

## 1. LA MINIHIDROELÉCTRICA EN EL MUNDO

### 1.1 Introducción

La hidroenergía es quizás la forma más antigua de aprovechamiento de energía para el desarrollo de las actividades productivas del hombre. Las ruedas hidráulicas se utilizaron desde el tiempo de los antiguos romanos para actividades como la molienda de granos, los aserraderos o simplemente como fuerza mecánica.

A principio del siglo XX con el desarrollo de las turbinas modernas tipo Pelton, Francis, Kaplan y Banki, proliferaron en Europa, principalmente las centrales hidroeléctricas “pequeñas” con capacidades instaladas de varias decenas o centenas de kilowatts.

Después de la segunda guerra mundial se dio un gran auge al desarrollo de la hidroelectricidad de gran capacidad, con centrales de varios centenares de megawatts. No obstante lo anterior, la construcción de estas minicentrales se siguió dando principalmente en varios países de Europa y en algunos de Asia.

### 1.2 Clasificación de centrales

Respecto a la clasificación de las pequeñas centrales, **aun no existe una convención mundial aceptada** respecto a nombres y rangos de potencia en este tipo de centrales de generación. En algunos países (ref. 1.1) una “pequeña central” puede ser aquella cuya potencia instalada no rebase los 10 MW, en algunos otros esta denominación es para centrales de no mas de 2 ó 5 MW. Otras denominaciones son “mini” y “micro” centrales, para designar las que tienen un megawatt o menos de potencia.

En este documento se utilizará la siguiente convención con el fin de estar acorde con la terminología utilizada en la nueva Ley del Servicio Público de Energía Eléctrica en nuestro país, en donde se menciona que un “pequeño productor” será aquel que instale en una central una potencia no mayor a 30 MW.

Tipo de central	Capacidad (MW)
Microcentral	menos de 1
Minicentral	de 1 a menos d 5
Pequeña central	de 5 a menos de 30

### 1.3 Potencial mundial técnicamente explotable (1995)

La organización inglesa “Water Power” publica cada año una lista que reporta el estado que guarda la hidroelectricidad de pequeña escala en el mundo (ref. 1.1). Se tienen datos del potencial técnicamente explotable, de las centrales en operación, aquellas que están en fase de construcción y las consideradas para su futuro desarrollo (planeación).

Se presentan dichos datos para dos categorías según su potencia instalada o por instalar, es decir:

- a) Centrales de:  $2 \text{ MW} < \text{Potencia} < 10 \text{ MW}$
- b) Centrales de:  $\text{Potencia} < 2 \text{ MW}$

Haciendo una análisis de los datos reportados por esta fuente hasta 1995 (tabla 1.1), los cuales desafortunadamente no están disponibles en muchos países, se presentan a continuación los siguientes aspectos relevantes:

Si se considera el conjunto de países formados por China, Taiwán, el Japón, diez países de Europa y algunos de África y Oceanía, se verá que su potencial hidroenergético, técnicamente explotable para esta clase de centrales asciende **459 TWh/año**. Si para tratar de hacer congruentes los datos reportados en la literatura, se supone un factor de planta promedio para todas las centrales igual a 0.4, la generación anterior sería equivalente a **131,111 MW** de capacidad instalada. De este valor, China posee 55% según se aprecia en la figura 1.1, los diez países reportados en Europa contribuyen con 31% (142,9 TWh/año). Japón y otros países de

**TABLA 1.1 Panorama de la minihidráulica en el mundo**

Continente	País	Potencial tot. técnicamente explotable (TWh/año)	Potencial minihidráulico técnicamente explotable			Centrales con potencia instalada de 2 MW < Pot. < 10 MW						
						En operación		En construcción		En planeación		Pot. prom. por unidad en op. (MW)
			(TWh/año)	(%)	(MW)**	No. de centrales	Capacidad (MW)	No. de centrales	Capacidad (MW)	No. de centrales	Capacidad (MW)	
Asia	China (total)	1,923.30	252.27	13.12	71,994.29	2,178	6,040.00	nd	1,464.40	nd	7,018.50	2.77
	Japon	135.08	46.72	34.58	13,332.76	597	2,852.00	22	101.00	68	360.00	4.78
	Indonesia	709.00	nd	nd	nd	49	49.95	7	5.83	39	47.10	1.02
	Filipinas*	38.52	3.32	8.63	948.63	17	61.00	nd	0.00	54	169.00	nd
	Turquia	215.00	1.84	0.86	526.26	58	128.40	1	10.60	0	0.00	2.21
	Tailandia	8.15	0.25	3.01	69.92	2	15.00	0	0.00	0	0.00	7.50
	<b>Subtotal</b>	<b>3,029.06</b>	<b>304.40</b>	<b>10.05</b>	<b>86,871.86</b>	<b>2,901</b>	<b>9,146.35</b>	<b>30</b>	<b>1,581.83</b>	<b>161</b>	<b>7,594.60</b>	<b>3.66</b>
Europa	Austria	75.00	31.00	41.33	8,847.03	2,200	1,500.00	9	10.00	nd	200.00	0.68
	España	54.00	7.00	12.96	1,997.72	175	835.00	30	98.00	nd	nd	4.77
	Finlandia	3.60	1.50	41.67	428.08	235	300.00	4	19.00	6	nd	1.28
	Francia	72.00	12.00	16.67	3,424.66	1,720	2,250.00	nd	nd	nd	nd	1.31
	Grecia	25.00	2.00	8.00	570.78	4	35.30	1	3.80	3	25.50	8.83
	Italia	150.00	65.00	43.33	18,550.23	1,493	2,022.00	3	21.20	6	19.20	1.35
	Noruega	200.00	8.00	4.00	2,283.11	530	879.00	4	16.00	nd	nd	1.66
	Portugal	24.50	6.50	26.53	1,855.02	29	69.00	nd	10.00	nd	nd	2.38
	Rumania	40.00	4.40	11.00	1,255.71	263	273.00	72	130.00	35	213.00	1.04
	Suiza	41.00	5.50	13.41	1,569.63	1,003	737.00	4	15.50	nd	480.00	0.73
	<b>Subtotal</b>	<b>685.10</b>	<b>142.90</b>	<b>20.86</b>	<b>40,781.96</b>	<b>7,652</b>	<b>8,900.30</b>	<b>127</b>	<b>323.50</b>	<b>50</b>	<b>937.70</b>	<b>2.40</b>
Africa	Etiopía	60.00	0.24	0.39	67.35	1	5.00	nd	6.10	1	5.00	5.00
	Madagascar	44.37	6.10	13.75	1,740.87	10	23.64	0	0.00	6	9.80	2.36
	Tanzania	20.69	1.50	7.25	428.08	5	11.44	nd	nd	4	60.00	2.29
	<b>Subtotal</b>	<b>125.06</b>	<b>7.84</b>	<b>6.27</b>	<b>2,236.30</b>	<b>16</b>	<b>40.08</b>	<b>nd</b>	<b>6.10</b>	<b>11</b>	<b>17.10</b>	<b>3.22</b>
América	Argentina	172.00	nd	nd	nd	39	72.00	1	9.00	nd	nd	1.85
	Bolivia	126.00	nd	nd	nd	17	74.00	nd	21.00	nd	36.00	4.35
	Brasil	1,123.20	nd	nd	nd	80	358.80	5	31.01	75	452.73	4.49
	Costa Rica	42.65	nd	nd	nd	24	78.16	0	0.00	nd	40.00	3.26
	Ecuador	523.84	nd	nd	nd	47	9.32	nd	nd	nd	5.00	0.20
	México***	159.62	nd	nd	nd	17	74.26	nd	nd	nd	nd	nd
	Venezuela	277.20	nd	nd	nd	17	10.80	nd	1.05	nd	3.05	0.64
	<b>Subtotal</b>	<b>2,424.52</b>	<b>nd</b>	<b>nd</b>	<b>nd</b>	<b>224</b>	<b>603.08</b>	<b>6</b>	<b>62.06</b>	<b>75</b>	<b>536.78</b>	<b>2.46</b>
Oceanía	Nva. Zelanda	77.20	4.28	5.54	1,221.46	26	103.00	0	0.00	0	0.00	3.96
	Papua N.G.	98.00	nd	nd	nd	4	22.00	0	0.00	0	0.00	5.50
	<b>Subtotal</b>	<b>175.20</b>	<b>4.28</b>	<b>5.54</b>	<b>1,221.46</b>	<b>30</b>	<b>125.00</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>0</b>	<b>0.00</b>	<b>9.46</b>
<b>Total</b>		<b>6,438.94</b>	<b>459.42</b>	<b>7.13</b>	<b>131,111.59</b>	<b>10,823</b>	<b>18,815</b>	<b>163</b>	<b>1,967</b>	<b>286</b>	<b>9,069</b>	<b>3.60</b>

\* No. de unidades en operación estimado

\*\* Factor de planta estimado = 0.4

\*\*\* Potencia instalada, tomada de Ref. 1.2

Tabla elaborada con el apoyo de las refs. 2.1: "The World Hydro Resources" Int. Water Power & Dam Construction Handbook 1995 y

1.2: "Unidades Generadoras en Operación (Sistema Eléctrico Nacional), Subdirección de Programación, CFE, 1993.

**TABLA 1.1 Panorama de la minihidráulica en el mundo (cont.)**

Continente	País	Centrales con potencia instalada de < 2 MW						Pot. prom. por unidad en op. (MW)	Potencial aprovechado (%)
		En operación		En construcción		En planeación			
		No. de centrales	Capacidad (MW)	No. de centrales	Capacidad (MW)	No. de centrales	Capacidad (MW)		
Asia	China (total)	1,119	1,476.25	1	1.10	nd	0.00	1.32	10.44
	Japon	638	494.00	19	18.00	18	18.00	0.77	25.10
	Indonesia	41	17.78	nd	nd	nd	nd	0.43	n.d
	Filipinas*	59	41.62	nd	0.00	nd	0.00	0.71	10.82
	Turquia	40	23.55	1	1.00	nd	nd	0.59	28.87
	Tailandia	7	3.04	0	0.00	0	0.00	0.43	25.80
	Subtotal	1,904	2,056.24	21	19.00	18	18.00	0.71	12.90
Europa	Austria	1,900	430.00	nd	nd	nd	nd	0.23	21.82
	España	513	317.00	42	39.00	nd	nd	0.62	57.67
	Finlandia	190	90.00	4	nd	4	nd	0.47	91.10
	Francia	1,500	750.00	nd	nd	nd	nd	0.50	87.60
	Grecia	13	7.40	3	6.10	1	0.60	0.57	7.48
	Italia	1,031	322.00	0	0.00	0	0.00	0.31	12.64
	Noruega	376	169.00	1	2.00	nd	nd	0.45	45.90
	Portugal	nd	0.00	nd	nd	nd	nd	nd	3.72
	Rumania	231	128.00	61	47.00	2	2.00	0.55	31.93
	Suiza	892	450.00	2	1.98	nd	nd	0.50	75.62
Subtotal	6,646	2,663.40	109	96.08	6	2.60	0.47	28.35	
Africa	Etiopía	2	1.11	nd	nd	nd	nd	0.56	9.07
	Madagascar	6	2.44	nd	0.00	4	13.00	0.41	1.50
	Tanzania	4	3.44	nd	nd	6	12.00	0.86	3.48
	Subtotal	12	6.99	nd	nd	nd	25.00	0.61	2.10
América	Argentina	28	12.00	0	0.00	nd	nd	0.43	nd
	Bolivia	50	30.00	nd	nd	nd	nd	0.60	nd
	Brasil	173	114.91	1	1.00	20	17.00	0.66	nd
	Costa Rica	12	5.70	nd	24.40	nd	9.50	0.48	nd
	Ecuador	31	16.62	nd	0.75	nd	1.70	0.54	nd
	México***	16	15.76	nd	nd	nd	303.00	nd	nd
	Venezuela	13	0.50	nd	1.05	nd	0.54	0.04	nd
	Subtotal	323	195.49	nd	27.20	20	331.74	0.46	nd
Oceanía	Nva. Zelanda	20	13.70	0	0.00	0	0.00	0.69	9.55
	Papua N.G.	3	0.26	nd	nd	nd	nd	0.09	nd
	Subtotal	23	13.96	nd	nd	nd	nd	0.39	nd
Total		8,908	4,936	130	115	24	377.34	0.50	18.12

\* No. de unidades en operación estimado

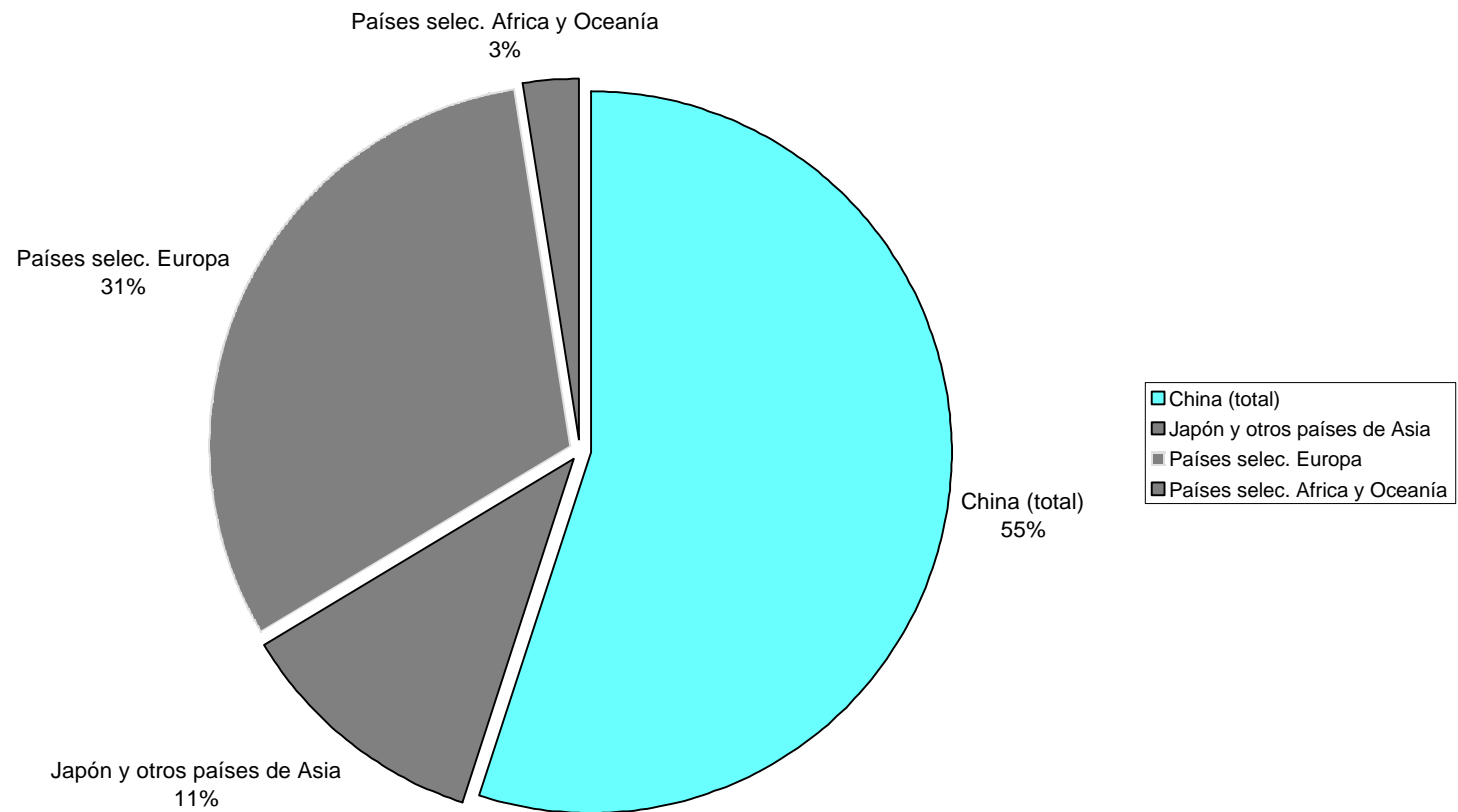
\*\* Factor de planta estimado = 0.4

\*\*\* Potencia instalada , tomada de Ref. 1.2

Tabla elaborada con el apoyo de las refs. 1.1: " The World Hydro Resources" Int. Water Power & Dam Construction Handbook 1995 y

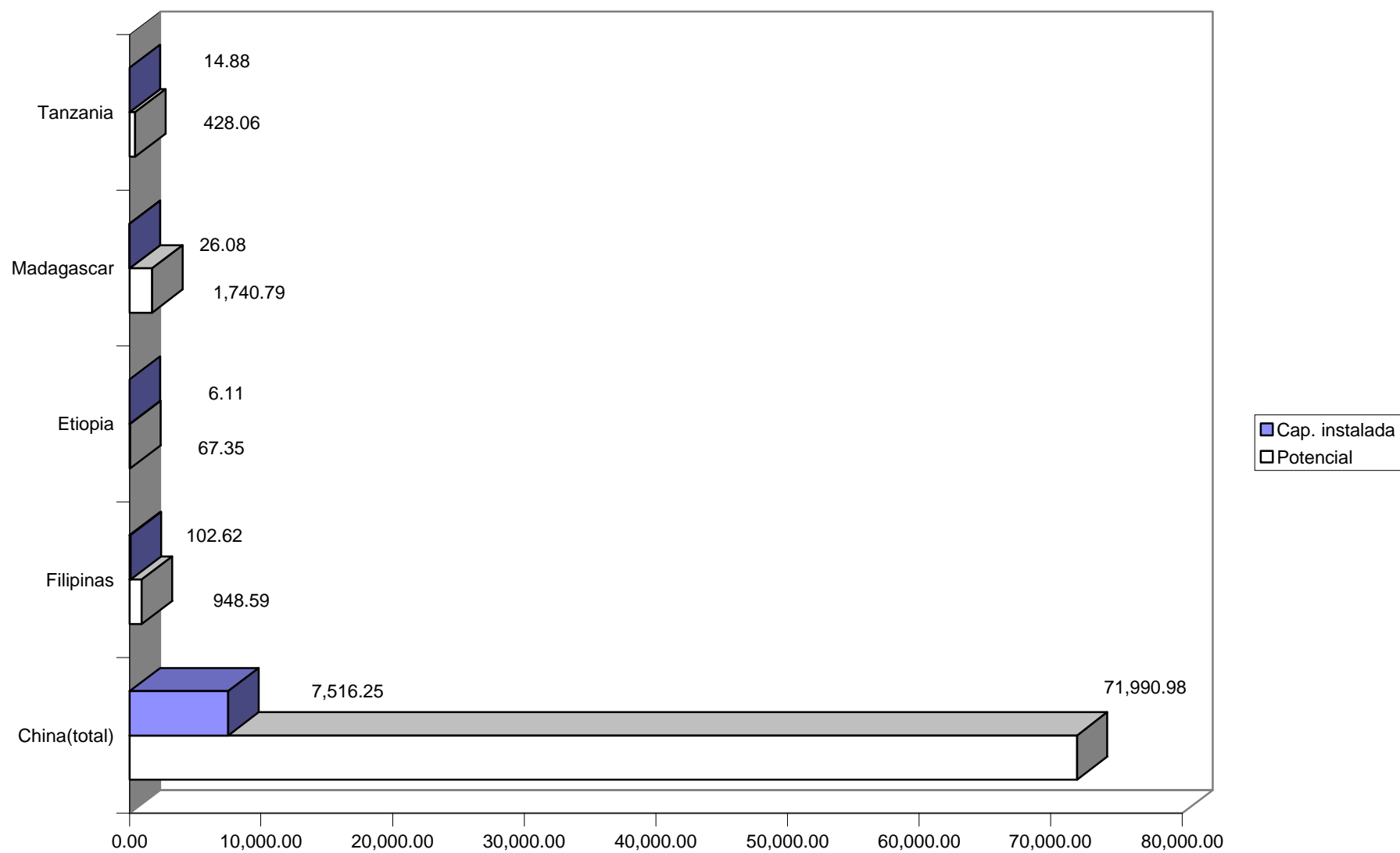
1.2: "Unidades Generadoras en Operación (Sistema Eléctrico Nacional), Subdirección de Programación, CFE, 1993.

Fig. 1.1 Distribución porcentual del potencial de pequeñas centrales hidroeléctricas en algunos países ( 459.42 TWh)

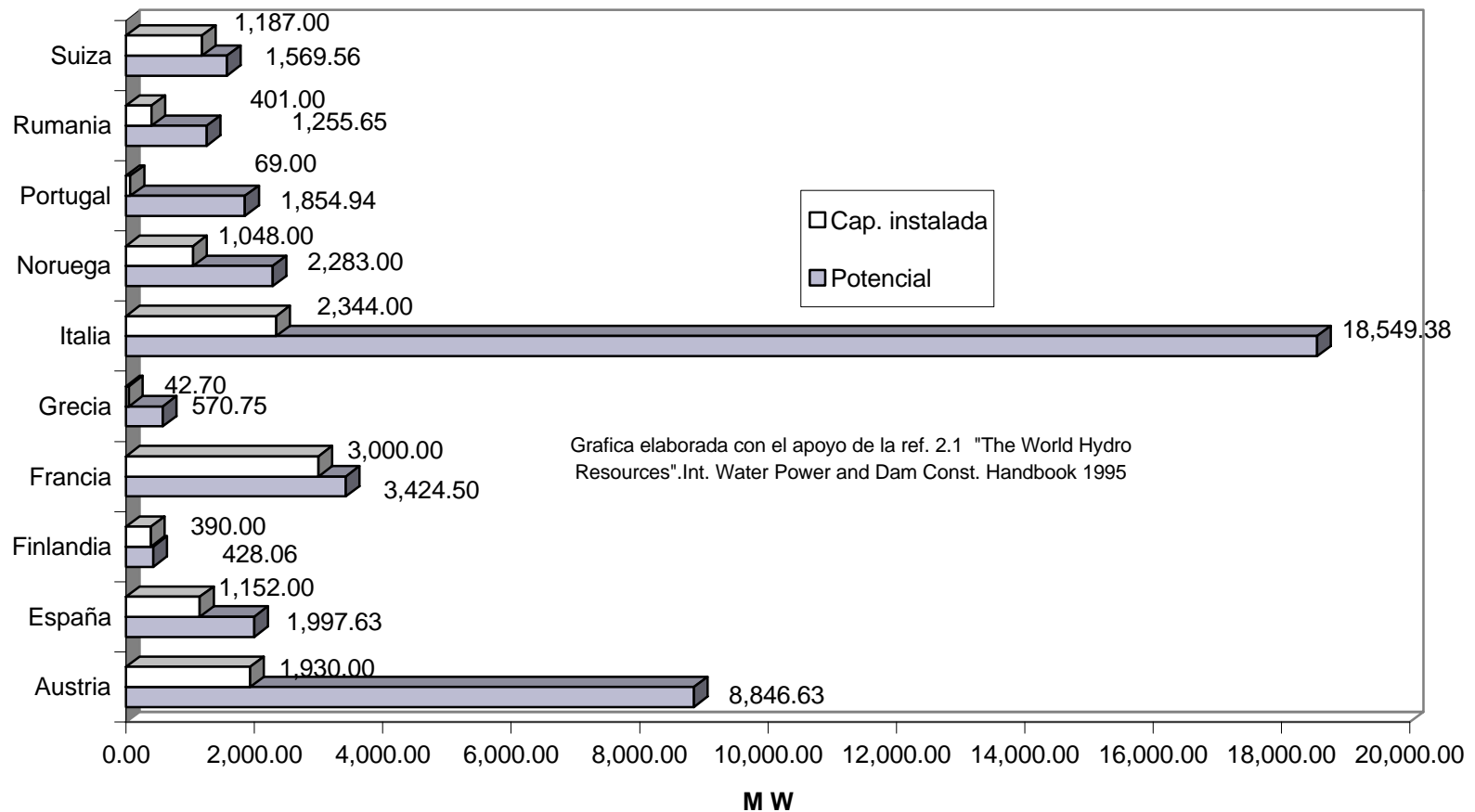


Gráfica elaborada con el apoyo de la ref. 2.1 "The World Hydro Resources " Int. Water Power & Dam Const. Handbook 1995

Fig. 1.2 Potencial aprovechado en pequeñas centrales hidroeléctricas , principales países de Asia y Africa (1995)



Fing. 1.3 Potencial aprovechado en pequeñas centrales hidroeléctricas , principales países europeos (1995)



Asia poseen el 11% (52.1 TWh). El restante 3%. se completa entre los tres países seleccionados de África y Nueva Zelandia en Oceanía

Como lo muestra la tabla 1.1, hasta el año de 1995 había en estos países un total de 10 823 centrales con potencias entre 2 y 10 MW y 8 908 centrales de menos de 2 MW de capacidad. Su potencia conjunta fue de 23 751 MW. Este valor significa que **a la fecha se ha aprovechado solo el 18.12% del potencial total técnicamente factible de explotar en los países considerados**. Para tener una idea de la importancia de esta cifra, cabe recordar que es equivalente a la potencia instalada que se tenía en México a finales de 1989.

Las figuras 1.2 y 1.3 presentan gráficamente el potencial aprovechado en los países referidos. Se puede ver, por ejemplo, que en Europa el desarrollo del potencial ha sido el más alto a la fecha con un 43.5% global, mientras que en otros continentes como el asiático o africano, este desarrollo sólo ha alcanzado la marca del 20%.

Por último, es lamentable que en el caso de Latinoamérica no se tengan a la fecha datos al respecto (o no se han podido conseguir). Es muy probable que este potencial de minihidráulica sea de importancia en estos países ya que solamente hablando del potencial total técnicamente explotable (tabla 2.1), Latinoamérica posee el 37.65 % del total mundial (2,424 TWh/año).

De los datos del potencial de minihidráulica y el total técnicamente explotable (tabla 1.1) se puede ver que este último representa globalmente un 7.13 % del primero. Si se sigue una relación lineal o proporcional para el caso de Latinoamérica (ante la actual ausencia de mayor información), el 7.1 % de 2,424 TWh/año es 172 TWh/año. Esta cantidad se podría considerar, en primera instancia, como el orden de magnitud que tendría dicho potencial. Consecuentemente, la potencia instalada aplicando los criterios descritos sería de unos 50 000 MW. Si por último se sabe que **la potencia promedio por central es de 3.6 MW**, esto implica pensar en un universo de unas 14,000 centrales de este tipo.



**Para el caso particular de México**, el 7.1% de su potencial económicamente factible (159 TWh/año) definiría en forma preliminar el potencial de centrales menores a 10 MW, es decir:

a) Potencial probable	11,38 TWh/año
b) Potencia probable a instalar	3 247 MW
c) Probable numero de centrales	900

En etapa de identificación, la referencia 1.1 reporta un total de 303 MW como posible potencia a instalar si se realizaran equipamientos en infraestructura hidroagrícola de la CNA. Este valor concuerda bien con lo reportado en el capítulo 2 (inciso 2.5).

Ante el panorama anterior es importante continuar con los esfuerzos por promover los esquemas de aprovechamiento minihidráulico en países como México u otros de Latinoamérica. Existen ya diversas organizaciones que contribuyen técnica y financieramente para la construcción de este tipo de centrales como son: HYDRONET/HIDRORED, OLADE o GEF/UNDP de Naciones Unidas (refs. 1.3 a 1.5).

Dentro de las grandes ventajas de sistemas de generación de este tipo están:

- a) El uso de un recurso renovable como fuente de energía
- b) La conservación de combustóleo ( 292 600 l/GWh)
- c) La no emisión de gases invernadero como el CO<sub>2</sub> ( 700 ton por cada GWh) o los NO<sub>x</sub>.

Adicionalmente, en los últimos 10 años se han logrado avances importantes para abaratar los materiales y equipos utilizados en la construcción y montaje de estas plantas (ref. 1.3) de tal manera que esta forma de producir electricidad resulta cada vez más conveniente para aquellos productores catalogados como “autoabastecedores” o “pequeños productores” como se verá en el capítulo 3.

## 1.4 Referencias

- 1.1 The World Hydro Resources. International Water Power & Dam Construction Handbook, 1995.
- 1.2 Unidades Generadoras en Operación (Sistema Eléctrico Nacional), Subdirección de Programación, CFE, 1993.
- 1.3 Hydronet/Hydrored. Revista de divulgación internacional sobre Microhidroenergía, septiembre de 1994. Corresponsal en México: Ing. Claudio Alatorre Frenk. Apdo. Postal 259/91001, Xalapa, Ver.
- 1.4 OLADE, Organización Latinoamericana de Energía. Av. Occidental Sector San Carlos, Quito, Ecuador. Fax 98 593 2 - 53 96 84. Contacto: Ing. Fco. J. Gutiérrez, Secretario General.
- 1.5 GEF/UNDP, One United Nations Plaza. Rm FF 1010 New York, E.E.U.U., Fax (95 212) 906 69 03. Contacto: Mr. Richard Hosier Par. Senior Global Warming Advisor.
- 1.6 CONAE, Memoria de cálculo para obtener la cantidad de CO<sub>2</sub> evitado por barril equivalente de petróleo ahorrado, 1995.