

ABACOS PARA ENSAYOS HIDRAULICOS EN MODELO REDUCIDO, CON DEFORMACION DE ESCALAS

Por M. F. BOLLO, F. A. GORENSEK
y A. LAGUNA

De gran interés consideramos el tema que abordan los autores sobre deformación de escalas en los ensayos hidráulicos en modelo reducido, y de gran utilidad los ábacos que presentan, avalados por los importantes ensayos realizados en su laboratorio, que reseñan al final.

I. Consideraciones generales.

En los ensayos en modelo reducido es fundamental la existencia de semejanza en el proceso hidráulico que se ensaya entre el modelo y la realidad.

En muchos casos basta con reducir a una misma escala todas las dimensiones geométricas del modelo (generalmente dos o tres) y, si se trata de fenómenos en que predomina el campo gravitatorio sobre los efectos capilares, elásticos, etc., establecer la conservación del parámetro correspondiente (número de Froude). Pero al hacer esto pueden cambiar las condiciones del problema y entonces la semejanza no existirá. Tal sucede si construimos a escala la desembocadura amplia de un río u otro punto donde una corriente de agua tenga gran anchura y muy poco calado. A menos que adoptemos una escala casi siempre incompatible con el espacio y el caudal disponible, es lo más probable que el número de Reynolds baje de su valor crítico y las condiciones del funcionamiento hidráulico pasen de ser turbulentas a laminares, con total desaparición de la semejanza.

Para remediar estos inconvenientes se emplean los modelos con deformación de escalas, así como para hacer posible la reproducción en el laboratorio de modelos con una dimensión preponderante sobre las otras.

II. Modelos fluviales.

En la construcción de todo modelo reducido intervienen una serie de circunstancias que condicionan la determinación de la escala, éstas suelen ser espacio y caudal disponibles, rugosidad, etc., pero en un modelo en el que, debido a estas u otras circunstancias, se hace necesario adoptar una deformación de escalas, existen otras condiciones que determinan la relación de deformación, tal es el caso de cauces muy abiertos, donde el calado es pequeño en relación con las otras magnitudes.

En este caso la determinación de las pendientes de los fondos es uno de los aspectos más importantes que hay que tener en cuenta para la fijación de las escalas.

En efecto, la escala de pendientes es igual al factor de distorsión, es decir, a la relación de escalas; la velocidad y calado en el modelo variarán con la pendiente, que, en general, no estarán a escala, se hará necesario entonces modificar la rugosidad, aumentándola o disminuyéndola hasta conseguir la velocidad y calados *exigidos*, pero se comprende fácilmente que la variación de la rugosidad tiene un límite, siendo preciso entonces variar la pendiente a introducir también deformación de escala en el sentido transversal a la corriente.

En este tipo de ensayos el número de Reynolds es de importancia secundaria, la deformación de escalas nos coloca sobre un valor crítico.

Para conservar la semejanza es necesario que se verifique la igualdad de los números de Froude para dos secciones homólogas cualesquiera del prototipo y del modelo, es decir:

$$\frac{V_p^2}{L_p g} = \frac{V_m^2}{L'_m g}, \quad [a]$$

el subíndice p significa prototipo y m modelo, en donde:

V = velocidad.

L = longitud vertical.

g = aceleración de la gravedad.

de la igualdad [a] obtenemos:

$$\frac{V_p^2}{V_m^2} = \frac{L_p}{L'_m}; \quad E_v = \sqrt{E_l}. \quad [b]$$

Siendo E la escala de velocidades horizontales y E_l la escala de longitudes verticales.

La ecuación [b] expresa la ley de Froude, que es la que ha de regir el funcionamiento de un modelo de este tipo para establecer con rigor la semejanza.

La justificación de que las longitudes que intervienen en los números de Froude son verticales, se basan en las ecuaciones de continuidad y en el teorema de las cantidades de movimiento para el prototipo y el modelo.

III. Modelos con conducciones cerradas que funcionan como tuberías.

Hay casos en que se trata de ensayar modelos cuyos prototipos son conducciones cerradas de presión; tal es el caso de conducciones forzadas, el final de cámaras de carga, conducciones de presión con chimeneas de equilibrio, etc., en donde es interesante saber las oscilaciones producidas por un cierre brusco o apertura de las turbinas, en la chimenea de equilibrio, cámara de carga, canal, etc. Siendo frecuente que la longitud de la conducción sea muy grande en comparación con el diámetro, a menos de disponer de mucho espacio tendríamos que adoptar una escala muy pequeña que nos daría para el modelo diámetros muy pequeños, con notable perjuicio de la semejanza.

Además, frecuentemente ocurre que por economía y facilidad de construcción del modelo conviene utilizar tuberías existentes en el comercio, que si bien nos ofrecen una amplia gama de diámetros, es evidente que no tienen, en general, por qué coincidir con el que nosotros necesitaríamos. Por estas razones se hace necesario utilizar una escala para las longitudes y otra para las secciones transversales, acortando la longitud de la conducción y modificando el diámetro, siendo necesario entonces variar la rugosidad en el modelo para obtener las pérdidas de carga convenientes, ya disminuyéndola encerando, por ejemplo, las paredes interiores de la tubería, ya aumentándola enrollando en espiral alambre fino por el interior del tubo, adosándolo a sus paredes.

La adaptación de rugosidades hay que hacerla procediendo por tanteos que ordinariamente exigen un tiempo considerable.

IV. Ábacos.

En la figura 1.^a se ha dibujado el ábaco para la determinación de la escala de caudales en un modelo sin distorsión de escalas.

Siendo λ y Σ las escalas correspondientes a las direcciones de los tres ejes del triedro, que en este caso son iguales, la escala de longitudes será:

$$\frac{l_p}{l_m} = \lambda = \mu = \Sigma.$$

La escala de velocidades, según la ley de Froude, será:

$$\frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\Sigma}.$$

La escala de secciones transversales a la corriente, será:

$$\frac{S_p}{S_m} = \lambda^2 = \mu^2 = \Sigma^2,$$

y la escala de caudales:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \frac{V_p}{V_m} \times \frac{S_p}{S_m} = \Sigma^{5/2}.$$

En las figuras 2.^a y 3.^a se han dibujado dos ábacos para la determinación de la escala de caudales para el caso de escalas diferentes en las tres direcciones de los ejes del triedro y corriente horizontal. Siendo: λ , la escala de longitudes en dirección de la corriente, Σ , la escala de longitudes verticales, μ , la escala de longitudes transversales.

Tenemos:

$$\lambda = \frac{l_p}{l_m}.$$

La escala de secciones transversales a la corriente:

$$\frac{S_p}{S_m} = \Sigma \times \mu;$$

La escala de velocidades:

$$\frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\Sigma};$$

La escala de caudales:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \sqrt{\Sigma} \cdot \Sigma \times \mu = \mu \Sigma^{3/2}.$$

En las figuras 4.^a y 5.^a se han dibujado dos ábacos para la determinación de la escala de caudales en el caso de corriente vertical, siendo la escala λ , en la dirección de la corriente, distinta de las transversales μ y Σ , que son iguales, tenemos:

$$\lambda = \frac{l_p}{l_m}.$$

La escala de secciones transversales a la corriente:

$$\frac{S_p}{S_m} = \mu^2 = \Sigma^2,$$

la escala de velocidades:

$$\frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\lambda},$$

la escala de caudales:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = \mu^2 \sqrt{\lambda} = \Sigma^2 \sqrt{\lambda}.$$

HOJA 1. CAUDALES EN MODELOS DE ESCALAS IGUALES

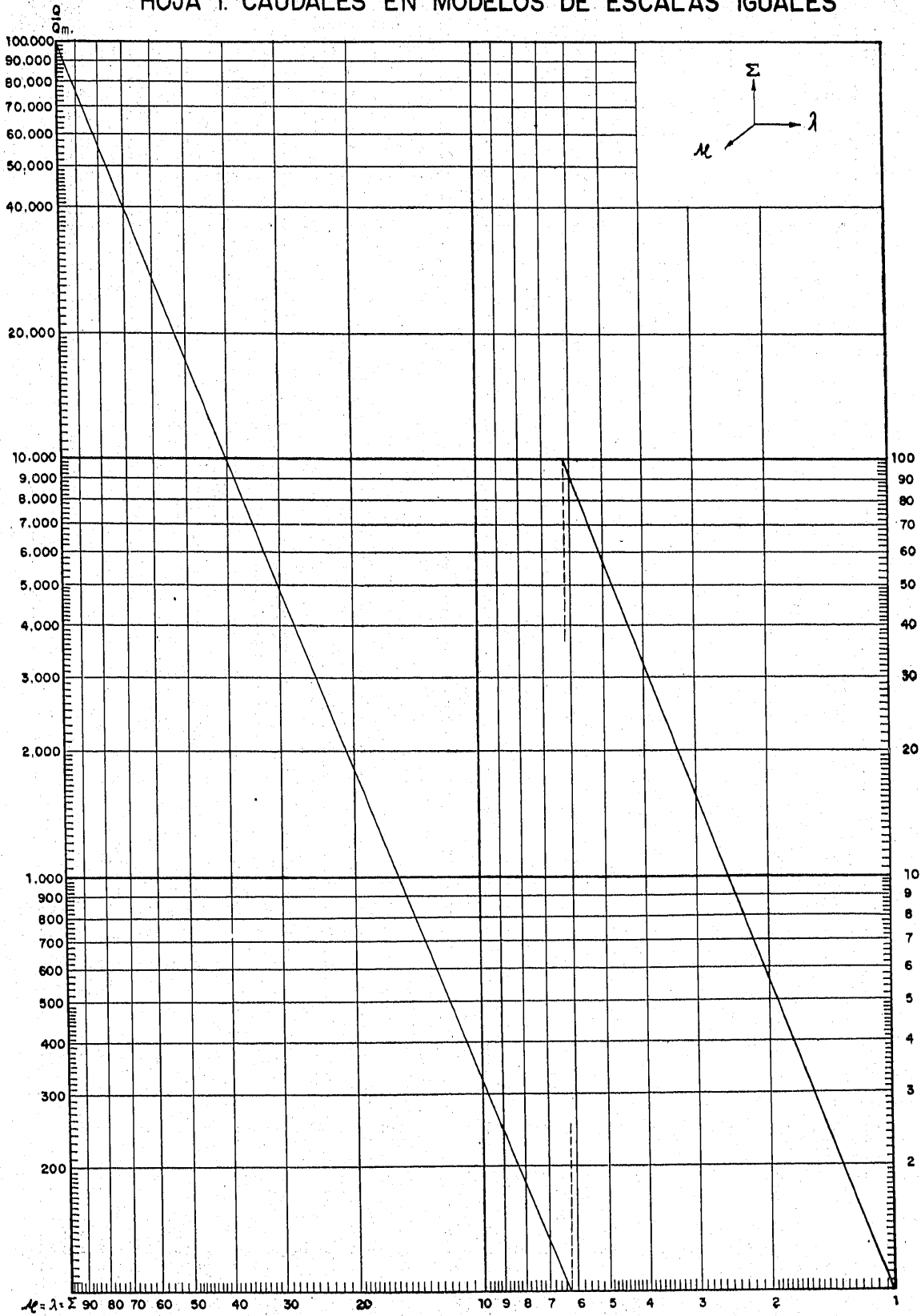
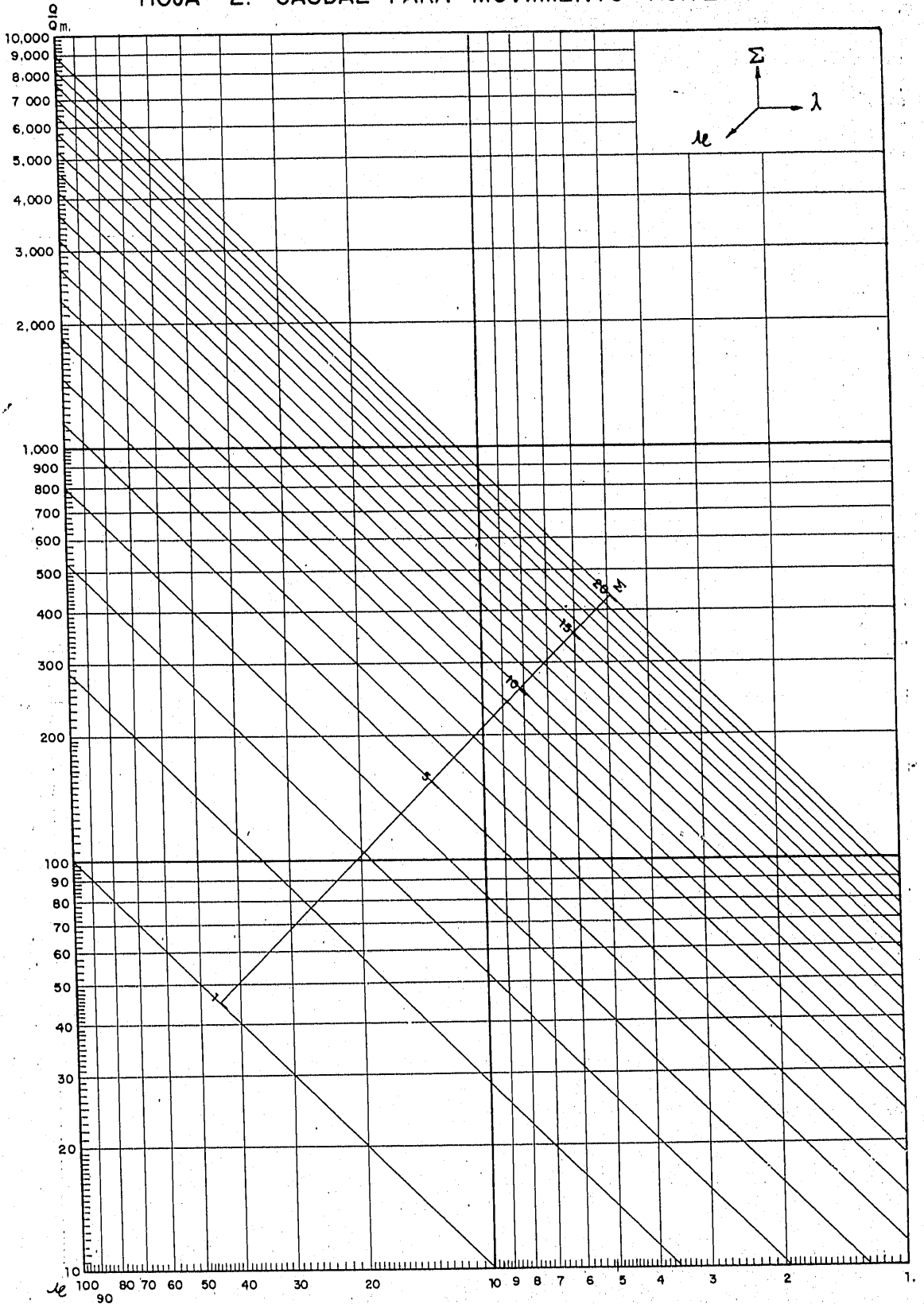


Figura 1.ª

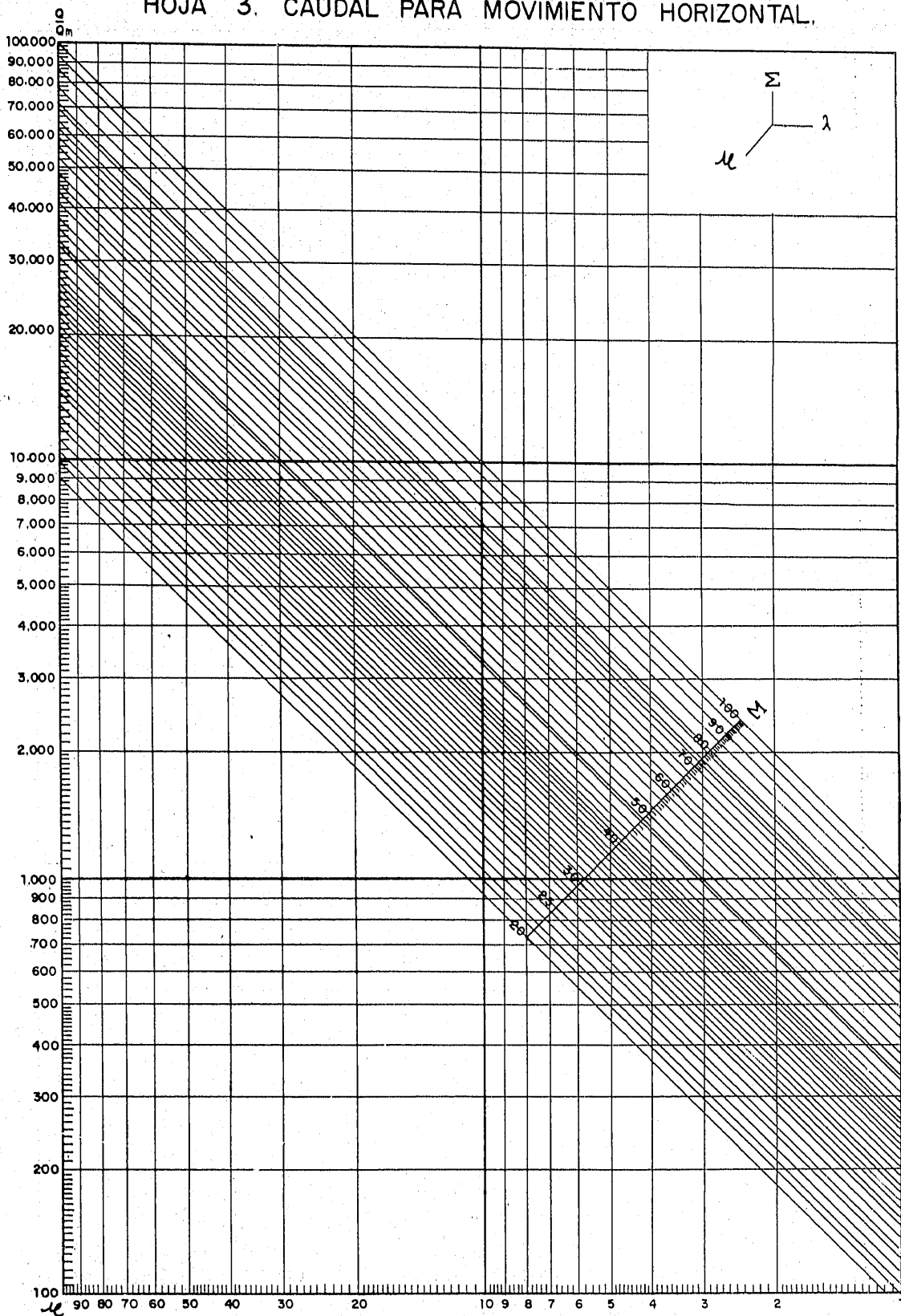
HOJA 2. CAUDAL PARA MOVIMIENTO HORIZONTAL.



ESCALAS DISTINTAS Σ DE 1 A 20.

Figura 2.^a

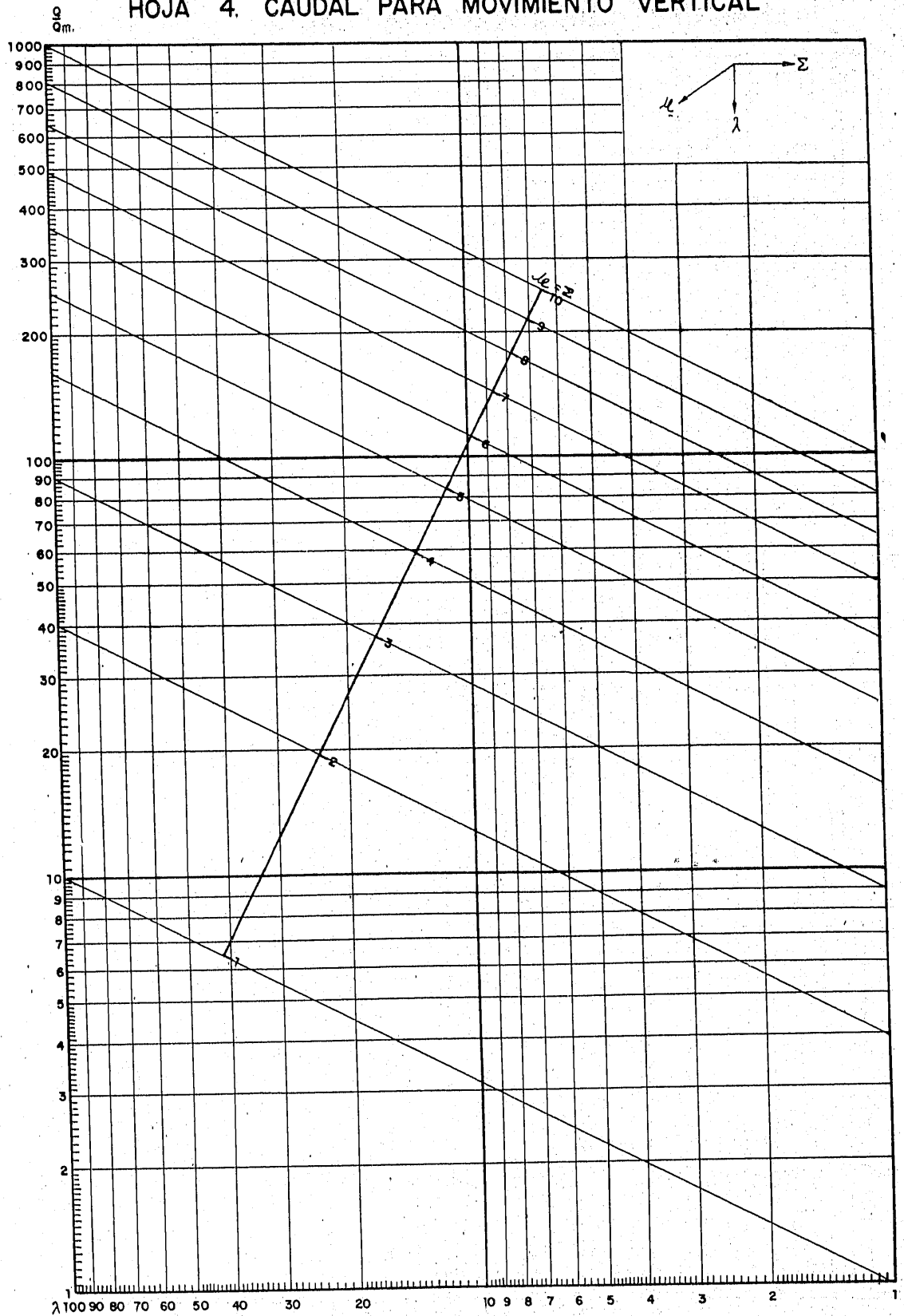
HOJA 3. CAUDAL PARA MOVIMIENTO HORIZONTAL.



ESCALAS DISTINTAS Σ DE 20 A 100

Figura 3.^a

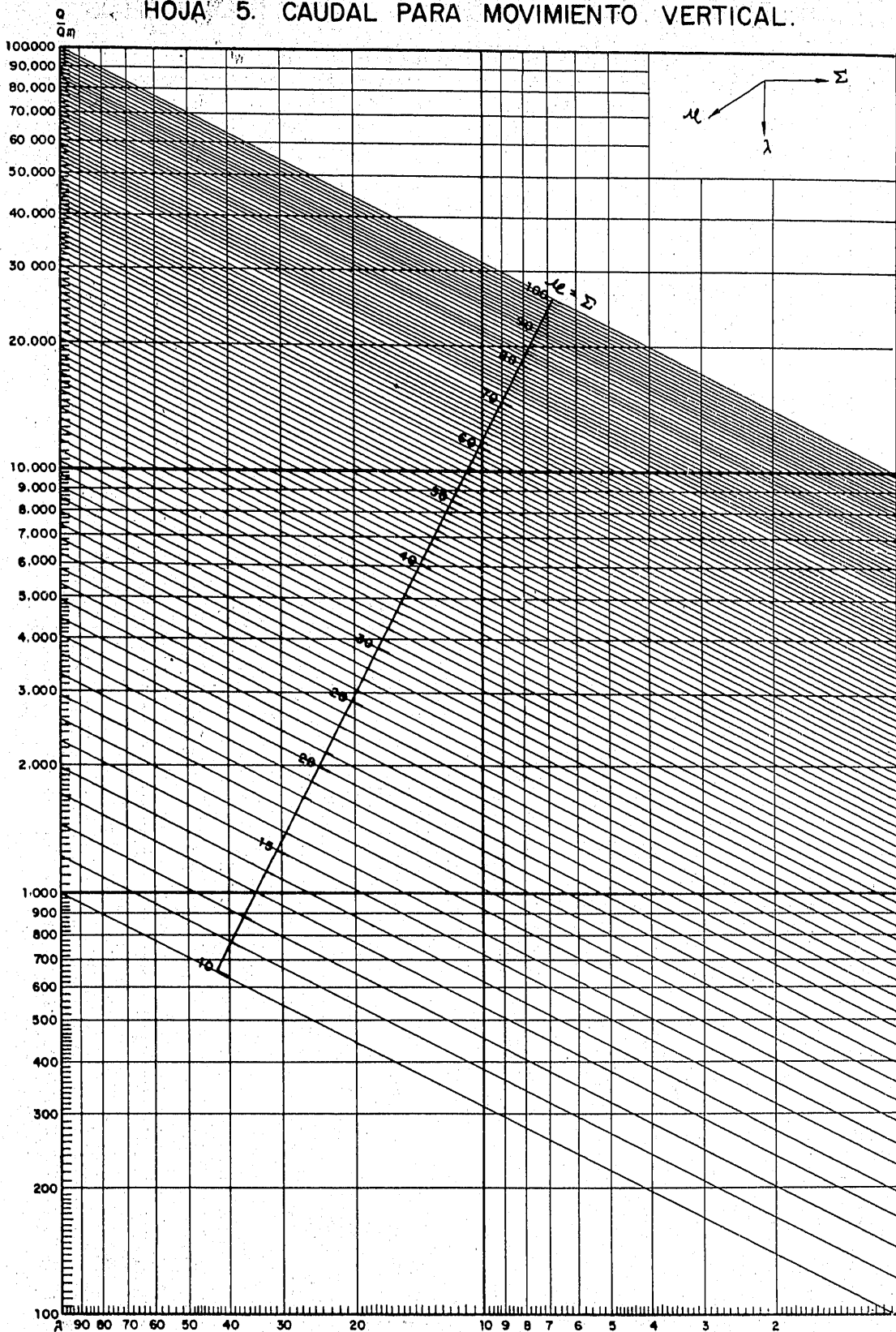
HOJA 4. CAUDAL PARA MOVIMIENTO VERTICAL



ESCALA DE LONGITUDES λ DIFERENTE DE Σ Y $u - u_b$ DE 1 A 10.

Figura 4.^a

HOJA 5. CAUDAL PARA MOVIMIENTO VERTICAL.



ESCALA DE LONGITUDES λ DIFERENTE DE Σ Y $\lambda - \lambda$ DE 10 A 100.

Figura 5.^a

HOJA 6. ESCALAS DE VELOCIDADES Y TIEMPOS PARA MODELOS
CON DEFORMACION AFIN.

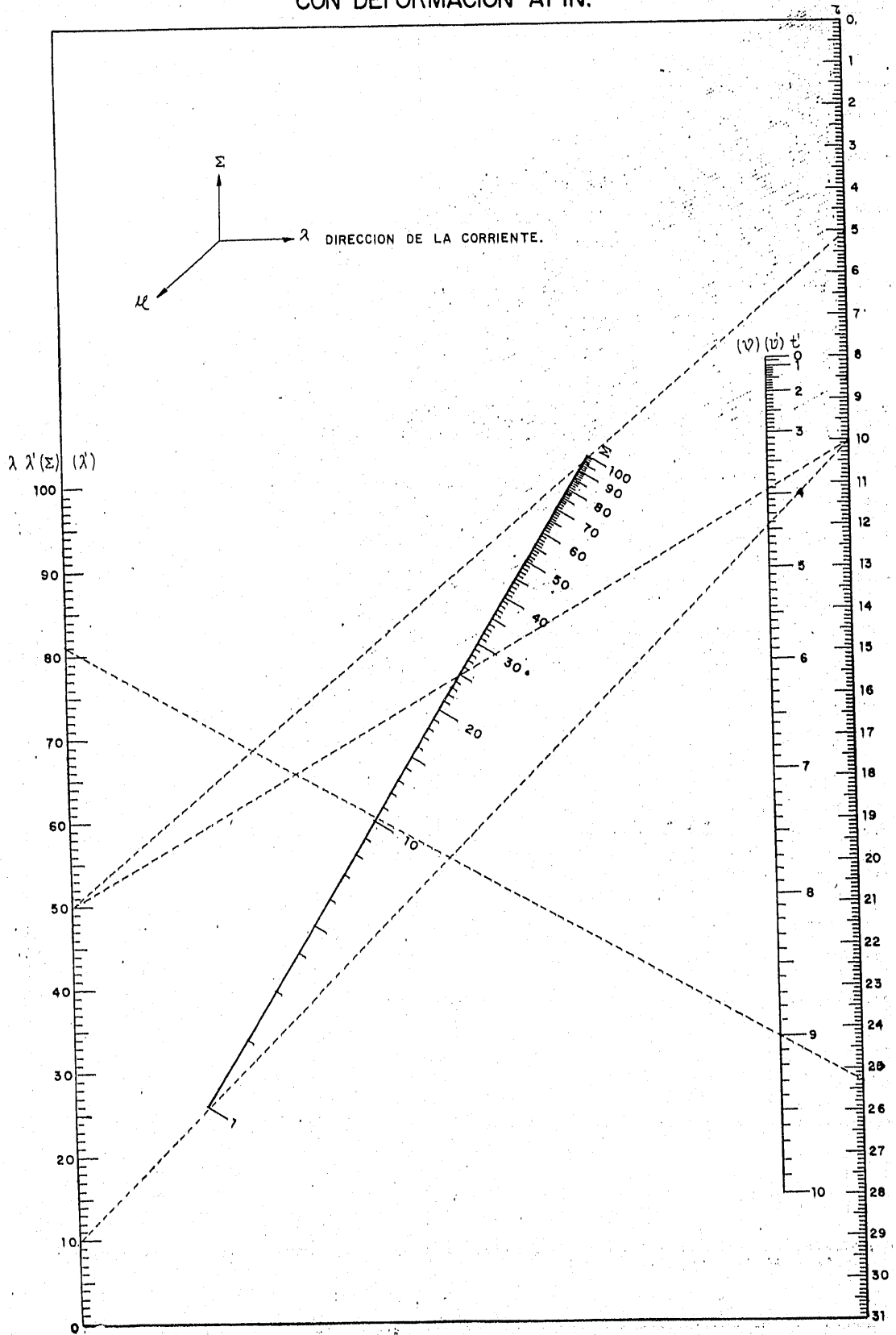


Figura 6.^a

Por último, en la figura 6.^a se ha dibujado el ábaco para la determinación de la escala de velocidades y tiempos para el caso de corriente horizontal o vertical.

En el primer caso tenemos:

$$\frac{l_p}{l_m} = \lambda; \quad \frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\Sigma} \frac{t_p}{t_m} = \frac{\frac{l_p}{V_p}}{\frac{l_m}{V_m}} = \frac{l_p \times V_m}{l_m \times V_p} = \frac{\lambda}{\sqrt{\Sigma}}$$

En el caso de corriente vertical tenemos:

$$\frac{l_p}{l_m} = \lambda \frac{V_p}{V_m} = \sqrt{\lambda} \frac{l_p}{t_m} = \frac{\frac{l_p}{V_p}}{\frac{l_m}{V_m}} = \frac{l_p \times V_m}{l_m \times V_p} = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda}$$

En uno y otro caso utilizaremos para calcular la escala de tiempos las escalas que no tienen paréntesis, reservando estas últimas para calcular la escala de velocidades, haciendo, además, la distinción de utilizar acentos cuando se trata de movimiento vertical.

Ejemplos: Movimiento horizontal $\lambda = 50$
 $\Sigma = 25$, se une

50 de la escala de λ con 25 de la escala de Σ hasta que corta la escala de t en 10. Se une 25 de la escala de (Σ) con el punto A hasta que corte a la escala (V) en 5.

Movimiento vertical: $\lambda = 25$, se une el 25 de la escala (λ') con el punto A , hasta que encuentre a la escala (V') en 5, siendo la escala de tiempos la misma que la de velocidades.

V. Ensayos realizados.

Entre los ensayos realizados en nuestro laboratorio con deformación de escala, destacan por su importancia los siguientes:

- Estudio chimenea de equilibrio de la central del Tranco de Beas (Guadalquivir).
- Estudio del tramo del río Guadalquivir en que se restituye el caudal del salto del Tranco.
- Estudio de la chimenea de equilibrio del salto de Sequeiros (Saltos del Sil).
- Estudio de la chimenea de equilibrio del salto del Eume (F.E.N.O.S.A.).
- Estudio de la cámara de carga del salto de Quereño (E.N.E.S.A.).
- Estudio fluvial en el valle del río Nigua (San Cristóbal), en República Dominicana.