

PROYECTO HIDROELECTRICO DE LOS VOLCANES DE MEXICO

POR LOS INGS. FERNANDO *VIZCAYNO* DIRECTOR DEL PROYECTO,
Y PABLO *BISTRAIN* ASESOR TECNICO

CAPITULO I

GENERALIDADES

Los antecedentes del Proyecto se encuentran bien explicados en los artículos publicados en la Revista *Irrigación en México* —número mayo y junio de 1943 (Núm. 3. Vol. XXIV)— y en la Revista *Ingeniería*, de la Escuela Nacional de Ingenieros, número de marzo del año actual.

Dependiendo la energía susceptible de generarse de dos factores principales: altura y caudal de agua disponible, el primero está bien definido, y en cuanto al segundo, los profesionistas que se dedican en nuestro país al estudio y ejecución de obras hidráulicas, no ignoran que solamente de algunos ríos se tienen registros suficientes; así como que puede considerarse como muy reciente la intensificación de la medición de los recursos hidráulicos nacionales, benéfica labor encomendada en sus aspectos especiales a la Comisión Nacional de Irrigación, a la Comisión de Límites Internacionales (dependiente de la Secretaría de Relaciones Exteriores) y a la Dirección de Aguas de la Secretaría de Agricultura y Fomento.

No obstante los progresos realizados a la fecha en este sentido, en muchos casos los datos son insuficientes y en otros se ignoran, teniéndose que recurrir a procedimientos analíticos o indirectos para conocerlos.

Concretamente en el caso de los volcanes, el señor doctor Alfredo Baños determinó que el valor medio de la constante solar corregida por latitud y absorción atmosférica, producía el deshielo de una capa de 5 centímetros de espesor de hielo y, por lo tanto, con una área de 1.73 Km² de superficie nevada se obtendría un caudal de un metro

cúbico por segundo; resultando únicamente por este concepto, para los 14 Km² de área nevada del Iztaccíhuatl un gasto de 8 m³/s.; el que aumentado con el proveniente de la fusión provocada por el calor radiante de las rocas se podría redondear a 10 m³/s.; con este gasto y adoptando un desnivel medio de 1,500 metros, resulta una energía potencial de 150,000 caballos.

Aunque el procedimiento ha sido discutido, señalaremos que en el Proyecto del ingeniero francés Pedro Gandillon, de riego, industrialización de las sales del Mar Muerto, y electrificación de la Palestina mediante el bombeo hacia éste de las aguas del Mar Mediterráneo, se expone una aplicación análoga de las radiaciones solares, en la inteligencia que utiliza valores encontrados en los observatorios de Montpellier, Francia, y Palestina.

Las estimaciones del doctor Baños, como veremos más adelante, están de acuerdo con observaciones directas verificadas en otros países, como Suiza y Francia; pero en nuestro caso particular son modificadas por las condiciones permeables del lecho cubierto por las nieves, climatología, meteorología, etc.

Como una de las principales dificultades para este Proyecto consistió en la ausencia de datos propios que sirvieran para interpretar los múltiples fenómenos que ocurren en las altas montañas, mientras éstos se iban obteniendo paulatinamente por la empresa, se buscó con afán en la literatura técnica extranjera, los relativos a casos análogos que han servido para guiar los trabajos y robustecer las ideas.

El ingeniero Ramiro Robles Ramos, en un artículo que próximamente publicará *IRRIGACION EN MEXICO*, y basándose en las observaciones efectuadas durante estos dos últimos años, hace

una interpretación completa de estos fenómenos, así como del régimen de los recursos hidráulicos.

Los suscritos han observado que su estimación sobre demandas ha sido plenamente confirmada

por los estudios respectivos efectuados por la Secretaría de la Economía Nacional y publicados en su Memoria, de agosto del año pasado, y que exponemos a continuación:

SISTEMAS	Plantas Hidroeléctricas	Plantas de Vapor	Diesel	Demanda Total en 10 años
Compañía Mexicana de Luz y Fuerza Motriz, S. A.	150 000	50 000	—	200 000
Compañía Nacional de Electricidad.	28 000	40 000	—	68 000
Compañía de Tranvías, Luz y Fuerza de Puebla, S. A.	20 000	20 000	—	40 000
Nueva Compañía Eléctrica Chapala, S. A.	34 000	6 000	—	40 000
Compañía Hidroeléctrica Guanajuatense, S. A.	15 000	15 000	—	30 000
Compañía de Tranvías, de Luz y Fuerza de Monterrey, N. L.	—	30 000	—	30 000
Otras Plantas y Sistemas.	30 000	30 000	32 000	92 000
	277 000	191 000	32 000	500 000

De una observación al cuadro, Anexo Núm. 1, que muestra la energía instalada en varios países del mundo, podemos deducir el lugar que le corresponde al nuestro.

Siendo una necesidad la electrificación de nuestro país, se ha venido acelerando al grado que, recientemente, el actual titular de la Secretaría de la Economía, señor ingeniero Gustavo P. Serrano, ha hecho declaraciones a la prensa sobre el vasto programa que va a desarrollar nuestro Gobierno en cooperación con empresas privadas, proponiéndose una inversión de \$ 1 500 000 000.00 en quince años, o sea, a razón de \$ 100 000 000 por año, y fijándose, por lo pronto, una etapa inicial de 200 000 HP.

CAPITULO II

NOCIONES GENERALES SOBRE LA HIDROLOGIA DE LAS ALTAS MONTAÑAS.

1. La humedad contenida en la atmósfera se renueva cada instante por masas de vapor provenientes de las evaporaciones provocadas por el sol, en los mares, en las partes húmedas en las superficies continentales, así como por la transpiración de las plantas.

La formación de las nubes y de las lluvias que les suceden, son aspectos del mismo fenómeno, es decir, debidos a la condensación del agua de la atmósfera a causa de enfriamientos que pueden ocurrir en las condiciones siguientes:

a) Radiación (enfriamiento directo de la atmósfera).

b) Paso del aire de una región caliente a otra fría.

c) Mezcla de dos masas de aire a temperaturas diferentes.

d) Expansión.

La primera se genera en las capas inferiores de la atmósfera, en noches claras y sobre todo en épocas de altas presiones y ciclones, dando lugar a las nieblas.

La segunda ocurre cuando el viento va a las latitudes elevadas, es decir, cuando sopla de los cuadrantes SW. y SE., en el hemisferio norte, o en NW y NE., en el sur; estos vientos son calientes, húmedos y generalmente traen lluvias.

En la tercera, cuando se encuentran dos corrientes animadas de movimientos contrarios, se produce la mezcla de masas de aire a temperaturas desiguales y si una de ellas está cerca del punto de saturación puede ocurrir la condensación.

En el último caso tenemos las condensaciones más rápidas y abundantes, puesto que un aumento de volumen de un décimo produce un descenso en la temperatura de 9°.

2. Clasificación de lluvias.

Se clasifican de acuerdo con las circunstancias que provocan principalmente la condensación en:

a) Lluvias de convección, debidas a los movimientos ascendentes de las masas calientes de aire y en las que se condensa el vapor de agua contenido al llegar a las capas frías. Este es el tipo de lluvias de la región ecuatorial y se producen especialmente durante los grandes calores del estío.

b) Las lluvias geográficas, causadas por los relieves continentales que obligan a las masas de

aire empujadas por los vientos a ascender las montañas en donde se encuentran con las capas frías que condensan su vapor de agua.

De acuerdo con esto, en una región en donde haya un viento dominante que se encuentre con una cadena de montañas se observará una "vertiente lluviosa", en la más golpeada por el viento y otra vertiente seca.

c) Lluvias ciclónicas que en general acompañan a todas las perturbaciones atmosféricas consecutivas a una fuerte depresión.

3. Entre las características muy conocidas de las lluvias se encuentran la variabilidad de su distribución en el globo terrestre y también su variabilidad anual para una misma región.

La repartición de las lluvias en los continentes depende en parte de la dirección y frecuencia de los vientos provenientes del mar.

Las alturas caídas en el globo varían desde 0.20 a 5.00 m. al año.

Como ya precisamos, el vapor de agua asciende en la atmósfera y, por consecuencia, aumenta la nebulosidad, por la tanto, en una misma región las precipitaciones tienden a aumentar con la altitud.

Anotamos a continuación ejemplos que muestran la variación y las precipitaciones atmosféricas con la altitud.

a) *Oberland-bernés*

NOMBRE	Altitud en mts.	Precipitación en mts
Jongfraujoch (Oberland-bernés)	3 450	2 700
Hacia el lado norte del macizo Grindelwald ..	950	1 230
Jungfran Interlaken ...	570	1 100

b) Datos recientes del servicio meteorológico suizo, observaciones con el aparato Mougín, a altas altitudes.

	Altitud.	Prec. mm. Prom. (1913-17)
Grimsel	1 820	2 010
Lago Rittem	1 960	1 770
Clariden	2 710	3 750
Ventisquero del Ródano ...	2 800	2 695
Concordia	2 850	2 960
Col d'Orny	3 250	3 190

Jungfraunjoch	3 450	2 810
Scopi	3 750	4 560

Hein observó en los macizos Hercyniens alemanes lo siguiente:

Altitud en m.	0-200	200-300	400-500	500-700	700-1000
Precipitación en milímetros ..	580	650	780	850	1000

Sin embargo De Martonne indica que las precipitaciones no aumentan indefinidamente con la altitud, sino que más bien existe una zona de precipitación máxima que corresponde aproximadamente a la nebulosidad máxima.

Solamente en muy pocos lugares se ha determinado esta elevación media de la zona de precipitación máxima; anotamos los datos siguientes:

El Himalaya	1 300 mm.
Sierra Nevada de California	1 400 „
Selva Negra	1 300 „

La zona de precipitación máxima varía con la situación geográfica de la montaña considerada, con el relieve, con la orientación de las vertientes con respecto a los vientos dominantes y húmedos, etcétera.

Aunque existen fórmulas que dan la relación entre ésta y la altitud, son de valor completamente local, pues en realidad cada montaña tiene su ley de incremento en las precipitaciones; no obstante, se han deducido las leyes generales siguientes:

a) El incremento es más rápido cuanto mayor es la pendiente.

b) Es tanto más marcado cuando los vientos lluviosos se acercan a la dirección normal de la vertiente considerada.

c) Depende de la temperatura inicial del aire y su humedad.

5. Estimación del ciclo hidrológico del agua.

Después de la descripción de este ciclo anotamos las estimaciones verificadas por distintos autores:

Murray calcula que en los 145 millones de kilómetros² de superficie continental caen 125 000

kilómetros³ de precipitación; de los cuales los dos tercios ocurren en las latitudes, más o menos, 30°. Con los datos anteriores se determina una precipitación media de 0.86 m. en las áreas continentales.

Las estimaciones más detalladas se deben al ruso Aa. Kaminsky (1925), y al alemán Erde W. Meinardus (1934), las que figuran en la tabla siguiente, con las iniciales respectivas de sus autores:

CONCEPTO:	Estimación en K ³		Estimación en Cms.	
	K.	M.	K.	M.
1.—Evaporación de los mares.....	307 000	449 000	85.0	124.3
2.—Evaporación de las tierras.....	81 000	62 000	54.4	41.6
3.—Precipitación sobre tierras y mares.....	398 000	511 000	76.0	100.0
4.—Evaporación de los mares.....	307 000	449 000	85.0	124.3
5.—Vapor de agua transferido al terreno.....	30 000	37 100	8.3	10.3
6.—Precipitación neta en los mares.....	277 000	411 900	76.7	114.0
7.—Vapor de agua proveniente del mar.....	30 300	37 100	20.2	24.9
8.—Evaporación de las áreas terrestres con escurrimiento al mar.....	71 000	—	17.6	—
9.—Precipitación neta en las áreas terrestres con escurrimiento al mar.....	101 000	—	67.8	—
10.—Evaporación de áreas no drenadas.....	10 000	—	—	—
11.—Precipitación neta en áreas no drenadas.....	10 000	—	—	—
12.—Vapor de agua total del Océano (7-10).....	40 000	37 100	26.8	24.9
13.—Evaporación de las áreas Continentales.....	81 000	62 000	54.4	41.6
14.—Precipitación neta en todas las áreas Continentales...	121 000	99 100	81.2	66.5

Los datos expuestos son bastante congruentes.

El agua llovida según distintas autoridades en la materia tiene la distribución media siguiente:

	Bentabol	Otros	Promedio
Evaporación	45%	25%	35%
Escurrido	30%	30%	30%
Infiltración	25%	45%	35%
	<hr/>	<hr/>	<hr/>
	100%	100%	100%

Se acepta para la evaporación media anual en el globo terrestre la capa de un metro.

CAPITULO III

CARACTERISTICAS DE LA NIEVE

1. Cuando la lluvia se forma en una atmósfera con temperaturas inferiores a 0°, la condensación del vapor de agua se efectúa directamente en estado sólido y cristalino, cayendo al suelo en partículas de nieve.

Recientemente caída es de color blanco brillante o ligeramente azulado, con peso específico de 86 k/m³; a medida que es más esponjosa aísala más el calor, debido al aire interpuesto en sus cristales, refleja bien los rayos solares; las obser-

vaciones efectuadas por Agassiz en los Alpes suizos *precisan* que los rayos solares funden una capa de 50 a 70 cm. de espesor/día. La relación entre la altura de la nieve y el agua fundida es toscamente 1/10.

La nieve cae en todas las zonas de la tierra, pero en la tórrida casi únicamente en las cumbres elevadas; en las regiones polares, como el aire está menos saturado de vapor de agua hay menos precipitación de nieve que en las latitudes circundantes.

La nieve puede tomar aspectos distintos, como: neviza, granizo, agua nieves, etc.

2. *Nieves persistentes*.—Arriba de cierta altitud la mayoría de las precipitaciones ocurren en la forma de *nieve*.

Y en cada región del *globo* se tiene una altitud, en la que el calor solar no es suficiente para fundir la totalidad de la nieve caída y este límite se denomina de las *nieves persistentes*.

Esto es variable y las causas que lo determinan complejas, puesto que depende de la temperatura, del estado higrométrico del aire, de la for-

ma de las montañas, de la dirección de los vientos dominantes, etc.

Sin embargo, se ha formulado una ley general: "en todas las comarcas del *globo*, el límite de las *nieves persistentes* es la altitud en la que la mitad más cálida del año tiene una temperatura media igual a la del hielo fundente".

Anotamos a continuación los límites de las *nieves persistentes* para distintas alturas singulares del *globo*.

DATOS DE LIMITES DE NIEVES PERSISTENTES

	Lat. 0°	Temp. med. anual en 0°	Espesor medio a nivel nieve en m.	Altura máxima en m.	Límite nieves persistentes.
Himalaya Central.....	30	22	1 500	7 820	4 500
Cáucaso Norte.....	42	15	300	5 630	3 500
Noruega Sothnhaim.....	60.61	5	750	2 560	1 900
Islandia-Dernjakoh.....	66	2	1 000	1 300	600
Groenlandia.....	71	5	500	2 000	400
Spitzberg.....	78	—	—	1 500	500
Alpes Centrales Tavarn.....	46-48	10	750	3 790	2 750
Alpes Finster Anr Horn.....		—	—	4 725	2 950
Pirineos Centrales.....	43	13	500	3 400	2 800
Alaska.....	60	0	2 000	5 500	600
Montañas Rocallosas, U. S. A.....	38	13	500	4 400	4 200
Popocatépetl.....	19	25	1 500	5 400	± 4 600
Iztacehuatl.....	19	—	—	5 200	± 4 500
Andes del Perú.....	15	2	300	6 700	5 500
Aconcagua.....	33	15	300	7 300	4 000

3.—La *nieve* caída en las montañas más arriba del límite de las *nieves persistentes* no se derrite totalmente, una parte se funde con los rayos solares y escurre a través de la misma, y en la noche se congela, formando un tipo de *nieve* intermedio entre la ordinaria, ya descrita, y el hielo, la que tiene el aspecto de una masa granulosa de cristales redondos, soldados entre sí por efecto de la presión; esta masa se llama *nevazo* y tiene un peso específico de 300 a 600 k/m³.

La línea divisoria entre *nieve* y *nevazo* no está bien definida; pues según la presión a que se encuentra sometido este último, se forma primero un hielo burbujoso, en seguida uno granujiento blanco y finalmente un hielo azul, compacto, que constituye la sustancia plástica que forman los ventisqueros.

4. *Características del hielo*.— Tiene un peso específico de 900 kg/m³.

La experiencia ha mostrado que bajo presiones fuertes se licúa, estimándose el punto de fusión del hielo se abate 0.0075° por cada 10 m. de presión de agua.

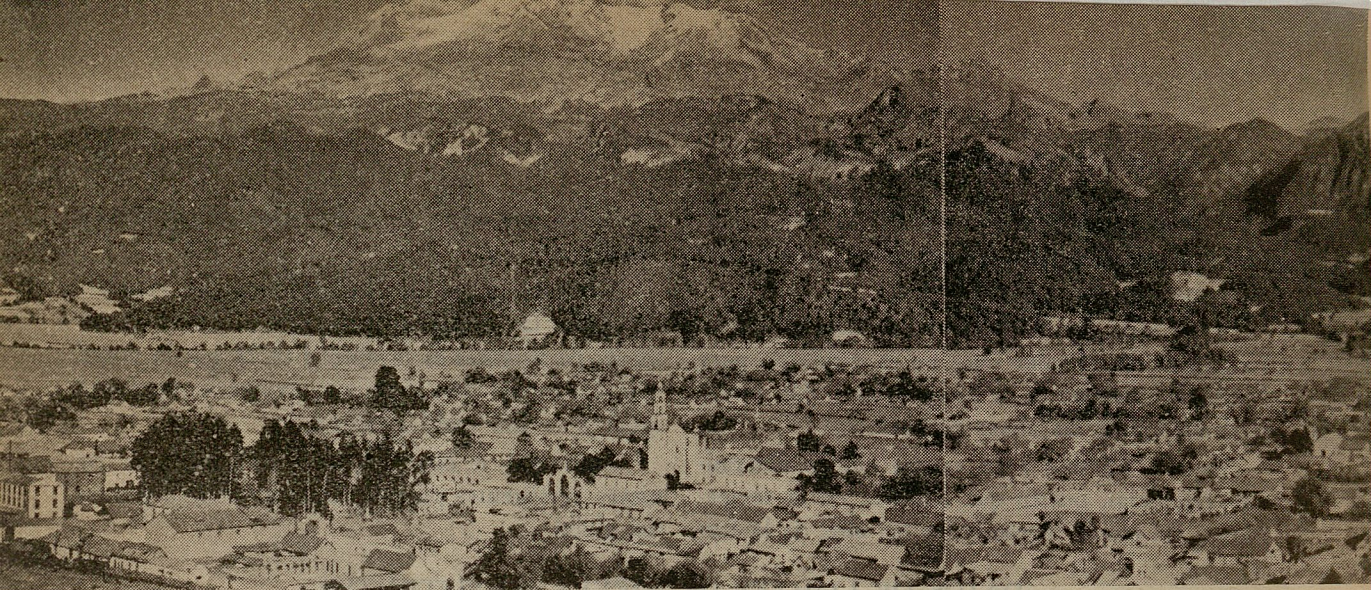
Es un aislante excelente del calor, como se ha comprobado en los lagos de altitud elevada en donde la capa de hielo alcanza un espesor de 0.7 a 1.00; más abajo de la misma no se observa acción de congelación sobre el agua.

Tiene un coeficiente de dilatación de 0.000051 por grado centígrado.

Esfuerzo de ruptura a la tensión de 7 a 8 kg/cm², y a la compresión de 22 kg/cm², lo que equivale a la carga de una columna de 230 m. de altura.

Al aumentar la compresión de este límite se separa en pequeños cristales, debe ser asemejado a una masa semiplástica, que bajo la influencia de presión tiende a *desplegarse*.

Cuando se producen fisuras en su estructura debido a esfuerzos de tensión o porque la compresión exceda el límite indicado, se separa en pequeños cristales que se adaptan a todas las formas y los que, bajo la influencia de nuevos empujes, se funden de *nuevo* en un bloque de hielo; este fenómeno se conoce con el nombre de *rehielo* y se comprueba fácilmente juntando dos trozos de hielo que se sueldan inmediatamente bajo la pre-



Vista panorámica del Iztaccihuatl

sión ejercida, y sucede lo mismo si con un alambre *fino* se troza un pedazo de hielo.

CAPITULO IV

LOS VENTISQUEROS

1. Así como los ríos dan escurrimientos al agua aportada en sus cuencas, los ventisqueros dan escurrimiento a las nieves caídas en las altas altitudes, o en las regiones polares, impidiendo su acumulación en alturas infinitas.

Se distinguen fundamentalmente dos divisiones de ventisqueros: los continentales y los regionales.

Los primeros son típicos de las regiones polares, se presentan en forma de vastos casquetes que cubren casi la totalidad de los continentes, en mesetas muy extensas o en islas enormes.

a). Se designan con el nombre de *inlandsais*, y como casos típicos tenemos el continente Antártico, de área desconocida, la isla de Groenlandia, la tierra de Baffin.

El hielo se forma en la zona central y escurre con pendiente suave hacia la periferia.

El primero en efectuar una exploración en el *inlandsais* groenlandés fué el sabio sueco Nordenskjöld, que la repitió en 1882; sin embargo, no fué sino hasta 1888 cuando Nansen hizo la travesía completa en 46 días. Durante 12 días cruzó una meseta a la elevación 2,500 m. y la altitud máxima alcanzada fué de 2,700 m.; la temperatura media registrada en el día fué de -32° y durante la noche de -50° .

En esta isla el hielo se derrama hacia el mar por emisarios individuales.

b) Se consideran también en esta división a los ventisqueros escandinavos y noruegos, que son

casquetes glaciales locales, que ocupan mesetas elevadas y alimentan varios ventisqueros en los valles divergentes, comprendiendo, por lo tanto, las cuencas de los distintos emisarios.

c) Los *icebergs* o montañas de hielo flotantes, son generadas principalmente por el vuelo al mar de enormes porciones de ventisqueros originalmente horizontales, y que a medida que se hunden son arrastrados por las corrientes; para precisar su enorme magnitud indicaremos que algunas veces se elevan 150 m. encima del nivel del mar y el volumen flotante representa $1/10$ del volumen total.

2.—La segunda división comprende a los ventisqueros encauzados, en los cuales la cuenca de alimentación da origen a uno solo que puede fluir al fondo del valle, extenderse sobre una *cima* u ocupar el fondo de un circo.

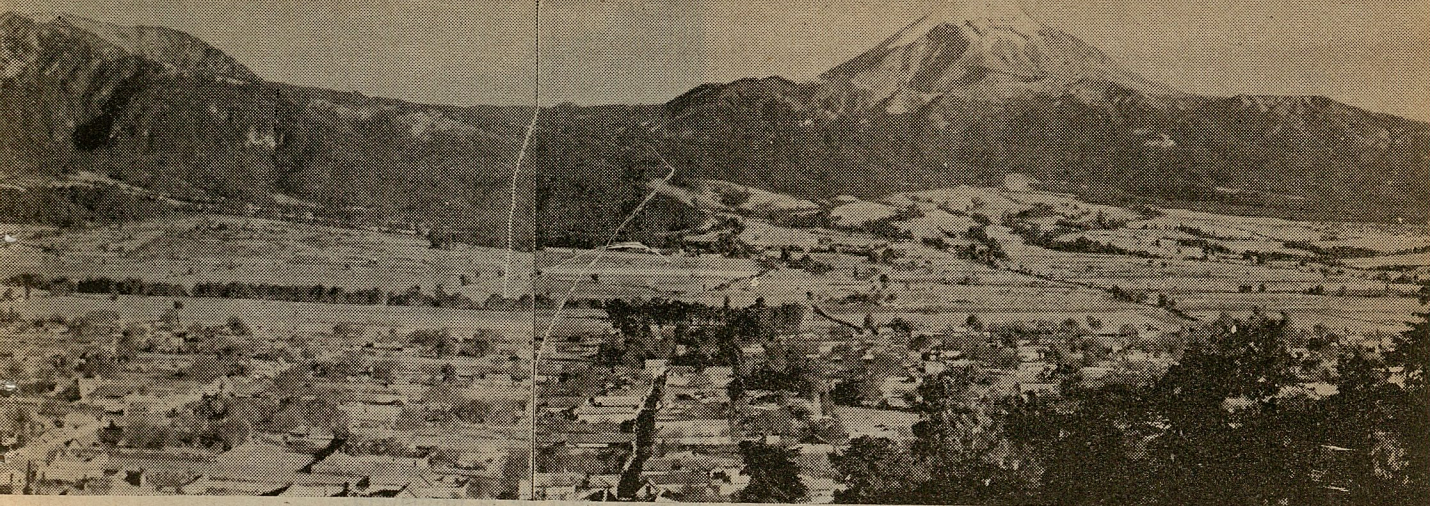
Clasificamos a los siguientes tipos:

a) *Ventisqueros del valle, tipo alpino*, un ejemplo clásico lo tenemos en el Grindelwold del macizo del Aar (Suiza).

b) Compuestos formados por la unión de dos o más ventisqueros, pero cada uno con su cuenca propia.

Se tiene su tipo representativo en el Mar de Hielo, pero también existen en el Cáucaso, en el Himalaya y en Nueva Zelandia.

b₁) *Al pie de los montes*, que consiste en varios ventisqueros, los cuales, encauzados, desembocan en una enorme sabana costera; un ejemplo notable lo tenemos en el ventisquero Malaspina, localizado al pie de los montes San Elías y Logan, en la costa suroeste de Alaska, arriba de la bahía de Yakutat, con longitud máxima de 110 km. y ancho máximo de 55 km., cubriendo una área de 350 km^2 .



mada por el Sr. Ing. Isidro Orozco.

*b*₂) *Conos volcánicos.*—Formados por un casquete que cubre el vértice del cono y alimenta a diversos ventisqueros individuales.

c) *Ventisqueros suspendidos, tipo Pirenaica.*—Llamados así porque predominan en la cadena de los Pirineos y se encuentran en las cubres elevadas sin descender a los valles.

*c*₁) *Ventisqueros de circo.*—Existentes en depresiones abruptas con paredes verticales, forma más o menos circular y formados por el desprendimiento de los bloques de hielo y nevazos que caen a estos bajos.

CAPITULO V

CARACTERISTICAS DE LOS VENTISQUEROS

1. *Constitución de un ventisquero.*—Se considera formado de tres tramos: 1. Cuenca de alimentación o colector. 2. Disipador. 3. Desembocadura o cono de deyección, que afecta la forma de una lengua, en donde se inicia el torrente de las aguas.

La primera está limitada por las montañas que rodean al glaciar.

La segunda es el ventisquero *propriamente dicho*, en donde predomina la *fusión* o degradación, fenómeno que también recibe el nombre de *ablación*.

En la tercera ocurre el depósito de los materiales, formándose las *morrenas del fondo* y las *morrenas laterales*; un agrietamiento más o menos continuo, que sigue el pie de las morrenas del glaciar, se llama *rimaya*.

De acuerdo con lo expuesto observaremos que el ventisquero guarda similitud con un torrente.

2. *Ablación.*—Se ha observado en los Alpes centrales que la radiación solar funde una capa de 3 a 4 cm./día durante el mes de agosto. Desor observó en el Unteraar una ablación de 7 cm./día durante varios meses, Carlos Greel observó 9.8 cm./día en el ventisquero Aletsch. La ablación total anual ha sido estimada por Desor en los Alpes suizos, como de 3.00 m. (8 mm./día de promedio).

Blumke y Hess, en el Hinteresfainer, en el macizo Oetzthel, determinaron de 2 a 7 m. al año y fijaron, además, en sus estudios, curvas de igual ablación en los ventisqueros.

Los ventisqueros concluyen por la fusión del hielo cuando llegan a regiones con temperaturas superiores a cero grados; o por caídas abruptas como, por ejemplo, los ventisqueros polares, que terminan en el mar; o en alguna catarata, y en este último caso pueden formar un nuevo ventisquero regenerado.

3. *Régimen glacial.*—Cuando en un ventisquero la alimentación y ablación se encuentran equilibradas el frente conserva su misma situación y su distancia al origen permanece constante.

Cuando la alimentación es mayor que la ablación el frente progresa hacia adelante; cuando ocurre lo contrario, el frente retrocede hacia arriba.

En el primer caso *se dice* que hubo *avenida* y en el segundo *mengua*.

El ventisquero permanecerá invariable en el primer caso, pero esto no ocurre en la naturaleza, en realidad su extremidad es una enorme masa que avanza y retrocede.

Heim observó que el límite inferior de los ventisqueros es variable anualmente y que se encuentra abajo del límite de las nieves persistentes.

De una manera general los ventisqueros sufren anualmente oscilaciones de pequeña amplitud con

las estaciones, ya que la ablación es escasa en el invierno y la alimentación más pequeña en el verano.

Al lado de estas oscilaciones pequeñas existen otras de mayor amplitud, que se reproducen periódicamente.

Los antecedentes reunidos por E. Richter y que remontan hasta el año 1595, para el ventisquero superior del Grindelwold, precisan que la frecuencia que separa a las avenidas sucesivas es de 20 a 45 años y el promedio se acerca a los 35 años, fijado por Brückner, después de una estadística minuciosa, como período de las alternaciones entre años secos, calientes y de años húmedos, fríos.

Indudablemente que la posición geográfica ejerce una acción considerable sobre estas variaciones; dependiendo de que el ventisquero se encuentre en un clima continental o marítimo, de que esté abrigado o expuesto a los vientos húmedos, etc.

Las observaciones de Forel durante 12 años en Berna, Suiza, precisan que se tenía en:

1900, 2 ventisqueros en avance; 1 estacionario y 9 en ascenso.

1901, 0 ventisqueros en avance; 1 estacionario y 9 en ascenso.

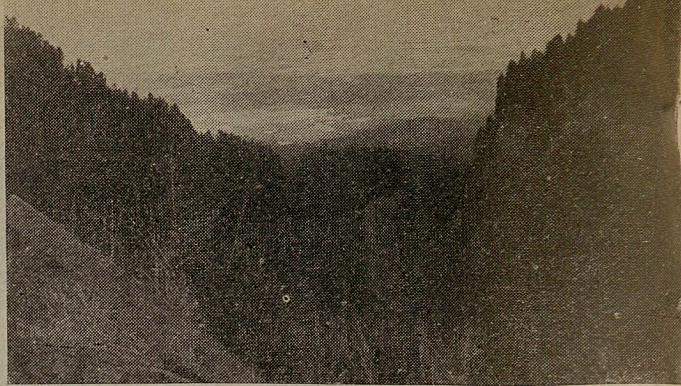
1902, 3 ventisqueros en avance; 5 estacionarios y 1 en ascenso.

En general, todos los ventisqueros alpinos, con poca diferencia en las fechas, han tenido los mismos períodos de ascensos y descensos, y aunque las conclusiones señaladas corresponden a éstos, por ser los más estudiados a la fecha, en los otros tipos descritos se tienen resultados menos concluyentes, pero en términos generales concuerdan con lo expuesto.

4. *Régimen de las aguas de los ventisqueros* (Fig. Núm. 1).—Las aguas provinientes de las distintas causas que producen la ablación, salen de la extremidad del ventisquero, siguen el talweg y en el exterior dan origen a torrentes persistentes, los cuales amenguan durante las noches, abundando en las tardes. (En nuestros volcanes amenguan en el día y los gastos abundan de las 18 a 24 horas.)

Con relación a las estaciones del año, disminuyen su gasto notablemente en el invierno, pero es rarísimo que éste sea tan intenso que nulifique la fusión provocada por el calor radiante de las rocas.

El caudal aumenta en la primavera y en el verano y al llegar el otoño se superpone el régimen de las lluvias propias de la estación; como es-



Vista hacia aguas abajo de la barranca de Hueyatlaco, tomada a una altitud de 3 500 metros.

tos datos corresponden a los ventisqueros alpinos hay que recordar que en nuestro país empiezan éstas al final de la primavera.

5. *Variación de las velocidades de los ventisqueros con las estaciones.*—Se comprende desde luego que la *variación de la velocidad*, según las estaciones del año es apreciable, puesto que tiene relación con la cantidad de nieve caída y con la variación de la ablación del tramo inferior.

El incremento de nieve caída en el invierno producirá en este período un incremento de la velocidad en el tramo superior. La ablación de la nieve va aumentando de la primavera al estío, por consecuencia, aumenta la velocidad media estival en el tramo inferior, con respecto a la media anual; dado que en el ventisquero tienden a reemplazarse las partes fundidas del perfil con el fin de establecer su equilibrio.

En el tramo medio del ventisquero la variación de las velocidades según las estaciones es menor, por ejemplo:

En el ventisquero Hintereisferner (Oetzal) según las observaciones de Blumcke y Finsterwalder se tuvo:

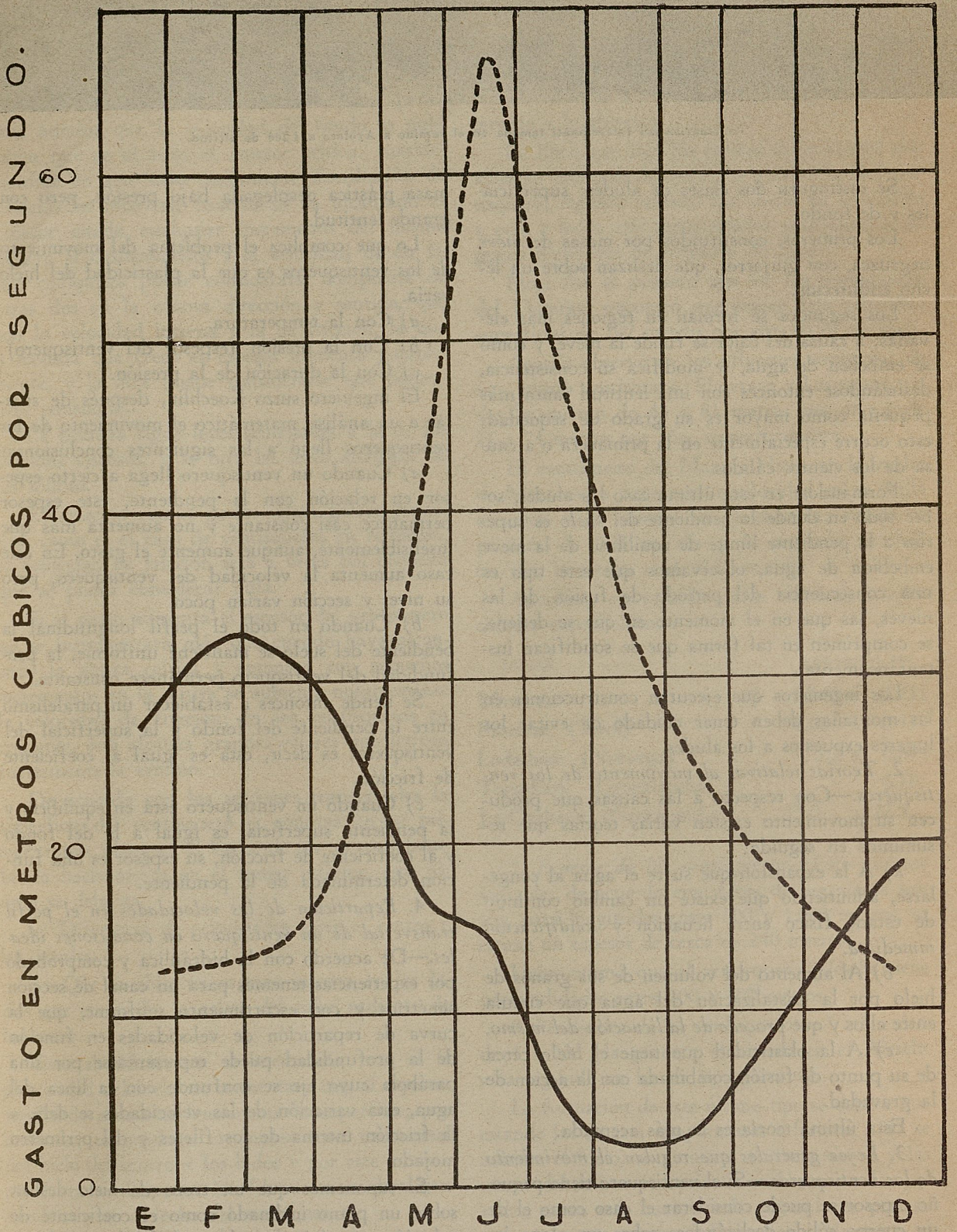
Altitud m.....	2 405	2 460	2 600	2 710	2 480
Velocidad estival a Velocidad anual	1:34	1:17	0:89	0:77	0:69

CAPITULO VI

MOVIMIENTO DE LAS MASAS HELADAS

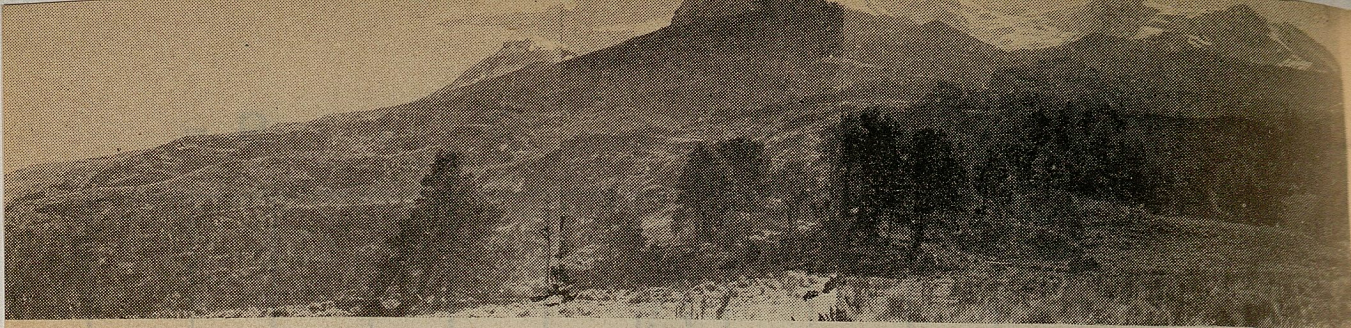
1. *Aludes.*—Cuando la nieve reposa sobre fuertes pendientes, se mantiene un equilibrio según ángulos de 30 a 40°, que corresponden al talud natural que es susceptible de tomar; una causa accidental, el viento, la caída de piedras, el peso de una gamuza, una voz, etc., pueden romper este equilibrio, iniciándose el primer deslizamiento, que arrastra enseguida a una masa cada vez más grande de nieve, y formando entonces un *alud*.

AÑO - 1919.-



— HIDROGRAFO DEL RIO CHER EN MONTLUÇON.
REGIMEN PLUVIAL.
- - - - - HIDROGRAFO DEL RIO ISERE EN MOUTIERS.
REGIMEN DE VENTISQUEROS.

FIG. N° 1



Panorámica del Iztaccihuatl tomada en el camino a Ayoloco a 4 200 de altitud.

Se distinguen dos clases de aludes: superficiales y de fondo.

Los primeros, constituídos por masas de *nieve negruzca*, con guijarros, que deslizan sobre un lecho endurecido.

Los segundos se forman en regiones más elevadas; a causa del calor se funde la *nieve*, y como se embeben de agua, se modifica su consistencia, deslizándose entonces con una lentitud tanto más pequeña como mayor es su grado de sequedad; esto ocurre especialmente en la primavera o a causa de los vientos cálidos.

Formándose en este último caso los aludes, sobre todo en donde la pendiente del *suelo* es superior a la pendiente límite de equilibrio de la *nieve* embebida de agua, observamos que este tipo es una consecuencia del período de fusión de las *nieves*, las que en el momento en que se detiene, se comprimen en tal forma que se solidifican instantáneamente.

Los ingenieros que ejecutan construcciones en las montañas deben tener cuidado de evitar los lugares expuestos a los aludes.

2. *Teorías relativas al movimiento de los ventisqueros.*—Con respecto a las causas que producen su movimiento existen varias teorías que resumimos en seguida:

a) A la expansión que sufre el agua al congelarse, admitiendo que existe un cambio continuo de estado físico entre licuación y *solidificación inmediata*.

b) Al aumento del volumen de sus granos de hielo por la cristalización del agua que circula entre ellos y que *procede de la licuación del mismo*.

c) A la plasticidad que tiene el hielo cerca de su punto de fusión combinada con la acción de la gravedad.

Esta última teoría es la más aceptada.

3. *Leyes generales que regulan el movimiento de los ventisqueros.*—Si el ventisquero tiene pequeño espesor se puede considerar el caso como el de un cuerpo sólido deslizándose sobre un plano inclinado.

Si el ventisquero es de espesor grande y se mueve sobre una superficie horizontal o sobre un plano inclinado, debe asimilarse el caso al de una

masa plástica desplegada bajo presión, pero con grande lentitud.

Lo que complica el problema del movimiento de los ventisqueros es que la plasticidad del hielo varía.

a) Con la temperatura.

b) Con la presión (espesor del ventisquero).

c) Con la duración de la presión.

El ingeniero suizo Koechlin, después de sujetar a un análisis matemático el movimiento de los ventisqueros llegó a las siguientes conclusiones:

a) Cuando un ventisquero llega a cierto espesor en relación con la pendiente, este espesor permanece casi constante y no aumenta más que insensiblemente, aunque aumente el gasto. En este caso aumenta la velocidad del ventisquero, pero su nivel y sección varían poco.

b) Cuando en todo el perfil longitudinal la pendiente del suelo se mantiene uniforme, la profundidad del ventisquero permanece constante.

Se tiende entonces a establecer un paralelismo entre la pendiente del fondo y la superficial del ventisquero; es decir, ésta es igual al coeficiente de fricción.

c) Cuando un ventisquero está en equilibrio y la pendiente superficial es igual a la del fondo y al coeficiente de fricción, su espesor es una función determinada de la pendiente.

4. *Repartición de las velocidades en el perfil transversal de un ventisquero en condiciones ideales.*—De acuerdo con la hidráulica y comprobado por experiencias tenemos para un canal de sección simétrica y con escurrimiento uniforme, que la curva de repartición de velocidades en función de la profundidad puede representarse por una parábola cuyo eje se confunde con la línea del agua, esta variación de las velocidades se debe a la fricción interna de los filetes y del perímetro mojado.

Si suponemos que un trozo de hielo desliza sobre un plano inclinado como el coeficiente de cohesión es máximo en la superficie y va disminuyendo hacia abajo al aumentar la plasticidad con el espesor, tenemos que las velocidades longitudinales en las capas superiores son más pequeñas que en el escurrimiento del agua. El caso de

movimiento más favorable es aquel en que la pendiente del suelo, la de la superficie y el coeficiente de fricción son iguales; como ya anotamos la influencia de la altura del ventisquero, podemos admitir que la velocidad del fondo es nula hasta que se alcanza el espesor crítico; considerándose en este caso únicamente distribución de velocidades internas; cuando se ha alcanzado el espesor citado cualquier incremento del mismo acelera el deslizamiento y la velocidad de un filete cualquiera puede considerarse compuesta de otras dos en la misma dirección y sentido, que son la velocidad interna y la de fricción, la que a medida que crece el espesor aumenta notablemente, y la otra puede considerarse que permanece constante.

La primera sigue leyes semejantes a la de los líquidos viscosos, y la otra las leyes análogas de los sólidos.

5. *Variación con el gasto.*—Para gastos pequeños, como es el caso de ventisqueros en retroceso, la velocidad de fricción será a veces tan pequeña que se podrá considerar nula.

Si el gasto aumenta el espesor del ventisquero no se incrementará más que cuando haya alcanzado la altura crítica y entonces, con pequeños incrementos en la altura se aumenta notablemente la velocidad de fricción; en los ventisqueros en creciente, ésta alcanza grandes valores que activan fuertemente la erosión.

De acuerdo con las secciones transversales la superficie del ventisquero es cóncava en su primer tramo, plana en el límite de las nieves y bombeada hacia arriba en el tramo inferior, este último se debe a:

- a) Diferencia de velocidades entre el centro y los bordes.
- b) Que la ablación es más intensa en los lados que en medio, a causa del calor radiante de las rocas.

Este abundamiento se acentuaría más si la plasticidad del hielo no aumentara con el espesor, tendiendo a nivelar lentamente la superficie; por lo tanto, se produce un movimiento transversal del hielo del centro a los lados y por este motivo, en el tramo disipador los filetes no se desalojan paralelamente al lecho del ventisquero.

6. En realidad la velocidad con que se mueve un ventisquero es muy variable, mayor en la superficie que en el fondo, mayor al centro de la corriente que en los bordes y cuando se encuentran ángulos muertos puede quedarse éste en reposo

y en ocasiones producirse hasta movimientos de retroceso.

Influyen en el aumento de la misma la mayor abundancia de nieves, la mayor pendiente del terreno y la ablación.

La línea que liga los puntos de velocidad máxima no corresponde con el eje geométrico del ventisquero; Agassiz observó que oscila de una orilla a otra y hasta con tortuosidades semejantes a algunos regímenes de corriente de agua.

Hogi fué el primero que en los ventisqueros del Unteraar encontró que tenían una velocidad superficial de 102 metros por año (0.28 m./día).

Agassiz observó en los afluentes superiores de este mismo ventisquero, Finteraar y Lauteraar, un desalojamiento de 48 a 81 metros por año y de 31 a 74 metros por año, respectivamente.

El ventisquero del Mar de Hielo, en la vuelta de Montanvers tiene mayor velocidad en su orilla cóncava, y la mínima en la convexa; siendo la primera de 1.03 m./día y la segunda de 0.27 m./día, la media es de 0.85 m./día.

Anotamos en seguida datos relativos a velocidades superficiales.

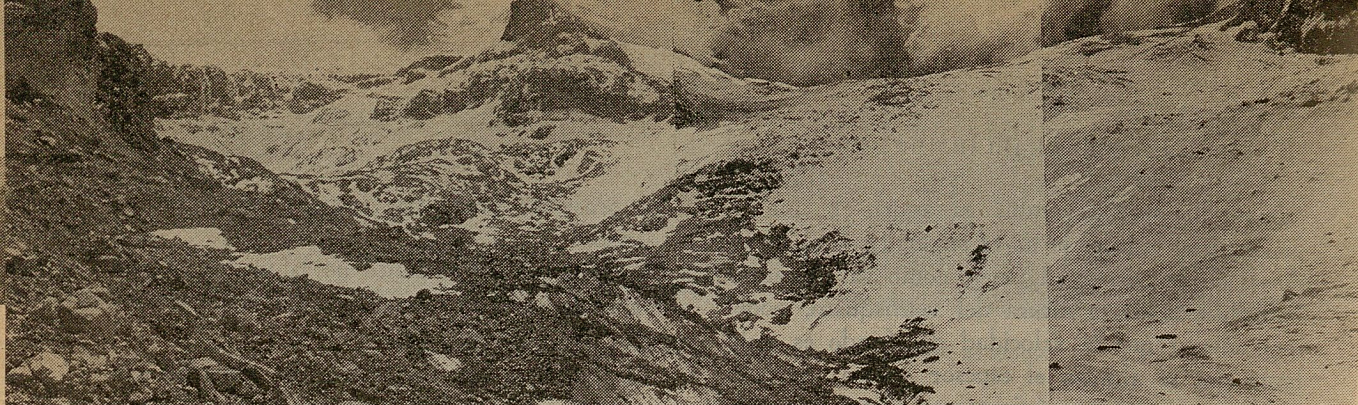
LUGAR	Velocidad en Mts. por día
Unteraar	0.140 a 0.211
Pasterze (Tirol)	0.06 a 0.430
Lodalbree (Noruega)	0.102 a 0.654
Torsukatk (Groenlandia)	6.10
JakObsheun (Groenlandia)	15.0 a 22.5

7. *Espesor de los ventisqueros.*—Esto es muy variable; de acuerdo con datos de ingenieros suizos, para longitudes entre 600 y 1,000 metros, se estima un espesor de cerca de 240 metros.

Heim estimó que el ventisquero Alescht tiene profundidades entre 200 y 400 metros.

8. *Pendientes de los ventisqueros.*—Varían desde 4 a 50°; la primera observada en el Alescht y la segunda en los de tipo pirenaico.

La formación de este último tipo se debe a que estando las rocas a temperaturas inferiores a 0° se adhiere el hielo, se aumenta el frotamiento y las masas del mismo se aprietan en bloques a las paredes, tanto más cuanto más rugosidades presentan; por otra parte, influye favorablemente el hecho de que a elevadas altitudes el calor radiante del fondo no es suficiente muchas veces para fundirlo, y a que las paredes mantienen temperaturas inferiores a la citada.



Circo glacial del ventisquero de Ayoloco. Altitud 5 000 mts.

CAPITULO VII

EFFECTOS EROSIVOS PRODUCIDOS POR LOS VENTISQUEROS

1. Al deslizarse sobre las paredes de las rocas actúan como un triturador gigantesco, cuyo efecto es tanto más activo cuanto más grande es la rugosidad del lecho, ya sea por rocas salientes, incrustadas o por arenas interpuestas.

A esto tenemos que agregar el efecto del intemperismo en las rocas, pues el agua infiltrada entre ellas cuando se congela por efecto del frío obra como cuñas de potencia enorme que las disgregan en bloques.

Como toda corriente el ventisquero arrastra los materiales disgregados del tramo superior de su cuenca y los deposita en el inferior.

La acción erosiva del ventisquero sobre su lecho aumenta con:

a) La presión que es función del espesor; esto tiene su límite debido a la plasticidad del hielo que también aumenta con el mismo; por otra parte, el poder erosivo de las piedras incrustadas, disminuye para espesores muy grandes, pues tienden a embeberse en su masa.

b) De la velocidad de avance, siendo mucho mayor la erosión en el fondo que en los lados.

c) De su adherencia y de la cantidad y calidad de materiales transportados.

2. En los ventisqueros de pequeña longitud la sección transversal tiende a tomar una forma parabólica, y en los de longitud muy grande, tiende a desarrollarse en la parte central un fondo plano.

En lo que se refiere al perfil longitudinal, el ventisquero se profundiza hasta que la sección transversal se estabilice de acuerdo con la pendiente *disponible* y hasta que se establezca un paralelismo entre su superficie y el *fondo*. Entonces adquiere su estado normal y la profundización se efectúa paralelamente a sí mismo.

Experimentalmente se ha encontrado que en el estado normal las pendientes de los ventisqueros y sus longitudes están ligadas por una curva de tipo hiperbólico.

CAPITULO VIII

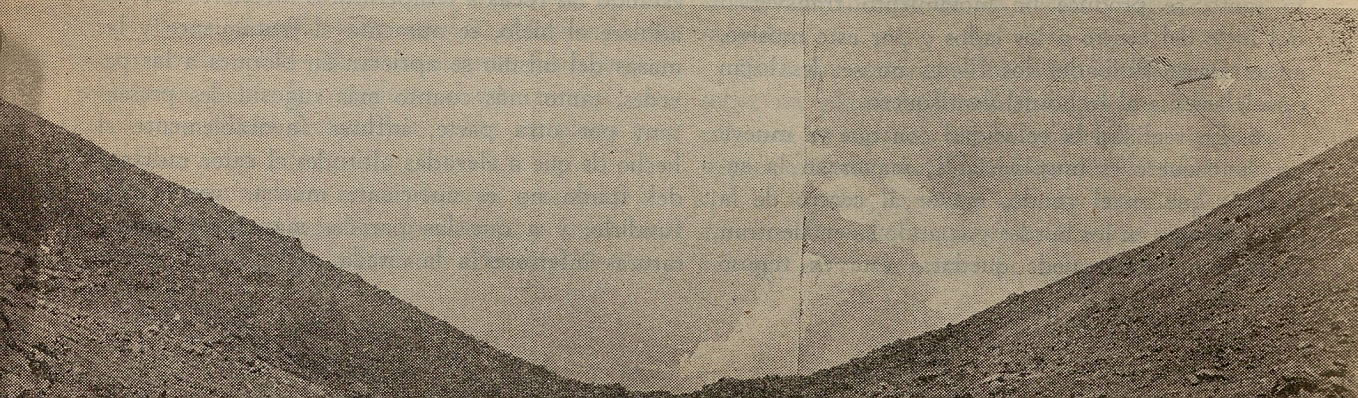
TRABAJOS EFECTUADOS POR LA EMPRESA DURANTE EL AÑO ACTUAL.

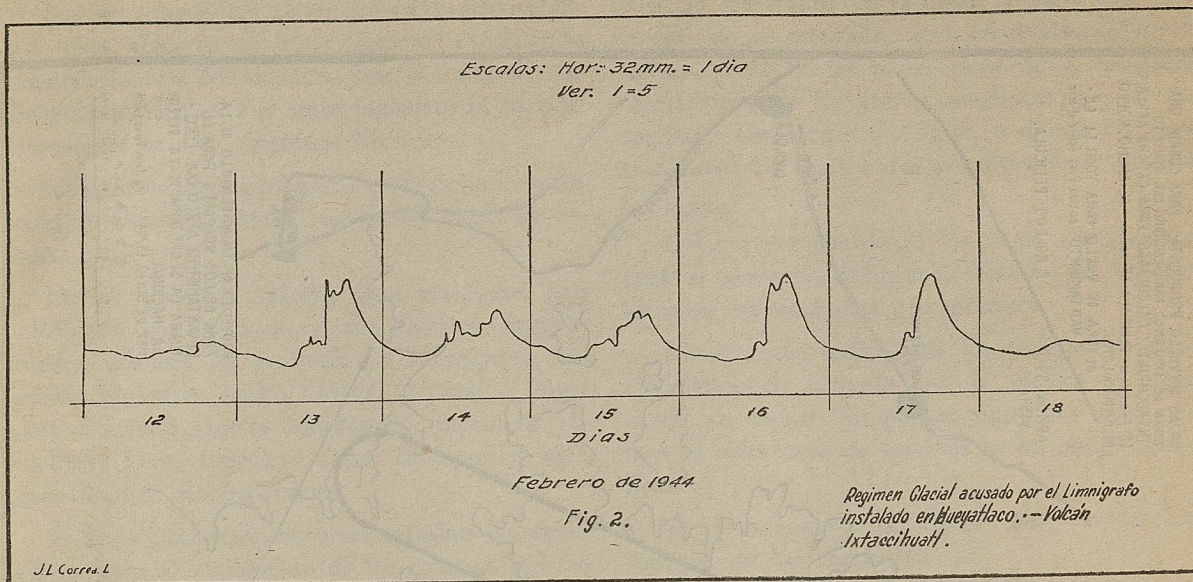
En el número ya citado de esta Revista se precisaron los trabajos desarrollados por la empresa hasta esa fecha; durante el transcurso de este año se han efectuado los siguientes:

1. Ejecución de distintos trabajos topográficos apoyados en la poligonal y triangulación respectivas.

Compensación de la triangulación, cálculo de coordenadas ortogonales de los vértices y su referencia al poste geodésico de Tacubaya; ésta tiene

Erosión glacial del valle de Ayoloco, hacia aguas abajo. Altitud 4 800 mts.





un desarrollo de 40 km. y el error de cierre, usando teodolito de 1' de aproximación, fué de 0.62 m. en las abscisas (x) y 4.36 m. en las ordenadas (y).

Por lo tanto, éste puede considerarse como inmejorable y la triangulación clasificada como topográfica de tercer orden.

2. Prosección de la obtención de los datos hidrométricos, y otros conexos para definir el régimen de las corrientes y su mejor aprovechamiento.

Los vertedores instalados en el Iztaccíhuatl quedan clasificados como sigue:

En la cabeza del volcán (norte)	2
Vertiente este (Puebla)	20
Vertiente oeste (cuenca de México)	16
TOTAL	38

Los instalados en la cabeza acusan los gastos más reducidos.

Las mayores aportaciones se observan del lado de la vertiente Este (Puebla) y son menos las del Osete (México). En lo que se refiere al Popocatepetl, se acaban de instalar 23 vertedores, aproximadamente, entre las elevaciones 2 800 y 3 000 m.

Aunque ya se tienen efectuadas las estimaciones de los gastos y volúmenes respectivos con cerca de 3 años de observaciones, se están afinando estos datos, debido a que el linnígrafo recientemente instalado en Hueyatllaco define con mayor precisión el régimen, puesto que la ablación, como

ya se indicó, es mayor al caer la tarde; en algunos meses se ha obtenido hasta un 27% más en los gastos ya estimados. (Véase Fig. Núm. 2.)

3. Anteproyecto, proyecto, localización, levantamiento topográfico y estudios especiales del sistema hidroeléctrico de Tomacoco, que abastecerá de energía nuestra industria militar.

4. Resalta sobre el particular la ejecución progresiva del plano fotogramétrico y aéreo de la zona de los volcanes, con el que se conocerá la topología general de la región y se podrá efectuar el anteproyecto general de las obras hidráulicas y rutas generales, de canales, etc.; las que una vez definidas se levantarán utilizando topografía de precisión.

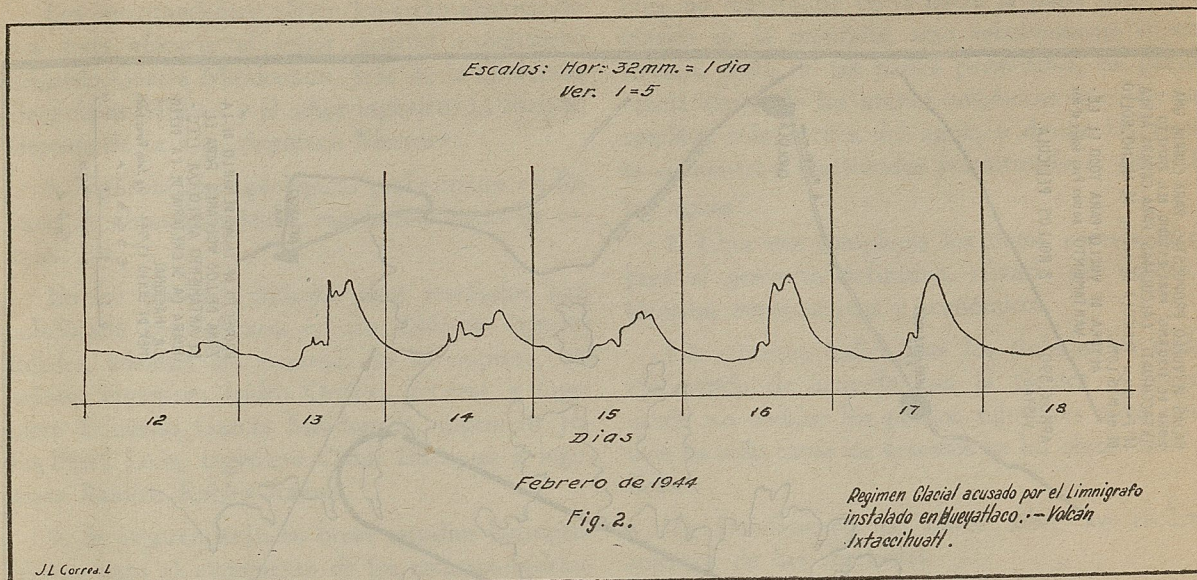
El plano se está ejecutando a escala 1:25000 y con curvas de nivel con 25 m. de equidistancia.

Como en el levantamiento de esta grande zona concurren circunstancias especiales y muy desfavorables, los expertos consultados, señores ingenieros Isidro G. Orozco y Julio Pérez León, opinaron que se obtendría la mejor solución con la combinación de los procedimientos terrestres con los aéreos, como sigue:

a) Aplicación del primero, de la elevación 3200 (límite aproximado de la vegetación boscosa) hacia arriba.

b) En el resto se está utilizando el segundo procedimiento. La figura Núm. 3 muestra una carta de proyecto de vuelo para esta zona.

Estos levantamientos se apoyaron en los trabajos topográficos preliminares ya citados. (Véase Fig. Núm. 4.)



un desarrollo de 40 km. y el error de cierre, usando teodolito de 1' de aproximación, fué de 0.62 m. en las abscisas (x) y 4.36 m. en las ordenadas (y).

Por lo tanto, éste puede considerarse como inmejorable y la triangulación clasificada como topográfica de tercer orden.

2. Prosecución de la obtención de los datos hidrométricos, y otros conexos para definir el régimen de las corrientes y su mejor aprovechamiento.

Los vertedores instalados en el Iztaccihuatl quedan clasificados como sigue:

En la cabeza del volcán (norte)	2
Vertiente este (Puebla)	20
Vertiente oeste (cuenca de México)	16
TOTAL	38

Los instalados en la cabeza acusan los gastos más reducidos.

Las mayores aportaciones se observan del lado de la vertiente Este (Puebla) y son menos las del Osete (México). En lo que se refiere al Popocatepetl, se acaban de instalar 23 vertedores, aproximadamente, entre las elevaciones 2 800 y 3 000 m.

Aunque ya se tienen efectuadas las estimaciones de los gastos y volúmenes respectivos con cerca de 3 años de observaciones, se están afinando estos datos, debido a que el limnigrafo recientemente instalado en Hueyatlaco define con mayor precisión el régimen, puesto que la ablación, como

ya se indicó, es mayor al caer la tarde; en algunos meses se ha obtenido hasta un 27% más en los gastos ya estimados. (Véase Fig. Núm. 2.)

3. Anteproyecto, proyecto, localización, levantamiento topográfico y estudios especiales del sistema hidroeléctrico de Tomacoco, que abastecerá de energía nuestra industria militar.

4. Resalta sobre el particular la ejecución progresiva del plano fotogramétrico y aéreo de la zona de los volcanes, con el que se conocerá la topología general de la región y se podrá efectuar el anteproyecto general de las obras hidráulicas y rutas generales, de canales, etc.; las que una vez definidas se levantarán utilizando topografía de precisión.

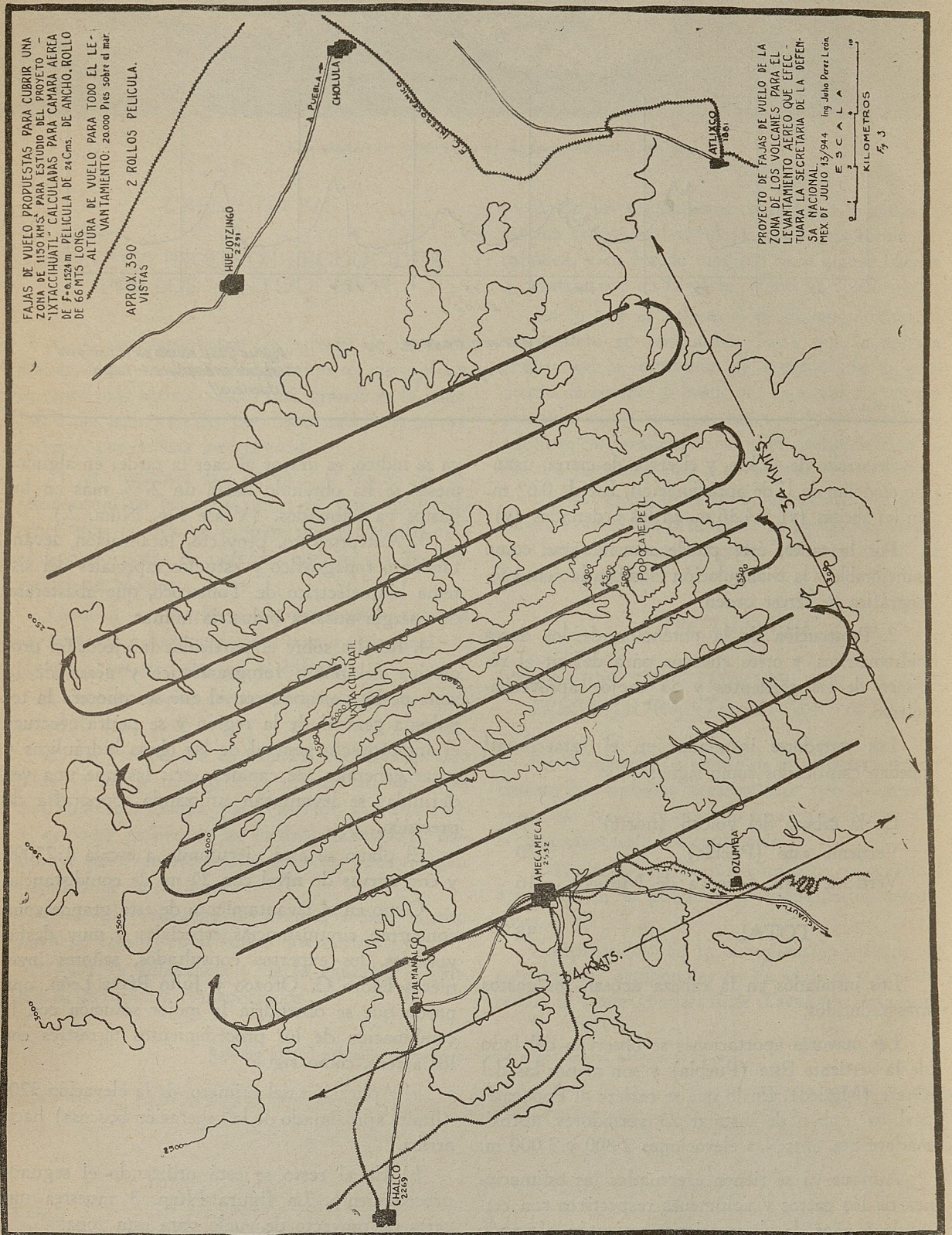
El plano se está ejecutando a escala 1:25000 y con curvas de nivel con 25 m. de equidistancia.

Como en el levantamiento de esta grande zona concurren circunstancias especiales y muy desfavorables, los expertos consultados, señores ingenieros Isidro G. Orozco y Julio Pérez León, opinaron que se obtendría la mejor solución con la combinación de los procedimientos terrestres con los aéreos, como sigue:

a) Aplicación del primero, de la elevación 3200 (límite aproximado de la vegetación boscosa) hacia arriba.

b) En el resto se está utilizando el segundo procedimiento. La figura Núm. 3 muestra una carta de proyecto de vuelo para esta zona.

Estos levantamientos se apoyaron en los trabajos topográficos preliminares ya citados. (Véase Fig. Núm. 4.)



FAJAS DE VUELO PROPUESTAS PARA CUBRIR UNA ZONA DE 1150 KMS² PARA ESTUDIO DEL PROYECTO "IXTACCHIUATIL" - CALCULADAS PARA CAMARA AEREA DE F-6. 0.1524 m. PELICULA DE 24 Cms. ROLLO DE 66 MTS LONG. ALTURA DE VUELO PARA TODO EL LEVANTAMIENTO: 20.000 Pies sobre el mar. 2 ROLLOS PELICULA. APROX 390 VISTAS

PROYECTO DE FAJAS DE VUELO DE LA ZONA DE LOS VOLCANES PARA EL LEVANTAMIENTO AEREO QUE EFECTUARA LA SECRETARIA DE LA DEFENSA NACIONAL. MEX. 07 JULIO 15/1944 Ing. Julio Perez Lora

ESCALA 1:50,000
KILOMETROS 0 1 2 3

FIG. NUM. 3

Los levantamientos aéreos los están ejecutando con toda eficacia el señor general e ingeniero Eduardo García Maldonado, Jefe de la Dirección Geográfica Militar, y el señor ingeniero L. Struck, Gerente de la Cía. Aerofoto Mexicana.

5. Exploraciones geológicas preliminares en los vasos de almacenamiento, regulación, rutas de canales, etc.

En los diversos trabajos aquí reseñados han colaborado con eficacia en sus distintas especialidades, además del personal de la empresa, los señores ingeniero Isidro Orozco, general e ingeniero Eduardo García Maldonado, ingeniero Julio Pérez León, ingeniero Oscar Enríquez e ingeniero Ramiro Robles Ramos.

6. Se emprenderán en breve estudios hidrogeológicos para el incremento de los recursos hidráulicos.

Ultimamente se ha progresado bastante en la construcción de aparatos que transforman las radiaciones solares en otra clase de energía.

En el construído por Shuman en Meadi, cerca del Cairo, Egipto, se aprovechan éstas para mover una máquina de vapor acoplada a una bomba que extrae agua para riegos durante 10 horas y desarrolla una potencia de 50 caballos.

Este sistema consta fundamentalmente de un colector de rayos solares, de una máquina de vapor de baja presión, un condensador y órganos auxiliares.

Es muy interesante la patentada por el ingeniero austríaco Krenn que aprovecha las características del mercurio, tales como su calor específico bajo, peso volumétrico alto y punto de ebullición a 357° C., con lo que el evaporador resulta de dimensiones más reducidas a igualdad de condiciones, del que emplea agua.

Lo anterior muestra la posibilidad de emplear un aparato en el que se utilicen las radiaciones solares en la fusión de las nieves y por consecuencia incrementar el caudal de agua.

Sin embargo, esta empresa ha juzgado más conveniente el avenamiento de las pequeñas ciénagas existentes y la construcción de galerías filtrantes; sobre este particular citamos textualmente la opinión del ingeniero Paredes.

"Las obras que tratan de acrecentar los recursos de aguas tendrán que ser horizontales que tiendan a cortar transversalmente a las venas permea-

bles, no tratatando de ir hacia la parte central y maciza de la montaña, sino relativamente superficiales, cerca de las partes permeables, de preferencia abajo de las arenas volcánicas que son los cambios más fáciles del agua, o donde las rocas se encuentran fracturadas permitiendo el paso de las aguas".

7. Una vez completos los datos necesarios se hará el proyecto definitivo, fijando sus aspectos técnicos, constructivos y económicos.

Lo expuesto indica que los trabajos se están ejecutando de acuerdo con la técnica y procurando no olvidar los puntos siguientes cuya omisión ha sido causa de fracasos en las obras hidráulicas.

1) Insuficiencia de datos sobre los escurrimientos de las corrientes.

2) El uso de escasos registros de lluvias y adopción de un coeficiente de escurrimiento inadecuado.

3) Una estimación pobre de las avenidas y la adopción de un vertedor de excedencias insuficiente.

4) Datos geológicos del vaso insuficientes, así como del sitio elegido para construir la presa, y, en nuestro caso particular, agregaremos las galerías filtrantes.

5) Diseños incorrectos y errores de construcción en las obras.

6) Selección del sitio de la presa sin tomar en cuenta consideraciones económicas, sobre desarrollos futuros y, además, otros sitios mejores en las mismas corrientes.

CAPITULO IX

APROVECHAMIENTOS HIDROELECTRICOS TÍPICOS, UTILIZANDO AGUAS DE VENTISQUEROS Y ALTAS CAIDAS.

Concentramos la atención en los ventisqueros alpinos, de los cuales indicaremos que ocupan una superficie de 3,500 km²; el ventisquero más grande de todos se encuentra en el macizo de Oberland y es el famoso Alestch, que cubre una área de 130 km², la fusión de sus aguas afluye al río Ródano, arriba de Brieg.

También en el río Aar (Suiza), se encuentra, además del Grindelwod, ya citado, el de Rosenlan.

El río Ródano sale directamente de un ventisquero y recibe antes de llegar al lago de Ginebra las aguas de la vertiente meridional de los Alpes berneses y la de la septentrional de los Apeninos; al salir del Lago su afluente Arve le aporta las aguas de la vertiente occidental del Montblanc y más al sur recibe el Isére y el Durance.

El Rhin, que lleva al lago Constanza las aguas de los Grisones y de los Alpes Gleris, recibe más lejos al río Aar, que también se origina en un ventisquero, y, además, todas las aguas provinientes de la vertiente septentrional de los Alpes berneses.

El río Po, en Italia, aporta al Adriático una cantidad enorme de ablación de ventisqueros: en Dora Baltea, recibe las de la vertiente meridional de los Apeninos; por el Tesino, el Adda y el Minicio recibe todas las aguas de la vertiente meridional de los Alpes centrales.

El río Danubio, uno de los mayores de Europa, recibe en Inor las aguas de la vertiente septentrional de los Alpes centrales y sus afluentes Enna, Drave y Save le aportan el caudal de los Alpes orientales.

Vemos, pues, que los Alpes representan una fuente enorme de energía y con justicia se estima en Francia a los Alpes franceses como su reserva más grande de "hulla blanca". Antes de hacer la descripción de los aprovechamientos hidroeléctricos típicos, estimamos pertinente exponer un resumen, del estado de la industria y del desarrollo hidroeléctrico de los países que aprovechan las corrientes citadas.

2.—FRANCIA

Es un país eminentemente agrícola; abunda el fierro, pero su producción de hulla a costo excesivo y cantidades insuficientes, la pone en condiciones de inferioridad con respecto a la industria extranjera. En 1913 importó de Inglaterra 23.000.000 de toneladas de hulla y en 1919 esta importación representaba un valor de 400.000.000 de francos.

Esta escasez de combustible repercute en los ferrocarriles, por lo que no puede obtenerse fletes baratos; por otra parte, los ríos navegables se encuentran en la región Norte y Este; se ha estimado que la influencia del conjunto de los factores señalados elevaba en $\frac{1}{3}$ el precio de costo de la industria francesa con respecto a la del exterior.

La industria textil está muy desarrollada, pero tiene el inconveniente de necesitar materias primas en grande cantidad del exterior, puesto que el lino se importaba de Rusia, el cáñamo de Italia, el algodón de Estados Unidos de América, y parte de la lana de Argentina.

Lyon es un importante centro mundial productor de sedas, siguiéndolo en interés las industrias químicas y alimenticias.

La capacidad instalada de sus plantas térmicas se estima en 5.617,120 KW. (7.700,000 HP.)

La potencialidad hidráulica de Francia se estimó en 1919, como sigue:

	HP.
Plantas ya instaladas	1 165 000
Nuevas en explotación para 1919 ...	770 000
En construcción	500 000
Realizables en un lapso de 15 años ...	3 022 000
Futuras	4 540 000
	<hr/>
Total	8 852 000
Redondeada a	9 000 000

Esta potencialidad considerando únicamente el escurrimiento mínimo se estima en 6 000 000 HP.

A la fecha se ha alcanzado un desarrollo de 5 400 000 HP.


Se ha estimado que con las corrientes que se originan en los Alpes pueden generarse 8 000 000 HP.; especialmente a partir de la conclusión de la guerra pasada se intensificaron los aprovechamientos hidroeléctricos en los ríos Durance e Isére, afluentes del río Ródano, y en este último, en el año de 1919, el Parlamento Francés aprobó la inversión de 2 500 000 000 de francos, para trabajos de electrificación, irrigación y navegación.


Gracias a éstos se transformó radicalmente el octavo distrito industrial en que se considera dividido este país, dando origen a grandes industrias electroquímicas y electrometalúrgicas, pudiendo la industria química francesa colocarse mundialmente en el tercer lugar, siguiendo a los Estados Unidos y a Alemania; finalmente se tiende a eliminar la importación de carbón extranjero.


3.—SUIZA


El enorme desarrollo industrial de Inglaterra, Alemania y Bélgica es más comprensible que el



PUNTOS DE CONTROL PARA EL LEVANTAMIENTO AEREO (NECESARIOS PARA EL TRAZO DE CURVAS DE NIVEL) MARCADOS EN EL PLANO CON EL SIGNO + Y CON EL SIGNO 

PUNTOS DE CONTROL PARA EL LEVANTAMIENTO FOTOGRAFICO TERRESTRE MARCADOS EN EL PLANO CON EL SIGNO 

LOS PUNTOS MARCADOS CON  LLEVA LA MOJONERA Y PUNTO DE CONTROL AEREO, PUDIENDO QUEDAR LA MOJONERA EN EL CENTRO O FUERA DE EL, MARCANDO SU POSICION EN LOS PLANOS.

EN LOS POBLADOS MARCADOS CON  SE FIJARA LA TORRE DE LA IGLESIA, O UNA CHIMENEA, O UNA CASA ETC. HACIENDO TAMBIEN CRUCES. LOS PUNTOS MARCADOS EN LA CABEZA Y PISO DEL INTACUATL Y CRATER DEL POPO SE SITUARAN POR INTERSECCION MARCANDO EN UNA FOTOGRAFIA LA ROCA VIZADA.

ESCALA
 KILOMETROS
 Fig. 4

de Suiza, puesto que ésta carece de hierro y de hulla.

La hulla blanca representa en este país de montañas, colinas quebradas y climas húmedos, 3 600 000 HP. (considerando los ríos con caudal permanente durante más de la mitad del año, dato de 1942).

La energía potencial regulada se estimó en 1942 en 8 000 000 HP.

Antes de la guerra pasada, 1914- 1918, se tenían ya estudiados muchos desarrollos hidroeléctricos, pero la baratura del carbón importado los hacía incosteables; al estallar ésta, la escasez de carbón causó estragos en la industria suiza y entonces decidieron acelerar aquéllos en tal forma que contando en 1913 con una potencia instalada de 526 000 HP., esta cifra fué doblada de 1914 a 1922 y, para 1937, se estimaba en 2 130 000 KW. (3 460 000 HP.)

A pesar de la intensidad del programa de electrificación no se ha logrado más que reducir en una quinta parte la importación de carbón, puesto que en el invierno se recurre a las centrales térmicas.

La población industrial de este importantísimo país se estimaba en 1920 de 41%, y los productos de sus fábricas compiten ventajosamente con los de otras naciones industriales, influyendo favorablemente su situación geográfica, su neutralidad y hospitalidad tradicionales; por otra parte, siglos de relaciones comerciales con otros países, han formado una clase directiva capaz, presta a todas las iniciativas y, además, han acumulado los capitales necesarios para su desarrollo industrial. Finalmente, cuenta con técnicos bien preparados y con la disciplina y sobriedad de sus obreros calificados.

4.—AUSTRIA

Este país no carece, como Suiza de combustibles y minerales, pues en Harerruck, corredor subalpino, se extraen 300 000 toneladas anuales de lignito muy rico en calorías.

Del Mur se extraen 700 000 toneladas anuales, las cuales alimentan las fábricas de Loeben; de Zillingsdosft se extraen 50 000 toneladas anuales utilizadas en Viena y se intensifica cada día esta producción con el fin de suplir el carbón importado de Silesia (Polonia).

Aunque en 1927 se tuvo una producción anual de 3 000 000 toneladas de lignito y 175 000 de hulla, hubo que importar 4 000 000 de toneladas.

La necesidad de evitar el pago de este tributo al extranjero, ha fomentado con rapidez, a partir de 1920, los desarrollos hidroeléctricos en tal forma que en 1927 se tenía una potencia instalada de 579 000 HP., que se estima como el sexto del total disponible, para las plantas térmicas se estima 550 000 KW. (755 000 HP.)

El programa de electrificación, comprende todos los ferrocarriles, aserraderos, fábricas de papel, industrias químicas, intensificación de la explotación de sus salinas, de sus yacimientos de hierro y los auríferos recientemente localizados en el valle del Tauern.

Así se han construído las grandes centrales hidroeléctricas Portenstein de 45 000 HP., sobre el Mur; la Tergischbeck, de 42 000, cerca del Graz y últimamente las del Tauern, entre las que destaca la de Nabashted, de 80 000 HP.; para electrificar los ferrocarriles.

5.—ITALIA

Todavía a mediados del siglo pasado era un país completamente agrícola; su desarrollo industrial que data de la unidad nacional lograda en el año de 1861, se intensificó en 1878 y 1887, a causa de la política decididamente proteccionista del Estado y de la ruptura de las barreras aduanales con Francia.

Aunque la guerra pasada aceleró la industrialización de este país.

No ha podido desarrollarse una industria gigantesca, pues carece fundamentalmente de carbón y petróleo.

Su producción anual se estima en 231 000 toneladas de hulla de Istria y 577 000 toneladas de lignito de Arezzo, Perusa, Grosetta; estos recursos se explotan racionalmente; pero sin embargo, se tienen que importar 10 370 390 toneladas de hulla y 723 500 de coke de Inglaterra, Alemania y Polonia; y aunque en 1931 se extrajeron 26 840 toneladas de petróleo en Emilia; hubo necesidad de importar 981 000 toneladas.

Sus reservas de hierro se calculan en 40 000 000 de toneladas; pero su extracción anual se limita a 718 000 toneladas (1930), de las cuales el 83%

se obtiene de la Isla de Elba y el resto del valle de Aosta.

Entre sus productos naturales se cuenta el azufre de Sicilia, los mármoles de Carrara, el mercurio, Idria, piritas, etc. El aluminio existe en grandes cantidades en Istria y Los Abruzos, al grado que algunos economistas italianos, opinan que el binomio "aluminio-electricidad" puede constituir su principal riqueza, así como el del "hierro-carbón" forma la de Inglaterra y Alemania.

De esto se desprende que haya recurrido en amplia escala a la energía eléctrica: Italia ocupa el primer lugar de Europa en la construcción de plantas hidroeléctricas, al grado de tener en 1934 una capacidad instalada de 3 858 000 KW. (5 300 000 HP.) La potencia instalada de plantas térmicas es de 600 000 KW. (824 000 HP.)

La mayoría de los aprovechamientos se encuentran en los Alpes en los distintos afluentes de la margen izquierda del río Po, que es uno de los más importantes de Europa y el mayor de Italia, el cual descarga en el Adriático; tiene una cuenca de 75,000 km²; gasto medio de 1 600 m³/s., gasto máximo de 7 000 m³/s.; los afluentes alpinos que fertilizan parte del Piamonte y Lombardía y en donde se tienen los mayores aprovechamientos hidroeléctricos son: Dora Riperia, Sture Orco y Dora Baltea, nacen al pie del Monte Blanco y se alimentan con los ventisqueros del Gran Paraíso y Monte Rosa; además, el río Sesia y el Tesino que nacen en el macizo de San Gotardo (Suiza) y alimentan al Lago Mayor; siguen el Ada, el Lumbo, el Oglio y el Mincio.

Los afluentes de la margen derecha nacen en los Apeninos y son poco utilizados a causa de su régimen torrencial.

La potencialidad hidráulica del río Po se ha estimado como sigue:

Afluentes margen izquierda río Po (alpinos)	774 000 KW.
Afluentes margen derecha río Po (Apeninos)	320 000
Vertiente del Adriático al sur del Po	513 100
Total	1 647 100 KW. (2 260 000 HP.)

Sin embargo, el aprovechamiento de los recursos hidráulicos se ha planeado en tal forma

que por ejemplo en Florencia se utilizan en invierno las aguas de los Apeninos, y en verano las de los Alpes, efectuando la regularización con grandes centrales térmicas (800 000 KW.)

Con los desarrollos hidroeléctricos se redujo el consumo de carbón en las plantas térmicas de 83% en 1913 a 58% en 1927.

La economía de la industria pesada resiente el elevado precio de la hulla y no puede desarrollarse debidamente la siderurgia y la fabricación de maquinaria.

Sin embargo, gracias a la abundancia de energía hidráulica y al alto valor de sus técnicos y obreros, se ha podido fomentar con éxito las industrias de aviación, automóviles y construcciones navales en los arsenales de Spezia, Tarento y Venecia. La industria automovilística italiana exportaba el 40% de su producción especialmente a Francia, y tenía el 5º lugar en el mundo.

En 1926, solamente Inglaterra superó el tonelaje botado por sus astilleros.

Además de las industrias señaladas, las más desarrolladas son las que no usaban combustible, como la de la seda, que tiene en Milán el primer mercado mundial, siguen las de tejidos de lana, algodón, productos alimenticios y químicos.

En resumen, el desarrollo industrial de Italia fué rapidísimo, a partir de la guerra pasada; tuvo un colapso en la depresión económica mundial de 1929-1934, y por haber llegado tarde la industria italiana al concurso mundial, ha podido introducir los últimos adelantos técnicos en sus fábricas.

6.—Los desarrollos hidroeléctricos se clasifican convencionalmente de acuerdo con la altura utilizada:

- Baja caída, hasta 20 metros.
- Mediana caída, de 20 a 100 metros.
- Altas caídas, arriba de 100 metros.

Las primeras se caracterizan por el empleo de grandes gastos; citaremos como ejemplo, la planta *Keoku*, sobre el río Mississippi.

La serie de plantas instaladas arriba de Barilea, (Suiza), sobre el río Rhin, que utilizan gastos de 500 a 850 m³/s.

Las del segundo tipo utilizan gastos medianos, la tubería forzada es relativamente corta; tenemos como ejemplo las plantas sucesivas construídas en las cataratas del Niágara, E. U. A., cada una de ellas con más refinamientos constructivos que

su anterior, y, en nuestro país, la planta de Boquilla, Chihuahua.

Altas caídas.—Los adelantos logrados en la construcción de turbinas de alta presión, conductos bajo presión y líneas de transporte a grandes distancias, han favorecido su desarrollo. Son frecuentes las plantas que utilizan 1000 metros de caída y su construcción no presenta dificultades.

La planta de Fully (Suiza), utiliza un gasto de 0.8 m³/s., y una caída bruta de 1 650 metros.

Más recientemente, en la planta en proyecto de Dixtence se utilizará una caída de 1 750 metros.

Corresponde el honor de precursor en la construcción de centrales hidroeléctricas de grande altura al ingeniero francés, Arístides Bergés, que en 1868 contruyó la primera utilizando una caída de 200 metros. En 1881 empezó a construir la planta de Lancey, con la que innovó las concepciones técnicas de su época; en el arroyo del mismo nombre, afluente del río Isère, que cae 15 km. arriba de Grenoble.

Las aguas utilizadas provienen de ventisqueros y alimentan los lagos Blanco, a 2 160 m. de altitud y capacidad de 1 100 000 m³., y el Crouzot, a 1 958 m. de altitud y capacidad de 1 800 000 metros cúbicos.

Para aumentar el gasto ligó el primer lago al segundo (con un túnel de 400 m. de longitud y, finalmente, regularizó las aguas en el último vaso citado); en estas condiciones las plantas de Lancey disponen de un gasto de 1.5 m³/s., una caída de 500 metros y tiene una potencia media de 5 400 HP., la que en los estiajes baja a 3 000 y

2 500 HP. Aguas arriba de esta planta y en la misma corriente, se tiene la de Fourneau que utiliza una caída de 750 m. y la de Mas Julien, con 425 m.

PLANTAS DE LA SOCIEDAD OBERHASLI (Figs. 5 y 6)

Localizadas en el origen del río Aar, Suiza, éste es uno de los más importantes de Suiza, y en su *confluencia* con el Rhin, duplica la aportación del último.

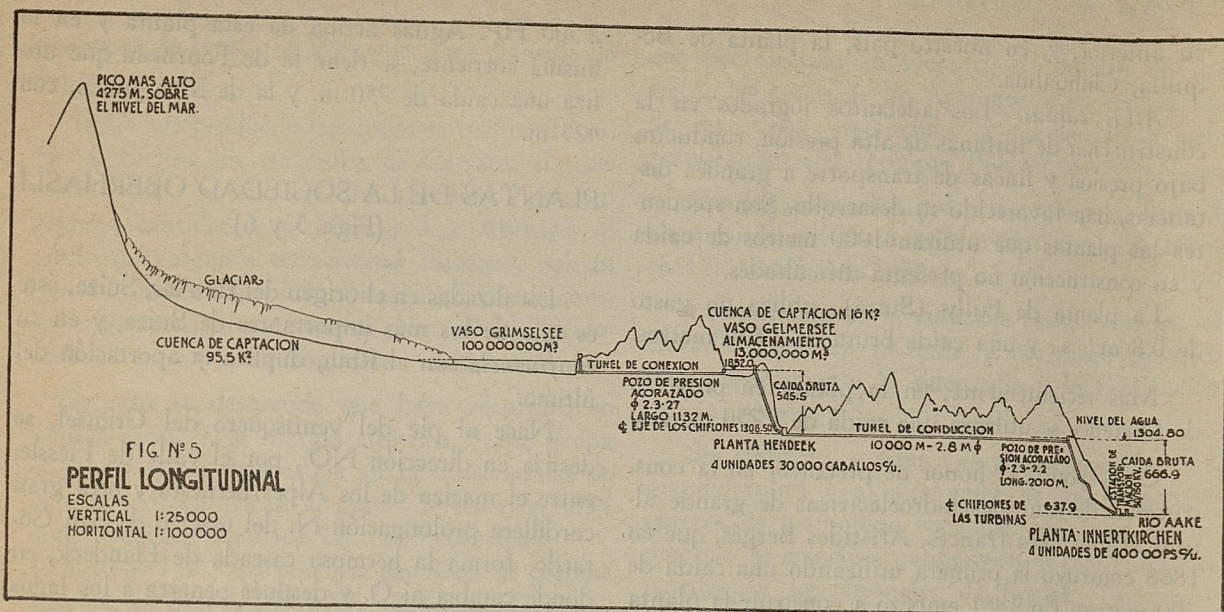
Nace al pie del ventisquero del Grimsel, se desliza en dirección NO., por el valle de Hessle, entre el macizo de los Alpes berneses y otra gran cordillera prolongación N. del macizo de San Gortardo, forma la hermosa cascada de Handeck, en donde cambia al O. y después penetra a los lagos Brien y Thun.

Ya desde el año de 1867 se estimaba en el origen del Aar, que las aguas de deshielo tenían gastos de 8 a 23 m³/s., y existiendo caídas importantes, se fundó en 1925 una sociedad, con el fin de construir aprovechamientos hidroeléctricos, suscribiendo para ello un capital de 36.000,000 de francos suizos, en acciones, y 43.000,000 en bonos, o sea un total de 79.000,000 de francos, equivalentes a \$ 94.800,000 moneda nacional, los que se aplicaron en la construcción de las plantas Handeck e Innerstkirchen.

Anotamos a continuación las características generales de las mismas.

Cuenca de captación del Grimsel. 111.5 km².
Cuenca de captación del Gelmer—39.5 km².

Recursos Hidráulicos: Período 1918 - 1928	Aportaciones VASO de almace- namiento M ³	Volúmenes anuales disponibles en M ³		
		HANDECK	INNERTKIRCHEN	
Volúmenes anuales.				
Medio	238 400 000	226 300 000	305 000 000	
Mínimo	210 000 000	210 000 000	273 000 000	
<i>Capacidad de los vasos regulares</i>				
Grimsel	100 000 000 m ³ .			
Gelmer	13 000 000 m ³ .			
	Caída... Bruta M	Caída... Neta M	Potencia	Total
Handeck	545.50	540.00	120 000 P.S.	
Innertkirchen	669.90	643.50	160 000 P.S.	180 000 P. S.



Con los datos expuestos resulta un costo de \$ 335.00 HP., moneda nacional.

PLANTA HIDROELECTRICA PIOTINO (Cerca de la frontera suizo-italiana)

Como en el curso superior del Tessino, entre la cabeza sur del túnel de San Gotardo y el Lago Mayor se tienen condiciones eminentemente favorables para la construcción de plantas hidroeléctricas, se formó la Sociedad Eléctrica Tesinesi para explotarlas.

De 1906 a 1911, construyó la importante planta de Biaschina, cerca de Bodio (30 000 KW. nominales y caída neta de 255 m.); después, en 1925, se realizó cerca de Rodi, una central de acumulación de 10 000 KW., bombeando las aguas a una altura de 830 m. al Lago Tremorgio; éstas; escurren hacia un valle lateral de Tesino, en donde se aprovechó una caída bruta de 331 m., para las plantas Piotino. Hasta 1935, se habían desarrollado 40 000 KW. brutos, pero su potencia final será de 72 000 KW. brutos.

Tiene particularidades muy notables, entre ellas, que es una de las caídas más altas en las que se utilizan turbinas Francia, de eje vertical.

DATOS COMPLEMENTARIOS

La cuenca de captación de la corriente tiene 224 km².

Los datos observados en un lugar cerca de la planta durante un período de 15 años, muestran

que el gasto es superior a 10 m³/s., durante 6 meses del año y en el invierno no desciende, más que rara vez, abajo de 4 m³/s.; el gasto máximo registrado en este período es de 200 m³/s.

La captación de otros afluentes secundarios permitirán elevar los gastos citados a 12 m³/s. y 4.4 m³/s., respectivamente.

Durante el invierno el gasto normal se aumenta en las aguas de las plantas de acumulación de los lagos Trimorgio y Rittoem cuyos almacenamientos juntos tienen una capacidad de 38 000 000 m³.

Se pueden utilizar otros largos como reserva suplementaria y con capacidad de 16 000 000 m³.

Las obras están proyectadas para un gasto de 24 m³/s., durante diez horas del día con el que se tendrá una potencia efectiva de 62 500 KW. (tomando en cuenta las pérdidas de carga en la galería de presión).

Durante 1935 se concluyó la primera etapa para un gasto de 16.5 m³/s., con dos unidades y potencia de 44 000 KW. efectivos.

ESPAÑA (Figs. 7 y 8.)

En el macizo de los Pirineos centrales y utilizando las aguas de sus ventisqueros, se inicia el primer aprovechamiento a la elevación 2 135 m., sobre el río Flamisell, afluente del Noguera Pallaresa; los aprovechamientos se vienen escalonados sobre éste último río en donde se tiene la famosa planta de Tremp.

Abajo de la confluencia del río Noguera Pallaresa con el Segre, tenemos la planta de Cama-

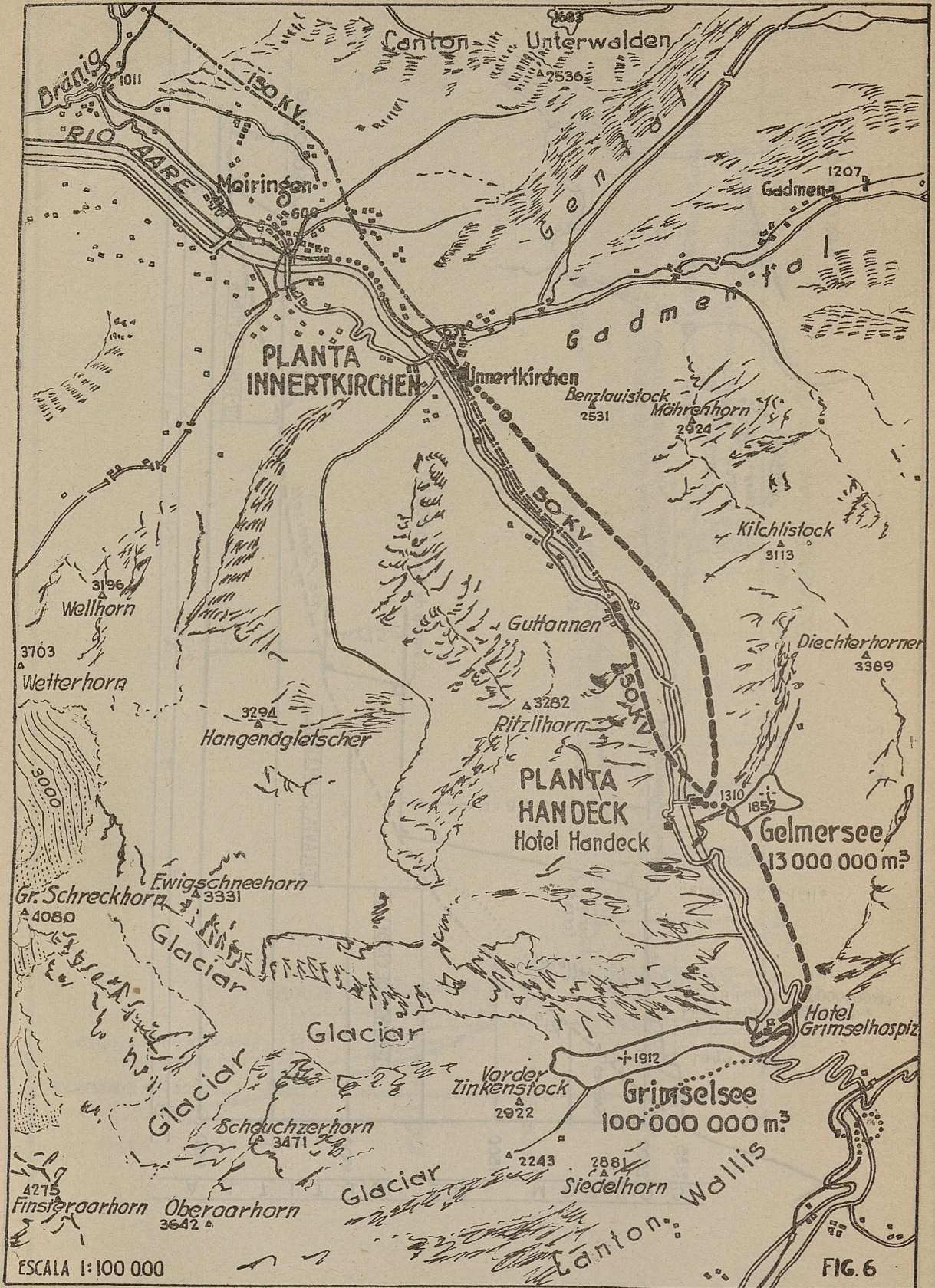


FIG. 6

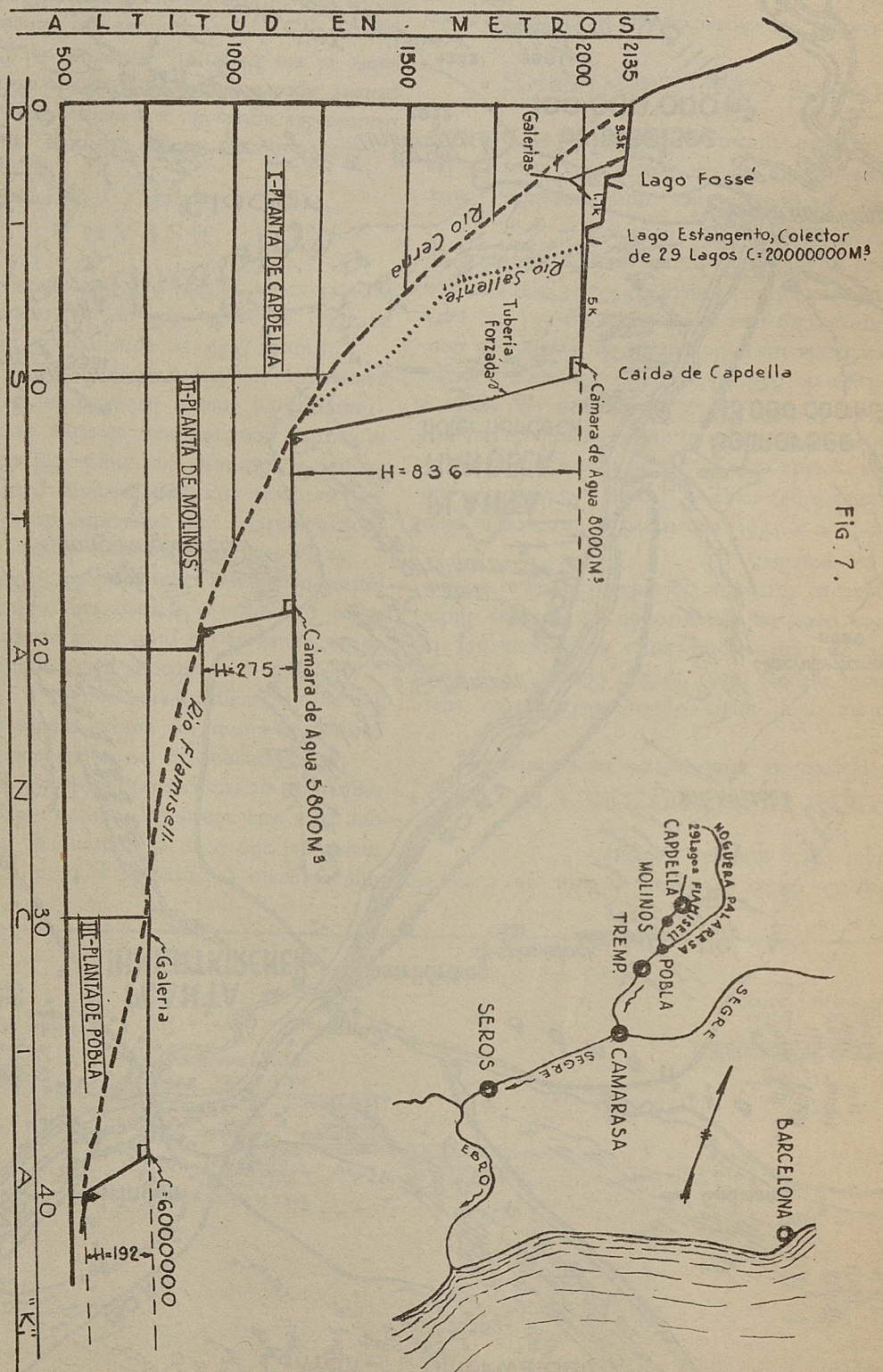


Fig. 7.

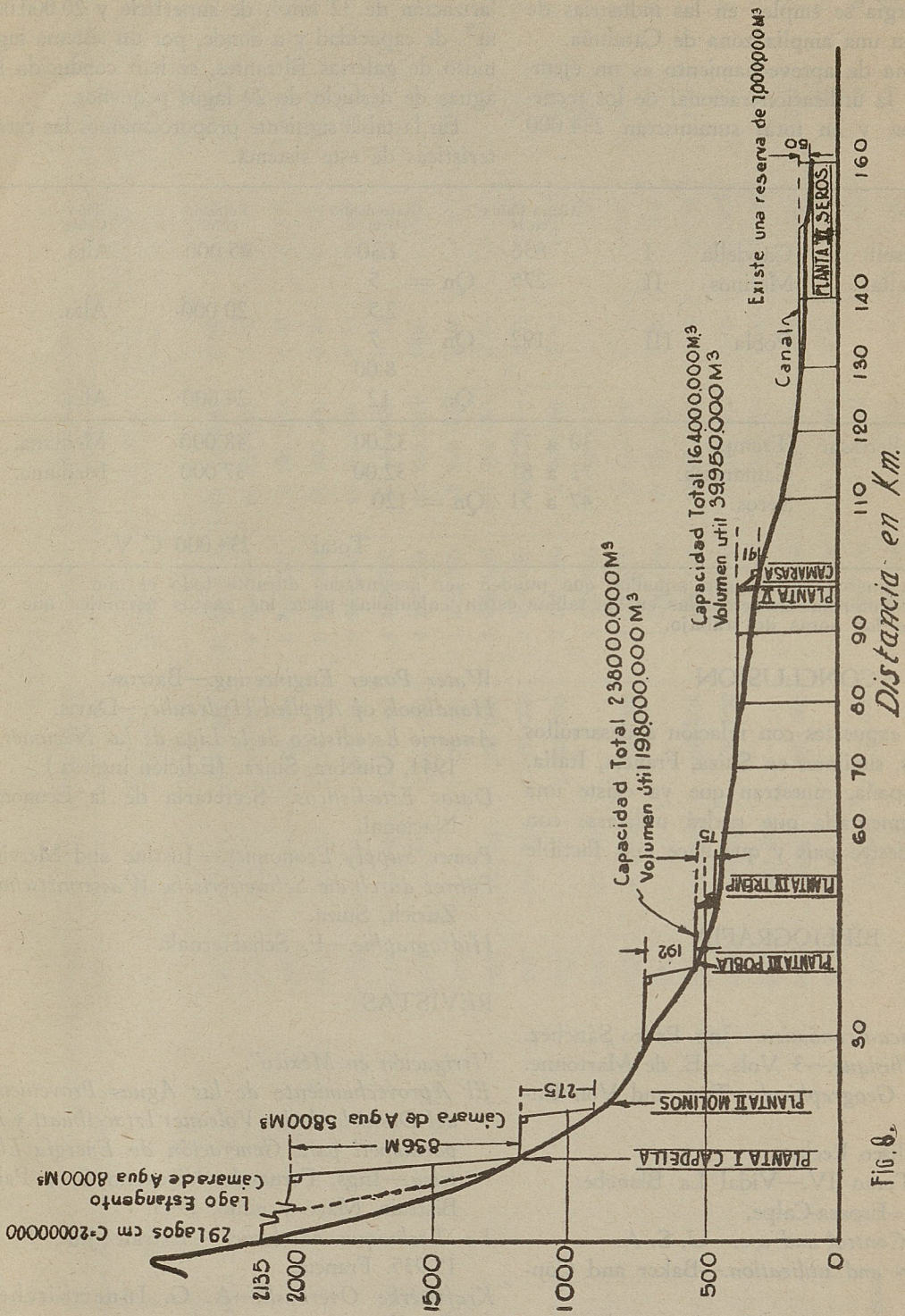


Fig. 6.

ressa, y finalmente, antes de la desembocadura de éste con el Ebro se encuentra la de Séros; toda esta energía se emplea en las industrias de Barcelona y en una amplia zona de Cataluña.

Este sistema de aprovechamiento es un ejemplo clásico de la utilización racional de los recursos hidráulicos, y en total suministran 234 000 caballos.

Para el caso que nos ocupa, la primera planta de Capdella, está alimentada por un vaso de regularización de 32 km². de superficie y 20 000 000 m³. de capacidad y a donde, por un sistema ingenioso de galerías filtrantes, se han conducido las aguas de deshielo de 29 lagos pequeños.

En la tabla siguiente proporcionamos las características de este sistema.

RIO			Altura Caída en H	Gasto medio (1) m ³ /s	Potencia cv (2)	Tipo Caída
Flamisell.	Capdella	I	836	1.30	45 000	Alta.
Capdella.	Molinos	II	275	Q _n = 5		
				2.5	20 000	Alta.
M.	Pobla	III	192	Q _n = 7		
				8.00		
				Q _n = 12	24 000	Alta.
Noguera Palleresa.	Tremp.		30 a 75	32.00	48 000	Mediana.
	Camarassa.		71 a 81	32.00	37 000	Mediana.
	Séros.		47 a 51	Q _n = 120		
Total					234 000 C. V.	

(1) Los gastos medios son aquellos que pueden ser asegurados durante todo el año.

(2) Las potencias mencionadas en las tablas están calculadas para los gastos normales que corresponden a las horas de trabajo.

CONCLUSION

Los datos expuestos con relación a desarrollos hidroeléctricos, similares en Suiza, Francia, Italia, Austria y España, muestran que ya existe una técnica experimentada que podrá utilizarse con ventaja en nuestro país y que hace más factible este Proyecto.

BIBLIOGRAFIA

LIBROS.

- Geografía Física-Económica.*—Ing. Pedro Sánchez.
Geographie Phisique.—3 Vols.—E. de Martonne.
New Phisical Geographical.—Torr and Von Engeln.
La Torre.—Eliseo Reclus.
Geografía.—Tomo IV.—Vidal La Blanche.
Enciclopedia.—Espasa-Calpe.
Head Water Control and use.—U. S. A.
Water Supply and utilization.—Baker and Conklin.
Amenègement d'eau.—B. E. I. T.—París, Francia.
Hydroelectric Handbook.—Creager.
Saltos de Agua y Presas de Embalse.—J. Gómez Navarro.
L'Houille Blanche-Parcoret.
Water Supply Engineering.—Babitt and Doland.

Water Power Engineering.—Barrow.

Handbook of Applied Hydraulic.—Davis.

Anuario Estadístico de la Liga de las Naciones.—1941, Ginebra, Suiza. (Edición inglesa.)

Datos Estadísticos.—Secretaría de la Economía Nacional.

Power Supply Economics.—Justine and Mervine.
Führer durch die Schweizerische Wassernirtschoft.
 Zurich, Suiza.

Hidrographie.—F. Schaffernak.

REVISTAS

"Irrigación en México".

El Aprovechamiento de las Aguas Provenientes del Deshielo de los Volcanes Iztaccihuatl y Popocatepetl para Generación de Energía Eléctrica.—Ings. Fernando Vizcayno S. y Pablo Bistrain. Mayo y junio, 1943.

La Technique Moderne.—Extrait Jun. 1º at. 15-935. Francia.

Kraftwerke Overhasli.—A. G. Innertkirchen-Gründung.

Gessellschat.—20 juns. 1925. Suiza.

L'Acqua.—Italia.

Apuntes Geografía Económica.—Ing. Emilio Alanis Patiño.

Notas.—Ing. Santiago Zolliker.

A N E X O N U M . I
DATOS ESTADISTICOS DE LA ENERGIA INSTALADA EN VARIOS PAISES

P A I S E S	Año Estadística	Plantas de Vapor (K. W.)	Plantas Hidroeléctricas (K. W.)	Energía total Instalada (K. W.)	Población Millones. Habitantes	Energía Instalada Capital	Energía Suministrada año en (K. W. H.)	Energía Suministrada de Capital (K. W. s.H.)	Factor de Capacidad al año
Estados Unidos, U. S. A.	1931	23 823 017	8 806 096	32 629 113	124 070 000	0.26	85 575	690	0.30
Alemania	1929	4 960 000	740 000	5 700 000	64 036 000	0.09	12 444	194	0.25
Canadá	1930	178 000	3 580 000	3 758 000	9 935 000	0.38	16 100	1 610	0.49
Francia	1931	5 607 120	2 872 400	8 479 520	41 400 000	0.20	15 150	366	0.22
Inglaterra	1929-30	6 197 225	403 000	6 600 225	46 189 000	0.14	10 550	229	0.18
Italia	1931-32	600 000	3 858 000	4 458 000	41 145 000	0.11	10 300	250	0.26
Japón	1929	1 540 044	2 581 949	4 121 993	90 395 000	0.05	11 962	132	0.33
Noruega	1927	.....	1 579 086	1 579 086	2 810 000	0.56	8 000	2 850	0.58
Rusia	1927	1 440 000	250 000	1 690 000	147 014 000	0.01	4 112	28	0.28
Suecia	1927	295 000	1 100 000	1 395 000	6 142 000	0.23	4 250	709	0.36
Suiza	1927	.....	2 530 000	2 530 000	4 067 000	0.62	4 650	1140	0.21
Bélgica	1926	1 390 000	.....	1 390 000	8 129 000	0.17	3 160	390	0.26
Austria	1926	550 000	450 000	1 000 000	6 713 000	0.15	2 500	405	0.28
Polonia	1926	.....	.....	1 000 000	31 104 000	0.03	1 900	61	0.22
México	1940	290 865	389 135	680 000	19 493 740	0.03	2 516	130	0.19
Checoslovaquia	1926	666 000	114 000	780 000	14 726 000	0.05	1 300	93	0.21
Holanda	1927	665 380	.....	665 380	7 920 000	0.08	1 200	152	0.44
Nueva Zelandia	1927	35 627	103 288	138 915	1 506 000	0.09	540	360	0.25
Rumania	1927	.....	.....	230 000	18 326 000	0.01	500	27	0.30
Indias O. Holandesas	1927	129 000	61 000	190 000	60 731 000	.....	500	8	0.21
Dinamarca	1926-27	229 000	.....	229 000	3 542 000	0.06	422	119	0.23
Finlandia	1926	.....	175 000	175 000	3 634 000	0.05	360	99	

Tomada. Power Supply Economies. Justin and Nerville.
Notas. Datos de México, depurados de acuerdo con nuestras estadísticas y censo 1940.