

2 3 4

81 BO

LIBRARY
INTERNATIONAL REFERENCE CENTRE
FOR COMMUNITY WATER SUPPLY AND
SANITATION (IRC)

PROYECTO No. 1

BOMBEO Y SUMINISTRO DE AGUA
A PEQUEÑAS POBLACIONES

INFORME DE PROGRESO

H. S N E L

I. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto pretende utilizar la energía cinética de un río para bombear agua del mismo hacia el tanque de almacenamiento del acueducto de una pequeña población al lado del río. Para precisar las condiciones de diseño, se piensa en una población de alrededor de 300 personas (típica de las poblaciones más grandes del Vaupés), y en un suministro de agua de 150 lts/persona - día (el máximo considerado en las normas del Ministerio de Salud Pública). Para esto se necesita un total diario de 45 m^3 de agua, con un flujo constante durante 24 horas, un caudal de aproximadamente 0.5 lts/seg. En un caso típico, la cabeza efectiva de subido del agua puede ser el equivalente de aproximadamente 30 mts, y se necesitaría una potencia hidráulica, P_H , de:

$$P_H = 0.5 \times 30 \times 9.8 = 147 \text{ Wattios.}$$

Contando con una eficiencia mecánica (desde la rueda) de 0.75, se necesitaría suministrar una potencia mecánica P_M de :

$$P_M = \frac{147}{0.75} = 196 \text{ Wattios.}$$

Por razones de confiabilidad, y también de dimensiones físicas del sistema, se piensa lograr estos propósitos en cuatro estaciones de bombeo, cada una dando una potencia de 50 Wattios. Cada estación de bombeo consistirá en :

04400 15m 3278
234 8180

- Una turbina que convierte la energía cinética del río en energía mecánica.
- Un sistema de bombas, directamente acoplado a la turbina.
- Una balsa anclada al fondo del río, en la cual va montando el conjunto turbina - bombas.

La balsa puede seguir los cambios del nivel del río. Si una estación de bombeo llegará a dañarse, habrá todavía tres en operación mientras se efectúen las reparaciones.

El sistema, una vez desarrollado y experimentado, podría reemplazar los sistemas de bombeo utilizando una motobomba en una caseta flotante sobre el río. El sistema de motobomba presenta problemas de mantenimiento, y de disponibilidad y costos de combustible. Estos problemas son más graves para sitios menos accesibles.

II. ACTIVIDADES DESARROLLADAS HASTA EL MOMENTO

II.1 DETERMINACION DEL SITIO DE OPERACION DE UN PRIMER PROTOTIPO

Se ha pensado poner a funcionar el primer prototipo del sistema en el Vaupés, ya que esta región presenta los problemas más grandes en accesibilidad, y en disponibilidad y costos de combustible. En cuanto a condiciones físicas (velocidades de los ríos), todas las cuatro regiones de operación de Programa de Atención Primaria abundan en sitios donde se puede hacer funcionar el sistema.

En este momento hay dos poblaciones con proyecto de acueducto bajo el programa de A. P., donde no se ha definido la fuente y/o el sistema de bombeo, a saber Teresita y Villafátima. Ambos sitios estan situados al lado de un rio (el rio Papuri y el rio Vaupés respectivamente) con raudales muy cerca a la población. Luego, en ambos casos es posible localizar un sitio con velocidades del rio dentro del rango que se considera ideal para la operación, entre 0.5 y 0.8 mts/seg. Probablemente, el acueducto de Villafátima será el último de los dos en construir. En Villafátima se construirá un puesto de salud, que probablemente se terminará a finales del presente año, época en la cual pensamos estar en condiciones de montar el primer prototipo.

Basado en estas consideraciones, y después de hablar con personas conocedoras de la región, entre ellas el presente jefe del Servicio Seccional de Salud del Vaupés, se tomó la decisión de montar una primera balsa en el río Vaupés frente a Villafátima, que surtirá agua al Puesto de Salud. A finales del mes de Septiembre, se harán las mediciones necesarias en Villafátima, para determinar el sitio exacto de anclaje para la balsa y la altura exacta a la cual hay que bombear el agua. También se tomarán muestras del agua del río. En un futuro se podría pensar ampliar el sistema con tres balsas adicionales, para el acueducto de la población.

Como Teresita puede ser otra candidata para el sistema, se tomo una muestra del agua del río Papuri frente a Teresita en una visita reciente.

II.2 LA TURBINA

En cuanto a la Turbina, se puede escoger básicamente entre los dos tipos siguientes :

- a) Un "molino de viento", pero sumergido en el agua, que se denominará Turbina Axial.
- b) Una turbina con el eje horizontal pero normal al flujo, parcialmente o totalmente sumergido que identificaremos como rueda de agua.

Ambos tipos de turbina son "libres" y no necesitan ninguna obra civil. Otras posibles turbinas que sí necesitarán obra civil (como una pequeña represa ó una desviación de parte del agua) no fueron tomados en cuenta, ya que los costos su birían mucho, y el rio normalmente se usa para navegación.

Para el diseño de una turbina axial existen teorías y métodos relativamente buenos (ver por ejemplo ref. 1 y 2), y un molino bien diseñado puede tener un coeficiente de potencia (C_p) de alrededor de 0.35 (por ejemplo ref. 3). El coeficiente C_p mide la eficiencia de la turbina en la conversión de energía cinética a energía mecánica. Sin embargo, una turbina axial de buena eficiencia es de difícil fabricación, y además tiene una característica de torque en función de la velo cidad rotacional que no es ideal para acoplar bombas de desplazamiento positivo.

Para la rueda de agua parcialmente sumergida existe muy poca teoría de diseño, y la literatura cita valores de "eficiencia" (C_p) muy bajos, de alrededor 0.15 (ref. 4). Por otro la do, estas ruedas son de relativamente fácil fabricación y re paración, y tienen características de torque en función de ve locidad rotacional mucho más aptas para mover bombas de desplazamiento positivo.

La baja eficiencia de las ruedas, como citado en la literatu ra, talvez resulta del hecho de que las ruedas tradicionales funcionan básicamente con la fuerza del arrastre, mientras

una turbina axial se mueve con la fuerza de sustentación. Con el fin de mejorar la eficiencia de estas ruedas, se diseñó y se construyó un modelo que funciona parcialmente con la sustentación, y parcialmente con el arrastre. El diseño y la construcción se llevaron a cabo como un proyecto dentro del curso de "Diseño de elementos mecánicos". Las pruebas iniciales con este modelo dieron resultados muy prometedores, razón para la cual se concentró la investigación en este tipo de turbinas.

Aparte de la rueda ya mencionada (rueda I), que tiene aletas curvas, se construyeron dos ruedas más, una con aletas planas (rueda II), para más fácil construcción, y la última con aletas en forma de ala (rueda III). La geometría de estas tres ruedas está dada en las figuras 1, 2 y 3.

Hasta el momento se midieron las características completas de las ruedas I y II. Cabe anotar que la rueda II funciona en dos diferentes posiciones (ver figura 2). En la primera posición, hay una acción de freno sobre la aleta que sale, mientras en la segunda posición hay una acción de freno sobre la aleta que entra al agua. Se hicieron mediciones completas en ambas posiciones.

Para poder medir el torque de las ruedas, se construyó un torquímetro de balance muy sensitivo, como esquemáticamente dado

en la figura 4. Junto con el torque, se midió la velocidad angular de la rueda por simple conteo de revoluciones. La velocidad libre U_{∞} del agua se determinó con un rotatómetro de precisión de la Universidad de los Andes.

En la figura 5 se muestran los parámetros geométricos básicos de la rueda. H_s es la sumergencia de la rueda, B su ancho y R su radio. H_{TOT} es la altura total del agua en el canal. Los resultados de las mediciones se muestran en las figuras 6, 7 y 8, donde se leen los valores del coeficiente de torque C_T y el coeficiente de potencia C_P en función de la velocidad específica λ .

Estos parámetros se definen como :

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^2 H_s B R} \quad (1)$$

si T es el torque medido y ρ la densidad del agua.

$$C_P = \frac{T \omega}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^3 H_s B} \equiv C_T \lambda \quad (2)$$

si

$$\lambda = \omega R / U_{\infty} \quad (3),$$

y ω es la velocidad angular de la rueda. El producto $T\omega$ al mismo tiempo es la potencia mecánica P_M de la rueda.

Los coeficientes C_T y C_P dependen, además de λ , de los siguientes parámetros adimensionales:

- El número de Froude : $Fr = U_{\infty}^2 / g H_s$, si g es la aceleración gravitacional.

- La sumergencia relativa : $H_s^* = H_s/R$, y
- La cercanía relativa del piso, dado por $H_{TOT}^* = H_{TOT}/H_s$

La dependencia del número de Reynolds puede ser despreciada, ya que $Re \gg 1$ en todos los experimentos y en la realidad, Los valores pertinentes de los tres parámetros están dados en todas las gráficas de las figuras 6, 7 y 8.

Como se aprecia en las gráficas, el mayor valor de C_p obtenida es de $C_p \approx 0.5$ para la rueda I, y de 0.37 para la rueda II, en la segunda posición. Sin embargo, estos valores (por ciento muy altos) están inflados por el valor relativamente pequeño de H_{TOT}^* ($\approx 2 \text{ ó } 3$) en los experimentos. En la realidad, el valor de H_{TOT}^* será más bien del orden de 20 a 50. Es de gran importancia hacer la corrección para este "efecto de piso", para poder dimensionar las ruedas reales a utilizar en las estaciones de bombeo.

No existía la teoría necesaria para poder hacer las correcciones con respecto a H_{TOT}^* , y fue necesario desarrollarla. Esta teoría al mismo tiempo da los valores máximos teóricos de C_p en función de Fr y H_{TOT}^* , y puede ser utilizada para la construcción de un método más confiable de diseño. La teoría y sus resultados se encuentran en la apéndice.

Con la ayuda de la teoría, todos los resultados experimenta

les fueron normalizados a $Fr = 0.08$ y $H_{TOT}^* = 20$, valores representativos para la realidad. Los resultados de este proceso se muestran en las figuras 9, 10 y 11. Se puede apreciar que para las ruedas I y II, se puede contar con un valor de C_p de aproximadamente 0.25, para $H_s/R \approx 0.6$.

En el momento, se esta llevando a cabo la medición de las características de la rueda III. Cabe anotar que esta rueda debería funcionar también completamente sumergida, pero las primeras experiencias muestran que funciona mucho más eficientemente en posición parcialmente sumergida.

Conociendo el valor de C_p con el cual se puede contar, se procede a dimensionar la rueda, de la siguiente manera: Para una potencia de 50 Wattios, calculamos de (3) el área sumergida necesaria:

$$H_s B = \frac{50}{C_p \cdot \frac{1}{2} \rho U_w^3}$$

Con $C_p \approx 0.2$, $U_w = 0.8$ m/seg y $\rho = 1000$ kg/m³, resulta

$$H_s B = 0.97 \text{ m}^2$$

Para una velocidad $U_w = 0.5$ m/seg resultará:

$$H_s B = 4 \text{ m}^2$$

En el primer caso se podría trabajar con $H_s = 0.5$ mts y $B = 2$ mts, que daría un diámetro de la rueda igual a 1.70. Si es necesario usar una región con menos velocidad como en el segundo caso, se podría trabajar con un valor de B igual a 4 mts,

para una sumergencia de 1. mt y un diámetro de la rueda igual a 3.40

II.3 EL SISTEMA DE BOMBAS

Para el caudal pequeño (0.125 lts/seg) de cada estación de bombeo, y la cabeza relativamente alta, una bomba de desplazamiento positivo es la más adecuada. También del punto de vista de acoplaje a una rueda lenta con torque alto, este tipo de bomba tiene la preferencia.

Hasta el momento se construyeron dos tipos de bomba que tienen un alto grado de simplicidad en cuanto a mantenimiento. La primera es una bomba de diafragma, como se muestra en la figura 12, la segunda es una bomba de pistón en T, ilustrada en la figura 13. El diafragma de la primera bomba es hecho en caucho de neumático de camión, que se puede cambiar fácilmente. El pistón de la segunda bomba se puede extraer fácilmente de la pata larga de la T, para reparaciones del sello del piston, hecho en cuero.

Se hicieron pruebas completas con la bomba de diafragma. El diafragma se rompió después de alrededor de 60.000 ciclos, que representaría una vida útil del diafragma de aproximadamente dos semanas en la realidad. Aunque es muy fácil cambiar el diafragma, se consideró que este periodo es demasia

do corto. Además, la eficiencia volumétrica de la bomba es relativamente baja, por la elasticidad del diafragma. Las pruebas fueron hechas con una cabeza de 7 mts. Para una cabeza más alta, la eficiencia volumétrica y la vida útil del caucho bajarían aún más.

Se escogerá entonces la bomba de pistón, para la realización del proyecto. En el momento se está terminando la instalación para realizar las pruebas de esta bomba, hecha en PVC de presión. Por rigidez, la bomba tendrá un rendimiento volumétrico alto, y experiencias anteriores han mostrado que un sello de cuero mojado tiene una vida útil muy larga. Las pruebas están sobretodo orientadas a la determinación de la eficiencia mecánica de la bomba.

Para uniformizar la carga de la rueda, se usará un sistema triplex de bombas. Cada rueda moverá tres bombas, montadas con un desfase de 120° entre cada dos. Este sistema tiene una uniformidad de carga dentro del 10%.

II.4 ACOPLA DE LA RUEDA AL SISTEMA DE BOMBAS

Se ha hecho un diseño preliminar del acople de las bombas a la rueda, como muestra la figura 14. En este sistema, los cilindros de las bombas son tubos largos de PVC ϕ 2", montados sobre una marca triangular. Las barras de los pisto-

nes van acopladas directamente a un excéntrico a un lado de la rueda, y no a el eje. La ventaja de este sistema es, que el eje de la rueda puede ser recta, sin necesidad de fabricar un cigüeñal.

Para una velocidad dada del río, U_{∞} , se procede a dimensionar las bombas :

Una revolución de la rueda equivale un ciclo completo de bombeo. La rueda funcionará con una velocidad específica de $\lambda = \lambda_{opt}$ (el punto de mejor eficiencia), aproximadamente 0.35

$$\omega = \frac{\lambda_{opt} U_{\infty}}{R} \text{ rad/seg}$$

y el número de revoluciones por seg. (rps) será :

$$rps = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{\lambda_{opt} U_{\infty}}{2\pi R} \text{ 1/seg}$$

Cada bomba tiene que desplazar $\frac{1}{3} \times 0.125$ lts/seg. o sea

$$q = \frac{0.125}{3} \frac{2\pi R}{\lambda_{opt} U_{\infty}} \text{ lts/ciclo}$$

si q es el volumen desplazado por bomba por ciclo. Para una eficiencia volumétrica casi igual a 1, este volumen es igual al producto del área del pistón A_p con la carrera S del pistón:

$$A_p S = \frac{0.125}{3} \frac{2\pi R}{\lambda_{opt} U_{\infty}} 10^{-3} \text{ m}^3$$

Para un caso típico, con $\lambda_{opt} = 0.35$, $U_{\infty} = 0.8$ mts/seg y $R = 0.85$ m, tendríamos :

$$A_p \times S = 0.8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

Si el cilindro es un tubo de PVC de 2" diámetro interno, resulta $A_p = 2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$

y luego :

$$S = 0.4 \text{ m.}$$

lo que equivale a un excéntrico a 20 cm del centro de la rueda, perfectamente factible para una rueda de 85 cm de radio.

III. RESULTADOS PARCIALES DE LA INVESTIGACION

Se resumen aqui los resultados obtenidos en el curso de la investigación hasta el momento.

- Con un trabajo experimental y teórico, se mostró que es posible hacer ruedas de agua de fácil construcción y reparación, que pueden dar una eficiencia real de alrededor el 25%. Con este dato, se dimensionó la rueda en función de la velocidad del río.
- Después de experimentar con bombas, se decidió usar un conjunto de bombas de pistón en T, en configuración triplex. se dimensionaron las bombas en función de la velocidad del río.
- Basado en datos de velocidades obtenibles en los rios, y en consideraciones de necesidades, se decidió montar una primera estación de bombeo en el río Vaupés en frente de Villa

fátima. Esta estación surtirá agua al Puesto de Salud proyectado en esta población.

IV. ACTIVIDADES FUTURAS Y RESULTADOS ESPERADOS

IV.1 RELACIONADAS CON EL SITIO DE OPERACION

A finales del mes de Septiembre de 1981, se llevarán a cabo mediciones de velocidad en el rio Vaupés frente a Villafátima para determinar el sitio de anclaje del primer prototipo. También se hará la topografía necesaria para determinar la altura a la cual se necesita subir el agua. A partir de estos datos se puede proceder a dimensionar la rueda y las bombas.

IV.2 LA TURBINA

En poco tiempo se terminarán las mediciones de las características de la rueda III. Si el tiempo permite, se usará la teoría dada en el apendice para desarrollar un método más confiable en diseño para ruedas parcialmente sumergidas. De acuerdo a este método, se construirá otra rueda, y se determinarán sus características. Después se procederá a escoger definitivamente el tipo de la rueda. Si no hay tiempo suficiente para este proceso se escogerá el tipo de la rueda entre las primeras tres, basándose en datos de eficiencia y consideraciones de construcción.

IV.3 EL SISTEMA DE BOMBAS

Se terminarán las pruebas de la bomba de pistón en T para determinar su eficiencia mecánica, y para señalar posibles problemas de operación. Se hará el calculo de resistencia para el acoplaje de las bombas a la rueda.

IV.4 LA Balsa

Con el sistema turbina - bomba definido, se hará el diseño del sistema de flotación y el anclaje. Los problemas a re-solver son la de obtener la cantidad adecuada de flotación para garantizar una sumergencia determinada, y la de determinar los puntos de actuación de fuerzas de tal manera que resulta un equilibrio estable.

IV.5 DISEÑO FINAL, FABRICACION Y MONTAJE

Después de los pasos anteriormente descritos, se producirá el diseño final de la estación de bombeo. Se espera poder hacer la mayor parte de la fabricación en el sitio, con madera como unos de los principales materiales. En el momento se espera poder montar el primer prototipo alrededor de finales del año presente o principios de 1982.

NB : En este proyecto colaboran los señores Alberto Falla, Juan Carlos Galindo y Carlos Alvarez.

REFERENCIAS

1. W. A. M. Jansen

P. T. Smulders

"Rotor design for horizontal axis windmills". Publicación SWD 77-1; Amersfoort Holanda
Mayo 1977

2. H. Snel

"Unas contribuciones a la teoría de molinos de viento"
Publicaciones de la facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.
(Será publicado en Oct. 1981)

3. J. Botero

"Diseño y construcción de un control de límite de velocidad para un molino de viento de paso variable. Ensayos para hallar curvas de comportamiento". Universidad de los Andes, Ing. Mec. Tesis IM 81-1-20
Agosto 1981

4. W. Ovens

"A Design manual for Water Wheels". Vita Publications, 1975

5. P. J. Musgrave

I. D. Mays

"Development of the variable geometry vertical axis windmill".

Presentado en : Wind Energy Systems Congress, Amsterdam

Oct. 1978

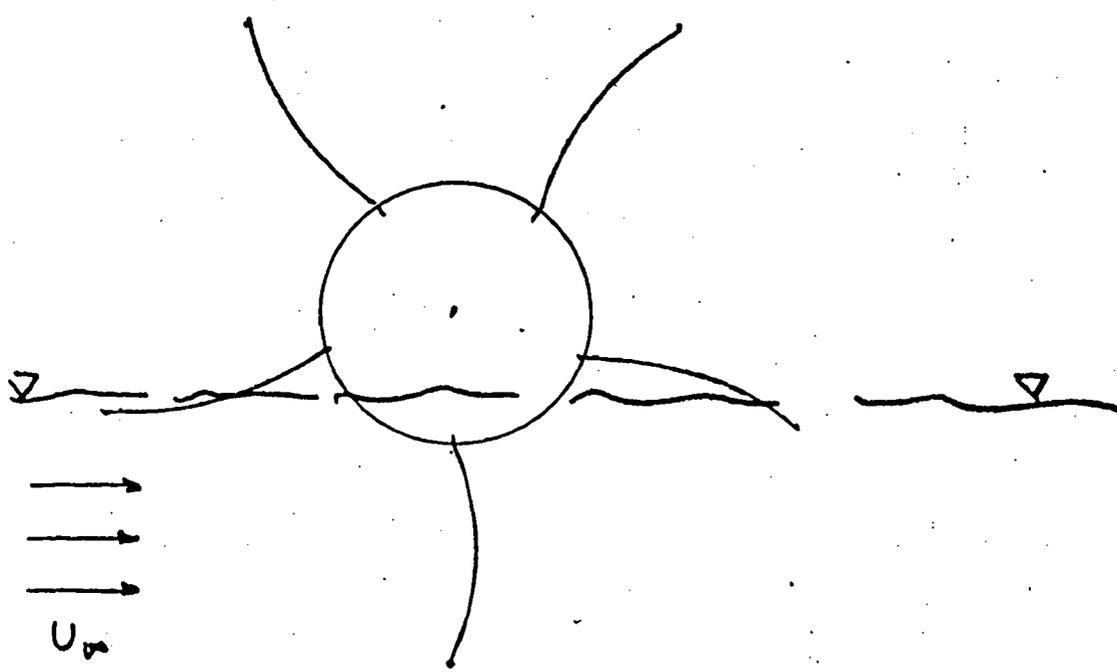


Figura 1. Rueda I

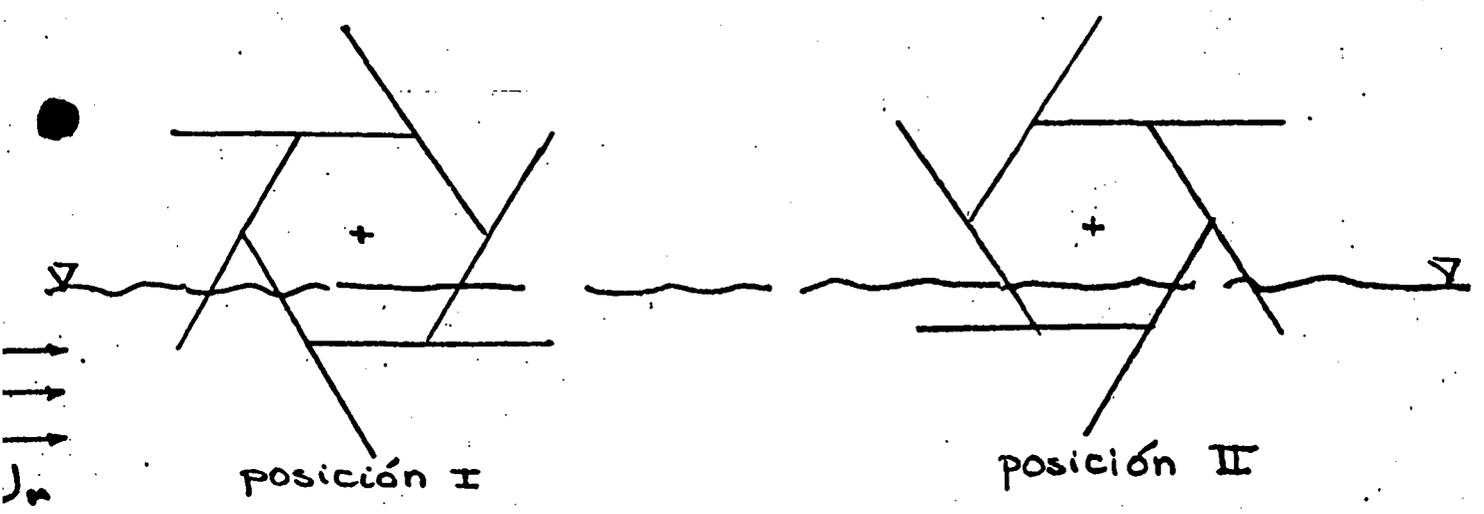


Figura 2 Rueda II.

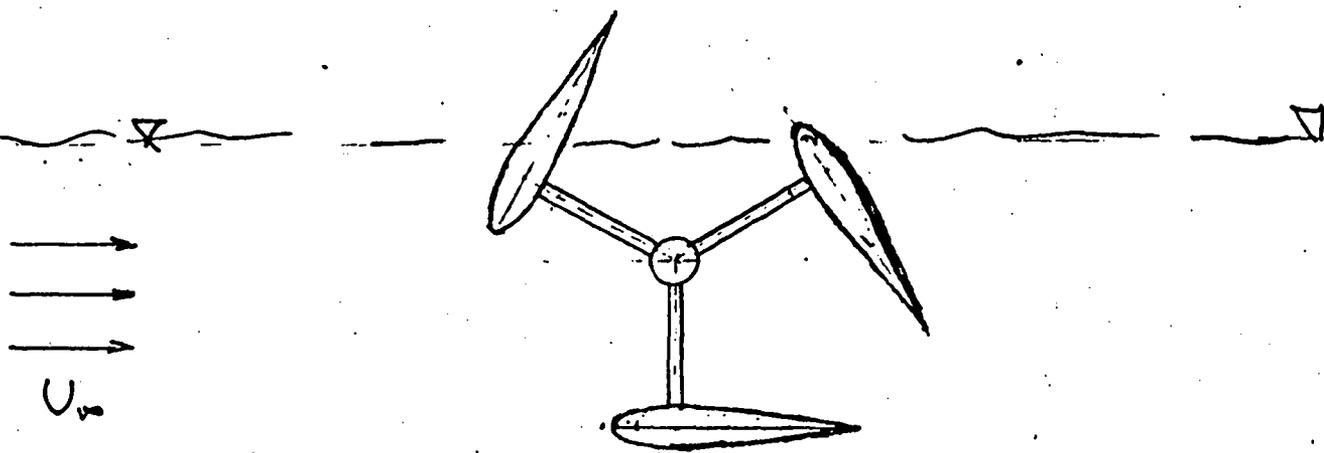


Figura 3 Rueda III

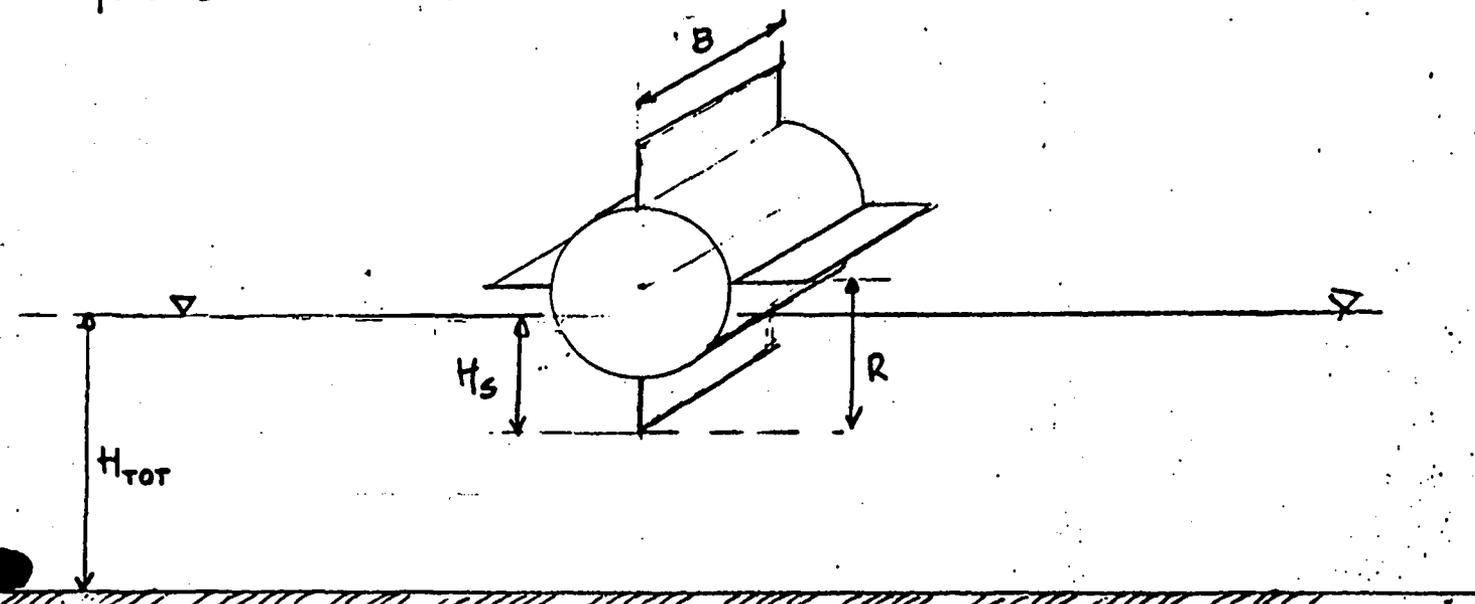


Figura 5. Definición de dimensiones

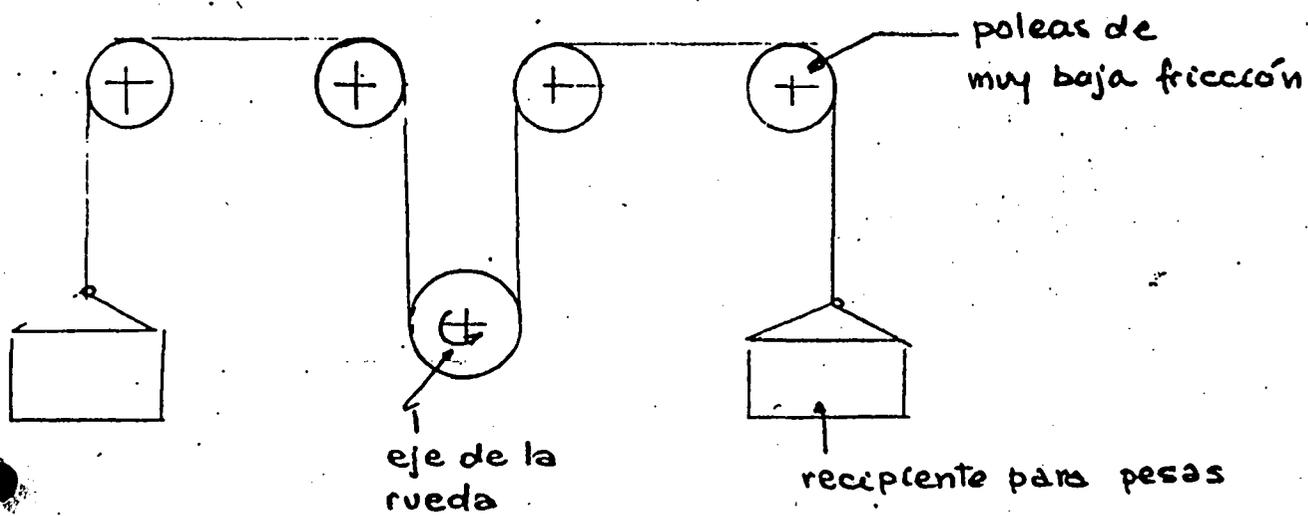


Figura 4. Torquímetro de precisión

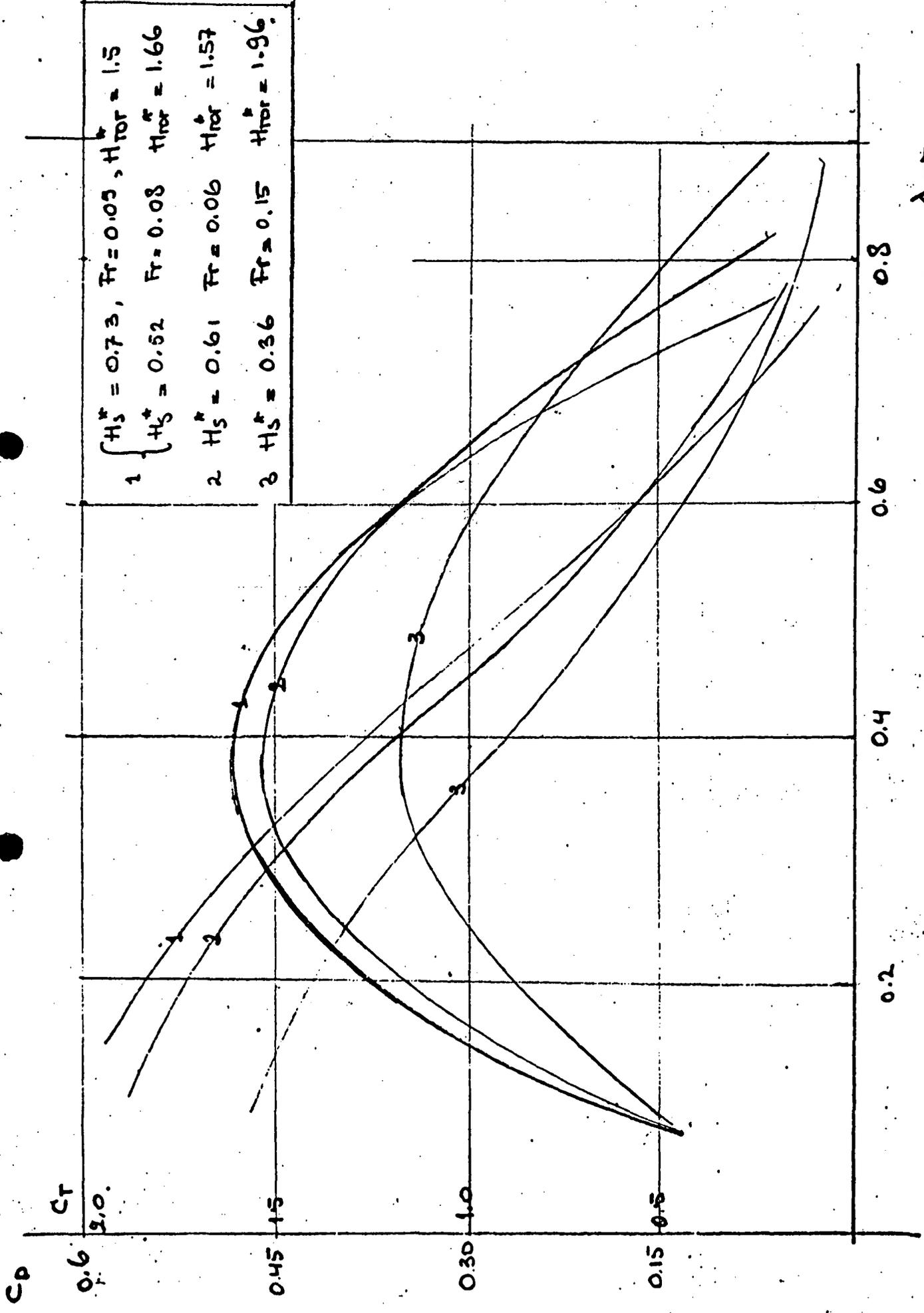


Figura 6. Características medidas rueda I.

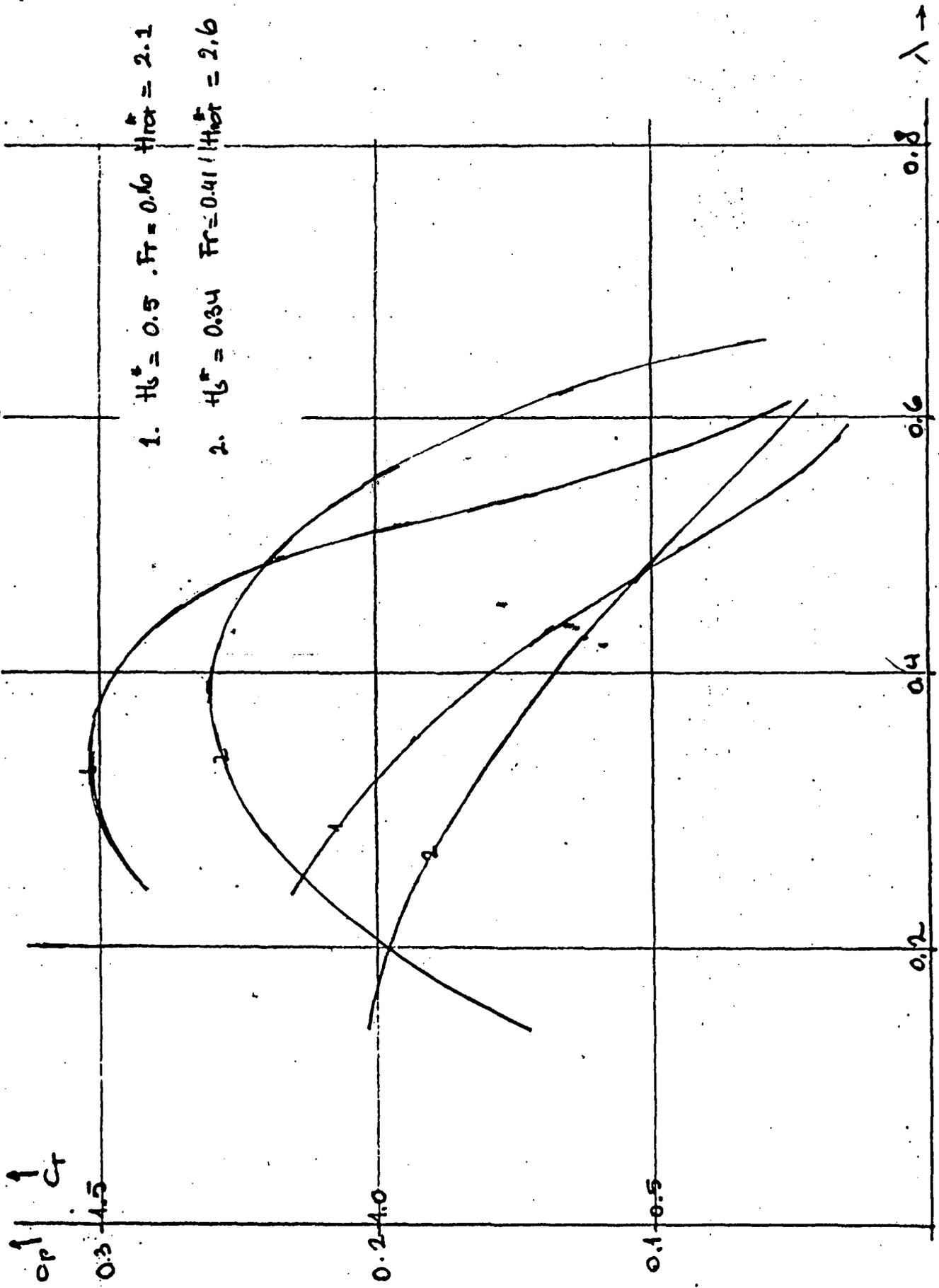


Figura 7. Características medidas; rueda II, posición I

1. $H_S^* = 0.53$, $Fr = 0.19$, $H_{hor} = 2$
2. $H_S^* = 0.46$, $Fr = 0.16$, $H_{hor} = 2$
3. $H_S^* = 0.56$, $Fr = 0.12$, $H_{hor} = 2$

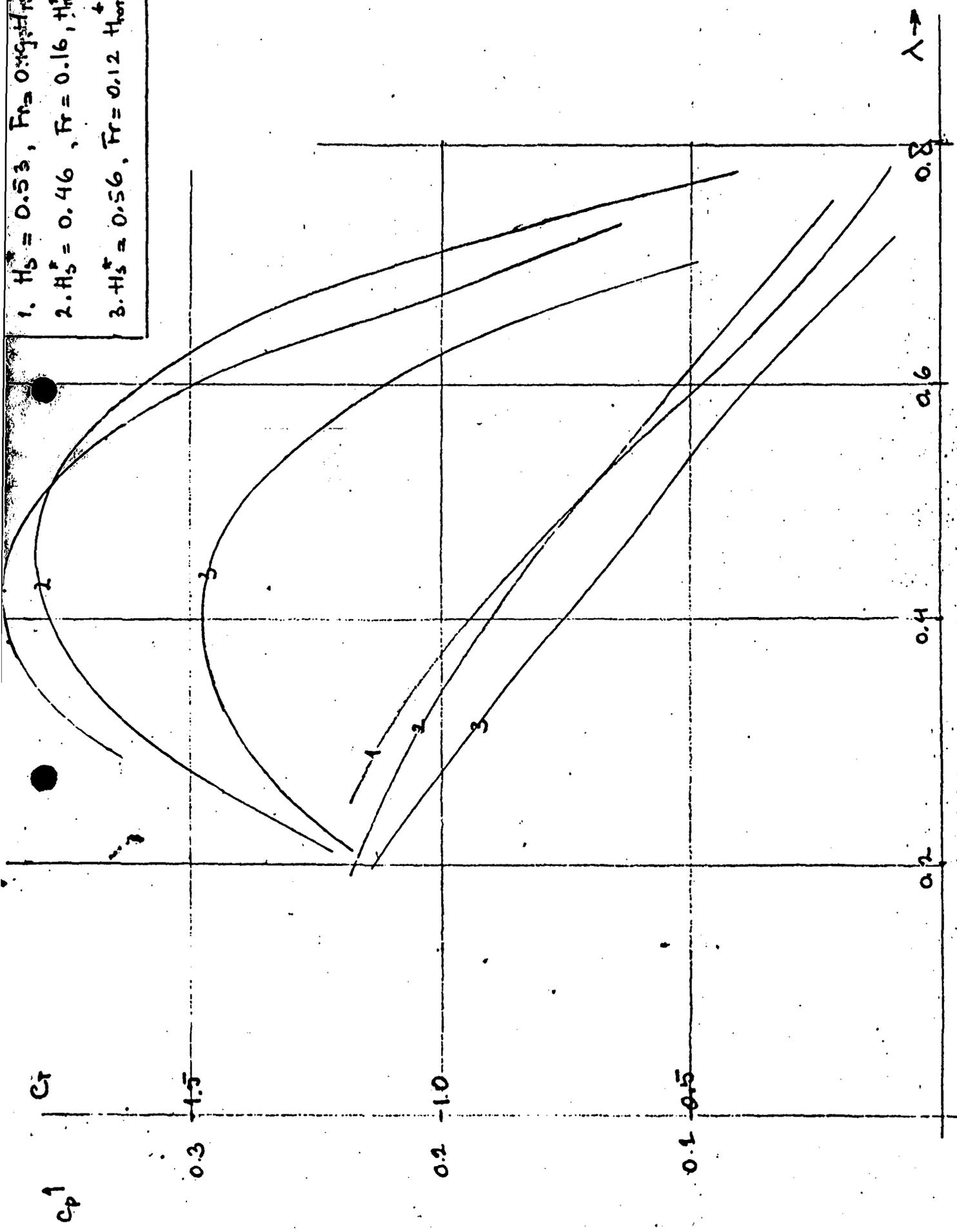


Figura 3. Características medidas rueda II, posición II

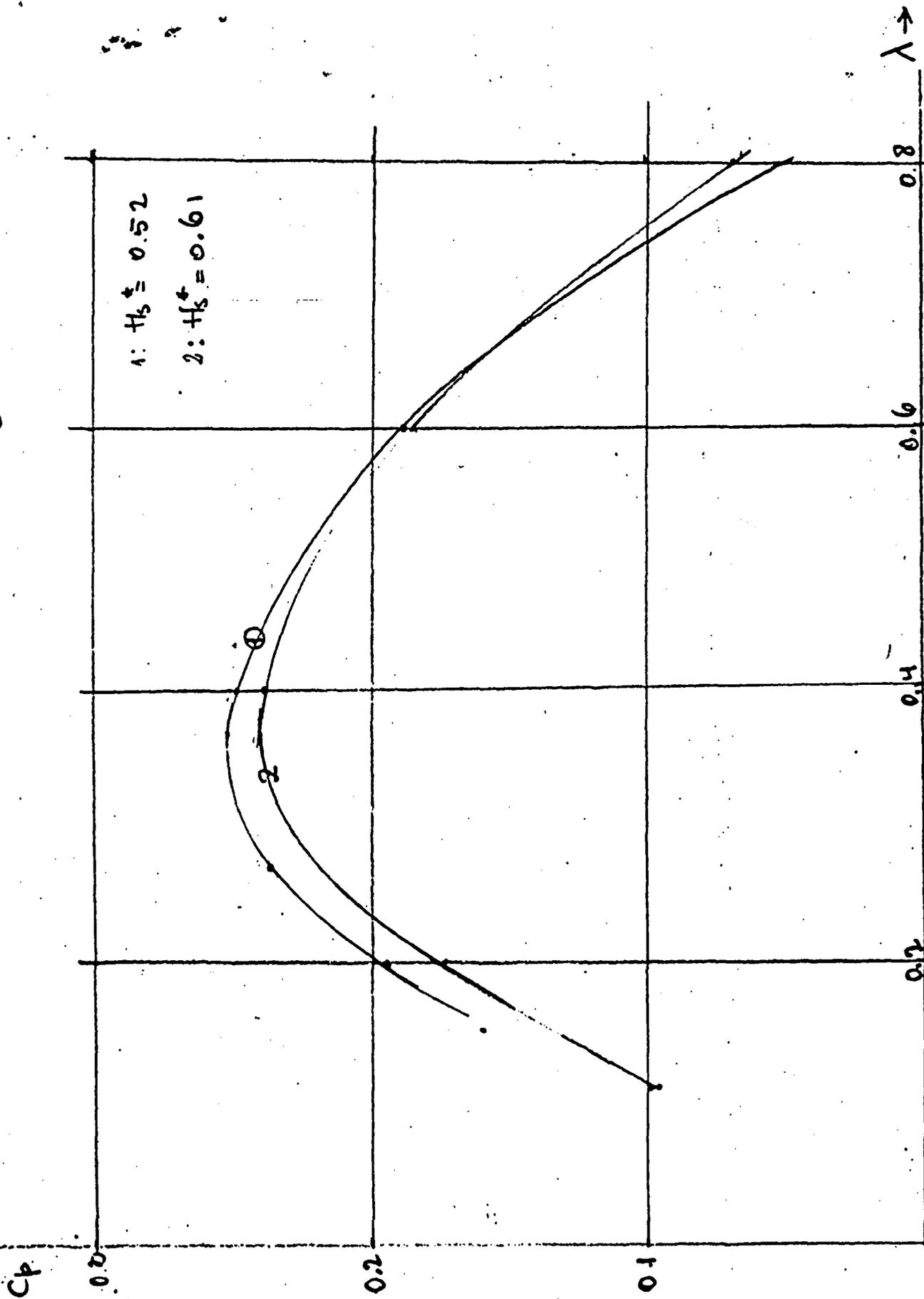


Figure 9: Características extrapoladas a $Fr = 0.08$ $H_{TOT} = 20$
Rueda I

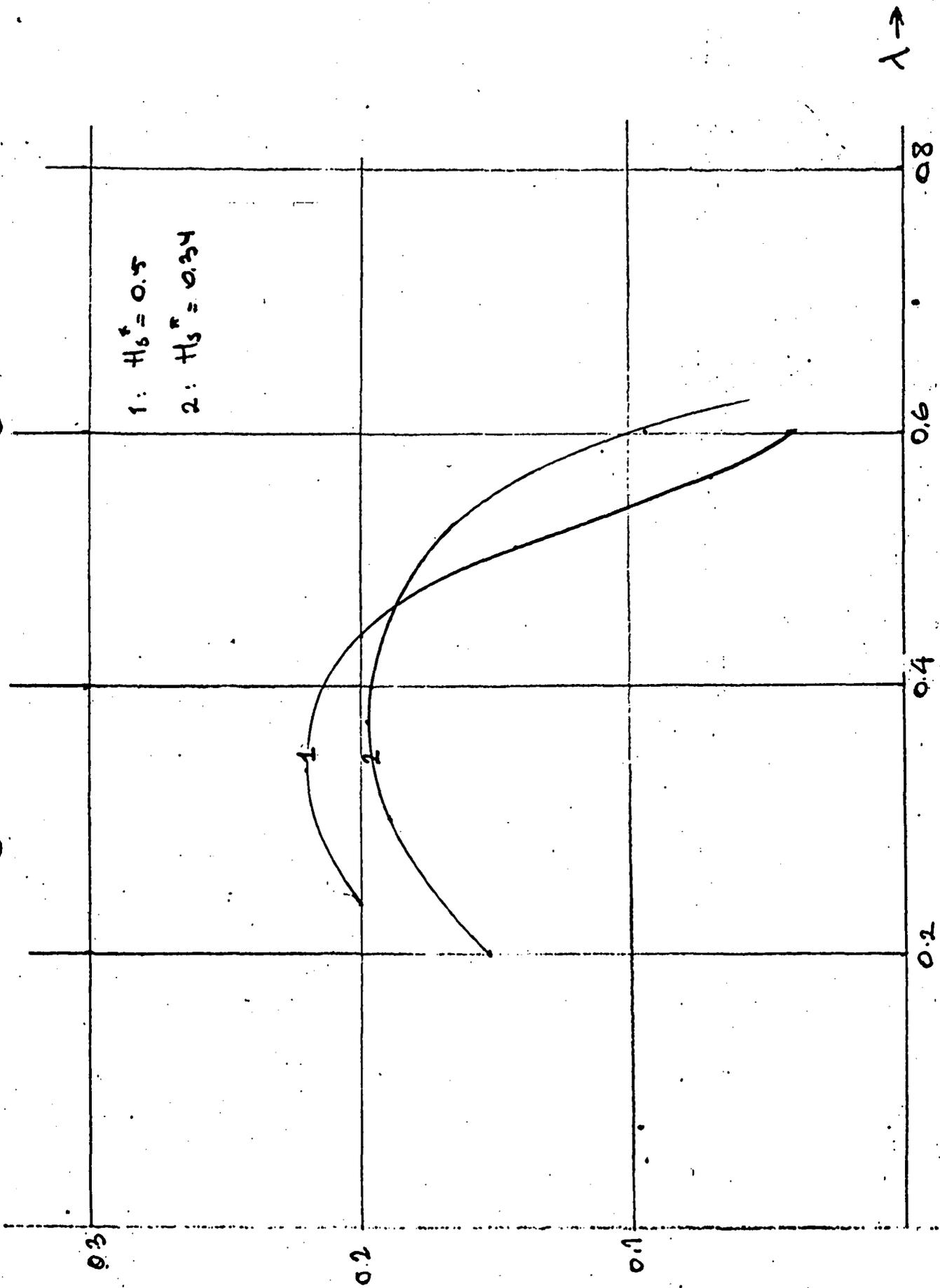


Figura 10 Características extrapoladas a $Fr = 0.08$, $tl_{01} = 20$
 Rueda II . posición I

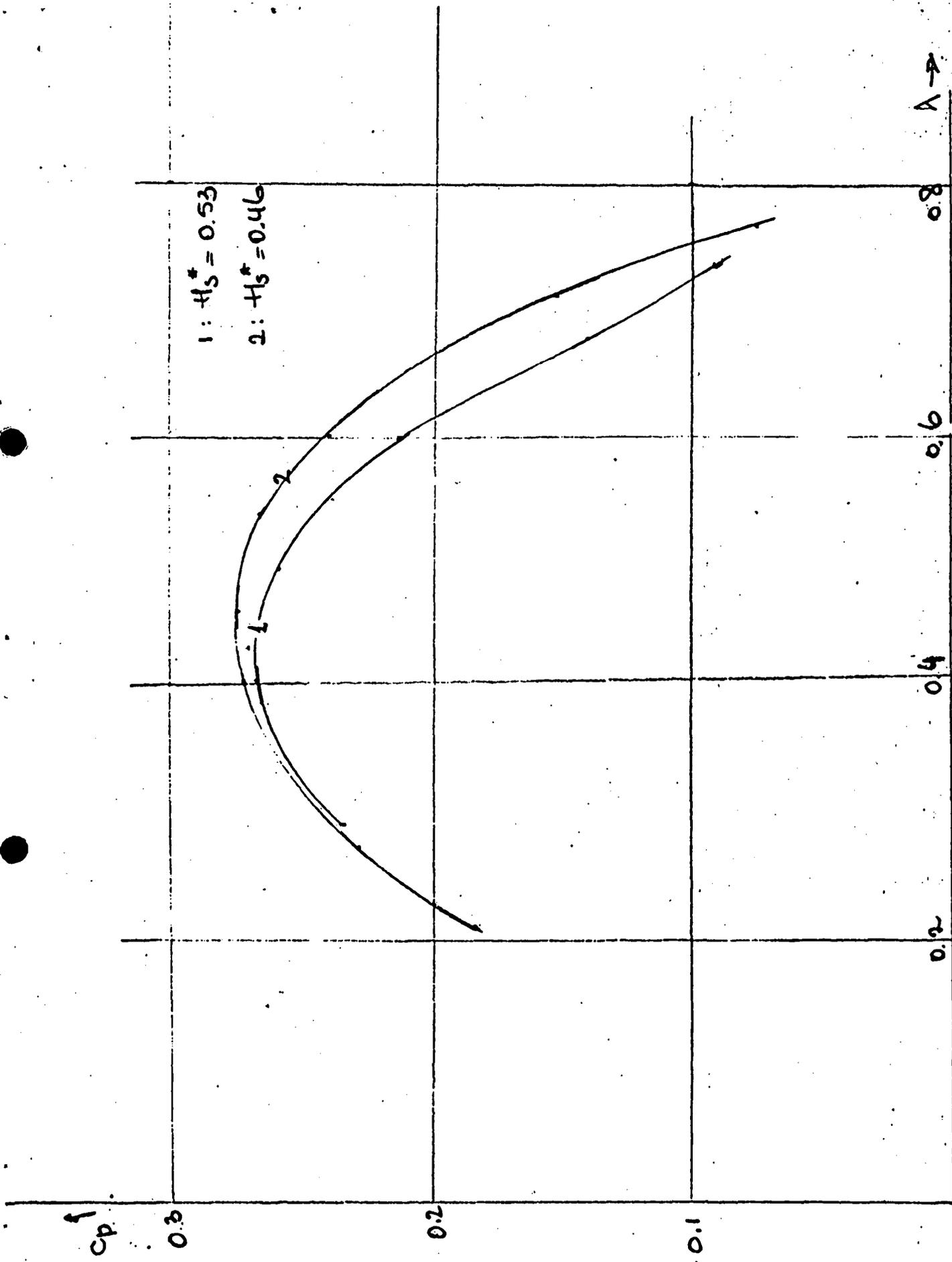


Figura 11. Características extrapoladas a $Fr = 0.08$ $H_{sgr} = 2.0$
 Rueda II, posición II.

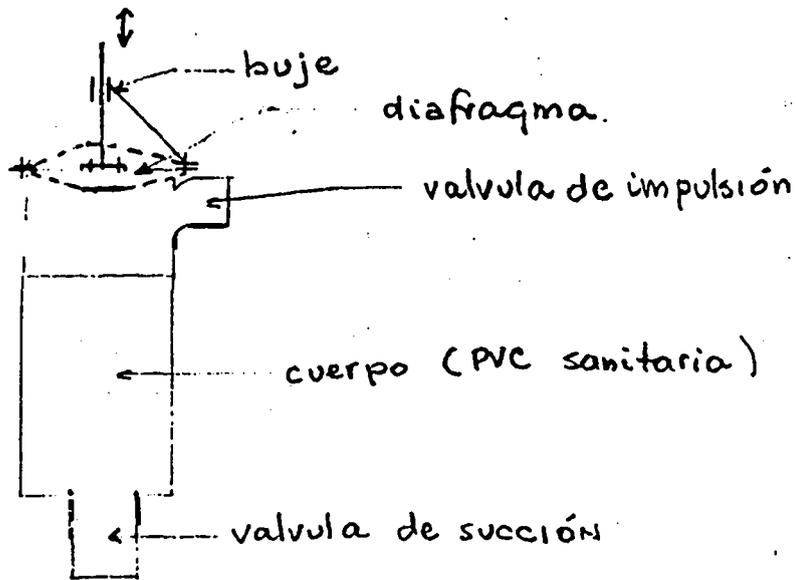


Figura 12. Esquema de la bomba de diafragma.

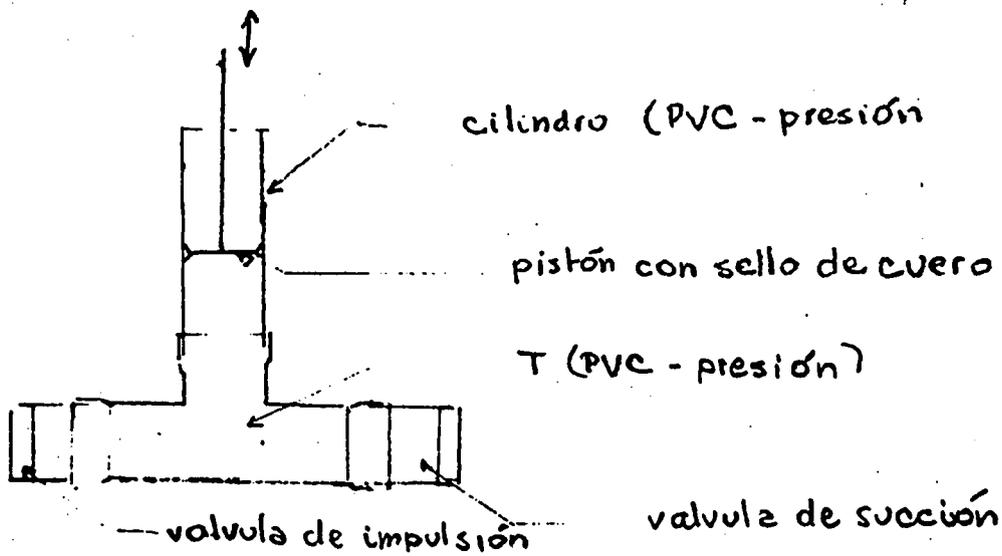


Figura 13. Esquema de la bomba en T

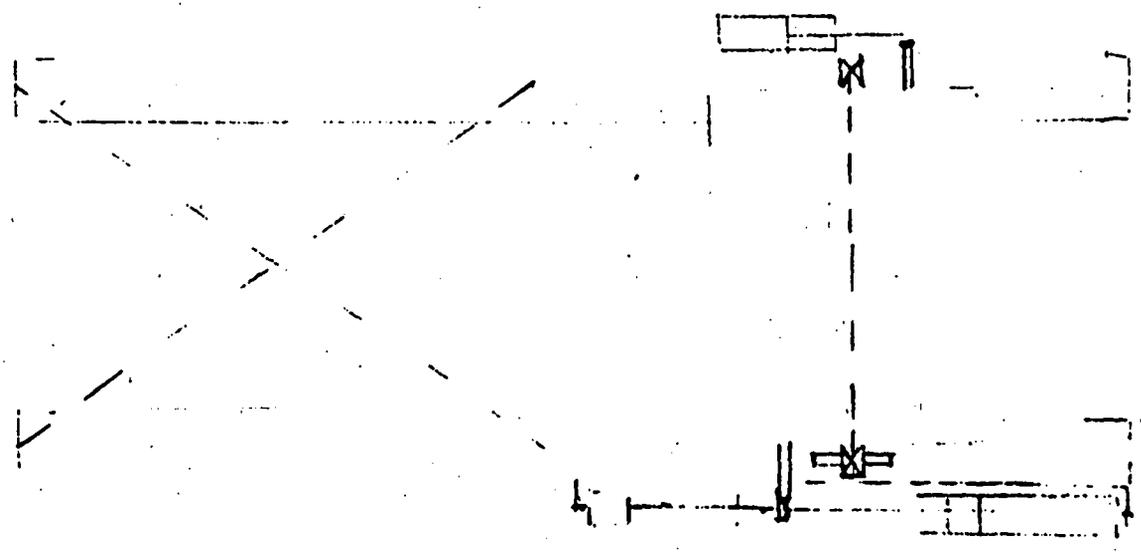
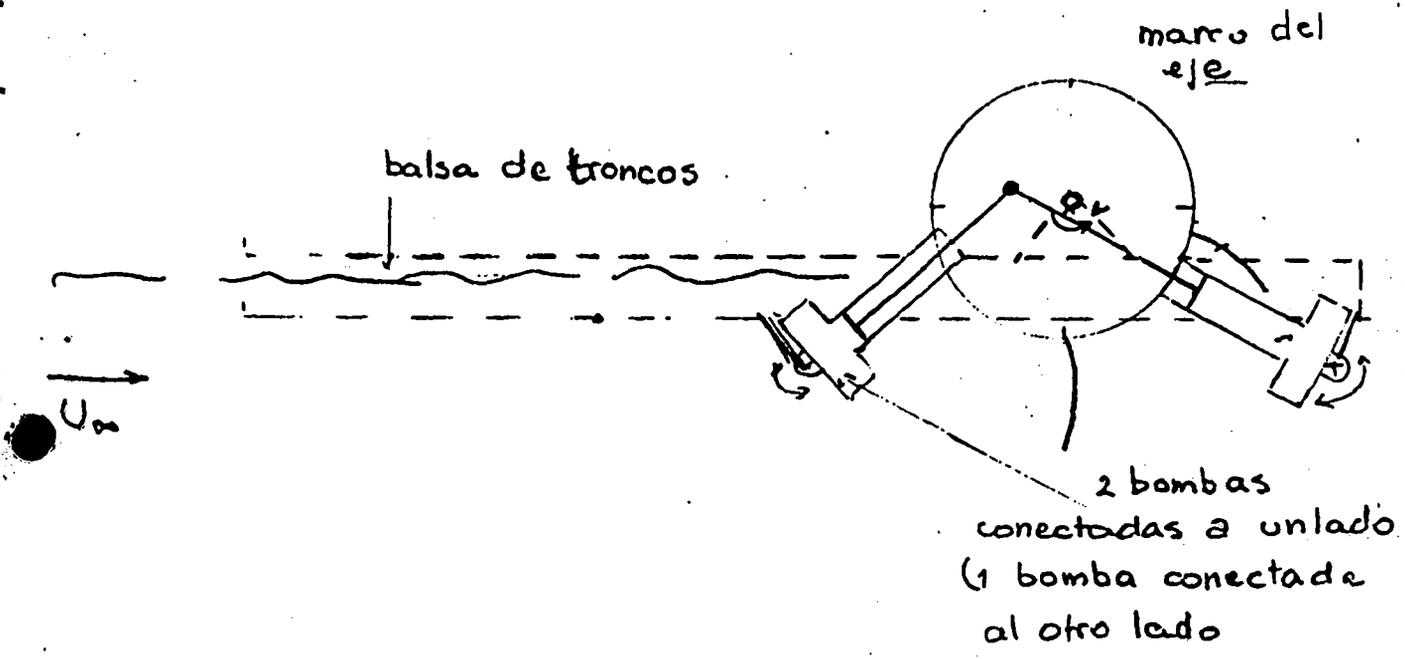


Figura 14. Esquema montaje del conjunto.

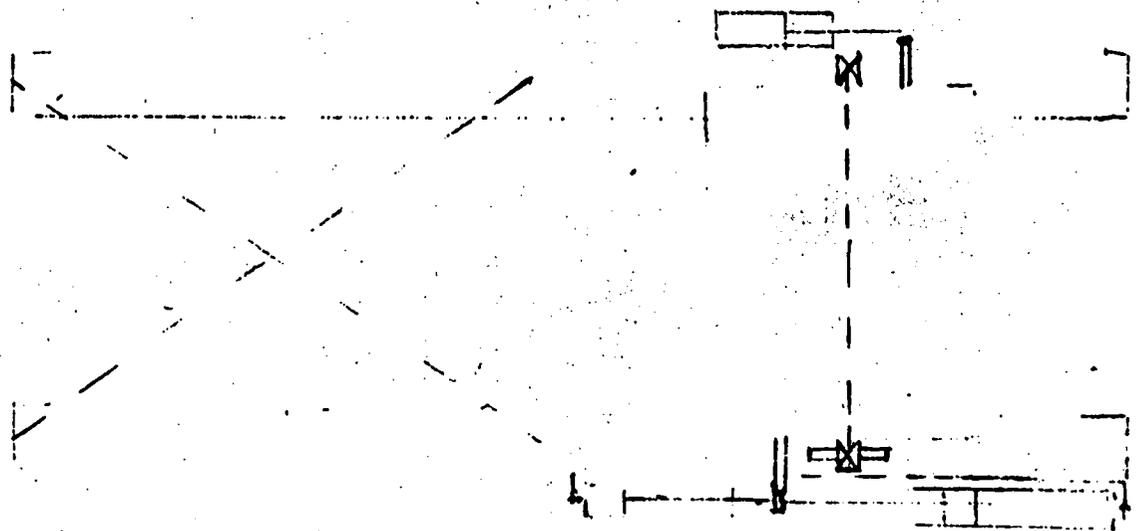
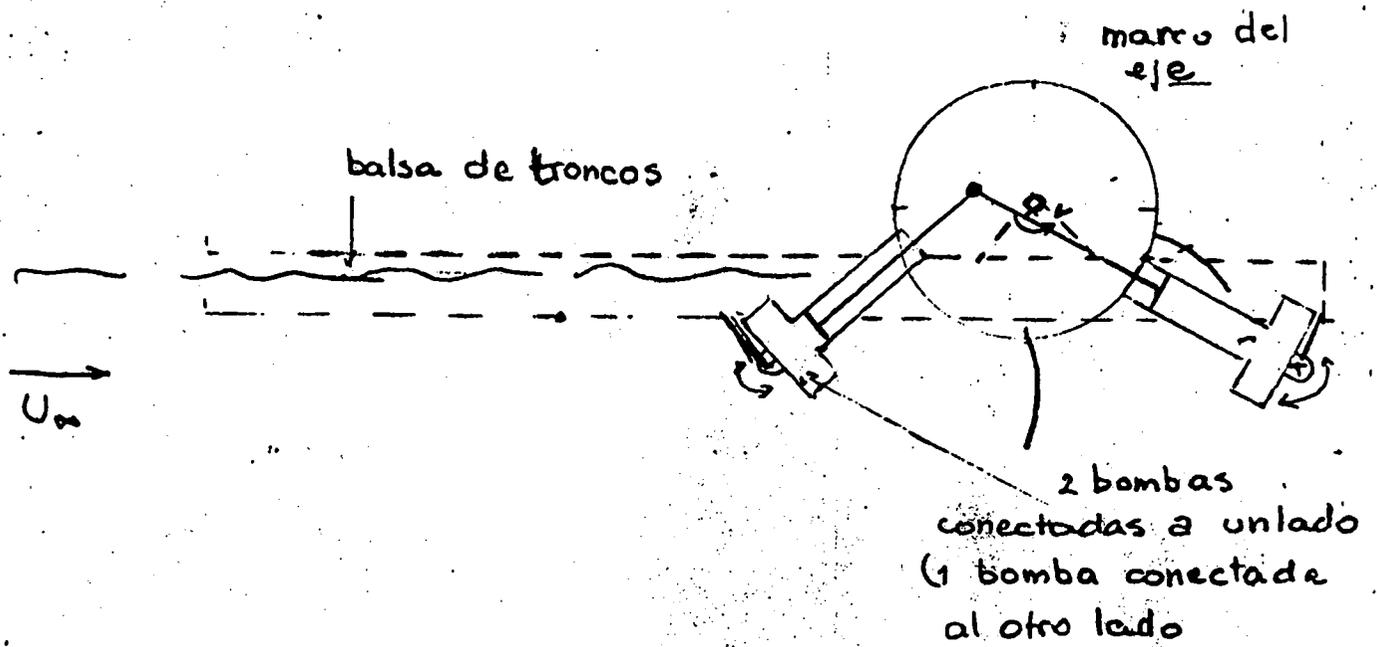


Figura 14. Esquema montaje del conjunto.