

APENDICE III



TEMAS SUELTOS

Introducción

En este apéndice he decidido hacer una recopilación de varios temas que, a mi entender, pueden contribuir a aclarar o ampliar los conocimientos básicos del lector o facilitar el cálculo de un sistema FV.

Cota máxima de error

Todas las cantidades, ya sean las que se usan para efectuar cálculos o las obtenidas al efectuar una medición, están afectadas por un error. El valor de estos errores es una cantidad algebraica, ya que puede tener un signo **positivo** (*error en exceso*) o un signo **negativo** (*error en defecto*).

En la práctica no siempre se conoce el signo del error, y por eso resulta más útil definir una **cota máxima de error**, a la que indicaremos con la letra **D**. Esta cantidad representa un valor absoluto, y por lo tanto no tiene signo algebraico asociado con ella. Si, por ejemplo, obtenemos una cota máxima $D = [0,4]$, nuestro error varía entre +0,4 y -0,4. Al valor absoluto de una cantidad lo indicaré entre corchetes [].

Tipo de errores

Si un aparato mide longitudes con un **error absoluto** [**e**] de 0,5 milímetro, esta información no nos da ninguna idea de la repercusión que este error tiene cuando se mide una longitud en particular.

Para determinar la incidencia de este error se necesita calcular el **error relativo** [**er**] el que, como lo indica su nombre, relaciona el error absoluto con la longitud medida. Se acostumbra, para evitar un excesivo número de decimales, dar este valor en forma **porcentual** (**e%**), el que se obtiene multiplicando el valor [**er**] por 100.

Ejemplo 1

Si el aparato anterior mide una longitud de 6 cm, las cotas relativa y porcentual estarán dadas, respectivamente, por:

$$D_r \leq [0,5 / 60] \leq [0,0083] \quad (6 \text{ cm} = 60 \text{ mm})$$

y

$$D\% \leq [0,83]\% \quad (\text{entre } -0,83\% \text{ y } +0,83\%)$$

El símbolo \leq significa que la cantidad a la izquierda del mismo es **menor o igual que** la cantidad a su derecha. Cuando se calcula un sistema FV es suficiente mantener los resultados por debajo de una cota porcentual del [4] %. Para una dada aplicación, la máxima tolerancia porcentual **estipulada** es lo que determina la aceptabilidad o rechazo del valor de la cota calculada.

**D para la
suma
y
la resta**

Tomemos dos cantidades aproximadas, q_1 y q_2 , las que están afectadas por los errores $[e_1]$ y $[e_2]$. El valor de la cota máxima para la suma y la resta resultan ser los mismos, dado que se usan valores absolutos (caso más desfavorable).

$$D = D_s = D_r \leq [e_1] + [e_2] \quad (3.1)$$

Por lo tanto:

La cota de error para la suma o resta de dos cantidades aproximadas es igual a la suma de los errores absolutos de los sumandos.

El valor del error relativo y porcentual de la cota resultan ser:

$$\text{Suma:} \quad D_r \leq [D / (q_1 + q_2)] \quad (3.2)$$

$$D\% = 100 D_r$$

$$\text{Resta:} \quad D_r \leq [D / (q_1 - q_2)] \quad (3.3)$$

$$D\% = 100 D_r$$

Nota: Como el numerador en las expresiones (3.2) y (3.3) tiene el mismo valor, la cota porcentual para la resta será más elevada, dado que la incidencia de D_r es mayor en relación a un valor menor.

**D para el
producto**

Quando se multiplican dos cantidades aproximadas (q_1 y q_2), cada una de ellas afectadas por un error absoluto, $[e_1]$ y $[e_2]$ respectivamente, se comprueba que la cota del **producto** está dada por la expresión:

$$D_p \leq [q_1 \cdot [e_2] + q_2 \cdot [e_1]] \quad (3.4)$$

La cota de error para el producto de dos cantidades aproximadas es igual a la suma de los productos de cada una de las cantidades por el error absoluto de la otra.

Ejemplo 2

Un rectángulo tiene un largo de 3m y un alto de 0,5 m. El largo está afectado por un error absoluto de 1 cm y el alto por un error absoluto de 5 mm ¿Cuál es el valor de la cota de error para el área? De los datos dados se deduce que:

$$q_1 = 3 \text{ m} \quad [e_1] = 0,01 \text{ m} \quad q_2 = 0,5 \text{ m} \quad [e_2] = 0,005 \text{ m}$$

El valor de la cota de error es de:

$$D_A \leq [q_2 \cdot [e_1] + q_1 \cdot [e_2]]$$

donde

$$q_1 \cdot [e_2] = 0,015 \quad q_2 \cdot [e_1] = 0,005$$

y por lo tanto

$$D_A \leq [0,015 + 0,005] = [0,02]$$

El valor de la cota relativa y porcentual serán, respectivamente:

$$D_R \leq [0,02] / 1,5 \leq [0,0133] \qquad D\% \leq [1.33\%]$$

Nota: El valor de la cota máxima está controlado por el sumando de mayor valor.

D para el cociente

Cuando se dividen dos cantidades aproximadas (q_1 y q_2), cada una de ellas afectadas por un error absoluto, $[e_1]$ y $[e_2]$ respectivamente, se comprueba que la cota del **cociente** Dq está dada por la expresión:

$$Dq \leq [(q_1 \cdot [e_2] + q_2 \cdot [e_1]) / q_2^2] \qquad (3.5)$$

La cota de error para el cociente de dos cantidades aproximadas es igual a la suma de los productos de cada una de las cantidades por el error absoluto de la otra, todo dividido por el cuadrado del divisor.

Ejemplo 3

El voltaje de una batería es de 12 V con un error absoluto de $[0,25]$ V. La carga es de 10Ω , con un error de $[0,5] \Omega$ (resistencia del 5%). ¿Cuál es la cota máxima de error para la corriente (V/R)? De los datos se deduce que:

$$q_1 = 12 \qquad [e_1] = [0,25] \qquad q_2 = 10 \qquad [e_2] = [0,5]$$

$$Dq \leq [(12 \cdot 0,5 + 10 \cdot 0,25)] / 100 \leq [(6 + 2,5)] / 100 \leq [0,085]$$

La corriente nominal en el circuito es de 1,2 A, de manera que la cota porcentual será:

$$D\% \leq [(0,085 / 1,2)] \cdot 100 \leq [7,08]\%$$

Nota: Como se observó anteriormente, el valor del denominador (R^2) determina el valor de la cota.

Redondeo

Cuando redondeamos una cantidad, podemos:

- **Ignorar** un dado número de decimales o
- **Aumentar** el valor de un determinado decimal, basados en su posición (décimo, centésimo, milésimo, etc.)

Ejemplo 4

El número π tiene un número infinito de cifras. Es común considerar en los cálculos el valor aproximado: $\pi = 3,1416$. Si en su lugar se usara el valor $\pi = 3,14$ ¿qué error porcentual se introduce?. El error que introducimos es por defecto, de manera que:

$$e = - 0,0016 \qquad er = -0,0016 / 3,1416 = 0,000509 \qquad e\% = - 0,05\%$$

Ejemplo 5

Tomemos la cantidad $Q = 14,5473$ y consideremos redondearla reteniendo valores hasta el centésimo. Como el valor del milésimo (7) es mayor de 5, el nuevo valor de Q será $Q = 14,55$. Esta vez el error es por exceso, de manera que:

$$e = 14,55 - 14,5473 = 0,0027 \quad er = 0,0027 / 14,5473 = 0,0001856$$

$$e\% = 0,018\%$$

Ejemplo 6

Consideremos ahora la cantidad $Q' = 0,5473$ y hagamos el mismo redondeo. El valor del error es igual al anterior ($e = 0,0027$). Los nuevos valores de er y $e\%$ serán:

$$er = 0,0027 / 0,5473 = 0,004933 \quad e\% = 0,49\% \quad !!$$

El mismo error absoluto representa ahora una cantidad proporcionalmente mayor, aumentando el valor del error relativo y, por lo tanto, el porcentual. Este ejemplo ilustra la importancia del error relativo, sobre todo cuando se trabaja con cantidades pequeñas.

Unidades de medida

Al respecto hay dos temas: familiarizarse con las unidades inglesas, aún hoy usadas en los EEUU, y establecer relaciones entre estas unidades y las métricas. Una tabla que abarque la mayoría de las primeras permitirá al lector entender las hojas de especificaciones que no han sido traducidas al español. Combinada con la segunda, se puede establecer una correlación de valores.

Nombre de la unidad	Abreviatura	Relación con otra unidad
LONGITUD		
Pié (<i>Foot</i>)	1 ft o 1'	1 ft = 12"
Pulgada (<i>Inch</i>)	1" o 1in	
Yarda (<i>Yard</i>)	1 yrd	1 yrd = 3' = 36"
Milla (<i>Mile</i>)	1 mi	
SUPERFICIE		
Pié cuadrado (<i>Square foot</i>)	1 sq.ft o \square'	1 sqft = 144 sq.in
Pulgada cuadrada (<i>Square inch</i>)	1 sq.in	
VOLUMEN		
Galón (<i>USAGallon</i>)	1 gl	1 gl = 4 qts = 8pts
Cuarto (<i>Quart</i>)	1 qt	1 qt = 2 pts
Pinta (<i>Pint</i>)	1 pt	
Pié cúbico (<i>Cubic foot</i>)	1 cu.ft o ft^3	1 cu.ft = 1.728 in ³
PESO		
Libra (<i>Pound</i>)	1 lb o 1 #	
1 lb = 16 oz		
Onza (<i>Ounce</i>)	1 oz	
PRESION		
Libra / pulg cuadrada (<i>Pound per square inch</i>)	1 psi	

PRESION

1 psi

6,89285 Kpa (Pa = Pascal)

1Kpa = 0,070323 Kg/cm²

Nota: 1 KPa es la presión ejercida por una fuerza de 1.000 N (Newtons) / m²

14,7 psi

1 atm

TEMPERATURA

°F = 1,8 °C + 32

°C = (°F - 32) / 1,8

Para convertir temperaturas se debe tener en cuenta que el 0° C no corresponde al 0°F, sino al valor 32°F. El valor 1,8 considera la variación de 100°C respecto a la de (212 - 32) = 180°F, ya que el punto de ebullición del agua en °F es 212.

Múltiplos y submúltiplos

Nombre	Valor	Potencia de 10	Prefijo	Símbolo
Milésima de millonésima	0,000000001	10 ⁻⁹	nano	h
Millonésima	0,000001	10 ⁻⁶	micro	m
Milésima	0,001	10 ⁻³	mili	m
Centésima	0,01	10 ⁻²	centi	c
Décima	0,1	10 ⁻¹	deci	d
Unidad	1	10 ⁰	nombre y símbolo de la unidad	
Mil	1.000	10 ³	kilo	K
Millón	1.000.000	10 ⁶	mega	M
Mil de millón	1.000.000.000	10 ⁹	giga	G
Millón de millón	1.000.000.000.000	10 ¹²	tera	T

Unidades de potencia

La unidad de potencia más usada en mecánica es el caballo de fuerza, el que se abrevia con las letras **HP** (*Horse Power*). En circuitos eléctricos la unidad de potencia más usada es el **W** (*Watt*) o alguno de sus múltiplos (KW) o submúltiplos (mW). La relación entre el HP y el Watt es:

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W} = 0,746 \text{ KW}$$

Unidades de energía

Dado que energía es el producto del valor de la potencia por el tiempo, en los circuitos se usan el **Wh** (*Watt.hora*) y su múltiplo, el **KWh**. En aplicaciones mecánicas que consideran el uso de la energía calorífica es común usar la **caloría**. Al respecto se definen dos valores: la gran caloría (**Cal**) y la pequeña caloría (**cal**). La relación entre ambas es:

$$1 \text{ Cal} = 1.000 \text{ cal}$$

En el sistema inglés la energía calorífica se mide en **Btu** (*British thermal unit*).

Esta es una unidad muy pequeña y está relacionada a la gran caloría C por la relación:

$$860 \text{ Cal} = 3.412.038 \text{ Btu} = 1 \text{ KWh}$$

Definiciones

Una gran caloría (Cal) representa la energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de 1 litro de agua (a presión normal) un °C.

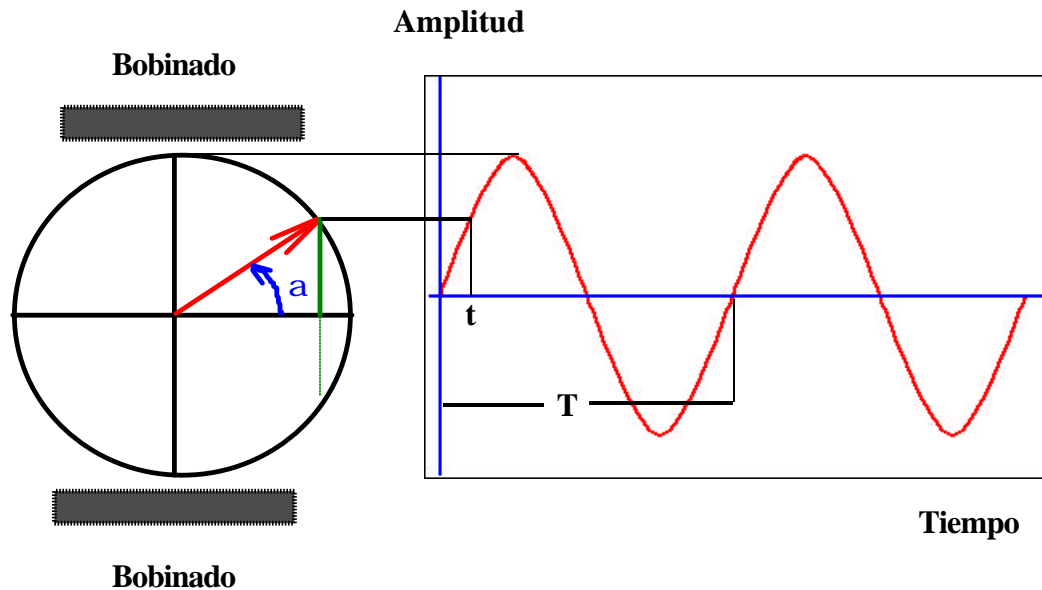
Un Btu representa la energía calorífica necesaria para elevar la temperatura de 1 lb de agua (a presión normal) un grado °F.

Variación sinusoidal

En el Apéndice II indiqué que la variación de amplitud del voltaje de CA **más útil** es la que obedece a una forma sinusoidal, pero no justifiqué esta acersión. La practicidad de esta variación se debe a que los generadores crean el voltaje de alternada haciendo girar un campo magnético alrededor de un eje (rotor) creando un voltaje variable en bobinados fijos en el borde de una circunferencia (estator).

En la figura AIII.1 el vector (en rojo) representa el campo magnético girando alrededor del estator, en el que, por simplicidad, imaginaremos que tiene dos bobinados: uno en el extremo superior y el otro en el inferior de la circunferencia. El voltaje que puede inducirse en un generador como el descrito depende de varios factores, uno de ellos es la intensidad del flujo magnético que atraviesa la superficie de los bobinados.

El flujo magnético depende de la intensidad del campo magnético y de la superficie del bobinado. Esta última tiene un valor fijo, de manera que la variación del campo magnético es lo que nos interesa por el momento, y, en particular, la componente vertical del campo magnético, ya que es ésta la que hace variar el flujo a través de los bobinados.



AIII.1- Variación sinusoidal

Puede observarse que la componente vertical del campo rotatorio representa el seno del ángulo a . Su proyección sobre el eje vertical del sistema cartesiano **amplitud vs tiempo**, representa el valor de la componente vertical del vector campo magnético en el instante t .

Vemos entonces que la variación del campo magnético, y por ende, el del voltaje inducido, es una onda de alterna sinusoidal. Si estos valores son graficados en función del tiempo, la forma de onda de la amplitud corresponde a la expresión:

$$A = A_{\text{máx}} \cdot \sin a \quad 0 \leq a \leq 2\pi$$

El vector rota con una velocidad angular w , cubriendo una vuelta (2π) en un tiempo T . Para tiempos mayores que T los valores se repiten nuevamente (una nueva onda sinusoidal), ya que el valor T representa el período de repetición del fenómeno (vuelta completa). Para tiempos entre 0 y T el valor de la amplitud dependerá del valor del ángulo α para ese valor instantáneo (t).

Es decir:

$$A = A_{\text{máx}} \cdot \sin (w \cdot t) \quad (3.1)$$

Dado que una velocidad es la relación entre el camino recorrido en un cierto tiempo, la velocidad angular ω puede expresarse como:

$$w = 2\pi / T \quad (3.2)$$

Si sustituimos el valor de w en (3.2) en la expresión (3.1) se obtiene la expresión:

$$A = A_{\text{máx}} \cdot \sin (2\pi \cdot t/T)$$

que es la misma dada al comienzo del Apéndice II.

Frecuencia

Este valor refleja el número de veces (ciclos) que la rotación completa toma lugar durante un segundo. En nuestros ejemplos hemos adoptado el sistema de 60Hz (60 ciclos por segundo), de manera que:

$$T = 1/f = 1/60$$

Cuando la frecuencia de un fenómeno oscilatorio es elevada, como es el caso de las ondas de radiación electromagnéticas, es importante conocer lo que se denomina la longitud de onda, a la que se le asigna la letra griega lambda (λ). El grado de importancia de este valor se incrementa cuando las dimensiones que se toman en consideración representan valores que son comparables con el valor de λ , como en el caso de la acción del espectro luminoso y la estructura atómica del silicio.

Longitud de onda

Por definición, la longitud de onda representa el valor del camino recorrido por la onda electromagnética durante un tiempo igual a su período (T). Como estas ondas se mueven a la velocidad de la luz (en el vacío) el valor de λ será igual al producto de esa velocidad por el valor de T . A la velocidad de la luz se le asigna la letra c , de manera que:

$$\lambda = c \cdot T = c \cdot 1/f = c/f$$

La velocidad de la luz (en el vacío) es una constante universal cuyo valor es de 300.000 Km/s o, usando potencias de 10, 3×10^8 m/s.

Ejemplo 9

Si una onda electromagnética tiene una frecuencia de 100 Mhz (10^8 Hz), su longitud de onda será de:

$$l = 3 \times 10^8 / 10^8 = 3 \text{ m}$$

El valor de 100 Mhz corresponde a una de las frecuencias en la banda de radio de FM.

Ejemplo 10

Cuando hablamos del espectro visible, las longitudes de ondas eran del orden de los cientos de ηmetros (10^{-7} m o 10^{-4} mm). Las frecuencias asociadas con estas longitudes de onda serán del orden de:

$$f = c/l = 3 \times 10^8 / 10^{-7} = 3 \times 10^{15} \text{ Hz} = 3.000 \text{ THz}$$

Nota: Una potencia de 10, (10^n), si está en el denominador, pasa al numerador con el signo opuesto, de manera que dividir por $10^{+/-n}$ es lo mismo que multiplicar el numerador por $10^{-/+n}$.

Frecuencia y energía

El diagrama de la Figura AIII.2 muestra la relación entre la frecuencia y la energía, medida en electron-volt (eV), asociada con ella. Este diagrama ha sido incorporado para mostrar porqué sólo una parte del espectro visible puede liberar electrones en un dado semiconductor, ya que cada uno requiere un valor diferente en eV para liberar un electrón de la capa externa.

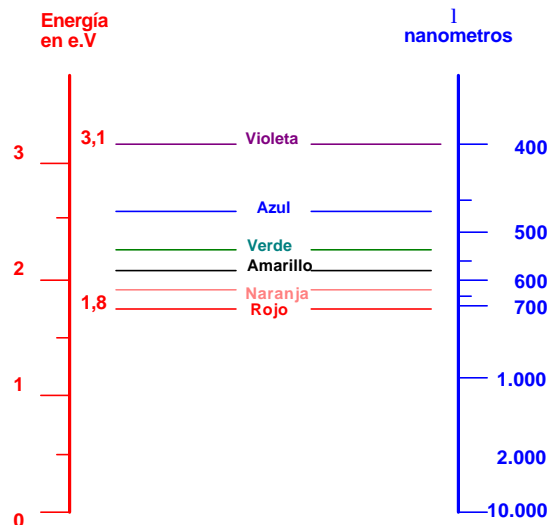


Figura AIII.2- Frecuencia y energía

Nota: Un e.V es la energía que alcanza un electrón cuando es acelerado por el campo eléctrico creado por una diferencia de potencial de 1 V. Su valor es de $1,602 \times 10^{-19} \text{ J}$

Pararrayos **Cargas inducidas**

Durante una tormenta las nubes acumulan cargas eléctricas con polaridad negativa o positiva. Cuando dos nubes con diferente polaridad se acercan, provocan una descarga eléctrica entre ellas, la que desplaza una masa de aire, produciendo el ruido de un trueno. Independientemente del tipo de carga, una nube induce una carga de signo contrario sobre la tierra y sobre los objetos ubicados sobre ella. Estas cargas crean un campo eléctrico entre la nube y un objeto. Para que “caiga” un rayo, se necesita una alta **densidad de carga** (carga/unidad de superficie), ya que al aumentar este valor, aumenta la intensidad del campo eléctrico, llegando a ionizar el aire (aumento de la conductividad del aire). Es entonces cuando se produce un rayo, que es la manifestación del cierre del circuito nube-tierra.

Si observa un viejo pararrayo verá que en su cúspide existe una corona que termina en puntas agudas. La razón de esta construcción es que, a diferencia de la protección para paneles FVs, se quiere aumentar rápidamente la densidad de carga y para ello lo más sencillo es **disminuir la superficie**. Las terminaciones punteagudas consiguen tener una alta densidad de carga y provocar la “caída” de un rayo en su zona de influencia.

Los pararrayos de diseño más moderno mantienen una relación entre su largo y la curvatura de su punta, ya que la investigación demostró que el área de protección es mayor que la del diseño antiguo (Figura AIII.3).

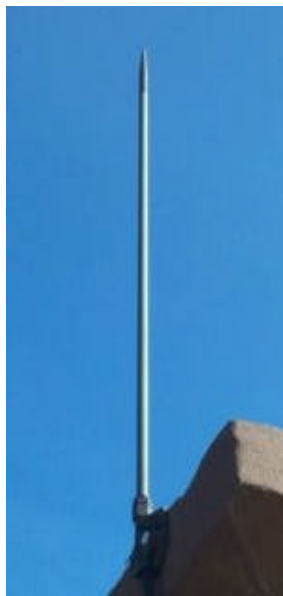


Figura AIII. 3- Pararrayo de diseño moderno

En el Capítulo 12 mostré dos conectores usados en conexiones a tierra, e indiqué que este diseño no requería soldadura alguna entre el cable de tierra (alambre en el caso de los paneles). La ventaja de no depender **exclusivamente** de una soldadura para establecer el contacto varilla-alambre es que la corriente de descarga a tierra es muy elevada. El calor desarrollado en la resistencia óhmica de la soldadura fundiría al material, abriendo la conexión.

Cable de descarga

La corriente de descarga pasa de un **valor nulo a tener miles de amperes en una fracción de segundo**. Este pulso de corriente se comporta como un corriente variable de alta frecuencia. Por eso **no se utiliza** un alambre sólido, ya que la corriente en altas frecuencias circula por la **superficie** de un conductor.

En instalaciones para pararrayos se recurre a cables cuyo diámetro se obtiene con un alto número de cables enroscados, los que incrementan la superficie de conducción sin recurrir a diámetros descomunales. La Figura AIII.4 muestra uno de estos cables, el que está formado por **32** cables de calibre **AWG17**. Su diámetro corresponde al de un alambre sólido AWG2. Existen asimismo cables multi-alambre planos.

Tendido del cable

El cable de descarga debe ser sostenido, cada 2m (aprox.) por soportes, y debe correr ya sea horizontal o verticalmente. Al cambiar de dirección **no genere un doblez punteagudo en forma de V o U**, sino en forma de L invertida con **una curvatura redondeada**.



AIII.4- Cable de tierra para pararrayos

Cuando me decidí a revisar la primera edición de este manual me resultó más que obvio que la industria que provee los componentes que hacen posible la realización práctica de un sistema FV había evolucionado, en pocos años, con gran velocidad.

Nuevos paneles con mayor eficiencia de transformación, una línea completamente nueva en controles de carga, gracias a la enorme reducción en el costo de los microprocesadores, innovaciones en baterías, bombas de agua y un sin fin de otros detalles.

También me fué evidente que los pioneros eran reemplazados, en muchos casos, por nuevas compañías, de manera que nuevos nombres sustituían a las marcas tradicionales. En una palabra, la evolución de esta industria es muy rápida.

Información

¿Cómo mantenerse al día? En los EEUU, donde hay ferias de renovables, la asistencia a las mismas proporcionan la oportunidad de entablar conversaciones con los expositores de productos y obtener nuevas hojas de especificaciones y precios. Fuera de los EEUU queda la internet, para aquellos que tengan los recursos para ver las páginas de los fabricantes. Mi experiencia es que la mayoría de la información está dada en inglés.

Esto es lo que me llevó, a lo largo de la presentación de este manual, a dar el nombre técnico en ese idioma para muchas de las palabras que son claves cuando se quiere descifrar la información.

El español está empezando a aparecer y las compañías japonesas e inglesas suelen incluir nuestro idioma. En algunos casos fabricantes del Canadá y los EEUU dan alguna información en español.

Muchas de las páginas en español no informan sobre productos, ya que lo que ofrecen son trabajos de instalación. Cuando se ofrecen productos, estos suelen ser de origen estadounidense o japonés.

Home Power Magazine

Por muchos años un grupo de pioneros en el campo de la energías renovables han publicado, en inglés, una revista llamada **Home Power**, la que puede visitarse en la internet (www.homepower.com). Para los que son curiosos e intrépidos, les aconsejo, por lo menos, identificar las direcciones en la internet de los fabricantes que hacen propaganda de sus productos, para luego leer con detalle la información proporcionada.

Desgraciadamente no hay mucho material técnico en español, pero el lector con acceso a la internet debe seguir explorando la internet, dado que Europa, y en particular España han comenzado a desarrollar proyectos de energías renovables.

