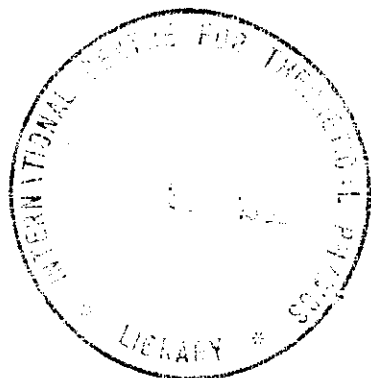




INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY
UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION



INTERNATIONAL CENTRE FOR THEORETICAL PHYSICS
34100 TRIESTE (ITALY) - P.O. B. 586 - MIRAMARE - STRADA COSTIERA 11 - TELEPHONE: 2240-1
CABLE: CENTRATOM - TELEX 400892-1

H4.SMR/193 - 34

"COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LA SCIENCE DES MATERIAUX POUR L'ENERGIE".
(26 août - 11 septembre 1986).

"MATERIAUX ADAPTES A LA CONVERSION, AU TRANSPORT ET AU STOCKAGE
DE L'ENERGIE".

Mavinga Banyanguka
E.N.E.A. - Casaccia
Rome, Italie

Ces notes de recherche provisoires, sont destinées aux participants. Eventuellement, d'autres copies seront disponibles au bureau 231.

MATERIAUX ADAPTES A LA CONVERSION, AU TRANSFERT ET AU STOCKAGE DE L'ENERGIE.

par MAVINGA BANYANGUMUKA

ENEA - CASACCIA

SOMMAIRE .

1. Avant - propos
2. Introduction
3. Description du système
4. Tableau des paramètres mesurés
5. Présentation des résultats
6. Conclusion

REPOUS

REPONSE DE L'ARCS SOLAR 16-2000

EN PRESENCE D'UNE CHARGE

1. AVANT-PROPOS.

Alors que l'effet photovoltaïque peut s'observer dans la nature dans une large variété de matériaux, les semi-conducteurs offrent l'avantage d'un meilleur rendement une fois exposés au rayonnement solaire.

Une de nombreuses applications de l'interaction entre les matériaux semi-conducteurs et l'énergie solaire est le phénomène de la conversion photovoltaïque consistant en la transformation directe de l'énergie solaire en énergie électrique.

En vue de l'application d'un tel système dans des communautés rurales, des expériences sont menées à l'ENEA-CASACCIA (Rome) et les résultats dont il sera question dans les lignes qui suivent traduisent la réponse de cette installation photovoltaïque expérimentale.

Point n'est besoin de souligner que les caractéristiques essentielles des cellules photovoltaïques - courant, tension et rendement - sont sujettes à des fluctuations que l'on peut d'une manière générale classer en deux groupes:

- les fluctuations indépendantes de la cellule elle-même telles que les données météorologiques (ensoleillement, température ambiante, vitesse du vent) et l'angle d'inclinaison de la cellule par rapport à la direction du rayonnement,
- celles inhérentes à la cellule telles que sa température, sa dégradation due au vieillissement...

Les expériences menées sur ce cas précis de communautés rurales n'ayant que très peu duré, il ne sera pas possible de fournir des fluctuations notables.

A titre d'exemple, il serait intéressant d'examiner la variation du rendement d'une cellule photovoltaïque avec sa dégradation, sa température...

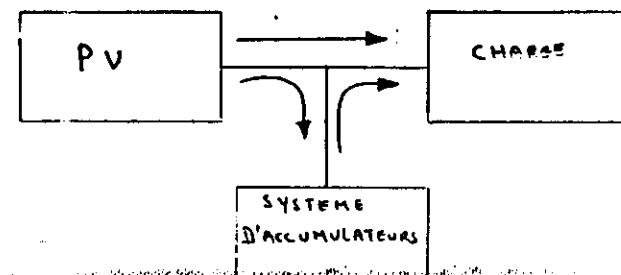
Pour ce faire, l'idéal serait d'étaler les expériences sur plusieurs années afin de dégager d'un échantillon plus représentatif des conclusions tant cohérentes que fiables.

2. INTRODUCTION.

Le système expérimental - afin de minimiser les problèmes ultérieurs d'entretien - se divise en 3 parties:

- un ensemble de panneaux photovoltaïques
- un système d'accumulateurs et
- une charge variable.

Ce qui schématiquement se traduit par la figure ci-dessous:



L'objectif visé est de déterminer la réponse du système n'étant donné que les 3 entités ci-dessus ou mieux en absence de tout générateur de secours (back up).

Les résultats obtenus se répartissent en 3 groupes selon qu'ils se rapportent

- au champ photovoltaïque
- au système d'accumulateur ou
- à la charge.

3. DESCRIPTION DU SYSTEME.

a) Champ photovoltaïque.

- puissance nominale: 1.2 kW
- site: Capanna (ENEA -CASACCIA Rome)

- coordonnées géographiques:
 - 12°18'8" longitude Est
 - 41°48' latitude Nord
- altitude moyenne: 131m
- cellules photovoltaïques:
 - type (monocristallines circulaires) ARCO SOLAR 16-2000
 - 10 cm de diamètre
 - traitement: texturing
 - η : 10% théorique
- modules photovoltaïque
 - 35 cellules en série /module.
 - puissance nominale: 33 Wp
 - à 28°C et 1 soleil: $V_{oc}=20.3V$, $I_{sc}=2.3A$, $V_m=16.1V$, $I_m=2.05A$
 $P_m=33W$
 - à 45° et 1 soleil: $V_{oc}=18.9V$, $I_{sc}=2.3A$, $V_m=14.6V$, $I_m=2.05A$
 $P_m=30W$
 - fill factor ≈ 0.70

b) Système d'accumulateurs.

- type: TUDOR (Italie)
- couple: plomb/acide sulfurique ^{peuvent} supporter un grand nombre de cycles.
- capacité nominale: 500 Ah
- tension nominale: 12 V
- état de charge: contrôlé par un B.C.C. (Battery Charge Control)

c) Charge (variable).

Elément	Puissance
- 2 lampes à incandescence	2 * 60 W
- 4 " "	4 * 100 W
- 1 frigo	55 W
- 1 congélateur	55 W

La charge est commutable à l'aide d'un Software écrit compte tenu des éléments ci-dessous:

- mois en cours
- heure de la journée
- état de charge du système d'accumulateurs

4. TABEAU DES PARAMETRES ENREGISTRES.

PARAMETRE	NOMBRE DE SONDES	MARGE	UNITE	INTERVALLE DE MESURE
- ensoleillem	3	0 - 2000	W/m ²	2 min
- temp. ambiante	1	—	°C	"
- temp. panneaux	1	—	°C	"
- courant des panneaux	6	0 - 2.5	A	"
- tension aux bornes des panneaux	6	0 - 25	V	"
- tension aux bornes de la batterie	1	0 - 15	V	"
- courant dans la charge	1	0 - 60	A	"
- bilan énergétique	1	—	kWh	20 min

5. PRESENTATION DES RESULTATS.

Les résultats relatifs à 1986 étant en cours d'élaboration, voici ceux se rapportant à une partie de 1985.

a) Réponse du champ photovoltaïque.

Les caractéristiques essentielles rapportées en fonction du temps sont le courant, la tension et le rendement.

A titre d'exemple, une réponse typique du champ photovoltaïque un jour d'hiver est rapportée à la figure 1 tandis que la figure 2 donne une idée générale du bilan énergétique durant un mois d'hiver.

De ce bilan on construit les courbes relatives à l'énergie reçue par le système de panneaux, celle qui est produite et partant le rendement des cellules photovoltaïques ARCO SOLAR 16 - 2000 (cfr figure 3, figure 4 et figure 5).

Aux approches de l'été (les données relatives aux mois d'été faisant défaut) les résultats sont rapportés aux figures 6, 7 et 8.

b) Réponse de la charge.

La charge, comme précédemment établi, est variable.

Dans le même ordre d'idées que dans le paragraphe ci-avant, nous présentons "la consommation" de la charge relative à l'hiver (figure 9) et aux approches de l'été (figure 10)

c) Réponse du système d'accumulateurs.

Les batteries, ainsi que déjà défini, doivent remplir 2 fonctions:

- 1) suppléer la charge aussitôt que le champ que le champ photovoltaïque ne fournit plus l'énergie nécessaire.
- 2) emmagasiner l'excès d'énergie (pour autant que sa charge le permette) fournie par le champ photovoltaïque.

Ceci nous donne deux courbes de définition: l'énergie absorbée par la batterie lorsqu'elle se comporte comme une charge et celle qu'elle fournit à la charge en tant que générateur.

Les figures 11 et 12 se rapportent à l'hiver tandis que les figures 13 et 14 traduisent un mois aux approches de l'été.

d) Bilan énergétique.

En vue d'une interprétation assez correcte, les un tableau résume les résultats recoltés soit en hiver (figure 15) qu'aux approches de l'été (figure 73).

6. CONCLUSION.

Bien que l'énergie solaire soit à la fois gratuite et inépuisable, elle pose le grand problème d'être variable.

En effet, toutes les variations journalières et annuelles - doublées de celles moins prévisibles dues au climat - influencent de manière notable le rendement d'une cellule photovoltaïque, cette variable très importante dans la définition des performances d'une cellule photovoltaïque.

En outre, dans la conversion photovoltaïque, plus de rayonnement solaire ne signifie pas un rendement plus élevé car; celui-ci diminue avec la température de la cellule photovoltaïque, l'idéal étant qu'elle augmente le moins possible par rapport au milieu ambiant.

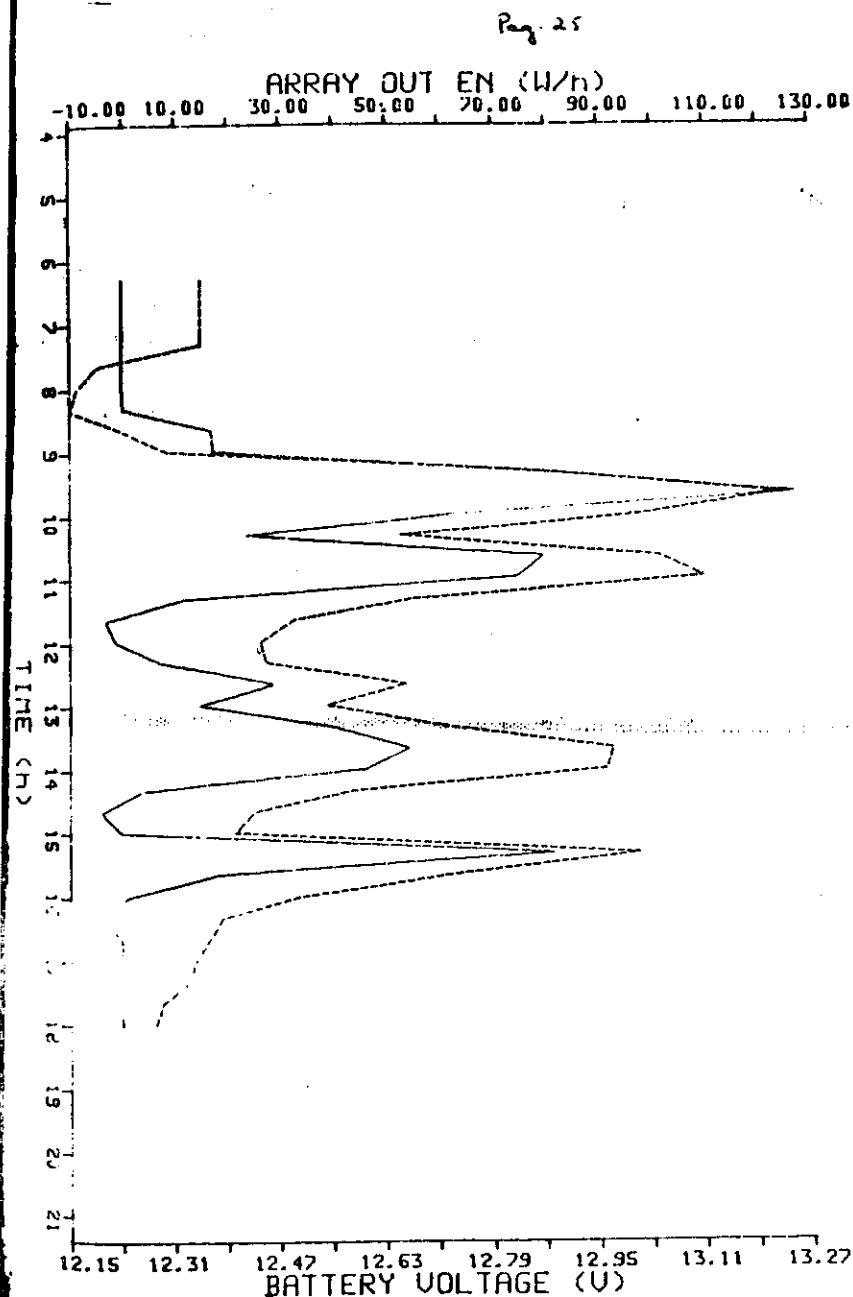
Les variations ci-dessus indiquées une fois prises en considération dégagent aussitôt l'importance d'un système de stockage de sorte que l'énergie à fournir à la charge soit toujours disponible.

Ce système de stockage chimique - le système photovoltaïque produisant de l'énergie sans partie mobile - permet d'une part de "nourrir" la charge aussitôt que l'énergie produite par les panneaux s'avère insuffisante et de l'autre, de maintenir la tension aux bornes de la cellule dans les limites prescrites.

L'ARCO SOLAR 16-2000 n'échappe pas à toutes ces considérations. Des calculs minutieux ont permis étant donné le bilan énergétique approprié de prévoir à partir de la charge, le dispositif de stockage adéquat ainsi que la superficie des panneaux nécessaire. En effet, il faut que soit vérifiée de la meilleure manière possible l'égalité énergétique au noeud des trois entités dont il a été question tout au long de ces lignes.

BIBLIOGRAPHIE.

1. MAX. J.O. STRUTT : Semi conductor devices.
Academic Press New York London 1965
2. A.A. M. SAYIGH : Solar Energy Engineering
Academic Press New York 1977
3. FRANCIS DE WINTER AND MICHAEL COX: Mankind's Future Source of Energy -
Proceedings of the International Solar Energy Society Congress
New Delhi 1978
4. R. VAN OVERSTRAETEN: 2nd E.E. Photovoltaic Energy Conference
Berlin (West) April 1979
5. F.P. CALIFANO: Course on Photovoltaic Solar Systems.
Theoretical aspects and material problems
Urbino SOGESTA 1983
6. MAVINGA BANYANGUMUKA: Photovoltaic for Residential Purposes.
Recueil des mesures effectuées à l'ENEA - Casaccia (Inédit)
Rome 1985

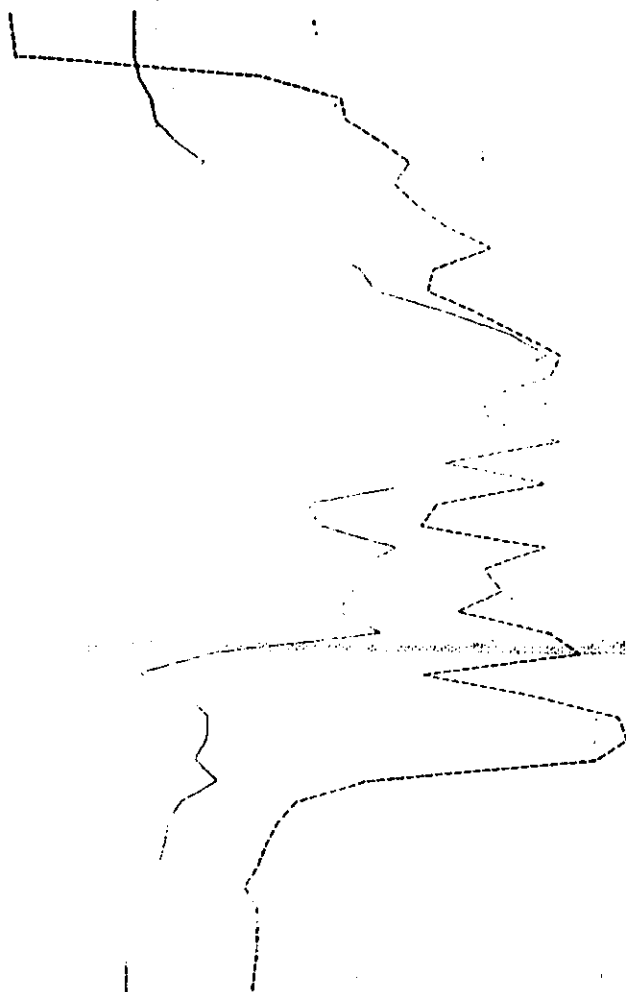


SITE, CAP
DATE, 10/11/85
AREA, 7.50 m²
TILT, 50.5°
BATT. CAP., 0.

Aug. 83

ARRAY OUT EN (W/h)

60.00 -20.00 20.00 60.00 100.00 140.00 180.00 220.00



BATTERY VOLTAGE (V)

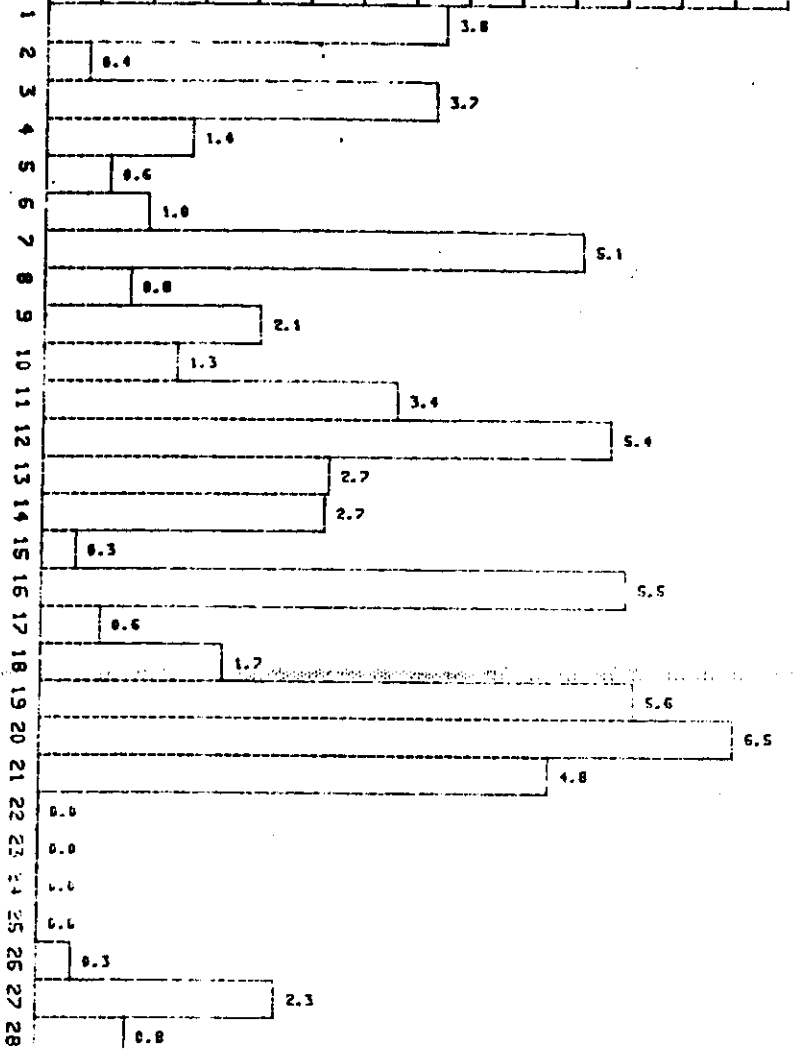
- 3. ARRAY OUTPUT & BATTERY VOLTAGE VS TIME -
(---: Battery Voltage)

SITE: CRP
DATE: 14 MAY 83
AREA: 1.20 m²
TILT: 50.5°
BATT. CAP: 0.50 kWh

Aug. 14

ENERGY (kWh/m²)

0.00 1.00 2.00 3.00 4.00 5.00 6.00 7.00



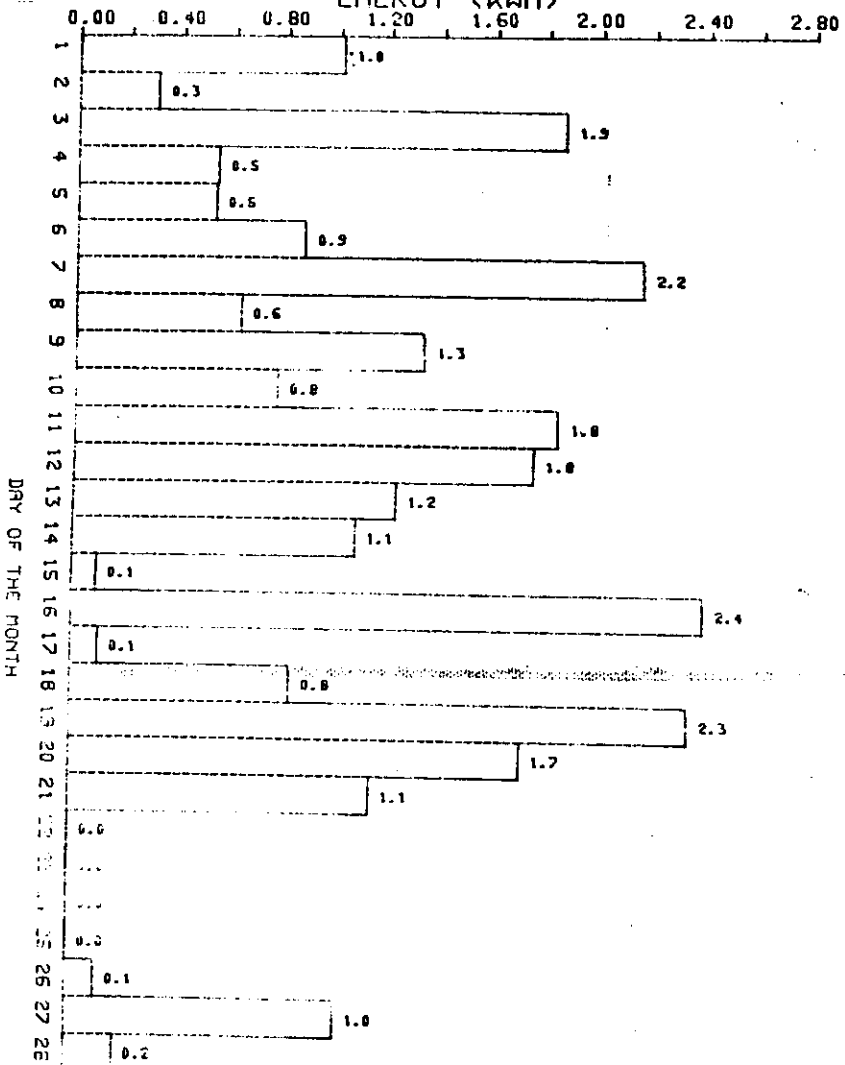
DAY OF THE MONTH

SITE: CRP
YEAR: 83
MONTH: FEB
AREA: 1.20 m²
TILT: 50.5°
BATT. CAP: 0.50 kWh

-3-

Page 18

ENERGY (kWh)

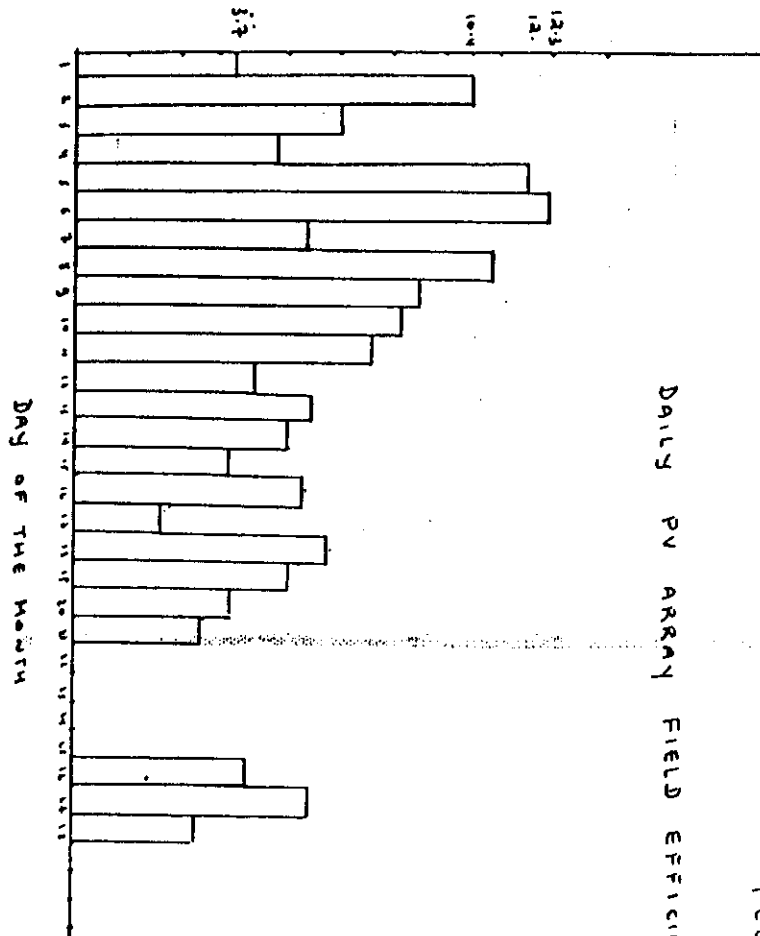


- PLOT 2: DAILY ARRAY OUTPUT -

SITE, CRP
YEAR, 85
MONTH, FEB
AREA, 4.20 m²
TILT, 50.5°
BATT. CAP. 0.50 kWh

Page 19

EFFICIENCY (%)

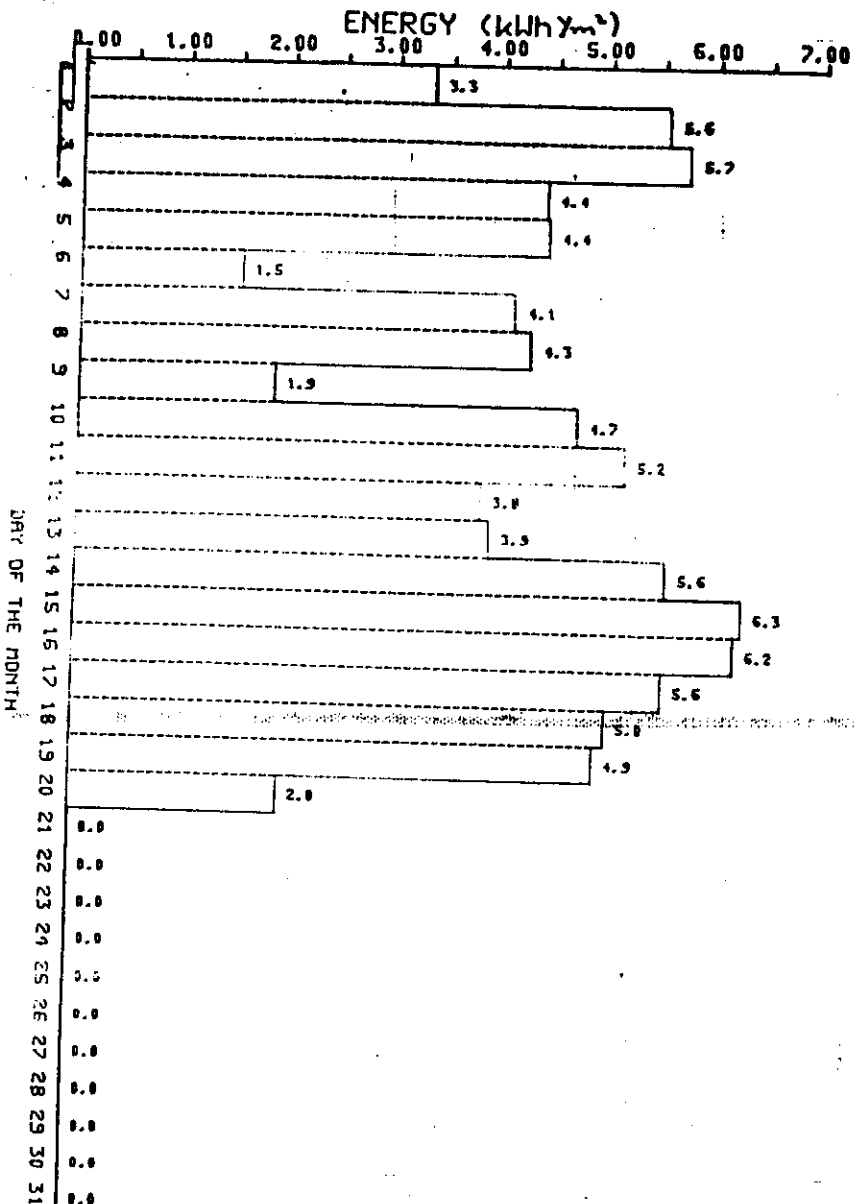


DAILY PV ARRAY FIELD EFFICIENCY

FEBRUARY 1985

- 5 -

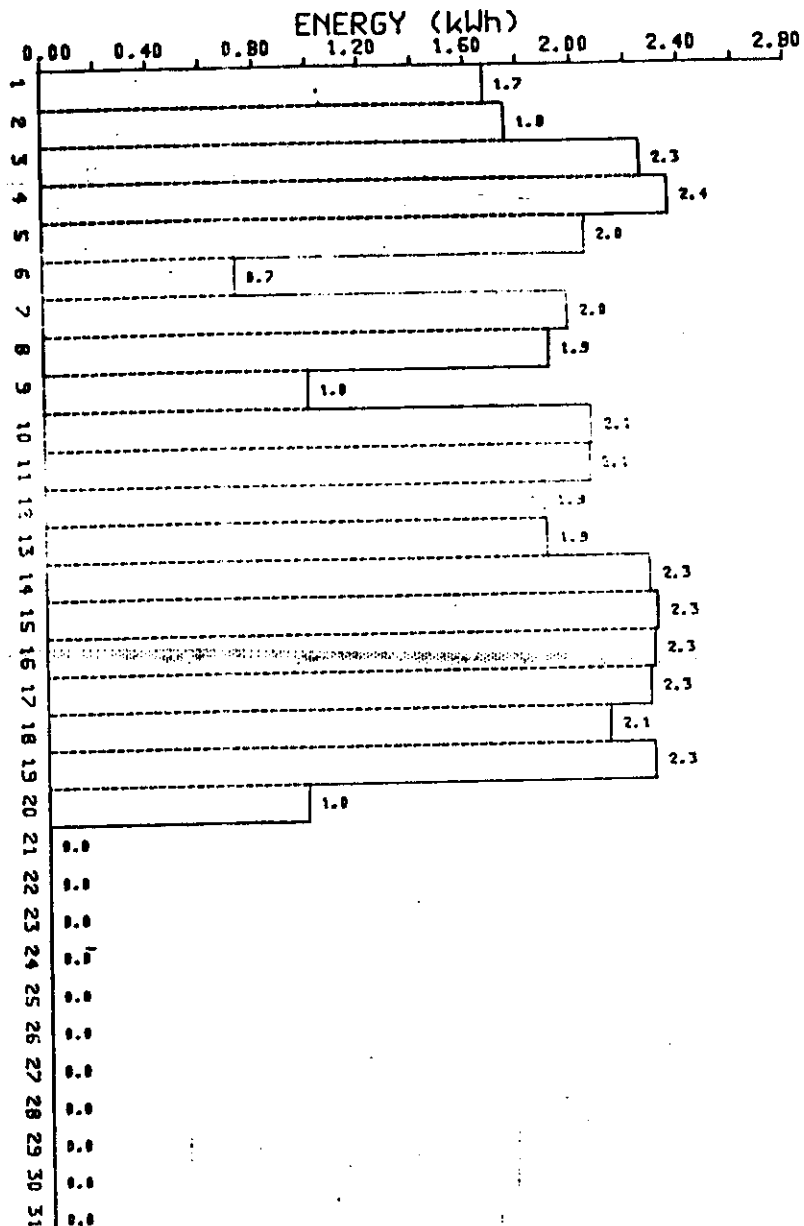
LINE 2000



- PLOT 1: DAILY INCIDENT INSOLATION ON THE ARRAY -

DAY OF THE MONTH

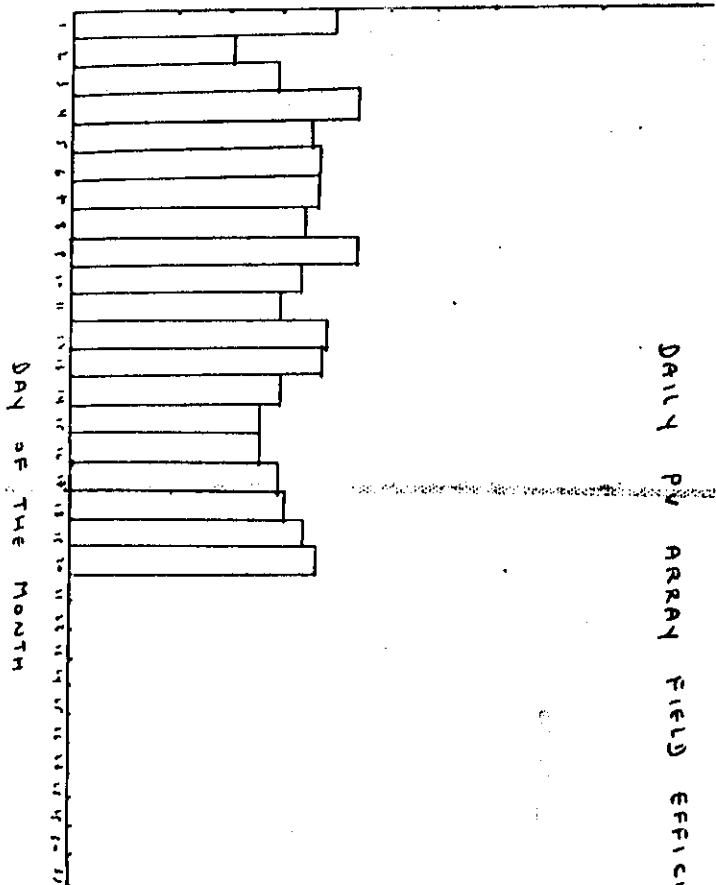
SITE: CAP
YEAR: 85
MONTH: MAY
AREA: 2.80 m²
TILT: 50.5°
DIRT: 0.50%



- PLOT 2: DAILY ARRAY OUTPUT -

SITE: CAP
YEAR: 85
MONTH: MAY
AREA: 2.80 m²
TILT: 50.5°
DIRT: 0.50%

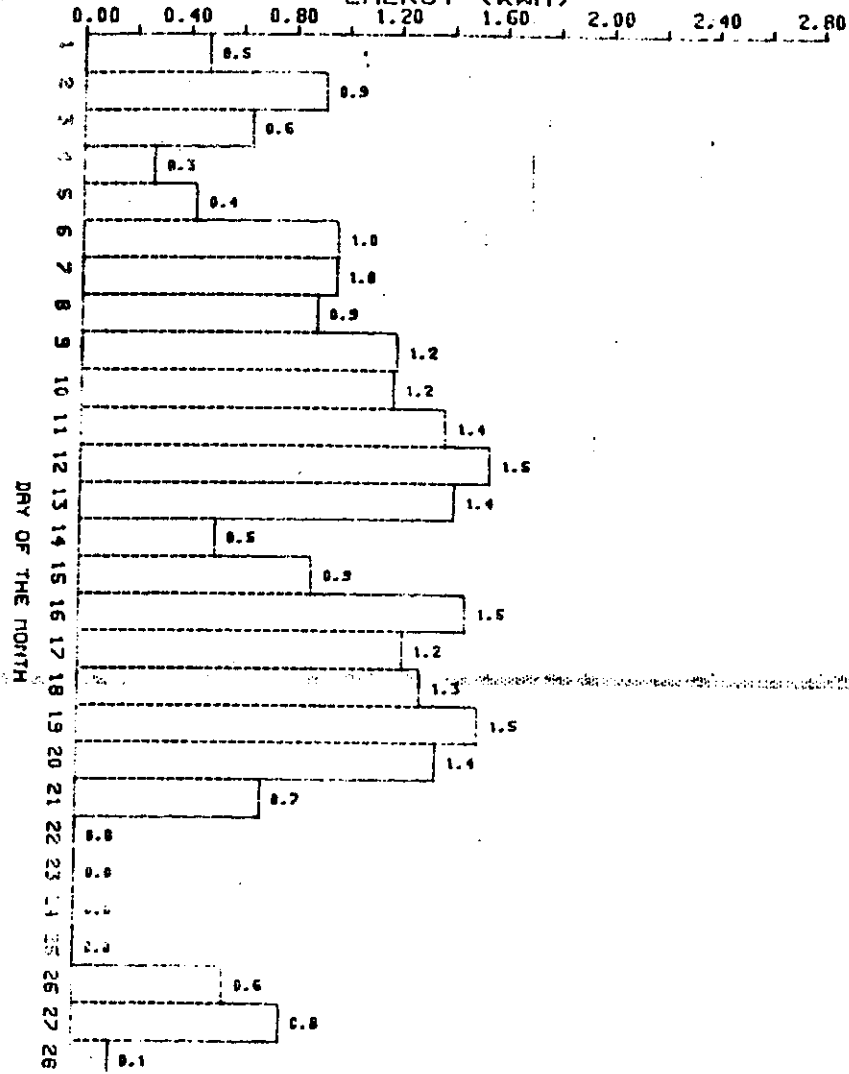
EFFICIENCY (%)



DAILY PV ARRAY FIELD EFFICIENCY

MAY 1985

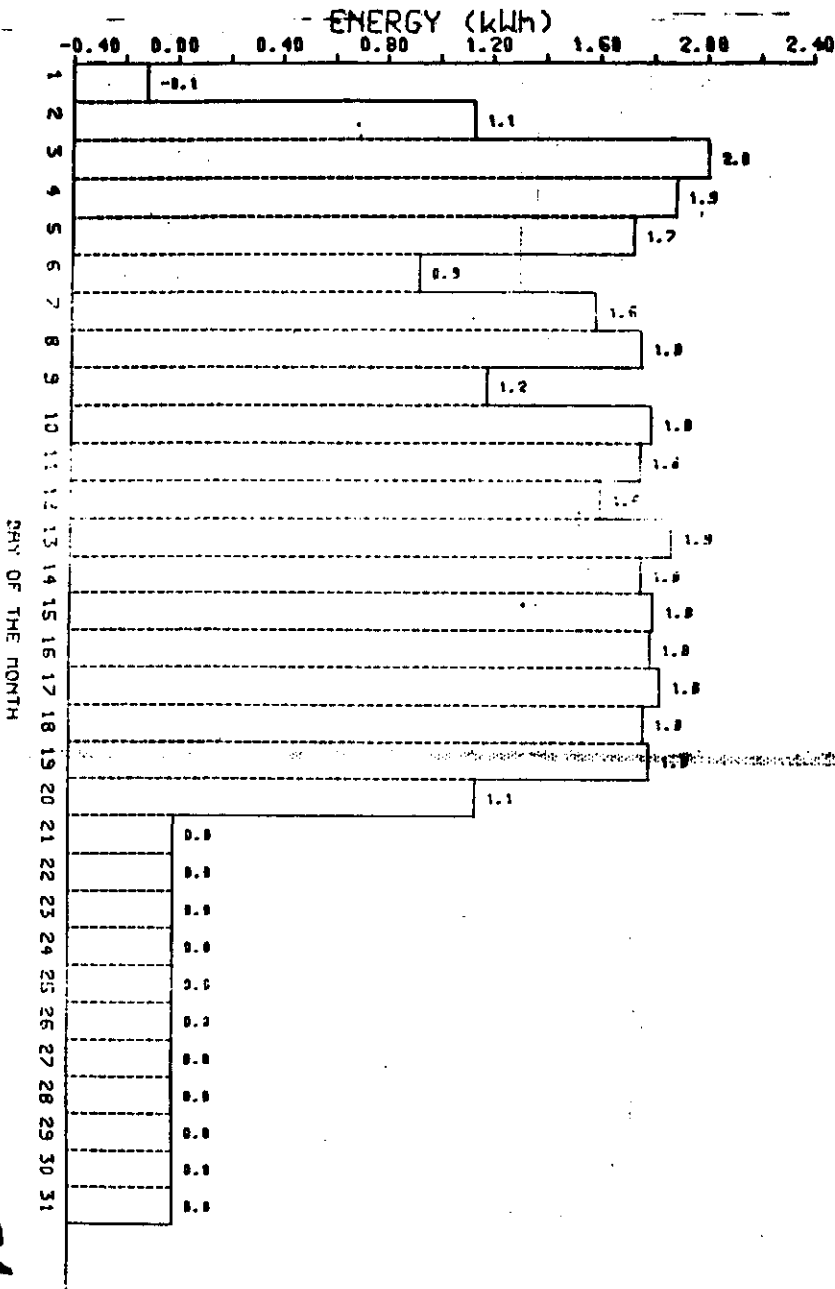
ENERGY (kWh)



DAY OF THE MONTH

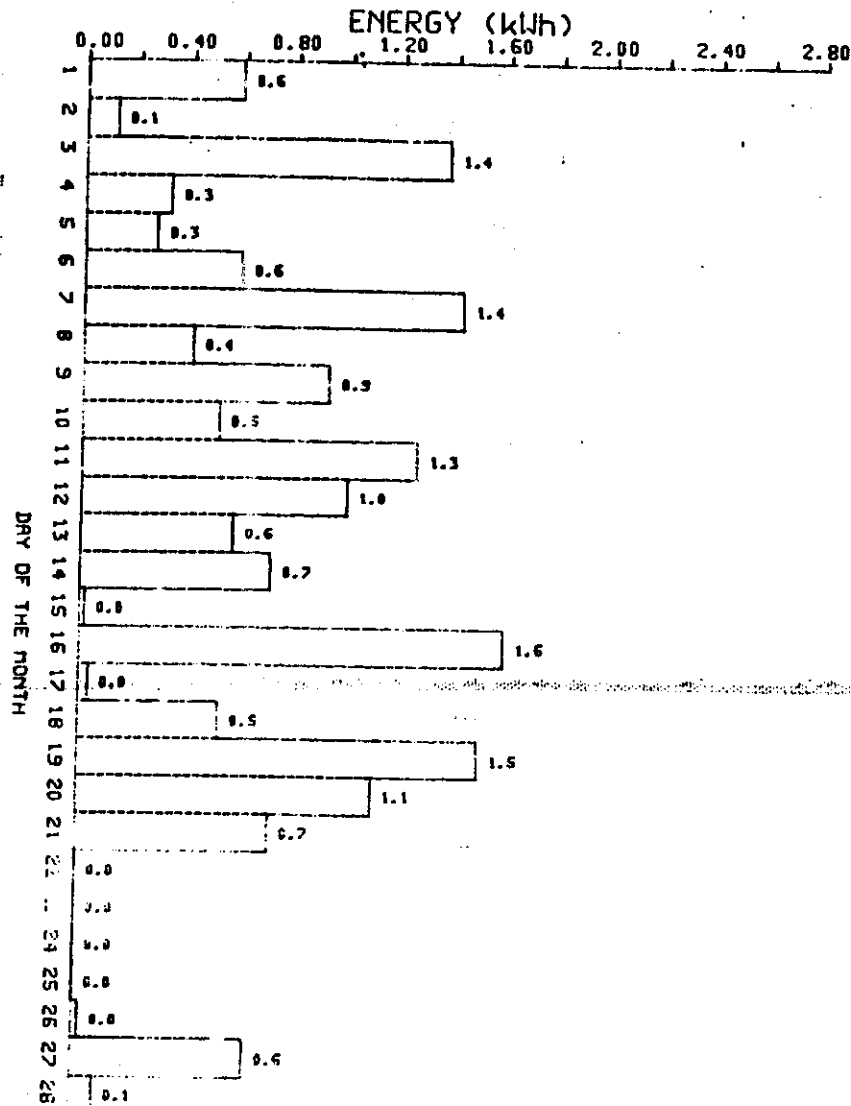
- PLOT DAILY ENERGY ABSORBED BY THE LOAD -

SITE, CRP
YEAR, 85
NORTH, FEB
AREA, 7.20 m²
TILT, 50.5°
BATT. CAP., 0.50 kWh



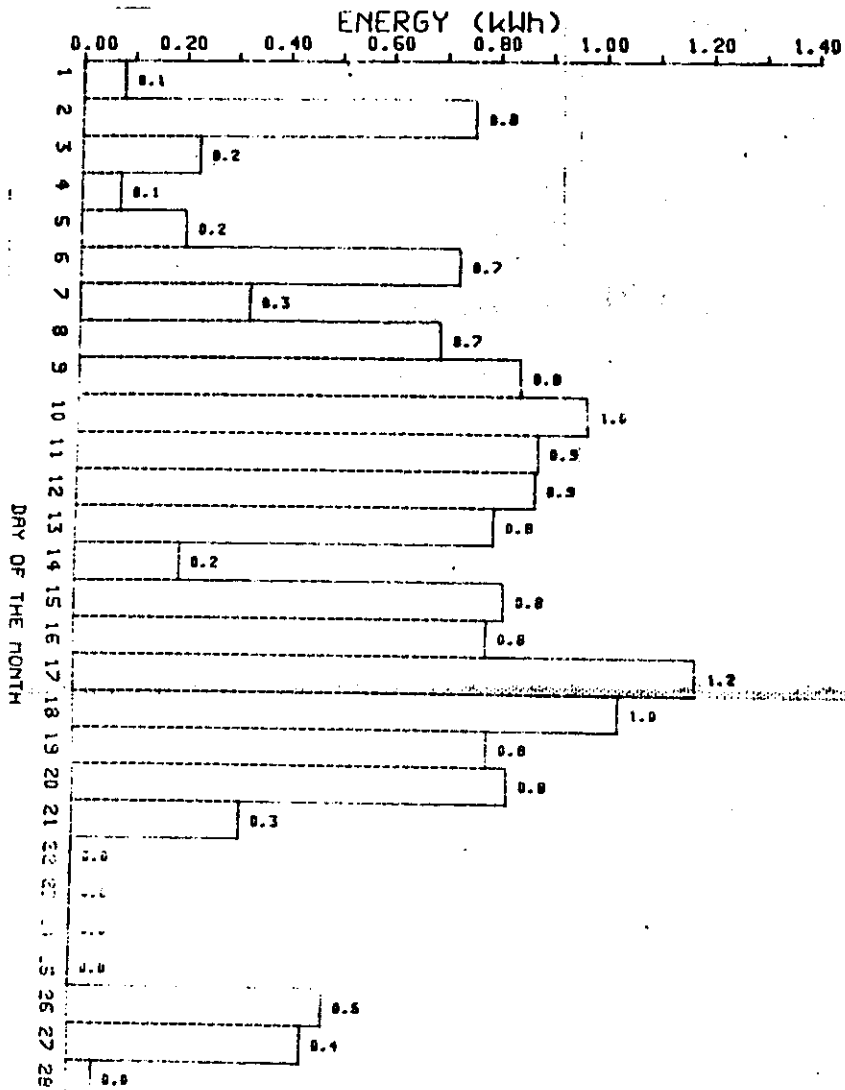
- PLOT 5, DAILY ENERGY ABSORBED BY THE LOAD -

SITE, CAP
YEAR, 85
NORTH, DRY
AREA, 7.60 x 2
TILT, 50.5°
BATT. CAP., 0.50 kWh



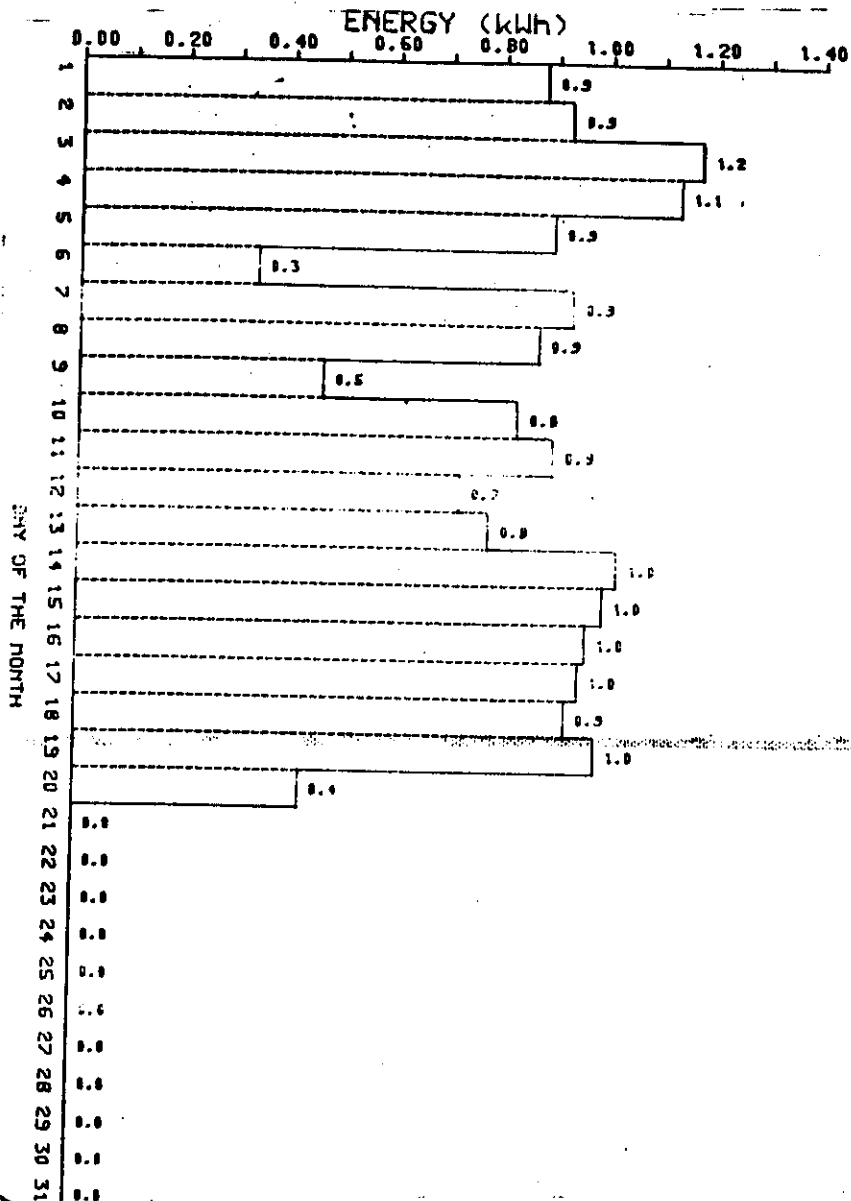
- PLOT 3, DAILY ENERGY ABSORBED BY THE LOAD -

SITE, CAP
YEAR, 85
NORTH, FEB
AREA, 7.20 x 2
TILT, 50.5°
BATT. CAP., 0.50



SITE, CAP
YEAR, 85
NORTH, THY
MEAN, 7.20 m²
TILT, 50.5°
BATT, CAP, 0.50k

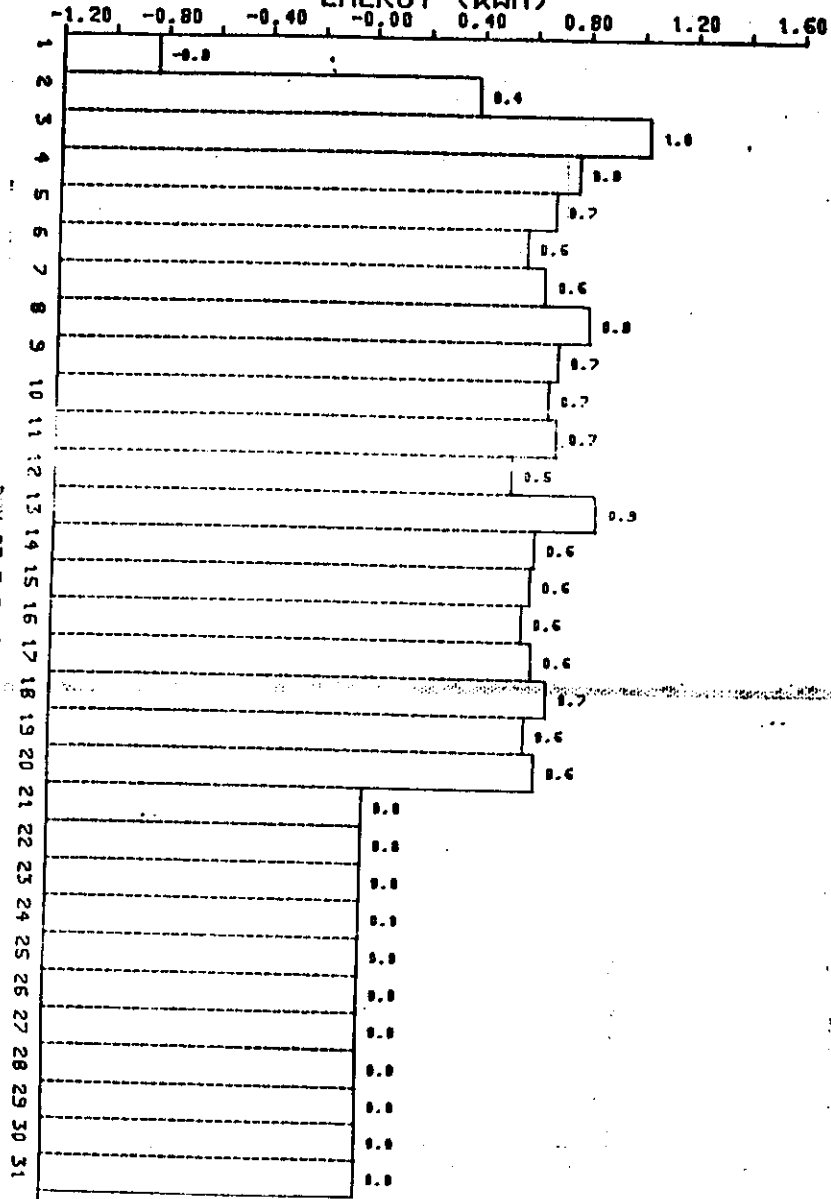
- PLOT 4, DAILY ENERGY EXTRACTED FROM THE BATTERY -



- PLOT 3, DAILY ENERGY ABSORBED BY THE BATTERY -

SITE, CAP
YEAR, 85
NORTH, THY
MEAN, 7.20 m²
TILT, 50.5°
BATT, CAP, 0.50kWh

ENERGY (kWh)



- PLOT 4. DAILY ENERGY EXTRACTED FROM THE BATTERY -

SITE, CAP
YEAR, 85
NORTH, RAY
AREA, 7.60 a3
TILT, 50.50
BATT, CAP, 0.501

DAY OF MONTH	TIME OF RECORDS	ENERGY BALANCE		MONTH: FEBRUARY		YEAR: 1983		PAGE	PAGE
		ENERGY INPUT kWh	PERCENT OF NEG	ENERGY INPUT kWh	BATTERY CONSUM kWh	BATTERY HELP kWh	LOAD CONSUM kWh		
1	8.0	27.3	33.3	1.0	0.4	0.1	0.5	3.712	0.586
2	14.0	2.9	58.3	0.3	0.1	0.2	0.9	10.479	0.175
3	18.0	24.7	75.0	1.9	1.4	0.2	0.6	4.995	1.079
4	6.0	10.0	25.0	0.5	0.3	0.1	0.4	5.375	0.311
5	10.0	4.4	41.7	0.5	0.3	0.2	0.4	12.076	0.307
6	18.0	7.1	58.3	0.9	0.6	0.7	1.0	12.885	0.507
7	14.0	24.7	75.0	2.2	1.4	0.3	1.0	10.821	1.231
8	8.0	2.9	58.3	0.4	0.4	0.7	0.9	9.042	0.347
9	14.0	14.8	100.0	1.3	0.9	0.8	1.2	8.575	0.724
10	24.0	9.1	100.0	0.8	0.5	1.0	1.2	7.641	1.040
11	24.0	24.1	100.0	1.8	1.3	0.9	1.5	4.536	1.812
12	24.0	18.7	100.0	1.8	1.0	0.9	1.5	6.316	0.712
13	24.0	18.5	75.0	1.1	0.6	0.2	0.5	5.618	0.425
14	18.0	2.3	58.3	6.1	0.7	0.8	0.9	4.067	0.854
15	39.7	4.0	100.0	2.4	1.0	0.0	1.5	6.022	1.284
16	24.0	4.0	100.0	0.1	0.0	0.3	1.2	2.549	0.485
17	24.0	40.3	100.0	2.3	1.5	0.8	1.2	6.749	0.860
18	24.0	24.0	100.0	1.1	0.7	0.3	1.4	3.644	1.331
19	24.0	9.0	75.0	0.0	0.0	0.0	0.7	3.231	0.792
20	24.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.644
21	24.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
22	24.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
23	24.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
24	24.0	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
25	24.0	2.4	75.0	0.1	0.0	0.0	0.0	4.701	0.044
26	16.2	16.2	75.0	0.1	0.0	0.4	0.6	4.151	0.044
27	4.1	4.1	18.7	0.2	0.1	0.0	0.1	3.044	0.100

NOTE: 1.0, Daily Array Operating Efficiency of the daily performance of the array.
PAGE: 1.0, Daily Array Capacity Factor of the ratio between the daily output energy from the array and the total one at AMI for the whole day
0000: Data Item

DAY OF MONTH	TIME OF RECORDS	ENERGY BALANCE		MONTHLY ENERGY OUTPUT	BATTERY CONSUM	YEAR:1982		PAGE EQUI/ETM	DACP EQUI/ENDM
		INPUT KWH	PERCENT OF REC			HELP KWH	LOAD CONSUM		
1	24.0	24.0	100.0	1.7	0.7	-0.8	0.1	4.785	0.869
2	15.0	40.0	16.3	1.0	0.9	0.4	1.1	4.389	1.815
3	24.0	41.4	16.0	2.3	1.2	1.0	2.0	5.454	1.506
4	24.0	24.0	100.0	2.4	1.1	0.8	1.7	7.430	1.363
5	24.0	11.9	100.0	0.7	0.9	0.7	0.9	6.389	1.483
6	24.0	29.8	100.0	2.0	0.2	0.6	1.4	6.389	0.418
7	24.0	30.9	100.0	1.9	0.7	0.6	1.4	6.326	1.143
8	24.0	13.4	100.0	1.0	0.7	0.8	1.2	6.163	1.101
9	24.0	34.1	100.0	2.1	0.8	0.7	1.8	7.403	0.575
10	24.0	27.4	100.0	1.9	0.9	0.7	1.8	6.455	1.192
11	24.0	27.7	100.0	1.9	0.7	0.5	1.8	5.482	1.187
12	24.0	28.3	100.0	1.9	0.8	0.9	1.8	4.801	1.088
13	24.0	40.2	100.0	2.3	1.0	0.6	1.8	5.849	1.316
14	24.0	44.2	100.0	2.3	1.0	0.6	1.8	5.071	1.325
15	24.0	40.1	100.0	2.3	1.0	0.6	1.8	5.446	1.323
16	24.0	35.6	100.0	2.1	0.9	0.7	1.8	4.437	1.325
17	20.0	15.2	83.2	1.0	0.4	0.6	1.1	6.865	0.845
18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
21	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
22	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
23	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
25	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
26	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
28	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
29	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000
31	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.000	0.000

DACF: 1.8. Daily Average Operating Efficiency of
 the daily average of the array
 DACF: 1.8. Daily Average Capacity Factor of the array
 between the daily output energy from the array and
 the ideal one at full for the whole day
 00001 data zero