPLICATIONS. E. R. D. A., ago. 1976a
- Justus, C. G. i Mikhail, A. S. HEIGHT VARIATION OF WIND SPEED AND WIND DISTRIBUTION STATISTICS. Geophys. Res. Letters, 3, 1976b
- Justus, C. G., Hargraves, W. R., Mikhail, A. METHODS FOR ESTIMATING WIND SPEED FREQUENCY DISTRIBUTIONS. Journal of Applied Meteorology, Vol. 17, mar. 1978
- Justus, C. G. WINDS AND WIND SYSTEMS PERFORMANCE. The Franklin Institute Press, Philadelphia, 1978a
- Justus, C. G. WIND ENERGY STATISTICS FOR LARGE ARRAYS OF WIND TURBINES (NEW ENGLAND AND CENTRAL U. S. REGIONS). Solar Energy, Vol. 20, 1978b
- Justus, C. G. i Mikhail, A. GENERIC POWER PERFORMANCE ESTIMATES FOR WIND TURBINES. Wind Technology Journal, Vol. 2, No. 1-2, 1978

- Juul, J. WIND MACHINES. Proc. of the New Delhi Sym. on Wind and Solar Energy 22-25 oct. 1954 U. N. E. S. C. O., Paris, 1956
- Juul, J. DESIGN OF WIND POWER PLANTS IN DENMARK. Proc. of the Conf. on New Sources of Energy Roma, 21-31 ago. 1961 Vol. 7, U. N., NY., 1964
- Juul, J. RECENT DEVELOPMENTS AND POTENTIAL IMPROVEMENTS IN WIND POWER UTILIZATION FOR USE IN CONNEXION WITH ELECTRICAL NETWORKS IN DENMARK. Proc. of the Conf. on New Sources of Energy Roma, 21-31 ago. 1961 Vol. 7, U. N., NY., 1964
- Juul, J. ECONOMY AND OPERATION OF WIND POWER PLANTS. Proc. of the Conf. on New Sources of Energy Roma, 21-31 ago. 1961 Vol. 7, U. N., NY., 1964
- Kahn, E. THE RELIABILITY OF DISTRIBUTED WIND GENERATORS. Lawrence Berkeley Laboratory, 1979
- KaMeWa. KAMEWA WIND TURBINE SYSTEM. KaMeWa, 1980
- Kasahara, A i Washington, W. Monthly Weather Revue, 95, 1967
- Kendall, H. W. i Nadis, S. J. ENERGY STRATEGIES: TOWARD A SOLAR FUTURE. A REPORT OF THE U. C. S. Ballinger, 1980
- Kirkman, S i Hoffman, D. GERMAN FIRM CONSTRUCTS WORLD'S TALLEST WIND PLANT. Renewable Energy News, abr. 1982
- Klecka, W., Nie, N. H., Hadlai Hull, C. SPSS PRIMER. McGraw Hill Book Co., NY, 1975
- Klemm, A. THE SAVONIUS ROTOR. Mechanical Engineering, Vol. 47, No. 11, nov. 1925
- Komanoff, Ch. POWER PLANT COST ESCALATION: NUCLEAR AND COAL CAPITAL COSTS, REGULATION AND ECONOMICS. Komanoff Energy Associates, NY., 1981
- La Cour, P. BESKRIVELSE AF KRATOSTAT. FORSOEG ANGAENDE VINDKRAFTENS ANVENDELSE. Ingenioren, 1892-1895-1896
- La Cour, P. FORSOEGSMOLLEN III OG IV 1903 ANHELDT AF ABSALON LARSEN. Fysisk Tidsskrift, 1903-1904
- La Cour, P. VIND-ELEKTRICITETS-VAERKER. Tekniske Forenings Tidsskrift, 1905
- Lacroix, G. L'ENERGIE DU VENT. La Technique Moderne, T. XLI, No. 5-6 i 7-8, mar-abr, 1949

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Lawand, T. A. REVIEW OF THE WIND POWER ACTIVITIES AT THE BRACE RESEARCH INSTITUTE. 1st. Workshop on Wind Energy Conversion Systems, 1973
- Laech, G. et al. A LOW ENERGY STRATEGY FOR U.K. The Int. Institute for Environment and Development, Londres, 1979
- Lecrere, P. EOLIEENNE D'OUessant. Dept. Syst. Energ., E. D. F., s/d
- Lerner, J. THE FUTURE OF WIND ENERGY DEVELOPMENT IN THE U.S. Wind Energy report, set. 1979
- Levi-Provençal, E. E. L'ESPAGNE MUSULMANE AU Xème SIECLE, INSTITUTIONS ET VIE SOCIALE. Paris, 1932
- Levi-Provençal, E. E. LA PENINSULE IBERIQUE AU MOYEN-AGE. Leyden, 1938
- Lines, Ch. W. PERCY THOMAS WIND GENERATOR DESIGNS. 1st. Workshop on Wind Energy Conversion Systems, 1973
- Linscott, B. S., Dennett, J. T., Gordon, L. H. THE MOD-2 WIND TURBINE DEVELOPMENT PROJECT. N. A. S. A., TM-82681, 1981
- Lipschutz, R. RADIOACTIVE WASTE: POLITICS, TECHNOLOGY AND RISK. Ballinger, Cambridge, Ma., 1980
- Lissaman, P. B. S. ENERGY EFFECTIVENESS OF ARRAYS OF WIND ENERGY COLLECTION SYSTEMS. PHASE I. AeroVironment Inc., Ca., 1977
- Lissaman, P. B. S. i Bate, E. R. ENERGY EFFECTIVENESS OF ARRAYS OF WIND ENERGY COLLECTION SYSTEMS. PHASE II. AeroVironment Inc., Ca., 1977
- Little, A. D. NEAR-TERM HIGH POTENTIAL COUNTIES FOR SWECS. FINAL REPORT. N. T. I. S., 1981
- Lopez Linage, J. OPCIONES ENERGETICAS Y CONDICIONAMIENTOS SOCIALES. Cuadernos del Ruedo Iberico, No. 63-66, mai-des. 1979
- Lorenz, E. THE NATURE AND THEORY OF THE GENERAL CIRCULATION OF THE ATMOSPHERE. World Meteorological Organisation, publ. No. 218TP115, 1967
- Lovins, A. B. SOFT ENERGY PATHS: TOWARD A DURABLE PEACE. Friends of the Earth / Ballinger, Cambridge, Ma., 1977
- Lovins, A. B. RE-EXAMINING THE NATURE OF THE ECONOMIC COMMISSION FOR EUROPE ENERGY PROBLEM. Energy Policy, set. 1979

- Lovins, A. B., Hunter Lovins, L., Ross, L. NUCLEAR POWER AND NUCLEAR BOMBS. Foreign Affairs, estiu 1980
- Lovins, A. B. i Hunter Lovins, L. ENERGY/WAR: BREAKING THE NUCLEAR LINK. Harper and Row, NY., 1981
- Lovins, A. B. i Hunter Lovins, L. BRITTLE POWER : ENERGY STRATEGY FOR NATIONAL SECURITY. Brick House Publishing Co. Inc., Andover, Ma., 1982
- Lundsager, P., Frandsen, S., Christensen, C. J. ANALYSIS OF DATA FROM THE GEDSER WIND TURBINE 1977-1979. Riso National Laboratory, Roskilde, 1980
- Ma, F. S., Isaken, L., Kuliaska, M. IMPACT OF DISPERSED SUPPLY MANAGEMENT ON ELECTRIC DISTRIBUTION PLANNING AND OPERATIONS. I. E. E. E. Transactions on Power Apparatus and Systems Vol. PAS-98, No. 5, set-oct. 1979
- Mandix-Schon, A. F. FORSOG I ASKOV MED DEN HORIZONTSLE VINDMOTOR. Ingenioren, No. 15, 1901
- Martin Arabaicía, S. LOS ENGAÑOS DEL PLAN ENERGETICO NACIONAL. Cuadernos del Ruedo Ibérico, No. 63-66, mai-des. 1979
- Martin, D. THREE MILE ISLAND : PROLOGUE OR EPILOGUE ?. Ballinger, Cambridge, Ma., 1980
- Mayersohn, M. WIND POWER. Engineering, Vol. 10, 10 des. 1920
- Meadows, D. H., Meadows, D. L., Randers, J., Behrens III, W. W. LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO. Fondo de Cultura Económica, Mexico, 1972
- Mengel, O. EXTENSION DU MISTRAL EN MEDITERRANEE. La Meteorologie, Vol. X, Paris, 1934
- Mercadal, D. LOS MOLINOS DE MENORCA. Panorama Balear, Monografias (106), Palma, 1981
- Merriam, M. F. WIND ENERGY USE IN THE U. S. TO THE YEAR 2000. Wind Energy Report, ago. 1978/set. 1978
- Mesarovic, M. i Pestel, E. LA HUMANIDAD ANTE LA ENCRUCIJADA. Fondo de Cultura Económica, Mexico, 1975
- Meseguer, C. EMPLAZAMIENTO Y ANTEPROYECTO DE UNA CENTRAL EOLICA DE MEDIANA POTENCIA. Projecte fi de Carrera, ETSEI-UPB, Barcelona, 1978
- Meseguer, C., Oliva, A., Puig, J. L'ENERGIA EOLICA I EL SEU FUTUR A CATALUNYA. Jornades Catalanes d'Enginyeria, Barcelona, 1979

REFERENCIES BIBLIOGRAFQUES

- Millar, M.N. A REVIEW OF UNITED KINGDOM WINDPOWER. International Journal of Ambient Energy, Vol.3, No.1, gen. 1982
- Minchinton, W. THE PREINDUSTRIAL SOURCES OF POWER ENERGY : WIND POWER. History Today, Vol.30, mar. 1980
- Ministerio de Indústria y Energia / C.E.D.E. ACUERDO-MARCO SOBRE EL PLAN DE ACTUACION PARA EL FOMENTO DE LA INVESTIGACION E INNOVACION TECNOLOGICA. Madrid, 12 nov. 1981
- Ministry of Energy. WIND ENERGY, PAST AND PRESENT. New and Renewable Energy Sources, Kenia, 1981
- Minnesota Energy Agency. ENERGY POLICY AND CONSERVATION REPORT. Wind Energy Report, des. 1978
- Miquel Cuñat, E. GENERALIDADES SOBRE LAS BRISAS. Anales de la Sociedad Española de Meteorología Vol. II, Madrid, 1928
- Molera, P. LA FARGA. Dopesa, Barcelona, 1980
- Molesworth Sykes, P. TEN THOUSANDS MILES IN PERSIA OR EIGHT YEARS IN IRAN. Londres, 1902
- Moll, F. de B. VOCABULARI TÈCNIC DELS MOLINS DE VENT DE LES BALEARS. Butlletí de Dialectologia Catalana, XXII, 1934
- Moller, H.C.V. VINDELEKTRICITETSVAERKET VED SLUSEANLÆGGET I KALVEBOD STRAND. Tekniske Forenings Tidsskrift, 1905
- Montané, P. L'ENERGIA HIDRAULICA A CATALUNYA. Jornades de Polit. Ind. i Energ., Barcelona, 1981
- Moreno, S. MUSEOS DE VIENTO. Cambio 16, No. 534, 22 feb. 1982
- Morris, D. SELF-RELIANT CITIES: ENERGY AND THE TRANSFORMATION OF URBAN AMERICA. Sierra Club Books, San Francisco, Ca., 1982
- Moss, J. ORKNEY GOES WITH THE WIND. Electrical Review, Vol. 208, No. 15, 15 abr. 1981
- Muñoz, J. i Serrano, A. LA CONFIGURACION DEL SECTOR ELECTRICO Y EL NEGOCIO DE LA CONSTRUCCION DE CENTRALES NUCLEARES. Cuadernos del Ruedo Ibérico, No. 63-66, mai-des. 1979
- Murphy, B.M. WIND-OVER-WAVE DECISION DECRIED BY U.K. CRITICS. Canadian Renewable Energy News, ago. 1981

- Nader, R. i Rosenfield, H. THE STATE OF NUCLEAR POWER 1981
Critical Mass Energy Journal, gen-feb. 1982
- Naredo, J.M. ENERGIA Y CRISIS DE CIVILIZACION. Cuadernos
del Ruedo Ibérico, No. 63-66, mai-des. 1979
- NASA-Lewis Research Center. PRESENTATION TO WIND ENERGY
STUDY TOUR. Cleveland, Oh., set. 1981
- National Association of Counties Research Inc. COUNTY
ENERGY PRODUCTION HANDBOOK. N. A. C. R., Washington, 1981
- National Climatic Center. CLIMATIC ATLAS ON THE U.S.
N. C. C., 1974
- National Research Council of Canada. WIND ENERGY.
N. R. C., 1980
- Nelson, V. i Gilmore, E. POTENTIAL FOR WIND GENERATED
POWER IN TEXAS. Texas Governors' Energy Advisory Council,
oct. 1974
- Network for Alternative Technology and Technology
Assessment. NATTA NEWSLETTER. No. 1-18. 1979-1982
Alternative Technology Group, Open University
- New Alchemy Institute. THE VILLAGE AS SOLAR ECOLOGY.
Proc. of the New Alchemy Threshold Generic design Conf.
Woods Hole, Ma., 1979
- Newell, R., Vincent, D., Dopplick, T., Ferruzza, D., Kidson, J.
THE GLOBAL CIRCULATION IN THE ATMOSPHERE. Royal
Meteorological Society, Londres, 1969
- Nie, N. H., Hadlai Hull, C., Jenkins, J. G., Steinbrenner, K.,
Bent, D. H. STATISTICAL PACKAGE FOR SOCIAL SCIENCES.
McGraw Hill Book Co., NY., 1975
- Norusis, C. SPSS INTRODUCTION GUIDE. McGraw Hill Book
Co., NY., 1982
- Notebaart, J. C. A HYPOTESIS ABOUT THE ORIGIN OF THE FIRST
WINDMILL. II International Sym. on Molinology, Denmark.,
1969
- Okagaky, A. i Benson, J. COUNTY ENERGY PLAN GUIDEBOOK.
Institute for Ecological Policies, Fairfax, Va., 1979
- Oko Institut. ENERGY SUPPLY WITHOUT NUCLESR POWER AND OIL
FOR THE FEDERAL REPUBLIC OF GERMANY. O. I., Hannover, 1980
- O Hair, E. MONTANA RENEWABLE ENERGY PROGRAM. M. E. and
M. H. D. Research and Development Institute, 1979

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- Oliver, P. WINDMILLS OF MURCIA. Shelter, des. 1973
- O. O. A. 'S Folkepage. DENMARK WITHOUT NUCLEAR POWER. O. O. A., 1979
- O. V. E. The Danish Organization for Renewable Energy. RENEWABLE ENERGY IN DENMARK. O. V. E., Copenhagen, 1981
- Pacific Power and Light. CONSERVATION AND RENEWABLE RESOURCE PROGRAMS (1980-1985) P. P. L., Portland, Or., 1981
- Park, J. THE WIND POWER BOOK. Cheshire Books, Palo Alto, Ca., 1981
- Patxot, R. LA TRAMUNTANA. Il·lustració Catalana, Vol. III, Barcelona 1905
- Pedersen, B. M. i Nielsen, P. DESCRIPTION OF THE TWO DANISH 630 kW. WIND TURBINES NIBE-A AND NIBE-B, AND SOME PRELIMINARY TEST RESULTS. 3rd. Int. Sym. on Wind Energy Systems Lyngby, 1980
- Pedersen, B. M. THE WIND POWER PROGRAM IN DENMARK. Fifth Biennial Wind Energy Conf. and Workshop Washington, 1981
- Percebois, J. LES PERSPECTIVES ENERGETIQUES MONDIALES. Conferència pronunciada a l'I. E. C. Barcelona, gen. 1981
- Perelló, R. PLAN DE ELECTRIFICACION RURAL EN ZONAS DE LLEIDA. El Periódico, 24 jul. 1982.
- Petersen, E. L., Troen, I., Frandsen, S., Hedegaard, K. WINDATLAS FOR DENMARK. Riso National Laboratory, Roskilde, gen. 1981
- Petersen, H. THE TEST PLANT FOR AND A SURVEY OF SMALL DANISH WINDMILLS. Riso National Laboratory, Roskilde, 1980
- Phillips, N. WIND FARMS BLOW U. S. LAND PRICES SKY HIGH. Canadian Renewable Energy News, Vol. 4, No. 2, abr. 1981
- Phillips, N. DARRIEUS DOWNED AS FREAK WINDS BAFFLE CONTROLS. Canadian Renewable Energy News, Vol. 4, No. 3, mai. 1981
- Piepers, G. G. i Sens, P. F. WIND PROGRAM IN NETHERLANDS. Fifth Biennial Wind Energy Conf. and Workshop Washington, 1981
- Pillado, R. LA MANIPULACION DE LA OPINION PUBLICA A TRAVES DEL SISTEMA INFORMATIVO. Cuadernos del Ruedo Ibérico, No. 63-66, mai-des. 1979

- Planstyrelsen. MAYOR STEP TAKEN IN ALTERNATIVE ENERGY PLANNING IN DENMARK. World Information Service on Energy, Vol. 3, No. 4, set. 1981
- Portola Institute. ENERGY PRIMER: SOLAR, WATER, WIND AND BIOFUELS. Fricke Parks Press, Fremont, Ca., 1974
- Powell, W. R. AN ANALYTICAL EXPRESION FOR THE AVERAGE OUTPUT POWER OF A WIND MACHINE. Solar Energy, Vol. 26, 1981
- Puig, J. WIND ENERGY STUDY TOUR. Memòria de l'Ajut de treball concedit per la C. I. R. I. T. set-oct. 1981
- Puig, J. i Meseguer, C. ESTUDIS PREVIS I DE DEFINICIÓ DELS EQUIPS NECESSARIS PER A LA CONFECCIÓ DEL MAPA EÒLIC DE CATALUNYA. Memòria, Barcelona, 1981
- Puig, J. i Meseguer, C. ESTUDIS PREVIS I DE DEFINICIÓ DELS EQUIPS NECESSARIS PER A LA CONFECCIÓ DEL MAPA EÒLIC DE CATALUNYA. Enquesta als Municipis, Barcelona, 1982
- Puigcerver, M. EXPLORACION ACUSTICA DE LA BAJA ATMOSFERA. Memorias de la Real Acad. de Ciencias y Artes de Barcelona 3ª epoca, Vol. XLIV, No. 5, 1978
- Puthoff, R. L., Collins, J. L., Wolf, R. A. INSTALLATION AND CHECKOUT OF THE DOE/NASA MOD-1 2000 kW. WIND TURBINE GENERATOR. Wind Energy Conference, Boulder, Co., 1980
- Putnam, P. C. POWER FROM THE WIND. Van Nostrand Reinhold, NY., 1948
- Guitxal, A. SONDATGES DE L'ATMOSFERA LLIURE A BARCELONA AMB GLOBUS PILOTS DURANT 1921, 1922, 1923. Notes d'Estudi del Servei Meteorològic de Catalunya. Vol. I, No. 12-22-25, 1922-1923-1923
- Raurich, S. LA TRAMUNTANA. Revista General de la Marina, Madrid, 1945
- Reagan, R. POLITICA DE ENERGIA NUCLEAR EN LOS E. U. A. declaración pública, oct. 1981 Reproduida a B. I. E. N., No. 18-19, des. 1981
- Real Academia de Ciències i Arts. SESSIÓ D'HOMENATGE AL DR. E FONTSERÉ. Memòries, 3ª epoca, Vol. XXXIII, No. 18, 1961
- Real Academia de Ciències i Arts. OBRA DISPERSA SOBRE METEOROLOGIA CATALANA. 3ª epoca, Vol. XL, No. 4, 1970
- Reddoch, T. DISPERSED SMALL WECS: PROBLEM FOR UTILITIES ?. Wind Energy Report, mar. 1979

REFERENCIES BIBLIOGRAFIGUES

- Reddoch, T.W. i Klein, J.W. NO ILLWINDS FOR NEW MEXICO UTILITY. I. E. E. E. Spectrum, Vol. 16, No. 57, mar. 1979
- Reed, J.W., Maydew, R.C., Blackwell, B.F. WIND ENERGY POTENTIAL IN NEW MEXICO. Sandia Laboratories, jul. 1974
- Reed, J.W. WIND POWER CLIMATOLOGY OF THE U.S. Sandia Laboratories, mai. 1975
- Resources Group, IIASA WATER, ENERGY, LAND, MATERIALS AND MAN POWER. Revue de l'Energie, No. 316, jun-jul. 1979
- Richards, T.R. i Neustadter, H.E. DOE/NASA MOD-0A WIND TURBINE PERFORMANCE. 13th. Intersociety Energy Conversion Engineering Conf. San Diego, Ca., 1978
- Rocky Flats Wind Systems Program. IS THE WIND A PRACTICAL SOURCE OF ENERGY FOR YOU ?. Rocky Flats, Co., 1980
- Rocky Flats Wind Systems Program. PERFORMANCE SUMMARY SHETS. Rocky Flats, Co., 1980a/1981a
- Rocky Flats Wind System Program. FY1980 PROGRAM SUMMARY: TECHNICAL AND MANAGEMENT SUPPORT FOR THE DEVELOPMENT OF SMALL WIND SYSTEMS. Rocky Flats, Co., 1980b
- Rocky Flats Wind System Program. COMMERCIALY AVAILABLE SMALL WIND SYSTEMS AND EQUIPMENT. Rocky Flats, Co., 1981
- Rogers, S.E. ENVIRONMENTAL STUDIES RELATED TO THE OPERATION OF WIND ENERGY CONVERSION SYSTEMS. FINAL REPORT. Battelle Columbus Laboratories, des. 1977
- Roldán, S., Muñoz, J., Serrano, A. LAS ELECTRICAS Y SUS TARIFAS. Triunfo, No. 644, 1 feb. 1975
- Romani, L. L'EXPERIÈNCIA FRANCESA EN AEROGENERADORS. Conferència pronunciada a l'Assoc. d'Eng. Ind. Jornades d'Energia Eòlica, gen. 1980
- Rose, M.B. OPERATIONAL EXPERIENCE ON THE MP-200 SERIES COMMERCIAL WIND TURBINE GENERATORS. WTG Energy Systems Inc., Buffalo, 1981
- Rosselló, V.M. MOLINOS Y NORIAS. Panorama Balear, Monografias (81), Palma, 1958
- Rotblat, J. NUCLEAR RADIATION IN WARFARE. Taylor and Francis Ltd., Londres, 1981
- Rowe, W.D. RENEWABLE ENERGY : TARGET FOR 2050. I. E. E. E. Spectrum, feb. 1982
- Ruiz, J. EL LIBRO DEL BUEN AMOR. Ed. Gredos, Madrid, 1973

- Salomon, J. COMPTEUR ANEMOMETRIQUE FOURNISSANT LA MOYENNE CUBIQUE DE LA VITESSE DU VENT. Revue Generale de l'Electricite, Vol. 76, No. 3, 1967
- Sanchez Tarifa, C. ENERGIAS SOLAR Y EOLICA. ESTADO ACTUAL Y PERSPECTIVAS. Ingenieria Aeronautica y Astronautica, No. 211, 1980
- Sanchis Guarner, M. LOS VIENTOS BALEARICOS EN EL REFRANERO. Baleares, 10 set. 1948
- Sanchis Guarner, M. ELS VENTS SEGONS LA CULTURA POPULAR. Ed. Barcino, Biblioteca Folklorica (4), Barcelona, 1952
- Sanchis Guarner, M. ELS MOLINS DE VENT A MALLORCA. Ed. Barcino, Biblioteca Folklorica (11), Barcelona, 1955
- Sandia National Laboratories. WIND TURBINE DEVELOPMENTS. S. N. L., Albuquerque, NM., 1981
- Savonius, S. J. THE S ROTOR AND ITS APPLICATIONS. Mechanical Engineering, Vol. 53, -No. 5, mai. 1931
- Schaefer, E., i Benson, J. ENERGY AND POWER IN YOUR COMMUNITY. Institute for Ecological Policies, Fairfax, Ca., 1980
- Schumacher, E. F. SMALL IS BEAUTIFUL: ECONOMICS AS IF PEOPLE MATTERED. Harper and Row, 1973
- Schumacher, E. F. EL BUEN TRABAJO. Ed. Debate, Madrid, 1980
- Schumacher, E. F. GUIA PARA PERPLEJOS. Ed. Debate, Madrid, 1981
- Scientific American. Aerodynamic Windmills. jun. 1929
- Scientific American. LA ENERGIA. Alianza Editorial, Madrid, 1975
- Scott, D. HYDRAULIC WINDMILLS. Popular Science, gen. 1979
- Sectorov, W. R. 100 kW. FROM RUSSIAN WINDS. Electrical World, 14 abr. 1934
- Seely, D. B., Warchol, E. J., Butler, N. G., Ciranny, S. INITIAL UTILITY EXPERIENCE WITH CLUSTER OF THREE MOD-2 TURBINE SYSTEMS. Large Horizontal-Axis Wind Turbine Workshop Cleveland, 1981
- SERI, Solar Energy Research Institute. SOLAR ENERGY COMMERCIALIZATION AND THE LABOR MARGUET. Solar Energy and Conservation Symposium-Workshop University of Miami, des. 1978

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

- SERI, Solar Energy Research Institute. THE MOD-2 WIND TURBINE DEVELOPMENT PROJECT. S.E.R.I., Golden, Co., 1980
- Segarra, P. CARTA CONVOCANT PER A LA REALITZACIÓ DELS ESTUDIS PRELIMINARS PER A L'ELABORACIÓ DEL LLIBRE BLANC DE L'ENERGIA A CATALUNYA. Barcelona, mar. 1981
- Segarra, P. i Alario, J. (coordinadors). EL LLIBRE BLANC DE L'ENERGIA A CATALUNYA. Generalitat de Catalunya, Barcelona, 1981
- Sempere, J. BIBLIOTECA ESPAROLA ECONOMICO-POLITICA. Madrid, 1801
- Serra, L. LA VENT EN FRANCE ET SES POSSIBILITES D'UTILISATION. La Meteorologie, oct-des. 1953
- Shillingford, A. E. P., ENGLAND'S VANISHING WINDMILLS. Godfrey cave Assoc., Londres, 1979
- Shraeder-Frechette, K. S. NUCLEAR POWER AND PUBLIC POLICY. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holanda, 1980
- Simmons, D. M. WIND POWER. Noyes Data Corp., Park Ridge, NJ., 1975
- Smagorinsky, J., Manabe, S., Holloway, J. MONTHLY Weather Revue, 93, 1965
- Smeaton, J. ON THE CONSTRUCTION AND EFFECTS OF WINDMILL SAILS. Royal Society Paper, 1759
- Smeaton, J. AN EXPERIMENTAL ENQUIRY CONCERNING THE NATURAL POWERS OF WIND AND WATER (1794). Enciclopedia Britanica, Vol. 19, 1974
- Sorensen, B. WIND ENERGY. Bulletin of the Atomic Scientists, set. 1976
- Sorensen, B. DEPENDABILITY OF WIND ENERGY GENERATORS WITH SHORT-TERM ENERGY STORAGE. Science, Vol. 194, 26 nov. 1976a
- Sorensen, B. DIRECT AND INDIRECT ECONOMICS OF WIND POWER ENERGY SYSTEMS RELATIVE TO FUEL BASED SYSTEMS. Wind Engineering, Vol. 1, No. 1, 1977
- Sorensen, B. RENEWABLE ENERGY. Academic Press, Londres, 1978
- Sorensen, B. ON THE FLUCTUATING POWER GENERATION OF LARGE WIND ENERGY CONVERTERS, WITH AND WITHOUT STORAGE FACILITIES. Solar Energy, Vol. 20, gen. 1978a
- Sorensen, B. THE REGULATION OF AN ELECTRICITY SUPPLY SYSTEM INCLUDING WIND ENERGY GENERATORS. 2nd. Int. Sym.

- on Wind Energy Systems Amsterdam, oct. 1978b
- Sorensen, B. ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION. IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, 1980
 - Sorensen, B. RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STADRAQE. IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, 1980a
 - Sorensen, B. A COMBINED WIND AND HYDRO POWER SYSTEM. Niels Bohr Institute, Copenhagen, feb. 1980b
 - Sorensen, B. A REGIONAL WIND-HYDRO ELECTRICITY SUPPLY SISTEM. 3rd. Int. Sym. on Wind Energy Systems Lyngby, 1980
 - Spelbrink, W. DIE MITTELMEERINSELN EIVISSA UND FORMENTERA. Butlleti de Dailectologia Catalana, XXV, 1938
 - Spera, D. A. PRELIMINARY ANALYSIS OF PERFORMANCE AND LOADS DATA FORM THE 2 MW. MOD-1 WIND TURBINE GENERATOR. 4th. Biennial Conf. and Workshop on Wind Energy Conversion Systems Washington, 1979
 - Stein, D. UTILISATION DE L'ENERGIE DU VENT AU DENMARK. La Technique Moderne, T. XXXV, No. 13-14, 1-15 jul. 1943
 - Sternglass, E. SECRET FALLOUT : LOW LEVEL RADIATION FROM HIROSHIMA TO T. M. I. McGraw-Hill Books, NY., 1981
 - Stodhart, A. H. WIND DATA FOR WIND DRIVEN PLANT. Wind Energy Conversion Systems, Workshop I Washington, 1973
 - Swishwer, R. RETHINKING TOMORROW : LOCAL COMMUNITIES BREAK GROUND ON THE SOFT PATH. Critical Mass Energy Journal, No. 8, feb-mar. 1982
 - Szostak, J. CANADIAN WIND PROGRAM MOVES ON TO MW. MACHINE. Canadian Renewable Energy News, gen. 1980
 - Szostak, J. ENERTECH ONE OF FEW U. S. WIND FIRMS TO TURN A PROFIT. Canadian Renewable Energy News, jun. 1980
 - Szostak, J. MARITIME UTILITY OPTS FOR U. S. TURBINE. Canadian Renewable Energy News, set. 1980
 - Szostak, J. STEPPED UP PLANS FOR WINDFARM. Canadian Renewable Energy news, oct. 1980
 - Szostak, J. STUBBY NEW BENDIX TURBINE NOW WORLD'S MOST POWERFUL. Canadian Renewable Energy News, des. 1980
 - Tackle, E. S. i Brown, J. M. WIND AND WIND ENERGY IN IOWA. Iowa State University, oct. 1976

REFERENCIES BIBLIOGRAFQUES

- Tackle, E. S. i Brown, J. M. NOTE ON THE USE OF WEIBULL STATISTICS TO CHARACTERIZE WIND SPEED DATA. Journal Paper No. J-8941, Ames, Iowa, 1977
- Taylor, P. A. ON WAKE DECAY AND ROW SPACING FOR WECS FARMS. 3rd. Int. Sym. on Wind Energy Systems Lyngby, 1980
- Taylor, V. ENERGY : THE EASY PATH. Union of Concerned Scientists, Cambridge, Ma., 1979
- Taylor, V. THE EASY PATH ENERGY PLAN. Union of Concerned Scientists, Cambridge, Ma., 1979a
- Templin, R. J. AN ESTIMATE OF THE INTERACTION OF WINDMILLS IN WIDESPREAD ARRAYS. National Research Council of Canada, 1974
- Thomas, P. H. ELECTRIC POWER FROM THE WIND. Federal Power Commission, mar. 1945
- Thomas, R. L. i Richards, T. R. ERDA/NASA 100 kW. MOD-0 WIND TURBINE OPERATIONS AND PERFORMANCE. 3rd. Int. Conf. on Wind Energy Conversion Systems Washington, 1977
- Timbergen, J. RESHAPING THE INTERNATIONAL ORDER. A REPORT TO THE CLUB OF ROME. E. P. Dutton and Co., NY., 1976
- Tidsskrift for Vindelektricitet, 1904-1916 Copenhagen, 1904-1916
- Todd, C. J. COST EFFECTIVE ELECTRICAL POWER GENERATION FROM THE WIND. Proc. of the Sym. of the Amer. Sec. Int. Solar Energy Society Orlando, Fl., jun. 1977
- Todd, R. W. i Alty, C. J. N. (editors). AN ALTERNATIVE ENERGY STRATEGY FOR U. K. National Centre for Alternative Technology Machynllet, Powys, Wales, 1977
- Toller, B. IN CONVERSATION WITH MARCELLUS L. JACOBS. Canadian Renewable Energy News, jun. 1980
- Toller, B. WINDS OF CHANGE BLOW FOR JACOBS CO. Canadian Renewable Energy News, jun. 1980a
- Tomas Guevedo, A. TEMPORALES DE "LLEVANT". Tesi Doctoral, Universitat de Barcelona, 1959
- Tomas Guevedo, A. ELS LLEVANTS DE RODALA. Miscel·lània Fontseré, G. Gili, Barcelona, 1961
- Tomas Guevedo, A. CAUSAS METEOROLOGICAS DE LAS INUNDACIONES DE SEPTIEMBRE DE 1962 EN EL BAJO VALLES, LLANO DE LLOBREGAT Y LA MARESMA. Estudios Geográficos, Madrid, 1963

- Tomas Guevedo, A. ESTUDIO DEL "LLEVANT". S. M. N. tercer Ciclo de Conferencias, serie A, Madrid, 1966
- Tomas Guevedo, A. LAS INUNDACIONES DE SEPTIEMBRE DE 1971 Y SUS CAUSAS. Miscellanea Barcinonensia, Vol. XXXII, Barcelona, 1972
- Tomasi, T. LOCAL ENERGY INICIATIVES : A SECOND LOOK. Office of Appropriate Technology, Sacramento, Ca., 1982
- Torres, L. LA VIVIENDA POPULAR EN ESPAÑA. Folklore y Costumbres de España III, Barcelona, 1933
- Torrey, V. WIND-CATCHERS: AMERICAN WINDMILLS OF YESTERDAY AND TOMORROW. Stephen Greene Press, 1976
- Transactions of the 1st. Sym. on Molinology. SYMPOSIUM ON MOLINOLOGY. Cascais, Portugal, oct. 1965
- Transactions of the 2nd. Sym. on Molinology. SYMPOSIUM ON MOLINOLOGY. Lyngby, Dinamarca, mai. 1969
- Tvind. TVINDKRAFT. Ulfborg, Dinamarca, 1980
- Undercurrents. THE MAGAZINE OF RADICAL SCIENCE AND PEOPLE'S TECHNOLOGY. Londres, 1974-1982
- United Technologies-Hamilton Standard. STATUS OF THE 4 MW. WTS-4 WIND TURBINE. U. T. / H. S., 1981
- Vadot, L. LE POMPAGE D'EAU PAR EOLIENNES. La Houille Blanche, No. 4, set. 1957
- Vadot, L. LA PRODUCTION D'ENERGIE ELECTRIQUE PAR EOLIENNES, I i II. La Houille Blanche, No. 5, oct. 1958 i No. 1, gen-feb. 1959
- Venters, J. THE ORKNEY WINDMILL AND WIND POWER IN SCOTLAND. The Engineer, Vol. 189, 27 gen. 1950
- Vermeulen, P. E. J. AN EXPERIMENTAL ANALYSIS OF WIND TURBINE WAKES. 3rd. Int. Sym. on Wind Energy Systems. Lyngby, 1980
- Vidal, J. M. i Potau, M. LOS VIENTOS DE ALTURA EN BARCELONA. Servicio Meteorológico Nacional, serie D, No. 3, Madrid, 1944
- Vinding, P. VINDMOLLEN I-II. Ingeniøren, 1919
- Vogt, H. C. VINDKRAFTENS UDNYTELSE OVER HAVENE OG PENDULPROPELLEN. Tekniske Forenings Tidsskrift, 1905-1906
- Vogt, H. C. OM UDNYTELSE AF VINDKRAEFTEN. Ingeniøren, 1919

REFERANCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Vogt, H. C. VINDMOLLEN. Ingenioren, 1919.
- Vosburgh, P. N. ALCOA VERTICAL AXIS WIND TURBINES. A. W. E. A. Conference, San Francisco, Ca., 1979
- Vosburgh, P. N. ALCOA VERTICAL AXIS WIND TURBINES APPLICATION TO INDUSTRY. Conf. on Cogeneration and Alternate Energy Sources Chicago-Los Angeles, 1979a
- Vosburgh, P. N. ALCOA VERTICAL AXIS WIND TURBINES. Alcoa Center, 1981
- Wailes, R. WINDMILLS IN ENGLAND. Architectural Press, Londres, 1948
- Wailes, R. THE ENGLISH WINDMILL. Routledge and Keagan Paul, Londres, 1954 Reedició: August M. Kelley publisher, 1967
- Wailes, R. WINDMILLS: THEIR RISE AND DECLINE. Engineering Heritage, Vol. 1 The Institute of Mechanical Engineers, 1963
- Warrilow, W. E. ELECTRICITY FROM WIND POWER. The Electrician, 8 des. 1933
- Weaver, D., Gorenflo, L., Gregg, D. FARM AND RURAL ENERGY PLANNING MANUAL. Institute for Ecological Policies, Fairfax, Va., 1981
- Wentink, T. STUDY OF ALASKAN WIND POWER AND ITS POSSIBLE APPLICATION. National Science Foundation, feb. 1976
- Whiteway, D. SMALL-SCALE VERTICAL AXIS BEST WIND TURBINE FOR REMOTE AREAS. Canadian Renewable Energy News, gen. 1980
- Willhofft, F. D. INDUSTRIAL APPLICATIONS OF THE FLETTNER ROTOR. Mechanical Engineering, Vol. 49, No. 3, 1927
- Wilson, R. E. i Lissaman, P. B. S. APPLIED AERODYNAMICS IN WIND POWER MACHINES. National Science Foundation, 1974
- Wilson, R. E., Lissaman, P. B. S., Walker, S. N. AERODINAMIC PERFORMANCE OF WIND TURBINES. Oregon State University/AeroVironment, jun. 1976
- Wind Energy Report. WEST GERMANY FOUND \$24 MILLION WIND PROGRAM. W. E. R., mar. 1979
- Wind Energy Report. OREGON UTILITY BUYING ALCOA 500 kW. VAWT. W. E. R., jun. 1979
- Wind Energy Report. CANADIAN UTILITY BUYING WTG UNIT. W. E. R., nov. 1979

REFER&NCIES BIBLIOGRAFIGUES

- Wind Energy Report. HOUSE COMMITTEE APPROVES 800 MW. WIND BILL. W.E.R., nov. 1979a
- Wind Energy Report. MEHRKAM 2 MW. TO BE ERECTED IN PENNSYLVANIA. W.E.R., des. 1979
- Wind Energy Report. HAMILTON STANDARD WINS MEDICINE BOW SVU AWARD. W.E.R., gen. 1980
- Wind Energy Report. DESIGN NOTES: H-S WTS-4. W.E.R., feb. 1980
- Wind Energy Report. MOD-1 EMITS LOW-FREQUENCY SOUND, VIBRATIONS. W.E.R., abr. 1980
- Wind Energy Report. DENMARK'S VOLUND A/S TO BUILD 265 kW. HAWT. W.E.R., oct. 1980
- Wind Energy Report. DORNEY AMUSEMENT PARK. W.E.R., oct. 1980a
- Wind Energy Report. P.G. & E. TO INSTALL MOD-2 IN NORTHERN CALIFORNIA. W.E.R., nov. 1980
- Wind Energy Report. S.C.E. STARTS UP 3 MW. WTG IN SAN GORGONIO PASS. W.E.R., des. 1980
- Wind Energy Report. WORLD'S FIRST SWECS WIND FARM BUILT ON MOUNTAIN RIDGE IN NEW HAMPSHIRE. W.E.R., gen. 1981
- Wind Energy Report. S.C.E. NEGOTIATING TWO WIND FARM PROJECTS. W.E.R., abr. 1981
- Wind Energy Report. P.G. & E., WINDFARMS LTD. PLANNING 350 MW. PROJECT. W.E.R., abr. 1981a
- Wind Energy Report. ALCOA 500 kW. VAWT CRASHES IN CALIFORNIA. W.E.R., abr. 1981b
- Wind Energy Report. MUNICIPALITY TO BE WIND SMALL POWER PRODUCER ?. W.E.R., abr. 1981c
- Wind Energy Report. U.S.W.P. TO BUILD ALTAMONT PASS WIND FARM. W.E.R., mai. 1981
- Wind Energy Report. WWV: SWANSONG FOR U.S. WIND EFFORT ?. W.E.R., oct. 1981
- Wind Energy Report. WECS POTENTIAL LARGE AT FEDERAL SITES. W.E.R., oct. 1981a
- Wind Energy Report. MOD-1 LOOKING FOR NEW HOME. W.E.R., oct. 1981b

REFERANCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Wind Energy Report. CANADA TO BUILD MULTI-MW. DARRIEUS VERTICAL AXIS MACHINE. W.E.R., feb. 1982
- Wind Energy Report. WINDFARMS' 92.5 MW. PROJECT IN CALIFORNIA. W.E.R., feb. 1982a
- Wind Energy Report. ALCOA ENDING ROLE IN DARRIEUS VAWT. W.E.R., feb. 1982b
- Wind Energy Resource Atlas (12 volums). N.T.I.S., abr. 1980-mar. 1981
- Wind Turbine Systems, Sweyards. MAGLARP, A MILESTONE FOR WIND POWER. W.T.S.S., mar-abr. 1982
- Witte, H. WINDKRAFTWERKE. Rudolf A. Lang, Verlag, 1950
- World Meteorological Organisation. WORLD METEOROLOGICAL ORGANISATION GUIDE TO METEOROLOGICAL INSTRUMENT AND OBSERVING PRACTICES. W.M.O., No. 8 TP3, 1971
- Woodcroft, B. THE PNEUMATICS OF HERO OF ALEXANDRIA. Charles Whittingham, Londres, 1851
- WTG Energy Systems Inc. MP2-200 WIND TURBINE GENERATOR SYSTEM. W.T.G.E.S.I., Buffalo, 1980
- Wulff, H. TRADITIONAL CRAFTS OF PERSIA. M.I.T. Press, 1966
- Zorzoli, G. B. EL DILEMA ENERGETICO. H. Blume Ed., Madrid, 1978