



BIBLIOTECA

623.819  
V112  
C-2

**Investigación y Diseño de un tanque de Pruebas  
para modelos de Buques para el Departamento de  
INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR**

**POR:**

**BOLIVAR VACA ROMO**

DIRECTOR DE TESIS

**T. J. NOLAN**

Ing. y Arq. Naval

D - 3975

**TESIS**

Sometida como Requerimiento Parcial para Obtener el TITULO de  
INGENIERO Y ARQUITECTO NAVAL

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

**1973**

4 FEB. 1974  
**DONACION**  
INGRESADO A INVENTARIO CON  
ORD. No. D-3976

**Investigación y Diseño de un tanque de Pruebas  
para modelos de Buques para el Departamento de  
INGENIERIA MARITIMA Y CIENCIAS DEL MAR**

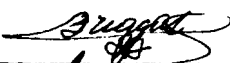
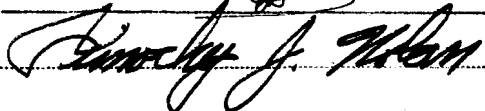
**TESIS**

Aprobada por el Departamento de Ingeniería Marítima y Ciencias  
del mar de la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Firma del Autor

Certificado

Aprobado

*El patrimonio intelectual de la presente  
Tesis de Grado pertenece a la ESCUELA SU  
PERIOR POLITECNICA DEL LITORAL*

*La responsabilidad por los hechos ideas  
y doctrinas expuestas en esta Tesis co-  
rresponden exclusivamente al Autor.*

*(Art. Sexto del Reglamento de Exámenes  
y Títulos Profesionales de la ESCUELA  
SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL.*

BOLIVAR VACA ROMO

Guayaquil, Noviembre de 1973

A MI PADRE

*Gerardo B. Vaca*

*En testimonio de gratitud filial*

A MI MADRE

*Beatriz Romo L.*

*Q.E.P.D.*

AGRADECIMIENTO.-

*Al Ing. T. J. Nolan, por su invalorable  
colaboración para la culminación de es-  
ta Tesis.*

## S I M B O L O S

$V/L$	Rango de velocidad de operación
$V$	Velocidad en pies/seg.
$L$	Eslora
$R_n$	Número de Reynolds
$\nu$	Viscosidad cinemática
$\nabla$	Volumen de desplazamiento
$\Delta$	Desplazamiento
$FV$	Froude volumétrico
$R$	Resistencia
$g$	Gravedad = 32.2 pies/seg .
62.2	Factor de conversión para agua dulce
$T^1$	Tensión del modelo
$T$	Tensión del cable
$P$	Peso
$m_p$	Masa del peso en slug
$a_p$	Aceleración del peso
$m_m$	Masa del modelo en slug
$a_m$	Aceleración del modelo
$V_p$	Velocidad del peso
$V_m$	Velocidad del modelo
$D_1$	Diámetro del polipasto
$D_2$	Diámetro del aro
$\Delta\theta$	Incremento angular

$\Delta t$	Incremento de tiempo
F	Fuerza
m	Masa
a	Aceleración
$dV/dt$	Derivada de velocidad con respecto a tiempo
K	Constante = $R/V_m^2$
C	Relación de diámetros = $D_1/D_2$
A	Artificio
B	Artificio
$\delta$	Velocidad = $V_m$ para cálculos
$\delta'$	Aceleración = $d\delta/dt$
$\delta^2$	Velocidad = $V_m^2$
t	Tiempo en segundos
S	Artificio = $\sqrt{AB}$
$V_{eq}$	Velocidad de equilibrio
y	Deflección del cable
X	Espacio recorrido
$L_m$	Eslora del modelo
$B_m$	Manga del modelo
H	Calado del modelo
$19^\circ 28'$	Angulo para diseño de olas
L	Longitud del canal
W	Ancho del canal



$h$	Profundidad del canal
$A_x$	Area seccional del modelo
$S$	Area seccional del canal
$C_{fm}$	Coefficiente friccional del modelo
$C_{rm}$	Coefficiente residual del modelo
$C_{tm}$	Coefficiente total del modelo
$R_{tm}$	Resistencia total del modelo
$C_{fb}$	Coefficiente friccional del buque
$C_{rb}$	Coefficiente residual del buque
$C_{tb}$	Coefficiente total del buque
$R_{tb}$	Resistencia total del buque
EHP	Caballaje efectivo
$C_a$	Corrección de rugosidad = 0.0004
$\rho$	Densidad del agua

## C O N T E N I D O

<i>Título</i>	<i>Pag.</i>
<i>Presentación</i>	
<i>Declaración expresa</i>	
<i>Dedicatoria</i>	
<i>Agradecimiento</i>	
<i>Símbolos</i>	
<i>Prólogo</i>	
<b>PRIMERA PARTE</b>	
<b>A.- Tanque de Pruebas provisional.</b>	
<b>1.- Diseño e Instrumentación</b>	<b>1</b>
<i>Restricciones</i>	
a.- <i>Rango de velocidad</i>	<b>1</b>
b.- <i>Flujo laminar</i>	<b>3</b>
c.- <i>Fuerza máxima</i>	<b>6</b>
d.- <i>Aceleración del sistema</i>	<b>15</b>
<i>Aplicación de límites para diferentes</i>	<b>28</b>
<i>tipos de buques</i>	
a.- <i>Planeador</i>	<b>30</b>
b.- <i>Buque de carga</i>	<b>30</b>
c.- <i>Yate Velero</i>	<b>31</b>
d.- <i>Pesquero</i>	<b>31</b>
<b>B.- Descripción del aparato</b>	<b>36</b>

1.- Poste para caída de peso	36
a.- Aro pequeño	36
b.- Poliprsto	37
2.- Sistema de montaje y templada	37
a.- Base	38
b.- Carro	38
c.- Manivela	38
3.- Mecanismo acoplador	39
a.- Tijeras	39
b.- Eslabón	39
c.- Análisis de deflexión del cable debido al acoplador	54
4.- Calibración del dinamómetro	56
C.- Instrucciones para armar y maniobrar el aparato	60
D.- Prueba del aparato con un Yate Velero	63
1.- Modelo	65
2.- Fotos	66
3.- Calibración de fricción	69
4.- Cálculo de aceleración del modelo	71
a.- Prueba	71
b.- Teórico	73
5.- Interpretación de datos obtenidos en la prueba	75
6.- Análisis de precisión del aparato	85

## SEGUNDA PARTE

A.-	<i>Justificación del Tanque de Pruebas del Departamento</i>	88
B.-	<i>Análisis de dimensionamiento del Tanque de Pruebas y elaboración de diagramas</i>	91
1.-	<i>Longitud del Tanque</i>	92
2.-	<i>Ancho del Tanque</i>	97
3.-	<i>Profundidad del Tanque</i>	100
4.-	<i>Area seccional del Tanque</i>	103
C.-	<i>Comparación de diagrama del estudio con datos empíricos y la Fórmula de Braun</i>	104
D.-	<i>Comparación del procedimiento para dimensionar un Tanque de Pruebas</i>	108
E.-	<i>Recomendaciones</i>	113
1.-	<i>Medición de cantidades</i>	115
a.-	<i>Velocidad</i>	116
b.-	<i>RPM</i>	116
c.-	<i>Fuerza</i>	116
d.-	<i>Torque</i>	117
2.-	<i>Lista de especificaciones</i>	118
a.-	<i>Canal</i>	118
b.-	<i>Carro eléctrico</i>	118
c.-	<i>Equipos e Instrumentos</i>	118
d.-	<i>Taller de instrumentación</i>	119

## APENDICES

- 1.- *Datos sobre algunos Tanques de Pruebas*
- 2.- *Presupuesto del aparato para pruebas de modelos*
- 3.- *Variación de densidad y viscosidad cinemática con la temperatura*
- 4.- *Programa de Computación para el análisis de la dinámica del sistema*
- 5.- *Programa de Computación para cálculo de coeficientes de propulsión y resistencia, potencia*

## BIBLIOGRAFIA

## P R O L O G O

La FINALIDAD de esta Tesis encierra varios aspectos que se los puede clasificar de la siguiente manera:

a.- Desarrollar una METODOLOGIA GENERAL para determinar el dimensionamiento de Tanques de Pruebas aplicables a otros análisis y por consiguiente proporcionar al proyectista todas las facilidades necesarias.

En nuestra aplicación específica demostramos la derivación e interacción de las varias etapas a seguirse en el dimensionamiento de un Tanque de Pruebas para el Departamento de Ingeniería Marítima y Ciencias del Mar.

Por otra parte hay que tener en cuenta, que si bien es cierto existen varios estudios y fórmulas para dimensionar tanques, ninguno hace un análisis completo de todos los parámetros necesarios, en cambio en este estudio se parte de datos que son los más comúnmente conocidos tales como: Rango de Velocidad de Operación, Coeficientes de Formas, Categorías de Barcos, etc., y se obtienen todas las dimensiones principales para un Tanque de Pruebas.

La eficiencia de esta metodología desarrollada ha sido comprobada tomando como ejemplo una categoría de barco ( Buque de carga) con sus principales características entre ellas las anteriormente nombradas.

b.- CONSTRUIR un aparato para pruebas con modelos de barcos, sobre este t**ó**pico podemos hacer ac**á**p**í**te, que siendo un aparato sencill**o** no tie**n**e la precisi**ó**n obtenible con sistema de carro el**é**ctrico y medidores electr**ó**n**í**c**o**s que cuestan miles de d**ó**la**r**es, pero en cambio tiene la misma capacidad para realizar demostraciones cualitativas y adem**á**s, sirva para familiarizar al estudiante con los procedimientos y c**á**l**cu**los relacionados con ensayos HIDRODINAMICOS.

Las pruebas que se realizan con este aparato son para modelos no au**t**opropulsados para obtener valores de resistencia y velocidad.

En cambio para objetivos de investigaci**ó**n cuantitativa y aplicaci**o**nes comerciales, no tiene aplicaci**ó**n debido a que carece de la precisi**ó**n del sistema de carro el**é**ctrico El cual es insuperable.

De aqu**í** se puede concluir que es de necesidad imperiosa que el Departamento de Ingenier**í**a Mar**í**tima y Ciencias del Mar cuente con un Tanque de Pruebas y con personal entrenado para asegurar su operaci**ó**n efectiva en el servicio en nuestro Pa**í**s con un futuro netamente mar**í**timo.

## PRIMERA PARTE

### A.- TANQUE DE PRUEBAS PROVISIONAL.-

#### 1.- DISEÑO E INSTRUMENTACION DE SISTEMAS DE REMOLQUE Y MEDICION PARA UN TANQUE DE PRUEBAS EXPERIMENTAL Y PROVISIONAL EN LA PISCINA.-

Previo al diseño e instrumentación de los sistemas de remolque y medición tomamos en cuenta las "RESTRICCIONES" sobre VELOCIDAD Y ESLORA DEL MODELO, dichas restricciones son:

- a.- Rango de Velocidad del modelo en función de  $V/\sqrt{L}$
- b.- Flujo laminar en función de número de Reynolds ( $R_n$ )
- c.- Fuerza máxima del sistema para cada tipo de modelos de buques en función de  $L/\nabla^{1/3}$
- d.- Aceleración del sistema en base al Análisis de la Dinámica del sistema y en función de  $L/\nabla^{1/3}$

#### a.- Rango de Velocidad del modelo en función de $V/\sqrt{L}$ .-

Para este cálculo hemos asumido rangos de  $V/\sqrt{L}$  para diferentes tipos de buques, luego en función de esta relación y tomando varios valores de velocidad podemos obtener las esloras del modelo, en nuestro estudio consideramos hasta modelos de 15 pies debido a que las pruebas se realizarán en la piscina y sus dimensiones restringen el uso de modelo más grandes.

Los valores seleccionados de  $V/\sqrt{L}$  varían en un rango de .3-5.0 y los valores de velocidad de 0-12 pies/seg.

Para graficar los perfiles de  $V/\sqrt{L}$  calculamos L en función de  $V/\sqrt{L}$  y luego con V y L obtenemos la Figura # 2.





FORMULA PARA CALCULAR ESLORA.-

$$\frac{V}{\sqrt{L}} = X \qquad L = \frac{V^2}{X^2}$$

Donde:

L = Eslora en pies

V = Velocidad en nudos

X = Razón de  $V/\sqrt{L}$

Para los gráficos de perfiles en la Fig. # 2, tomamos valores de X (razón de  $V/\sqrt{L}$ ) desde 0.3 hasta 5.0 y velocidad de 0 - 12 pies/seg, y como según la fórmula la velocidad es en nudos, todos los valores de V tendremos que dividir por el factor de conversión que es 1.689 o sea tenemos

$$V \text{ (nudos)} = \frac{V \text{ (pies)}}{1.689}$$

b.- Flujo Laminar en función del número de Reynolds ( $R_n$ ).-

En pruebas de modelos hay que tener en cuenta si el flujo es laminar o turbulento, sucediendo a veces que bajo ciertas condiciones el flujo de agua a lo largo del modelo es laminar mientras que siempre es turbulento a lo largo del buque.

Para definir la zona de transición de flujo hemos asumido varios valores de número de Reynolds, debido a que el número de Reynolds sirve como un criterio para indicar el punto en el cual un flujo turbulento se

rá exep tuado y existe varios métodos para estimular el flujo turbulento a velocidades más bajas.

La Fig. # 3, de los perfiles de  $R_n$  (número de Reynolds) la obtenemos calculando primero las esloras a partir de cada  $R_n$  asumido y para los varios valores de velocidad (0 - 12 pies/seg) y luego con  $L$  y  $V$  graficamos los perfiles de  $R_n$ .

FORMULA DE NUMERO DE REYNOLDS.-

$$R_n = \frac{V \times L}{\nu}$$

$$L = \frac{R_n \times \nu}{V}$$

Donde:

$R_n$  = Número de Reynolds

$V$  = Velocidad en pies/seg

$L$  = Eslora en pies

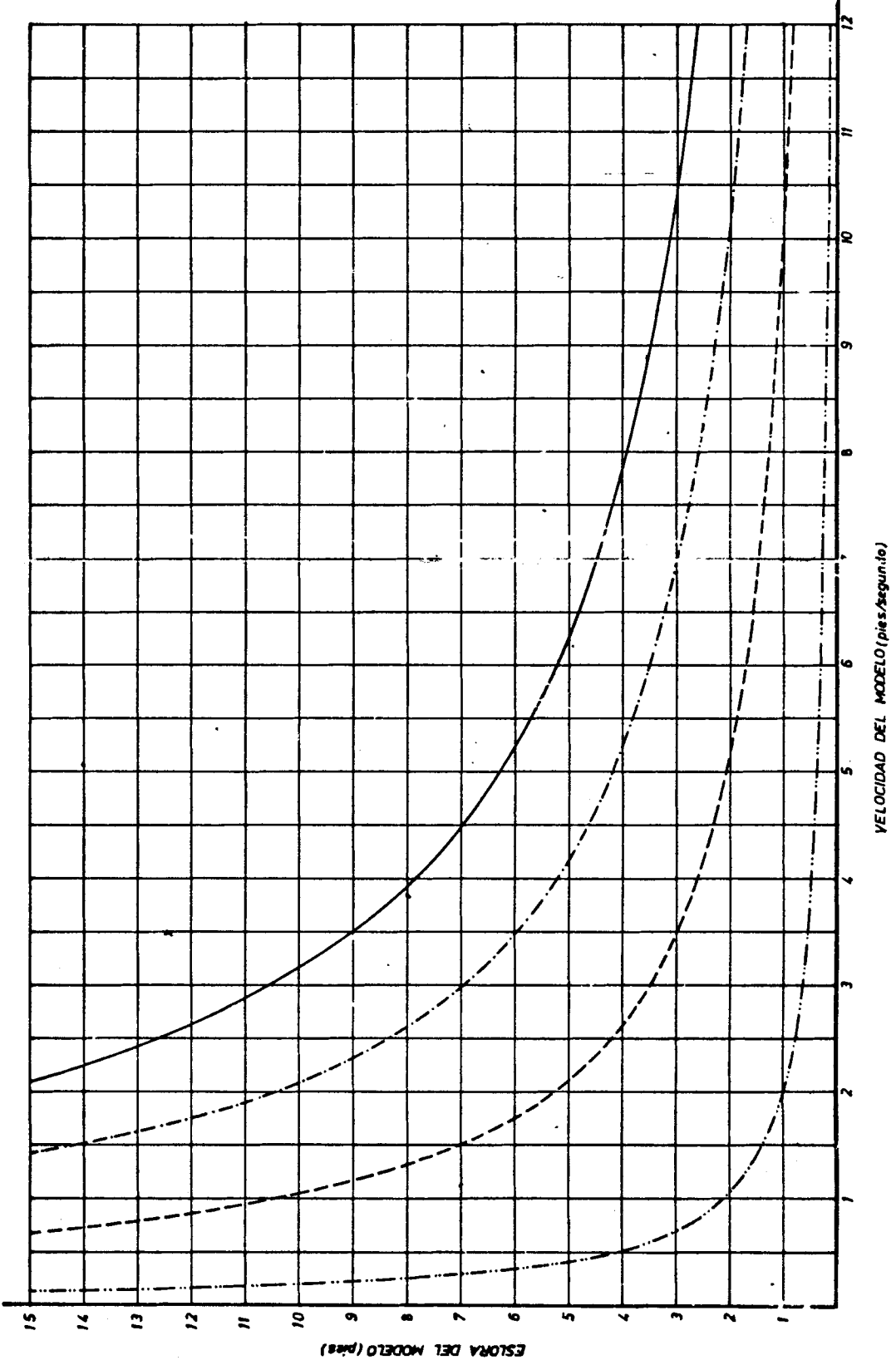
$\nu$  = Viscosidad cinemática en pies<sup>2</sup>/seg.

La viscosidad cinemática está dada en función de la temperatura, para nuestro caso la temperatura ambiental del tanque de pruebas es aproximadamente 70°F luego  $\nu = 1.05 \times 10^{-5}$  pies /seg.

Los 4 perfiles obtenidos en la Fig. # 3, corresponden a los siguientes números de Reynolds:  $2 \times 10^5$ ,  $1 \times 10^6$ ,  $2 \times 10^6$  y  $3 \times 10^6$ , dentro de estos límites de  $R_n$  se puede considerar la zona aceptable y no aceptable o sea se define la zona de transición.

CURVAS DE NUMERO DE REYNOLDS

Fig. 3



De estos cálculos obtenemos valores de L que varían de 0 - 15 pies.

c.- Fuerza máxima del sistema para cada tipo de modelos de buques en función de  $L/\nabla^{1/3}$  .-

Primeramente calculamos la resistencia para modelos que tienen la mínima eslora cuyos valores se encuentran en la Tabla N° 1.

T A B L A N° 1

RESISTENCIA PARA MODELOS DE MINIMA ESLORA

TIPO BUQUE	V/√L Rango	Lmin. pies	L/√ <sup>3</sup> Típica	Δ lbs.	v pie/seg.	F <sub>v</sub>	R/Δ	RESISTENCIA lbs.
PLANEADOR	.8-3.5	4.0	6.00	17.81	12.0	2.60	.129	2.297
BUQUE DE CARGA	.5-1.2	5.5	5.70	54.92	4.75	0.85	.0214	1.175
YATE (VELERO)	.5-1.4	5.5	4.35	124.16	5.55	0.87	.0416	5.165
PESQUERO	.4-1.2	6.2	5.00	118.36	5.05	0.80	.0225	2.663
DESTRUCTOR	.6-2.0	4.8	8.30	11.98	7.45	1.72	.064	0.767

1.- Rango de operación ( $V/\sqrt{L}$ ) para diferentes tipos de buques.-

Para cada tipo de buque asumimos un rango de operación como se ve en la Tabla N° 1.

2.- Cálculo de Eslora mínima (L MIN) en función de  $V/\sqrt{L}$  y  $R_n$  .-

Con cada valor de  $V/\sqrt{L}$  menor y  $R_n = 1 \times 10^6$  constante entramos en

la Fig. # 6, y obtenemos: ( $R_N = 1 \times 10^6$  zona de transición para L mín).

TIPO DE BUQUE	$V/\sqrt{L}$	$R_N$	L Mín. (pies)
PLANEADOR	.8	$1 \times 10^6$	4.0
BUQUE DE CARGA	.5	$1 \times 10^6$	5.5
YATE (VELERO)	.5	$1 \times 10^6$	5.5
PESQUERO	.4	$1 \times 10^6$	6.2
DESTRUCTOR	.6	$1 \times 10^6$	4.8

3.- Los valores típicos de  $L/\nabla^{1/3}$  son asumidos para cada tipo de buque como se ve en la Tabla N° 1.-

4.- Cálculo de desplazamiento en Lbs ( $\Delta$ ).-

TIPO DE BUQUE	$L/\nabla^{1/3}$	L mín.	$\nabla^{1/3}$	$\nabla$	$\Delta \approx \nabla \times 62.2$
PLANEADOR	6.00	4.0	0.66	$(.66)^3$	17.81
BUQUE DE CARGA	5.70	5.5	0.96	$(.96)^3$	54.92
YATE (VELERO)	4.35	5.5	1.26	$(1.26)^3$	124.16
PESQUERO	5.00	6.2	1.24	$(1.24)^3$	118.36
DESTRUCTOR	8.30	4.8	0.578	$(.578)^3$	11.98

5.- Cálculo de velocidad (pies/seg).-

De la Fig. # 2, obtenemos los valores de velocidad con el rango mayor de  $V/\sqrt{L}$  y L mínimo.

TIPO DE BUQUE	$V/\sqrt{L}$	L mfn.	V (pies/seg)
PLANEADOR	3.50	4.0	12.00
BUQUE DE CARGA	1.20	5.5	4.75
YATA (VELERO)	1.40	5.5	5.55
PESQUERO	1.20	6.2	5.05
DESTRUCTOR	2.00	4.8	7.40

6.- Cálculo de Froude volumétrico (FV).-

La fórmula de FV es la siguiente:

$$FV = \frac{V}{\sqrt{g \nabla^{1/3}}}$$

Donde:

FV = Froude Volumétrico

V = Velocidad en pies/seg.

g = Gravedad en pies/seg<sup>2</sup> (32.2)

= Volumen en pies cúbicos

TIPO DE BUQUE	V	$\nabla^{1/3}$	FV
PLANEADOR	12.00	0.66	2.60
BUQUE DE CARGA	4.75	0.96	0.85
YATE (VELERO)	5.55	1.26	0.87
PESQUERO	5.05	1.24	0.80
DESTRUCTOR	7.40	0.58	1.72

7.- Cálculo de resistencia sobre desplazamiento (R/Δ).-

Para obtener los valores correspondientes de R/Δ entramos en la Fig. # 1 , y con los valores de  $L/\nabla^{1/3}$  y FV encontramos R/Δ , para estos cálculos se hará algunas extrapolaciones:

TIPO DE BUQUE	$L/\nabla^{1/3}$	FV	R/Δ
PLANEADOR	6.00	2.60	0.1290
BUQUE DE CARGA	5.70	0.85	0.0214
YATE (VELERO)	4.35	0.87	0.0416
PESQUERO	5.00	0.80	0.0225
DESTRUCTOR	8.30	1.72	0.0640

8.- Cálculo de resistencia en Lbs.-

$$R/\Delta = X$$

$$R = \Delta \cdot X$$

Dónde:

R = Resistencia en libras

Δ = Desplazamiento en libras

X = Razón de R/Δ

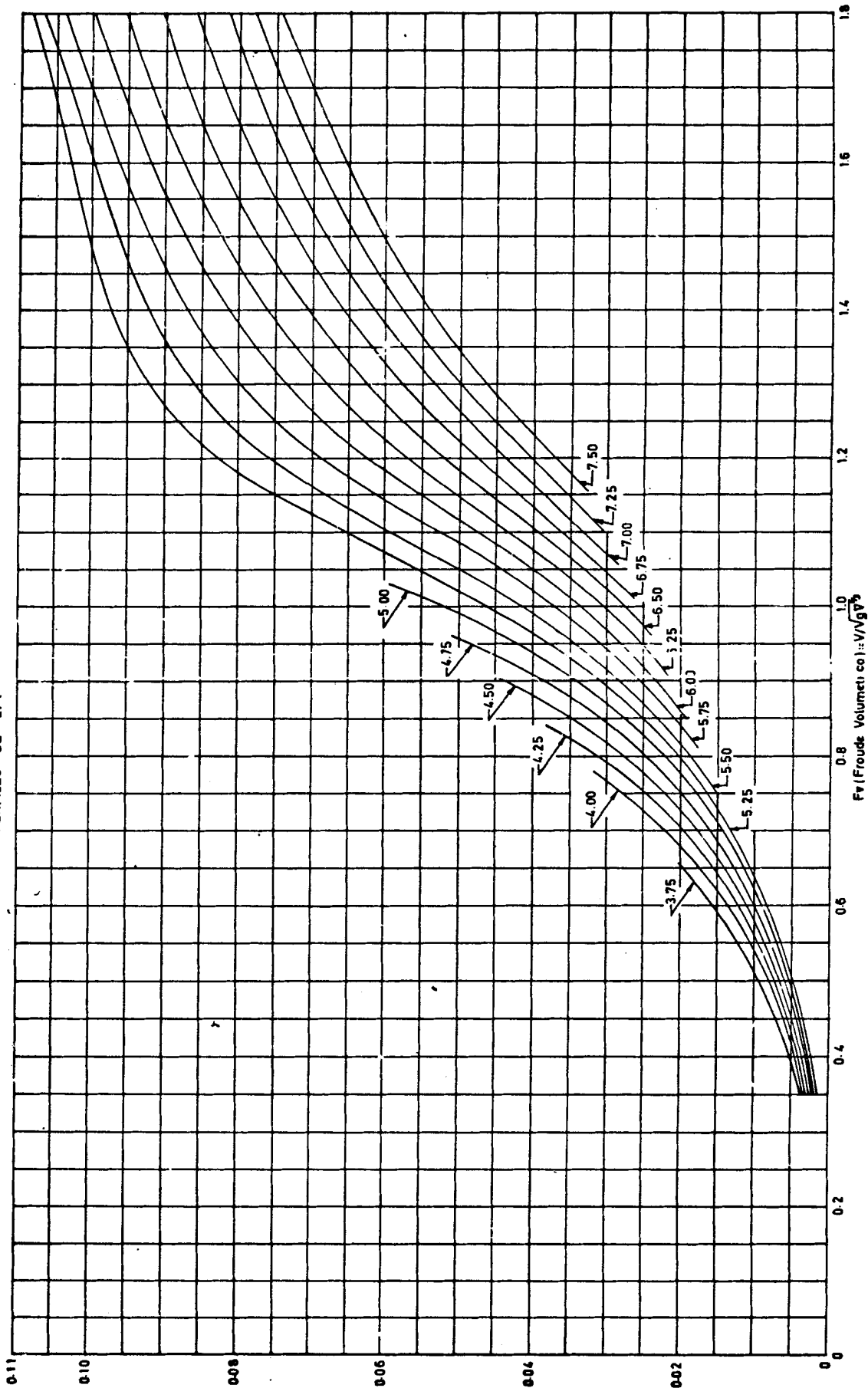
TIPO DE BUQUE	Δ	X	R (Lbs)
PLANEADOR	17.81	0.1290	2.297
BUQUE DE CARGA	54.92	0.0214	1.175
YATE (VELERO)	124.16	0.0416	5.165



RESISTENCIA EN EMBARCACIONES DE FONDO REDONDO

Fig. 1

PERFILES DE  $L/V^3$



PESQUERO	118.36	0.0225	2.663
DESTRUCTOR	11.98	0.0640	0.767

Los cálculos obtenidos en la Tabla N°1, nos sirven de estudio preliminar puesto que nos permite determinar la fuerza requerida para modelos de eslora mínima. Es decir que obtenemos la FUERZA MÍNIMA del sistema la cual nos permite probar el modelo más chico en todo su rango de velocidad  $(V/\sqrt{L})$ . Si el sistema no alcanza a producir la Fuerza Mínima requerida no es posible probar el modelo más chico en su mayor velocidad y si achicamos el modelo para realizar la prueba de mayor velocidad con la Fuerza disponible del sistema, el modelo será demasiado pequeño en su menor velocidad y sufrirá efectos laminares. Por lo tanto la Fuerza Mínima nos define la capacidad del sistema limitado a operar con los modelos más pequeños.

Tenemos como ejemplo ilustrativo el caso de un modelo de planeador, tenemos una fuerza mínima de 2.297 lbs. con esta fuerza podemos probar un modelo cuya mínima eslora es 4 pies y su rango de operación  $(V/\sqrt{L})$  varía entre .8 - 3.5

#### LIMITES DE FUERZA.-

Los límites de fuerza se determinan escogiendo una fuerza mayor (Resistencia) para modelos más grandes, para nuestro caso tomamos RESISTENCIA = 20 Libras, Este valor nos permite obtener rangos comprensibles de VELOCIDADES Y ESLORA MAXIMAS PERMISIBLES.

Cada perfil de límites de fuerza corresponde a un valor de  $L/V^{1/3}$  cu los valores están considerados en el rango de 4 - 8 y que abarcan todos los tipos de buques que hemos considerado para nuestro estudio. Así mismo hemos tomado valores de eslora del modelo entre 4 - 15 pies que será lo ideal tomando en cuenta las dimensiones de la piscina.

Para obtener los gráficos de los perfiles de límites de fuerza como se indican en la Fig. # 4, calculamos las velocidades correspondientes a cada valor de  $L/V^{1/3}$  y para cada una de las velocidades asumidas.

Los cálculos se efectúan de acuerdo a los siguientes pasos:

i.- Cálculo de  $V^{1/3}$  y desplazamiento ( $\Delta$ )

$$\frac{L}{V^{1/3}} = X \quad V^{1/3} = \frac{L}{X}$$

Donde:

$V$  = Volumen en pies cúbicos.

$L$  = Eslora en pies

$X$  = Valor de la razón  $L/V^{1/3}$

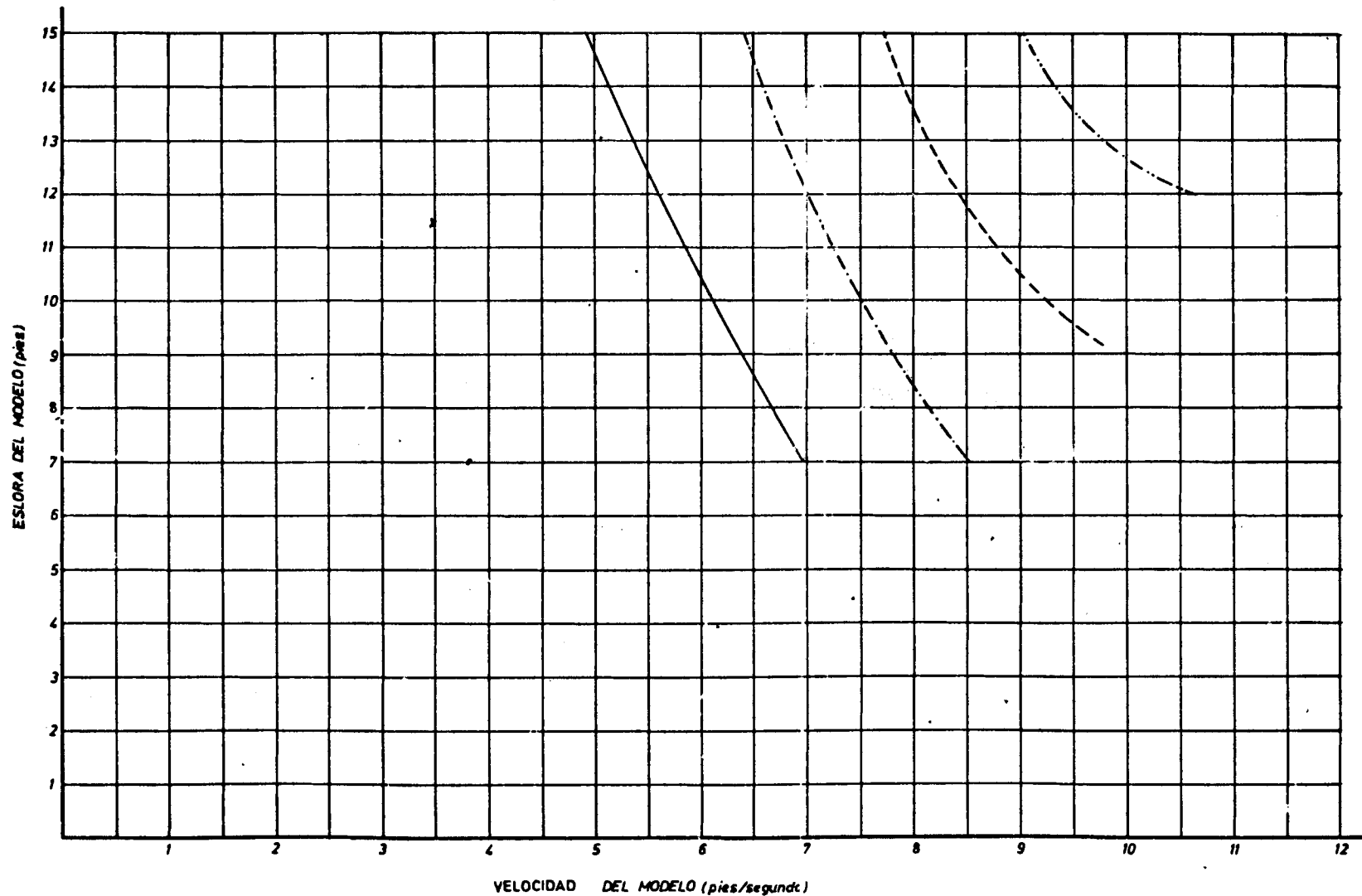
Luego como conocemos  $L$  y  $X$  calculamos  $V^{1/3}$  para todos los valores de  $L/V^{1/3}$  (Rango 4. - 8.)

Una vez que conocemos el valor de  $V^{1/3}$  calculamos el desplazamiento ( $\Delta$ ) sabiendo que:

LIMITES DE FUERZA (Rm= 20 lbs.)

Asumiendo sin Aceleración

Fig. 4



4  
5  
6  
7  
-13-

$$\Delta = \nabla \times 62.2$$

Donde:

$\Delta$  = Desplazamiento en libras

$\nabla$  = Volúmen en pies cúbicos

62.2 = Factor de conversión en lbs/pie para agua dulce.

2.- Cálculo de resistencia sobre desplazamiento (R/ $\Delta$ ).-

Para cada valor de  $L/\nabla^{1/3}$  y cada uno de los valores de Eslora calculamos  $R/\Delta$ , sabiendo que el valor de  $R = 20$  libras es constante y los valores de  $\Delta$  son los obtenidos en el paso anterior.

3.- Cálculo del Froude volumétrico (Fv).-

Para obtener el Froude volumétrico entramos con cada valor de  $L/\nabla^{1/3}$  y  $R/\Delta$  en la Fig. # 1, los valores de  $L/\nabla^{1/3}$  y  $R/\Delta$  corresponderán a cada valor de eslora que hemos asumido.

4.- Cálculo de velocidades permisibles.-

Los valores de velocidad los obtenemos por intermedio de la fórmula de Froude volumétrico.

$$Fv = \frac{V}{\sqrt{g \times \nabla^{1/3}}}$$

$$V = Fv \times \sqrt{g \times \nabla^{1/3}}$$

Donde:

$V$  = Velocidad en pies/seg

$F$  = Froude volumétrico

$g$  = Gravedad en pies/seg<sup>2</sup>

$\nabla$  = Volumen en pies cúbicos

Una vez determinados los valores de  $\nabla^{1/3}$  y  $F\nabla$  para cada valor de  $L/\nabla^{1/3}$  y para cada valor de eslora reemplazamos sus valores en la fórmula y obtenemos las velocidades cuyos resultados se indican en la Tabla N° 2 y nos sirven para obtener la Fig. # 4.

T A B L A N° 2

ESLORA Y VELOCIDADES MAXIMAS PERMISIBLES

$L/\nabla^{1/3}$	4				5				6			7		8
ESLORA (L)	8	10	12	15	8	10	12	15	10	12	15	12	15	15
VELOCIDAD	6.66	6.11	5.59	4.94	8.14	7.51	7.07	6.43	9.25	8.42	7.74	10.65	9.05	10.91

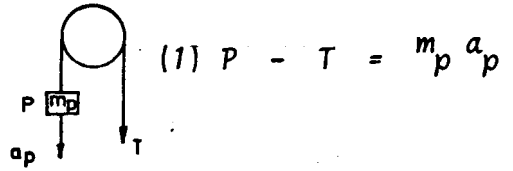
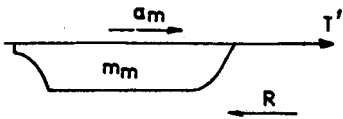
d.- Aceleración del sistema en base al Análisis de la Dinámica del sistema y en función de  $L/\nabla^{1/3}$ .

El análisis de la Dinámica del sistema nos permite obtener algunas - consideraciones para calcular la aceleración del modelo; el tiempo y distancia para obtener una velocidad estable.

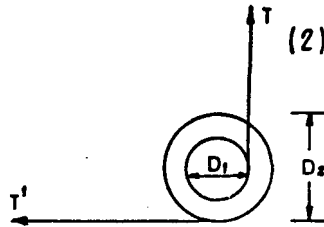
DIAGRAMAS DE CUERPOS LIBRES

(3)  $T^1 - R = m_m a_m$

$T^1 = m_m a_m + R$

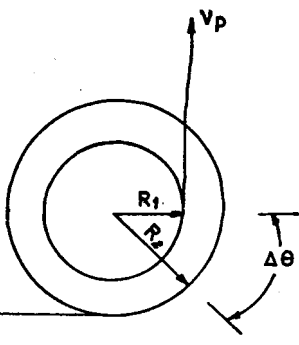


(1)  $P - T = m_p a_p$



(2)  $T D_1 = T^1 D^2$

$T^1 = T \frac{D_1}{D_2}$  ;  $T \frac{D_2}{D_1} = T^1$



$v_p = R_1 \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$  ;  $v_m = R_2 \frac{\Delta \theta}{\Delta t}$

$a_p = R_1 \frac{\Delta \theta}{\Delta t} / dt$  ;  $a_m = R_2 \frac{\Delta \theta}{\Delta t} / dt$

$\frac{a_p}{a_m} = \frac{R_1 \Delta \theta \Delta t \cdot dt}{R_2 \Delta \theta \Delta t \cdot dt}$   $\therefore \frac{a_p}{a_m} = \frac{R_1}{R_2}$  (4)

$$a_m = \frac{D_2}{D_1} a_p \qquad a_p = \frac{D_1}{D_2} a_m \qquad (5)$$

Donde:

$a_m$  = Aceleración del modelo pies/seg<sup>2</sup>

$a_p$  = Aceleración del peso pies/seg<sup>2</sup>

$D_2$  = Diámetro mayor

$D_1$  = Diámetro menor

Las fórmulas (1), (2), (3), (4) y (5) nos sirven para calcular la aceleración para lo cual hacemos un sumatorio de fuerzas en un punto cualesquiera de la cuerda.

Debemos considerar para este análisis que la velocidad del modelo no es constante, así mismo hacemos las siguientes consideraciones:

ESTADO ESTABLE:

$$F = m \times a$$

Cuando  $a = 0$

$$\Sigma F = \Sigma m \times a = 0$$

$$F = f(V)$$

$$F = f(V) = m \frac{dV}{dt}; \text{ de donde } \int F dt = \int m dV$$

Donde:  $F$  = Fuerza

$m$  = Masa

$a$  = Aceleración

ESTADO DINAMICO:

En la ecuación (1); reemplazamos el valor T de la ecuación (2)



$$P - T = m_p a_p \qquad P - \frac{D_2}{D_1} T^1 = m_p a_p \quad (6)$$

De la ecuación (3)  $T^1 = m_m a_m + R$  reemplazamos en (6)

Luego:

$$P - \frac{D_2}{D_1} (m_m a_m + R) = m_p a_p \quad (7)$$

$$P - \frac{D_2}{D_1} m_m a_m - \frac{D_2}{D_1} R = m_p a_p$$

Tenemos:

$$a_p = a_m \frac{D_1}{D_2}$$

Luego:

$$P - \frac{D_2}{D_1} m_m a_m - \frac{D_2}{D_1} R = m_p a_m \frac{D_1}{D_2}$$

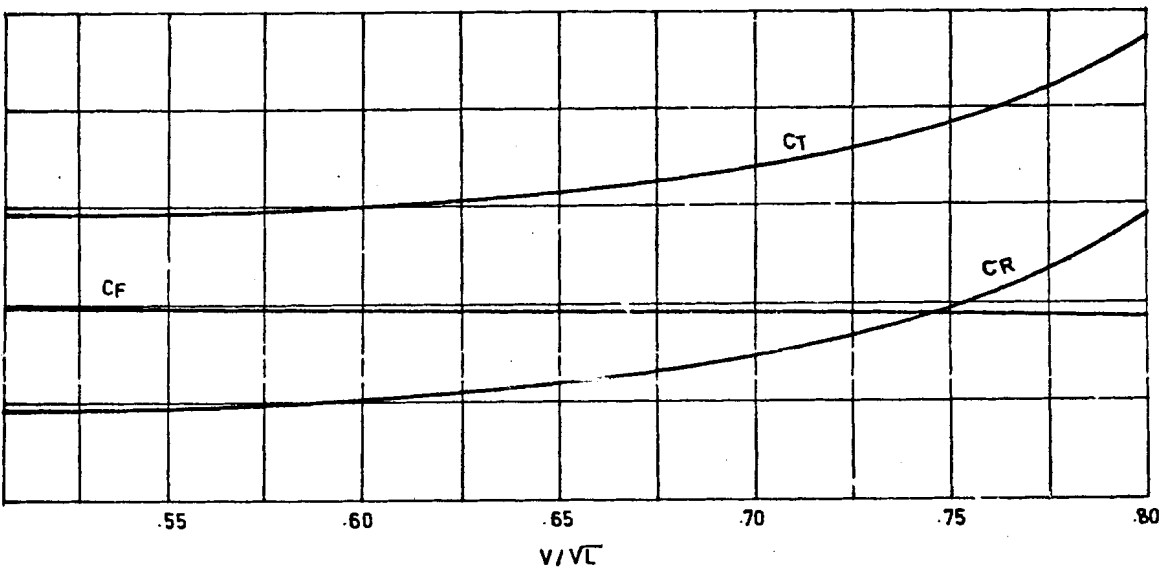
Multiplicando ambos miembros por  $\frac{D_1}{D_2}$  tenemos:

$$P \frac{D_1}{D_2} - m_m a_m - R = \frac{D_1^2}{D_2^2} m_p a_m \quad \text{agrupando términos tenemos:}$$

$$P \frac{D_1}{D_2} - R = a_m \left[ m_m + \frac{D_1^2}{D_2^2} m_p \right]$$

$$a_m = \frac{P \frac{D_1}{D_2} - R}{m_m + \frac{D_1^2}{D_2^2}}$$

Hacemos  $R = K V_m^2$  esto podemos deducir de lo siguiente:



$C_r$  varía en forma ascendente mientras que  $C_f$  en forma descendente. Luego

$C_t = C_f + C_r$  tiene una forma casi constante para velocidades menores que la velocidad crítica ( $V/\sqrt{L} = 1.0$ ), también  $\frac{\rho}{\tau}$  y  $S$  son constantes variando solamente  $V$ .

Por lo tanto  $R_t = (C_f + C_r) \frac{\rho}{\tau} S V_m^2$  ó  $R = K V_m^2$

Luego tendremos:

$$a_m = \frac{P \frac{D_1}{D_2} - K V_m^2}{m + \frac{D_1^2}{m}}$$

Hacemos:

$$\frac{D_1}{D_2} = C$$

Luego:

$$a_m = \frac{PC - K V_m^2}{m_m + C^2 m_p} \quad (8)$$

En esta ecuación usamos los siguientes artificios

$$\frac{CP}{m_m + C^2 m_p} = A ; \quad \frac{K}{m_m + C^2 m_p} = B.$$

$$V_m = \delta ; \quad V_m^2 = \delta^2 ; \quad \delta' = \frac{dV_m}{dt} = a_m$$

Reemplazando estos valores en la ecuación (8) tenemos:

$$a_m = A - B \delta^2 \quad \frac{dV_m}{dt} = A - B \delta^2 \quad \delta$$

$$\delta' = A - B \delta^2$$

De esta ecuación diferencial calculamos el tiempo.

Condiciones Iniciales:

$$R = P \frac{D_1}{D_2} ; R = PC , R = K f^2$$

(1) Cuando  $f$  tiende a cero (0)

$$P \frac{D_1}{D_2} = K f^2 \quad f^2(0) = \frac{P}{K} \frac{D_1}{D_2} ;$$

$$f(0) = \frac{P D_1}{K D_2} \quad f(0) = 0$$

(2) Cuando  $f$  tiende a infinito ( )

$$K f^2 = PC \quad f^2(\infty) = \frac{PC}{K} ; f(\infty) = \sqrt{\frac{PC}{K}}$$

$$\dot{f} = A - B f^2 \frac{df}{dt} = A - B f^2 ; \frac{df}{A - B f^2} = dt$$

En el primer integral dividimos todo para  $B$  y tenemos

$$\frac{1}{B} \int_0^f \frac{df}{A/B - f^2} = \int_0^t dt$$

El primer integral es de la forma

$$\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \frac{1}{2a} \ln \left( \frac{a + x}{a - x} \right)$$

Donde:

$$a = A/B$$

$$a = \sqrt{A/B}$$

$$x^2 = \delta^2$$

$$x = \delta$$

Luego tenemos:

$$\frac{1}{B} \left[ \frac{1}{2\sqrt{A/B}} \ln \left( \frac{\sqrt{A/B} + \delta}{\sqrt{A/B} - \delta} \right) \right] \delta \Big|_0^t = [t]_0^t$$

$$\frac{1}{B} \left[ \frac{1}{2\sqrt{A/B}} \ln \left( \frac{\sqrt{A/B} + \delta}{\sqrt{A/B} - \delta} \right) \right] = t$$

$$t = \frac{1}{2\sqrt{A/B}} \ln \left( \frac{\sqrt{A/B} + \delta}{\sqrt{A/B} - \delta} \right) \quad \text{FORMULA PARA CALCULAR EL TIEMPO.}$$

Condición (1)  $t = 0 \quad \delta = 0$

Condición (2)  $t = \infty \quad \delta = \sqrt{PC/K}$

Cuando  $(\sqrt{A/B} - \delta) = 0 \quad \delta = \sqrt{A/B}$

y  $\delta = \sqrt{A/B}$  cuando  $t \rightarrow \infty$

Cálculo de la fórmula de velocidad.-

De la fórmula de tiempo despejamos  $\delta$  (velocidad) y tenemos:

$$2\sqrt{AB} t = \ln \left( \frac{\sqrt{A/B} + \delta}{\sqrt{A/B} - \delta} \right) \quad e^{2\sqrt{AB} t} = \frac{\sqrt{A/B} + \delta}{\sqrt{A/B} - \delta}$$

$$e^{2\sqrt{AB} t} (\sqrt{A/B} - \delta) = \sqrt{A/B} + \delta$$

$$e^{2\sqrt{AB} t} \sqrt{A/B} - \delta e^{2\sqrt{AB} t} = \sqrt{A/B} + \delta$$

$$e^{2\sqrt{AB} t} \sqrt{A/B} - \sqrt{A/B} = \delta + \delta e^{2\sqrt{AB} t}$$

$$\sqrt{A/B} (e^{2\sqrt{AB} t} - 1) = \delta (1 + e^{2\sqrt{AB} t})$$

$$\delta = \frac{\sqrt{A/B} (e^{2\sqrt{AB} t} - 1)}{(e^{2\sqrt{AB} t} + 1)}$$

FORMULA PARA CALCULAR VELOCIDAD

Cálculo del espacio recorrido.-

Para obtener la fórmula del espacio integramos la fórmula de velocid

dad:

$$\delta = v_m \quad \delta = \frac{dx}{dt} \quad x = \text{espacio}$$

Hacemos:

$$\sqrt{AB} = S$$

Luego tenemos:

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{A/B} \frac{(e^{2st} - 1)}{(e^{2st} + 1)} \quad \sqrt{A/B} \int_0^t \frac{(e^{2st} - 1)}{(e^{2st} + 1)} dt = \int_0^x dx$$

$$\sqrt{A/B} \left[ \int_0^t \frac{e^{2st} dt}{e^{2st} + 1} - \int_0^t \frac{dt}{e^{2st} + 1} \right] = \int_0^x dx$$

1er. Integral de la forma:

$$\int \frac{e^{2s}}{e^{2s} + 1} ds = \frac{1}{2} \ln (e^{2s} + 1) \quad \text{donde } 2 = 2s \text{ y } s = t.$$

2do. Integral de la forma:

$$\int \frac{ds}{e^s + 1} = s - \ln (e^s + 1) \quad \text{donde } s = 2st$$

Luego aplicando a nuestros integrales tenemos:

$$\sqrt{A/B} \left\{ \left[ \frac{1}{2s} \ln (e^{2st} + 1) \right]_0^t - \frac{1}{2s} \left[ 2st - \ln (e^{2st} + 1) \right]_0^t \right\} = x$$

$$\sqrt{A/B} \left[ \frac{1}{2s} \ln (e^{2st} + 1) - \frac{2st}{2s} + \frac{1}{2s} \ln (e^{2st} + 1) \right]_0^t = x$$

$$\sqrt{A/B} \left[ \frac{2}{2s} \ln (e^{2st} + 1) - t \right]_0^t = x ;$$

$$\sqrt{A/B} \left[ \frac{\ln (e^{2st} + 1)}{s} - t \right]_0^t = x$$

$$\sqrt{A/B} \left[ \frac{\ln (e^{2st} + 1)}{s} - t - \frac{\ln (2)}{s} + 0 \right] = x$$

$$x = \sqrt{A/B} \left[ \frac{\ln (e^{2st} + 1)}{s} - t - \frac{\ln (2)}{s} \right]$$

FORMULA PARA CALCULAR EL ESPACIO RECORRIDO

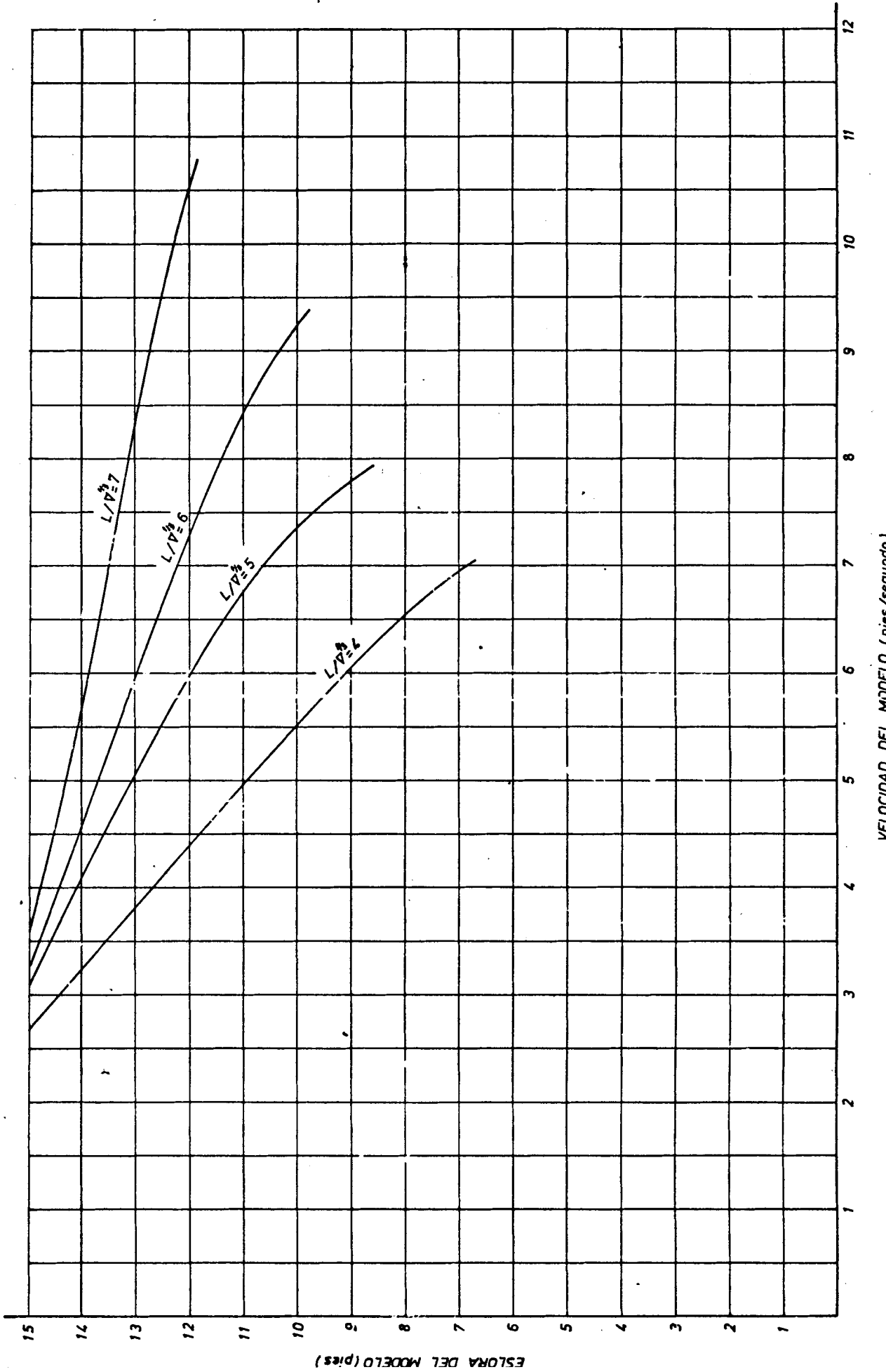
Para obtener los perfiles de aceleración Fig. # 5, asumimos el siguiente criterio de aceleración:

El modelo debe lograr el 98% de su velocidad de equilibrio antes de recorrer 40 pies desde el extremo de la piscina; teniendo en cuenta que la Fuerza de aceleración (p) es igual 20 lbs sobre la razón de diámetros (c), durante el período en el cual el modelo acelera desde 0 hasta .98 velocidad de equilibrio



Fig. 5

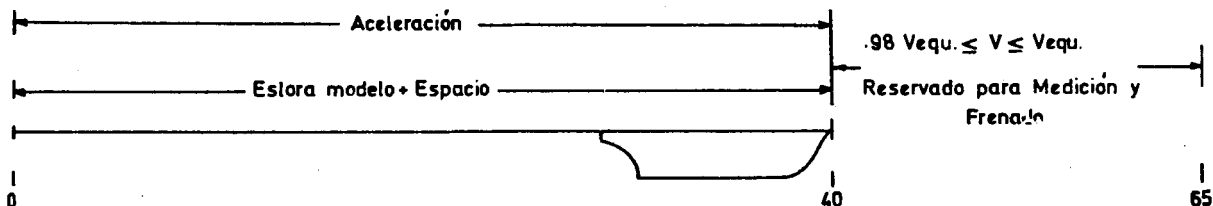
LIMITES DE ACELERACION (Rm = 20 lbs. máximo)



VELOCIDAD DEL MODELO (pies/segundo)

ESLORA DEL MODELO (pies)

### MODELO ACELERADO



Es decir:

$$V(f) = .98 V_{EQU} \text{ y ESPACIO} + \text{ESLORA DEL MODELO} = 40 \text{ pies.}$$

Asumiendo un solo valor de  $L/\nabla^{1/3}$  existen una eslora y una velocidad de modelo que cumplen los criterios de aceleración simultáneamente.

En el programa que adjuntamos en el cual se calcula el espacio y tiempo  $V = .98 V_{EQU}$  (asumido), nos queda cumplir únicamente que  $\text{Eslora} + \text{Espacio} = 40 \text{ pies.}$

En el programa tenemos varios valores de  $R$  y además necesitamos calcular  $K$ ,  $m_m$  y  $m_p$  cuyos valores obtenemos de la siguiente manera:

$$K = R_m / m^2 ; m_m = \Delta_m / 32.2 ; m_p = P / 32.2$$

Con los valores obtenidos en la salida del programa obtenemos los valores de  $\text{Espacio más eslora} \leq 40 \text{ pies.}$

Así tenemos por ejemplo:

$$L/\nabla^{1/3} = 4 \quad \text{RESISTENCIA} = 10 \text{ Libras}$$

ESLORA	ESPACIO	ESPACIO + ESLORA	VELOCIDAD MODELO
6	2.86	8.86	6.02
8	6.92	14.92	5.44
10	13.93	23.92	4.98
12	25.86	37.86	4.32
15	58.96	73.96	3.62

De igual manera hacemos para cada valor de  $L/\nabla^{1/3}$  (4-6) y Resistencia (2-20 lbs). Los valores de velocidad son los obtenidos para los gráficos anteriores correspondientes a varios valores de  $L/\nabla^{1/3}$  y Eslo-  
ra (4-15 pies).

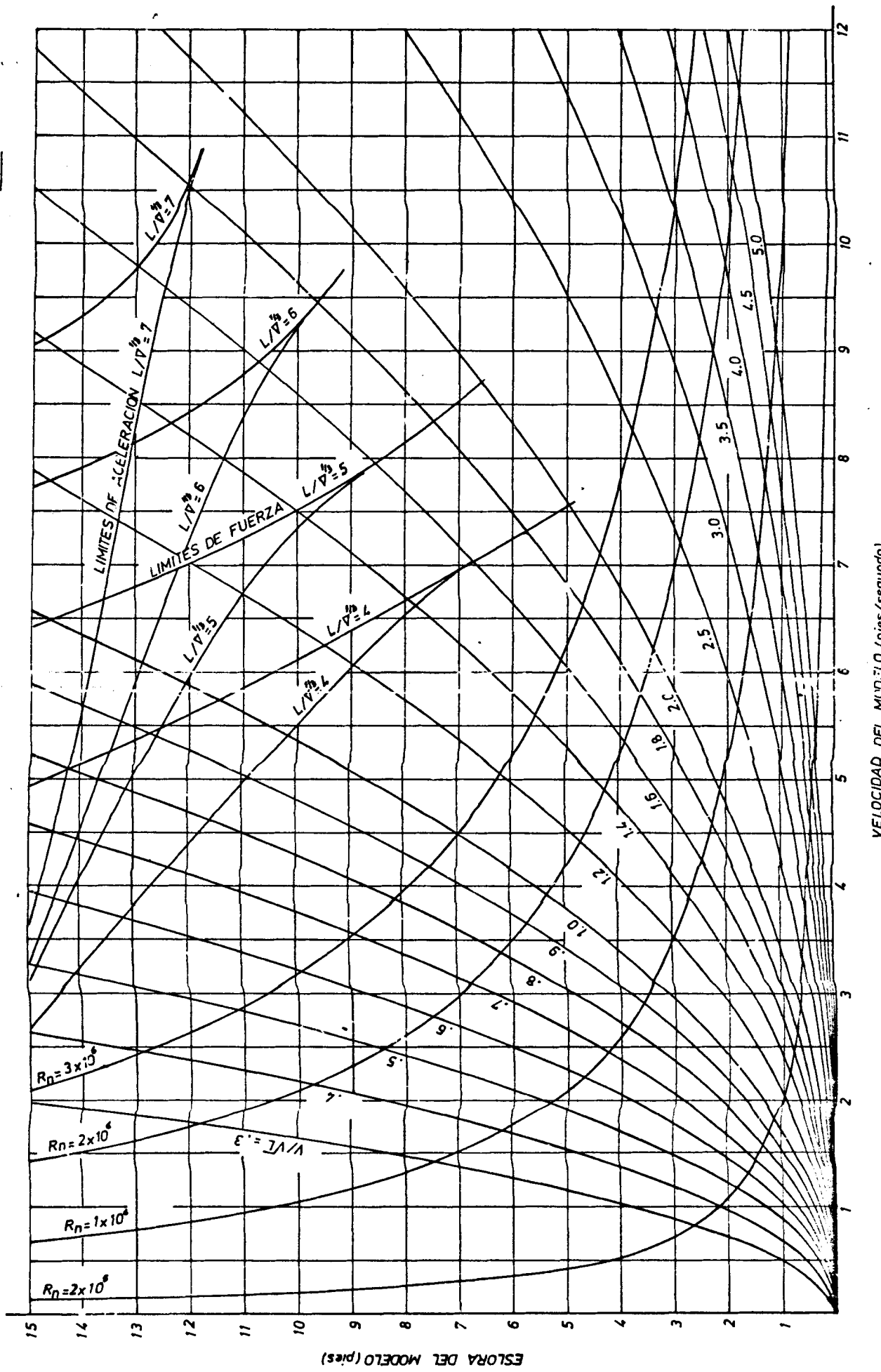
Los valores que se obtienen a partir de los cálculos como indica el ejemplo nos sirven para determinar un valor de eslora y un valor de velocidad los cuales a su vez nos determinan los perfiles de límites de aceleración.

#### APLICACIÓN DE LÍMITES PARA DIFERENTES TIPOS DE BUQUES.-

Los límites aplicados para cada uno de los diferentes buques son: número de Reynolds ( $R_n$ ), rango de operación del modelo en función de  $V/\sqrt{L}$  y límites de fuerza y aceleración en función de  $L/\nabla^{1/3}$

Fig. 6

COMBINACION DE LAS CURVAS ANTERIORES



ESLORA DEL MODELO (pues)

VELOCIDAD DEL MODELO (pies/segundo)

Los tipos de buque que hemos considerado para nuestro estudio son: Planeador, Buque de Carga, Yate (Velero) y Pesquero.

Los ejemplos de aplicación de los límites que a continuación indicamos comprenden la determinación aproximada del rango de velocidad de operación o el rango en que se requieren valores de resistencia y el valor aproximado de  $L/\nabla^{1/3}$

a.- Planeador. - Figura # 7

Rango de Velocidad

$$.8 \leq V/\sqrt{L} \leq 3.5 \quad \text{implica} \quad 2 \text{ perfiles.} \quad \text{Límites de } V/\sqrt{L}$$

$$L/\nabla^{1/3} = 6.0 \quad \rightarrow \quad \text{Límite de fuerza y Límite de aceleración}$$

$$\text{Viscosidad} \quad \rightarrow \quad R_n \geq 1 \times 10^6$$

b.- Buque de Carga. - Figura # 8

Rango de Velocidad

$$.5 \leq V/\sqrt{L} \leq 1.2 \quad \rightarrow \quad 2 \text{ perfiles.} \quad \text{Límites de } V/\sqrt{L}$$

$$L/\nabla^{1/3} = 5.70 \quad \rightarrow \quad \text{Límites de Fuerza y Límites de Aceleración}$$

$$\text{Viscosidad} \quad \rightarrow \quad R_n \geq 1 \times 10^6$$

c.- Yate (Velero).- Figura # 9

Rango de Velocidad

$$.5 \leq V/\sqrt{L} \leq 1.4 \rightarrow 2 \text{ perfiles. Límites de } V/\sqrt{L}.$$

$$L/\nabla^{1/3} = 4.35 \rightarrow \text{Límites de Fuerza y Límites de Aceleración}$$

$$R_n \geq 1 \times 10^6 \rightarrow \text{Viscosidad.}$$

d.- Peisquero.- Figura # 10

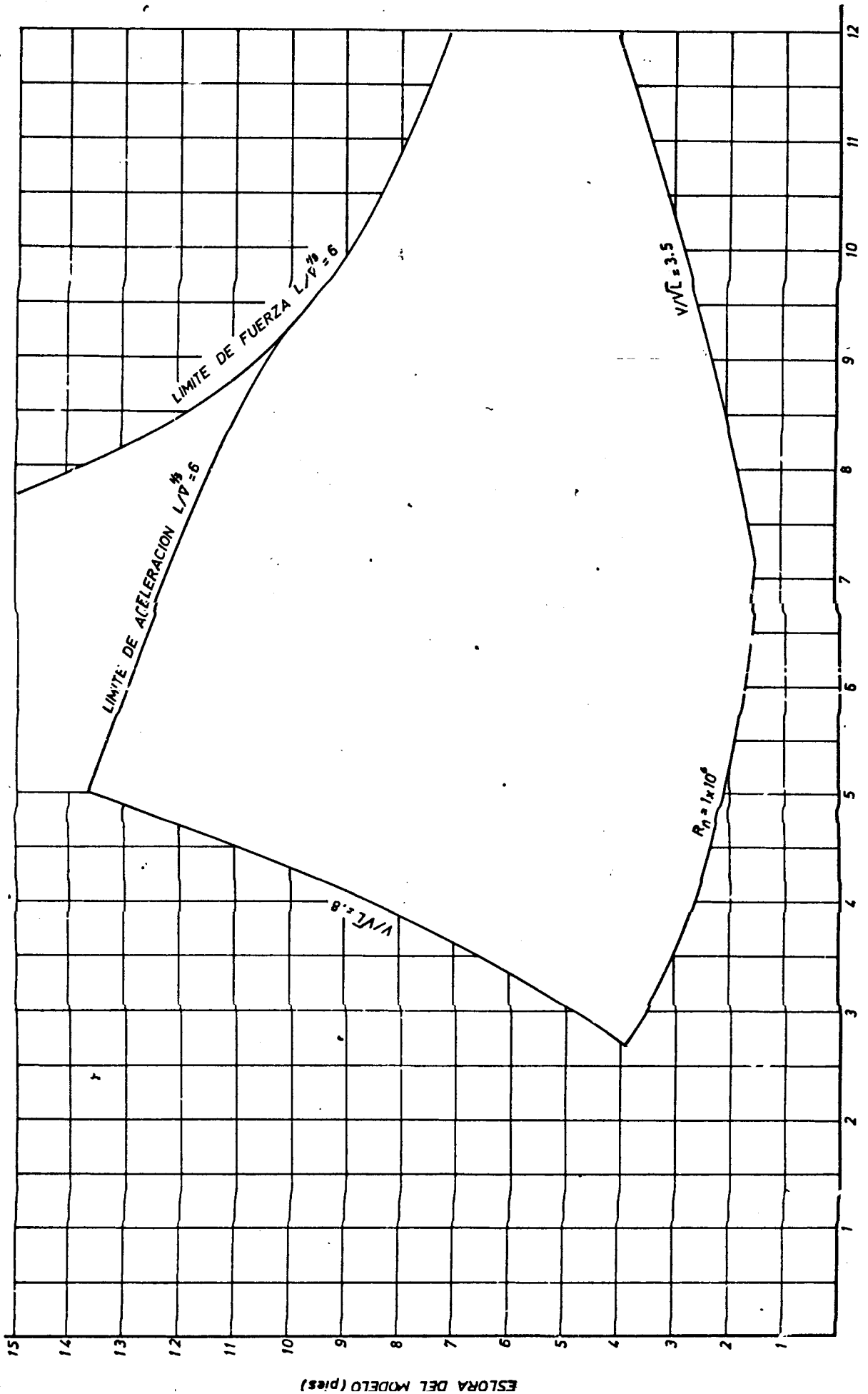
Rango de Velocidad

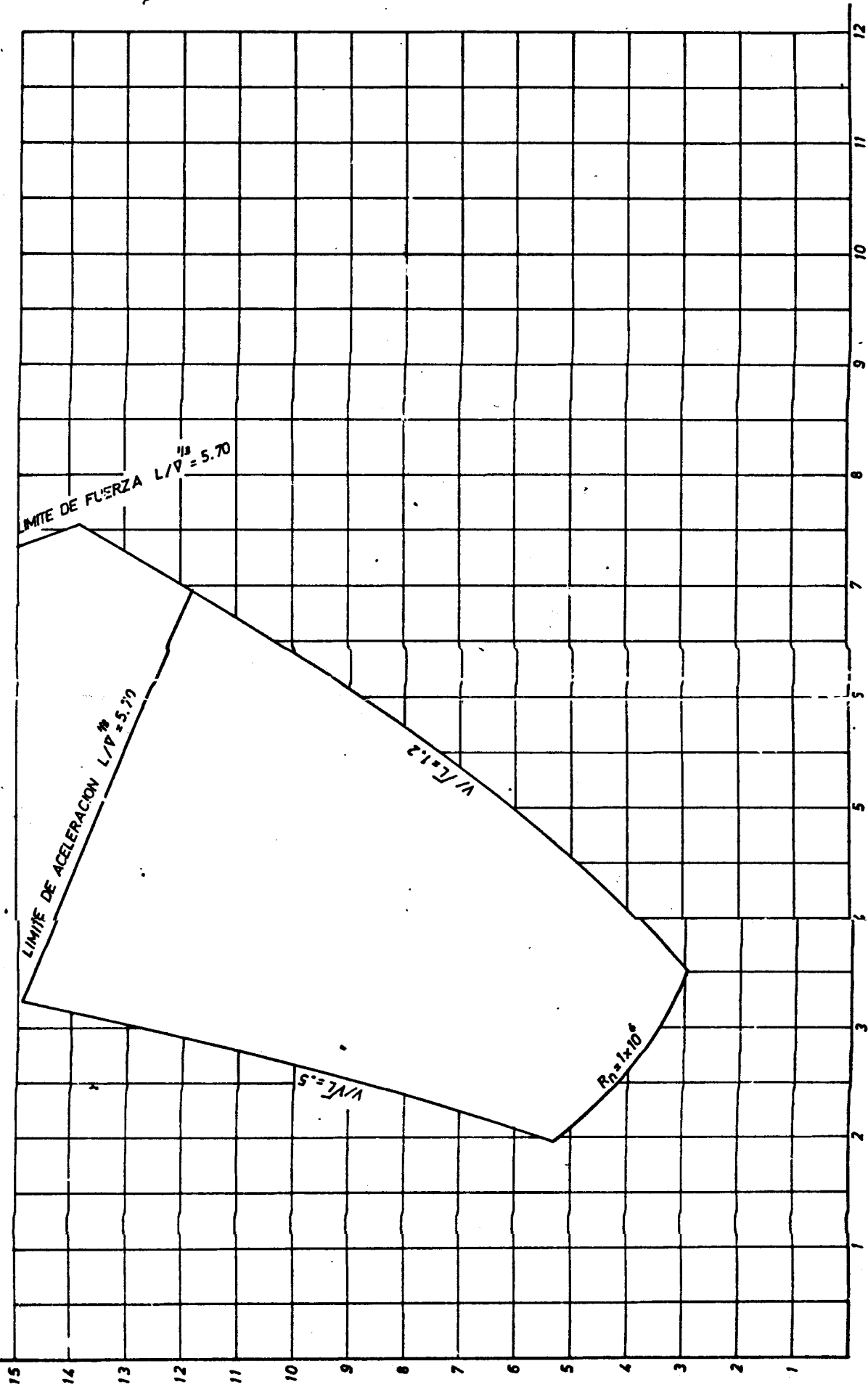
$$.4 \leq V/\sqrt{L} \leq 1.2 \rightarrow 2 \text{ perfiles. Límites de } V/\sqrt{L}$$

$$L/\nabla^{1/3} = 5.0 \rightarrow \text{Límites de Fuerza y Límites de Aceleración.}$$

$$R_n \geq 1 \times 10^6 \rightarrow \text{Viscosidad.}$$

La combinación de los varios límites forma un polígono cuya frontera define los límites sobre eslora y velocidad del modelo.





LIMITE DE FUERZA  $L/P = 5.70$

LIMITE DE ACCELERACION  $L/P = 5.70$

$V/L = 1.2$

$V/L = 5$

$R_n = 1 \times 10^6$

VELOCIDAD DEL MODE (cm/seg/segundo)

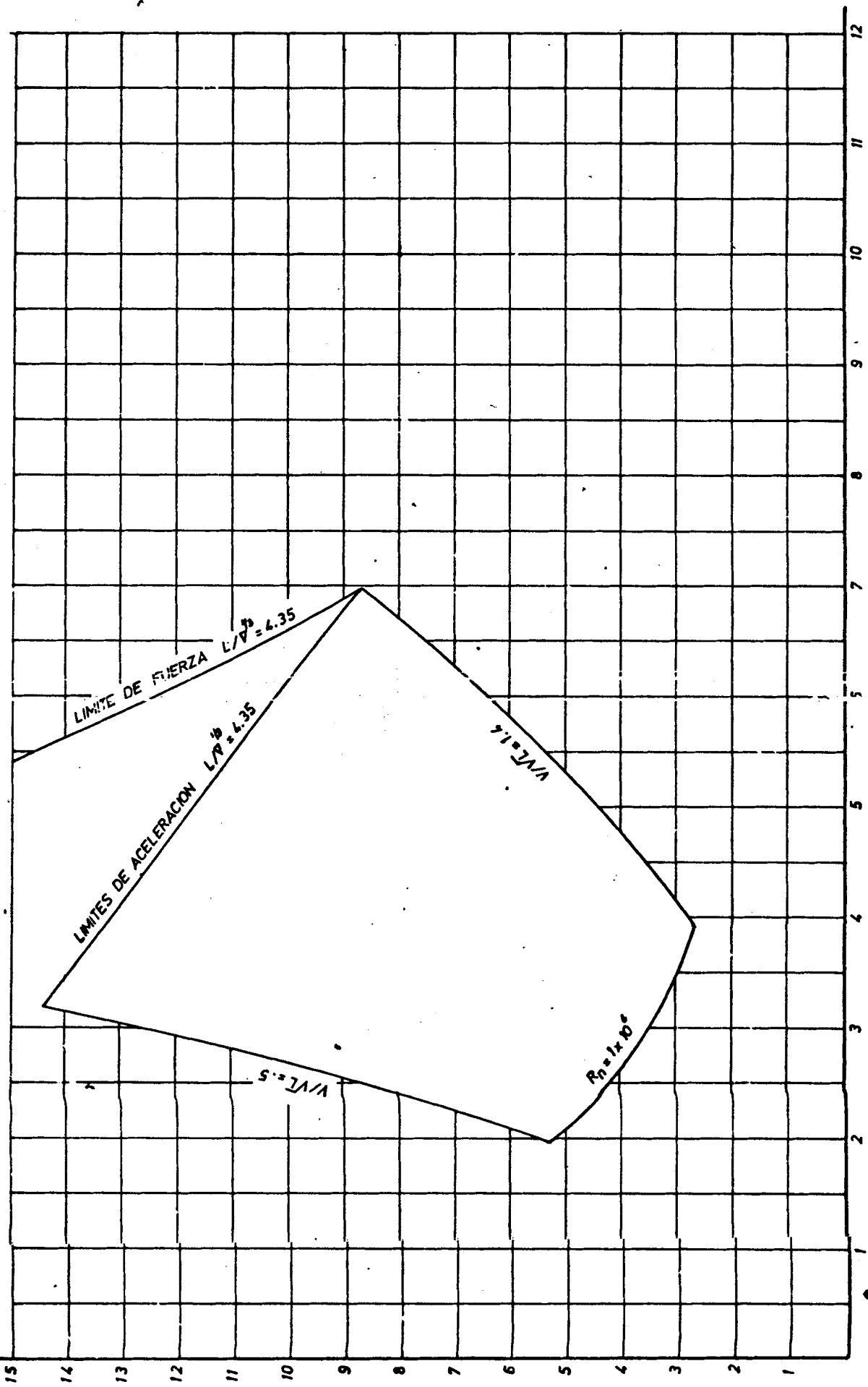
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

15  
14  
13  
12  
11  
10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

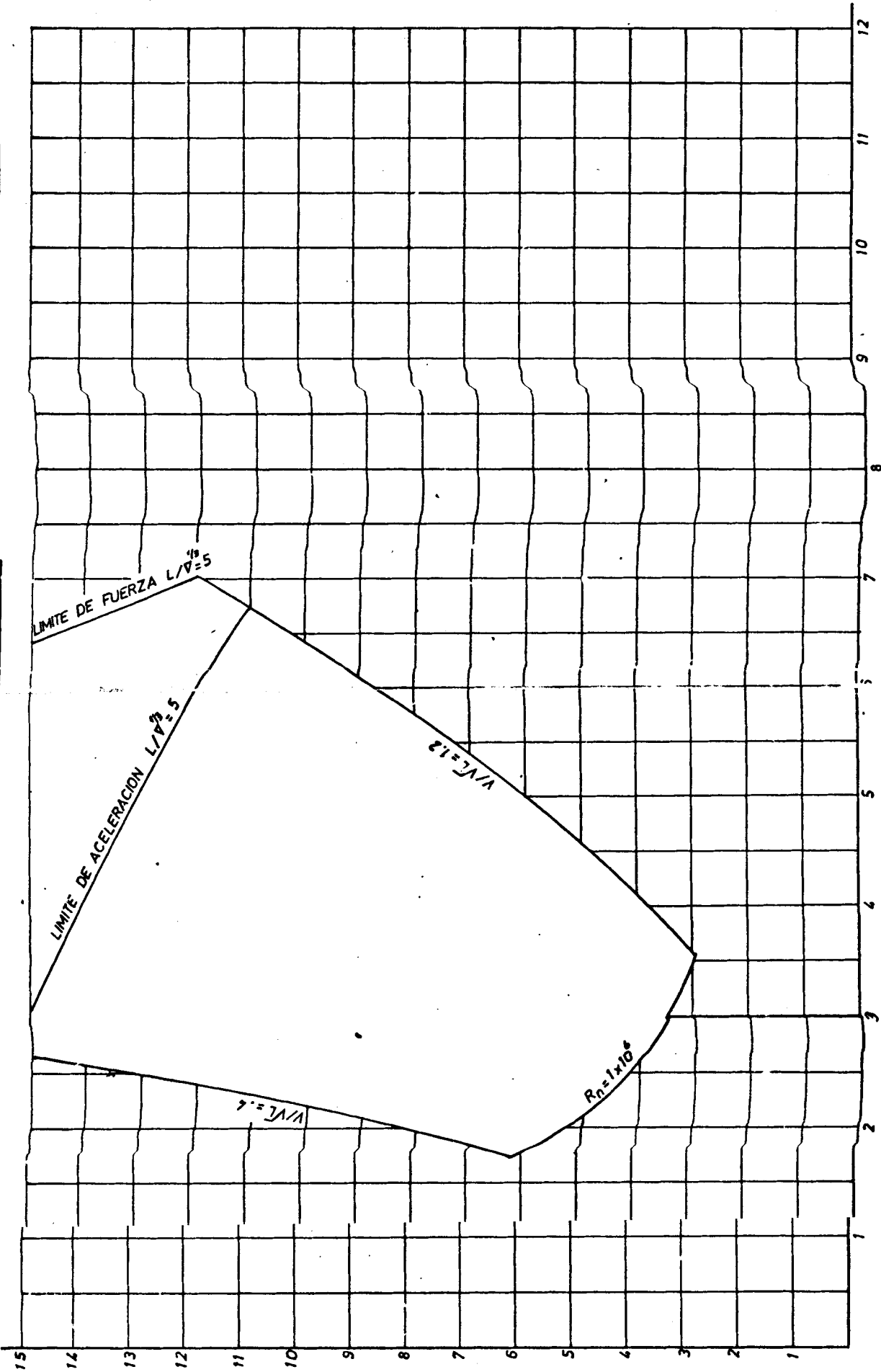


Fig. 9

LIMITACION PARA VELEROS



VELOCIDAD DEL MODELO (pies/segundo)



DESCRIPCION DE CADA PARTE DEL APARATO PARA PRUEBAS DE MODELOS.-

1.- POSTE PARA CAIDA DE PESOS.-

La corrida del peso está calculada en función de los diámetros del polipasto y el aro de remolque y la corrida del modelo así tenemos pues la siguiente relación:

$$\frac{\text{CORRIDA DEL MODELO}}{\text{CORRIDA DEL PESO}} = \frac{D_2}{D_1}$$

$$\text{CORRIDA DEL PESO} = \text{CORRIDA DEL MODELO} \frac{D_1}{D_2}$$

$$\text{CORRIDA DEL PESO} = 65' \times \frac{2.875}{24} = 7.78 \text{ pies}$$

La corrida del modelo tomamos 65 pies es decir el largo de la piscina en la cual se realizó las pruebas.

El poste aparte de servir para la caída del peso soporta también 2 aros en los cuales va instalado el cable distribuidos de la siguiente manera:

a.- Aro Pequeño.-

Este aro tiene un diámetro de 13 pulgadas y está instalado al pos

te por medio de una escuadra como indica la Fig. # 18 . La finalidad de este aro es soportar el peso, el cual en su caída producirá el arrastre del modelo y también está alineado con el polipasto. El peso está compuesto por un cubo de hojalata graduado en Kgs. y teniendo como peso agua.

#### b.- Polipasto.-

Compuesto de un aro de 24 pulgadas de diámetro y de un más pequeño de 2.875 pulgadas, está unido al poste por medio de platinas a los 2 lados del eje como indica la Fig. # 18 . Este polipasto sirve como base para la caída del peso y así mismo en función de estos diámetros se ha determinado las fórmulas para la velocidad y aceleración del modelo como se puede observar al principio de esta obra.

Además del polipasto se distribuye el cable que va tanto al peso como al modelo.

#### 2.- SISTEMA DE MONTAJE Y TEMPLADA.-

La finalidad primordial de este sistema es realizar la templada del cable que va instalado al modelo; es decir tensionar el cable de acuerdo a la necesidad del experimento para:

- 1.- Lograr la fricción entre el cable y el aro necesario para producir la fuerza de remolque.
- 2.- Gobernar el rumbo del modelo mediante el mecanismo acoplador, y

3.- Soportar el peso del mecanismo acoplador.

Este sistema consta de las siguientes partes todas desarmables, y están indicadas en las Figs. # 13, 14, 15, 16 y 17.

a.- Base.-

Esta base es de madera y tiene una longitud de 48 pulgadas de largo, además tiene 2 platinas las cuales sirven de guía para el carro.

b.- Carro.-

Tiene una longitud de 29 pulgadas y sobre este carro va montado - un aro por medio de platinos, este armazón se desliza sobre la base.

En el aro colocado en el carro va instalado un dínamo cuyos terminales van conectados a un sistema eléctrico compuesto por Rectificador (diodo), Condensador, Resistencia, un Voltímetro para medir el - voltaje hasta 250 voltios y el Generador que en este caso es el dínamo, este circuito así formado nos permite calcular la velocidad del modelo en mts/seg y además tiene como finalidad amortiguar los pulsos del dínamo (de corriente alterna) para permitir mayor precisión en la medición del voltaje, y así obtener diagramas de Voltios vs Velocidad del modelo, (mts/segundo) como el obtenido en la calibración del dínamo.

c.- Manivela.-

Pasa a través de un cojinete de empuje de madera Guayacán ubicado

en la base y va conectado en la parte anterior del carro, por medio de esta manivela se desliza al carro hasta obtener la tensión deseada en el cable; el material de esta manivela es varilla de hierro acerado.

### 3.- MECANISMO ACOPLADOR.-

La finalidad del mecanismo acoplador, que sin ejercer resistencias pasivas, es evitar las desviaciones laterales del modelo y le permite variar y oscilar longitudinalmente dentro de cierto ángulo.

Este mecanismo se indica en las Figs. # 22-25 y consta de:

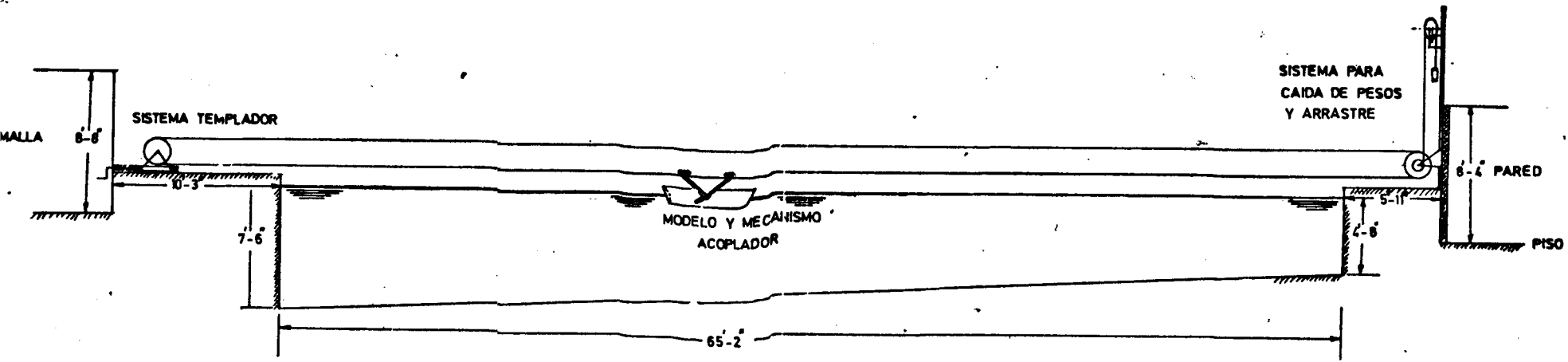
a.- 2 pares de tijeras.- Las cuales van unidas al cable de remolque por medio de ajustes graduables para poder obtener una graduación vertical con respecto a la superficie del agua y además para obtener un correcto alineamiento con el eje de propulsión del modelo.

b.- Eslabón.- Unido a las tijeras por medio de un pasador, este eslabón permite variar el asentamiento, cabeceo y sumersión del modelo.

Los 2 items anteriores deben ser lo más liviano posibles pero muy resistentes para acelerar el modelo e impedir que el cable sufra deflexión y por consiguiente dificulte las pruebas experimentales.

# VISTA GLOBAL

Fig. 12



ESCALA: 1/8"=1'

# MONTAJE Y TEMPLADA

Fig. 13

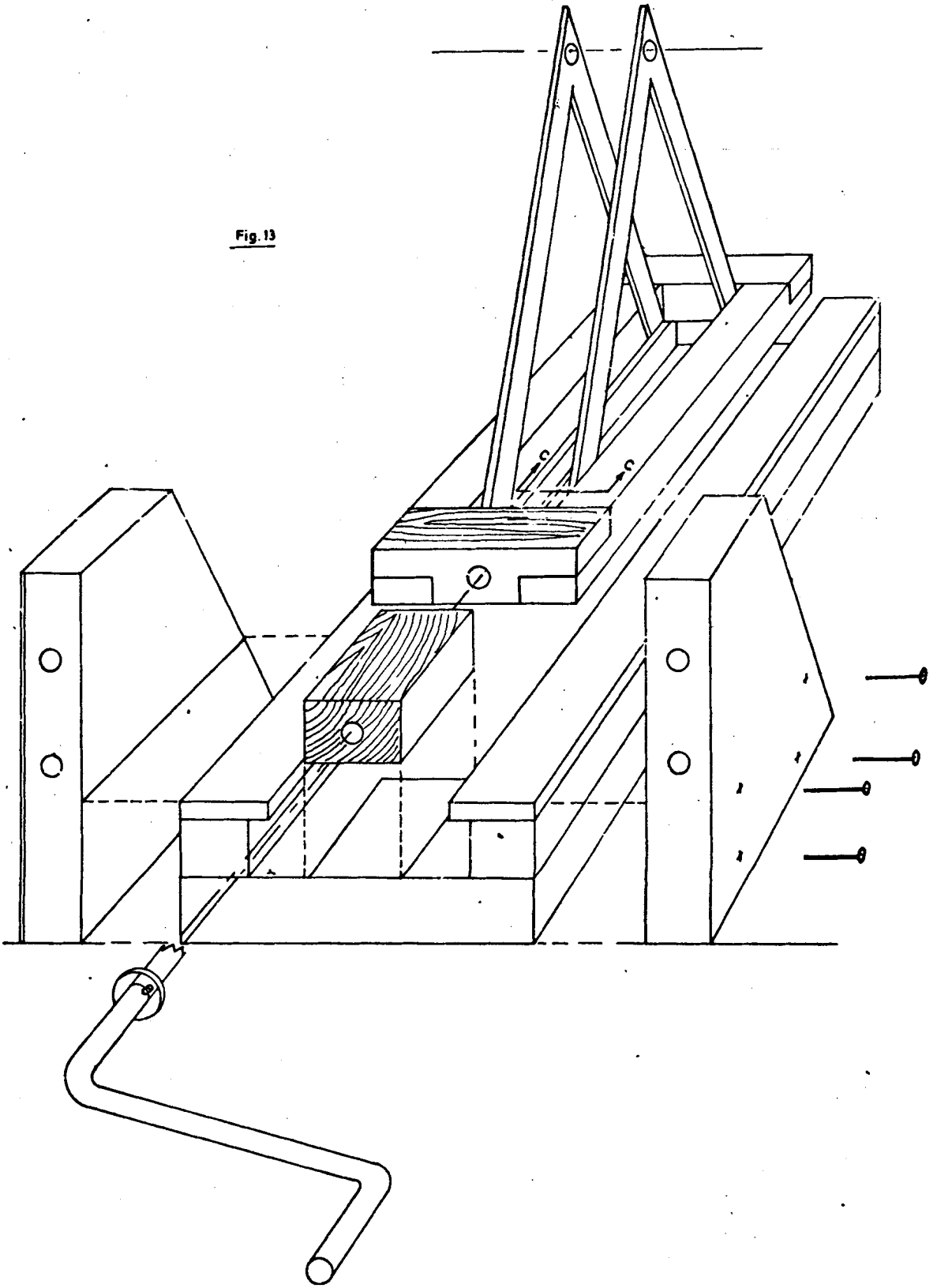




Fig. 14

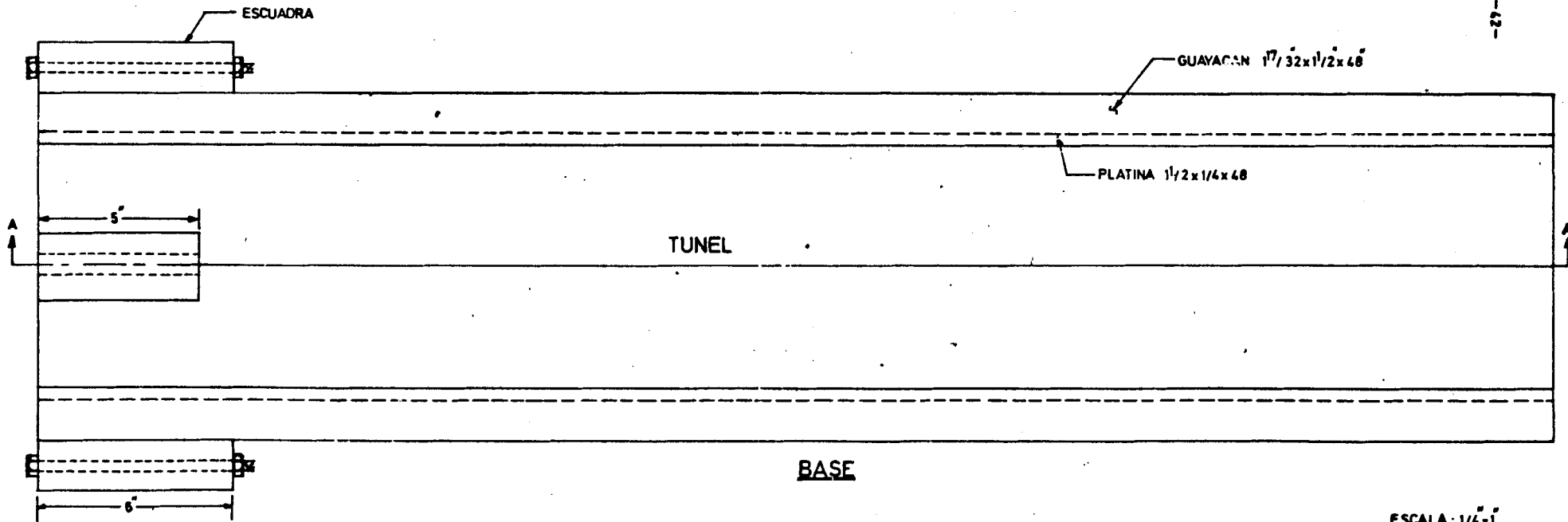
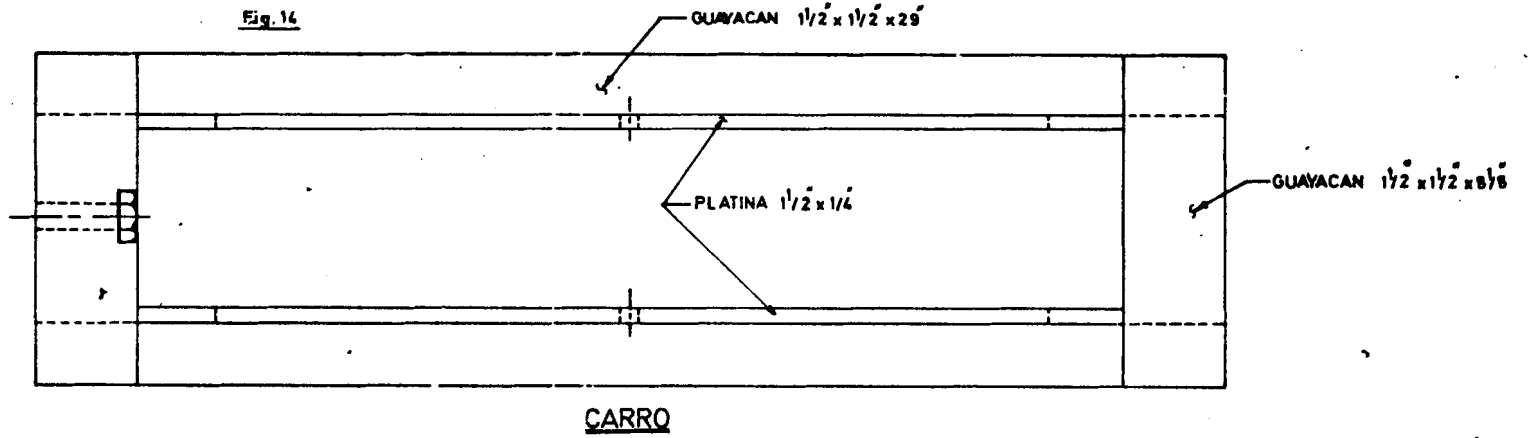
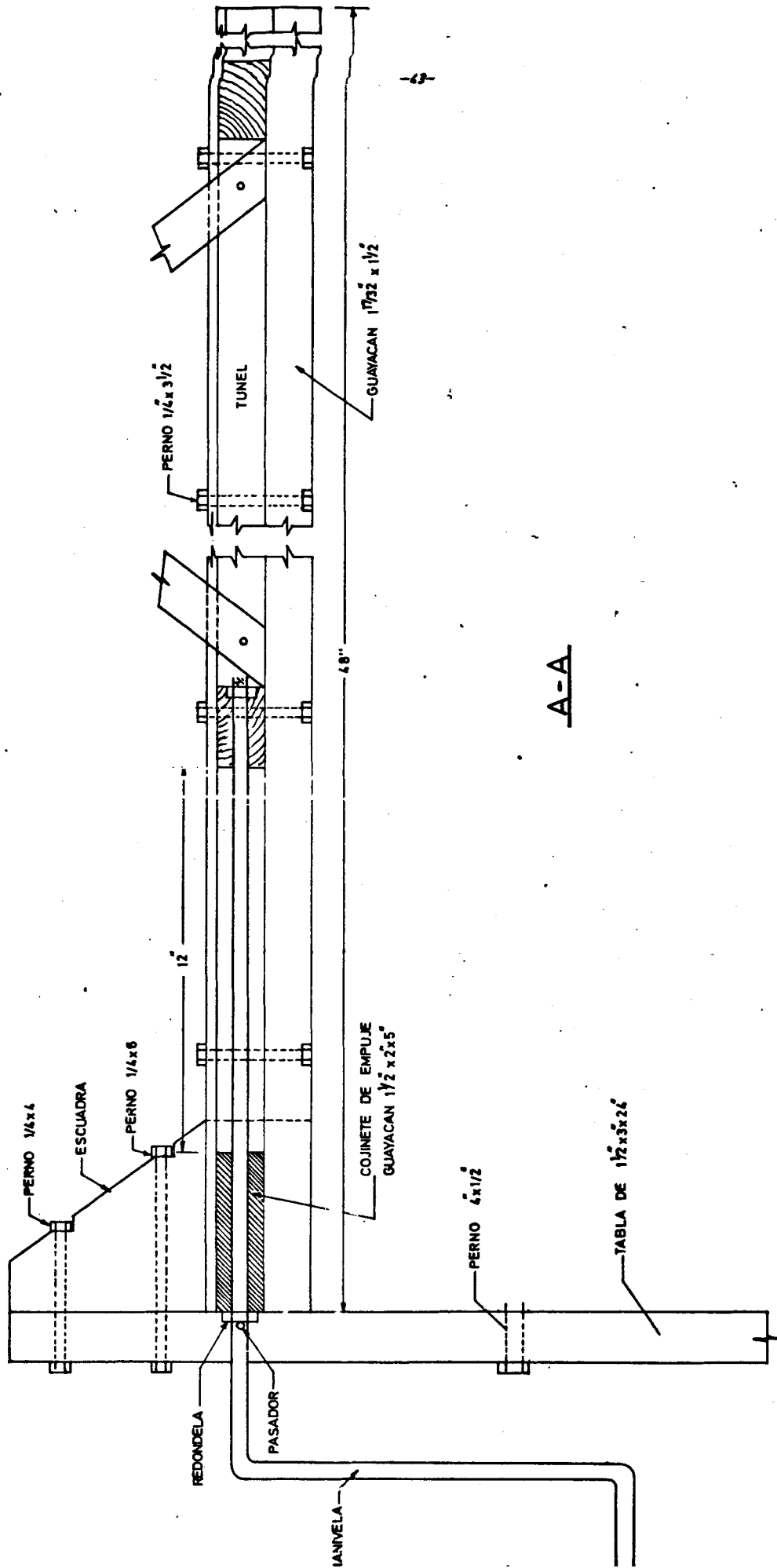


Fig. 15



ESCALA: 1/4" = 1"

Fig. 16

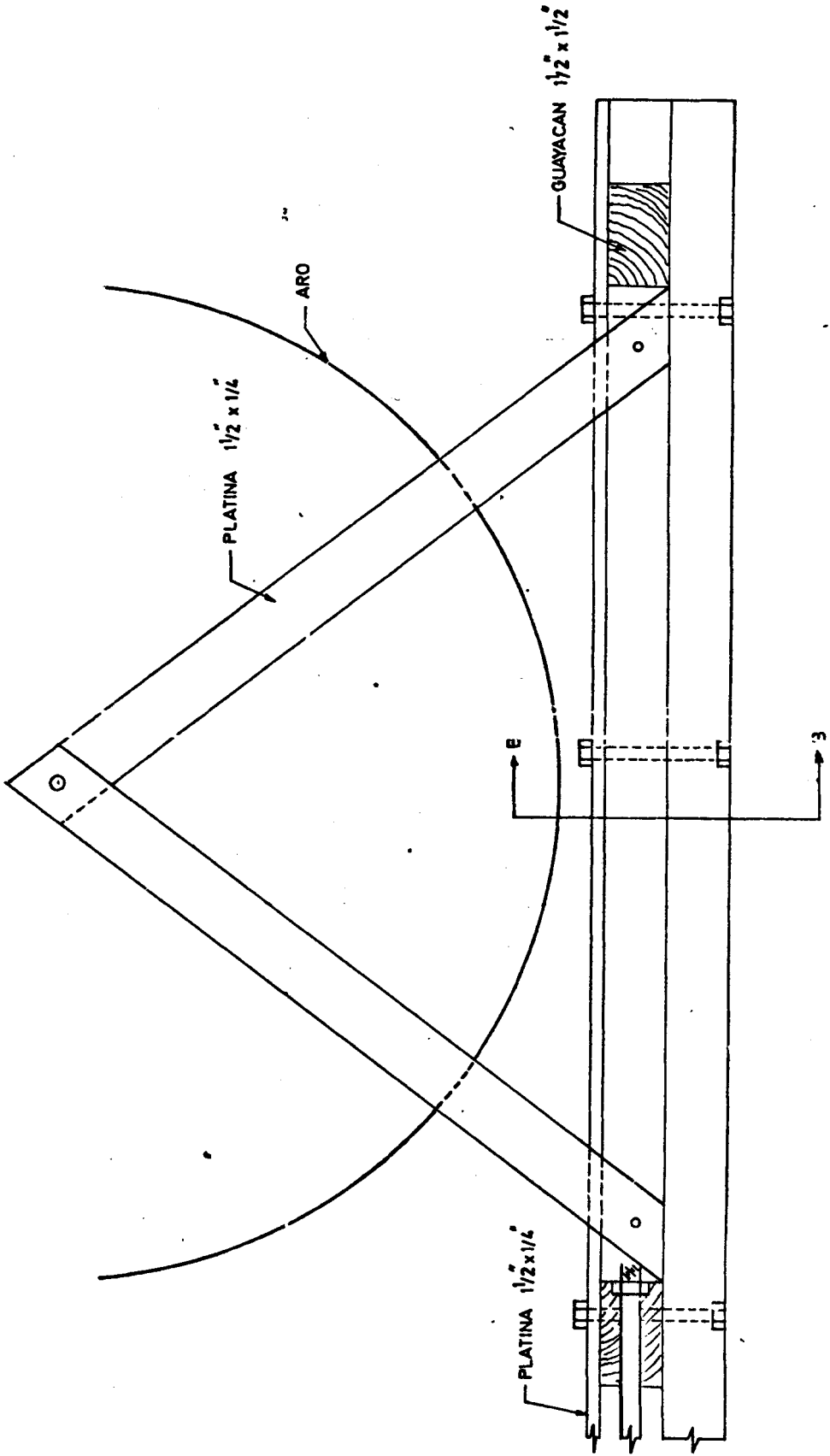
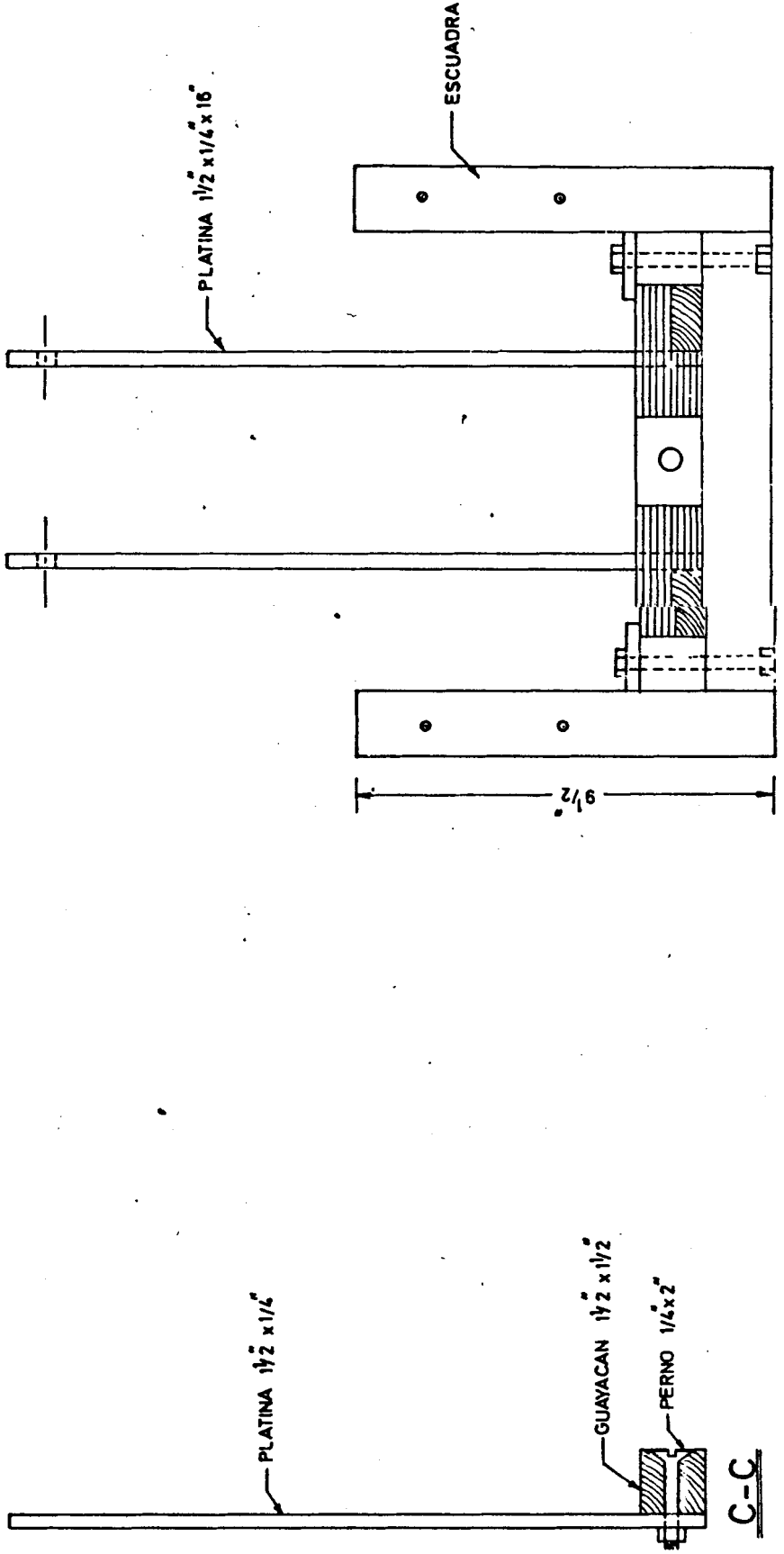


Fig. 17



# SISTEMA PARA CAIDA DE PESOS Y ARRASTRE

Fig. 18

D-D

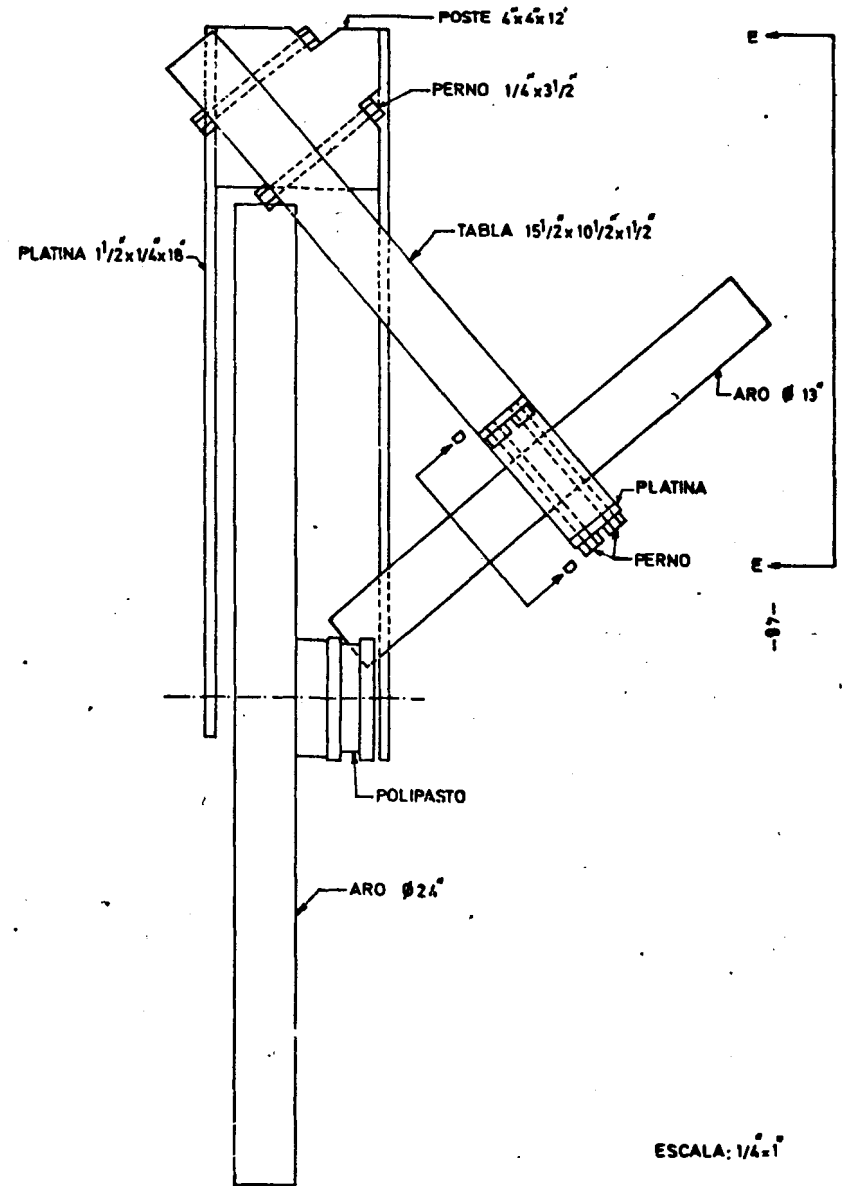
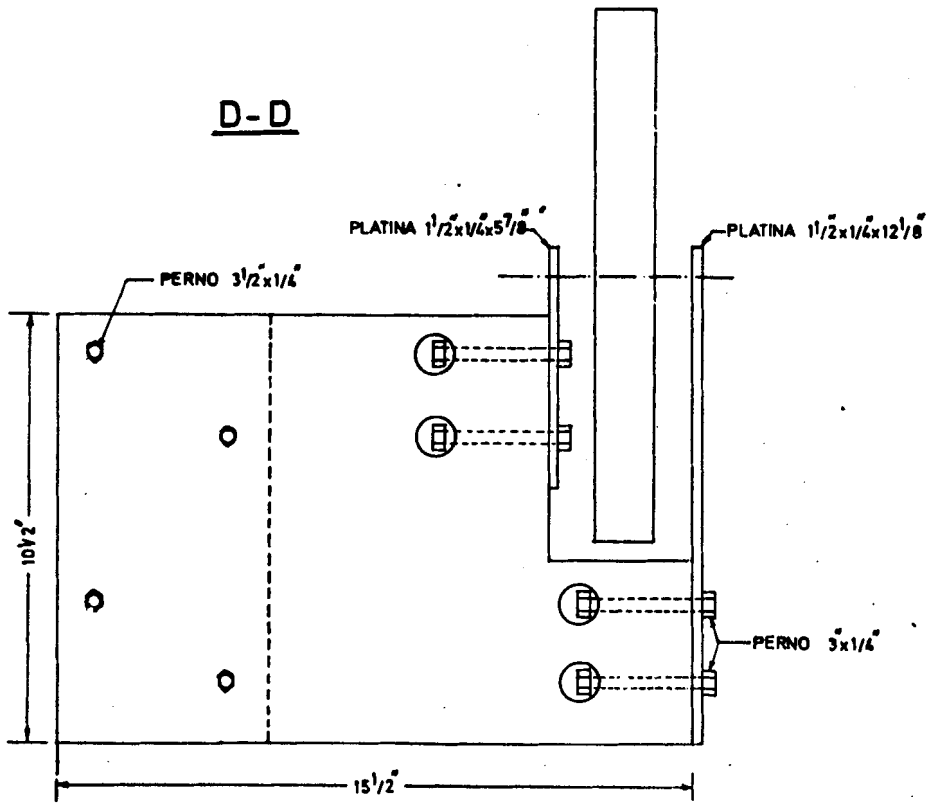
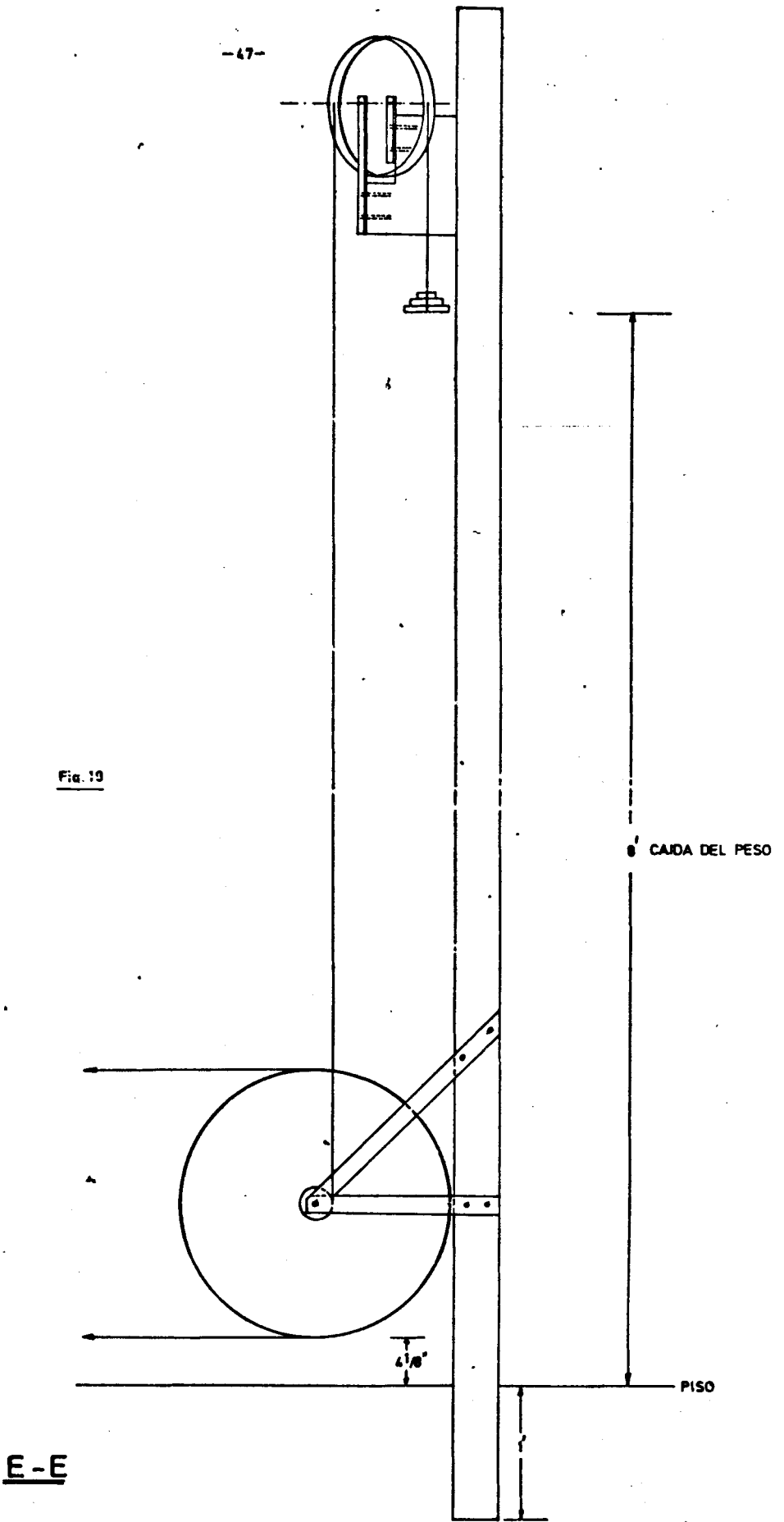


Fig. 10



E-E

ESCALA: 1:1

# PLATINAS PARA MONTAJE DE AROS

Fig. 20

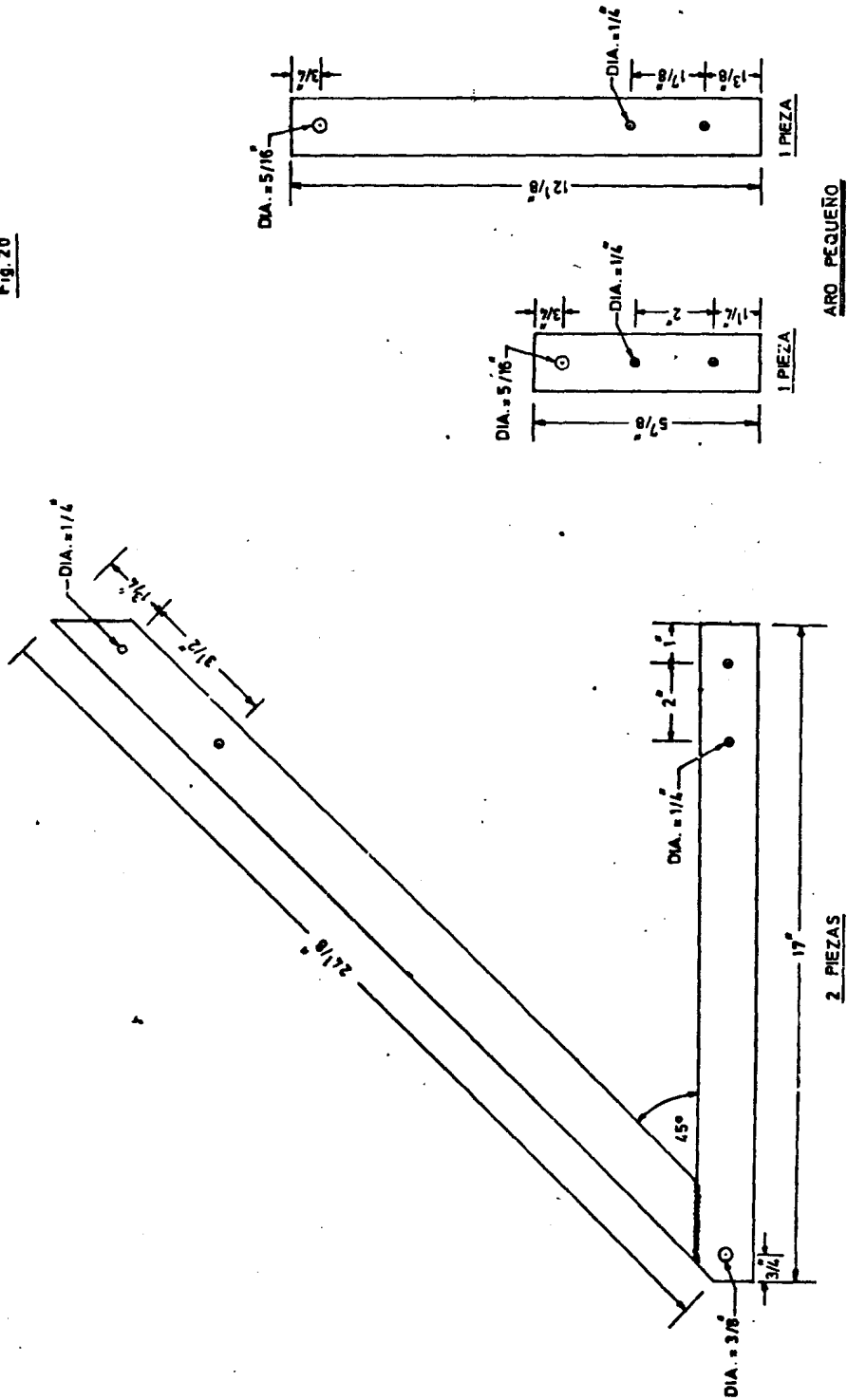
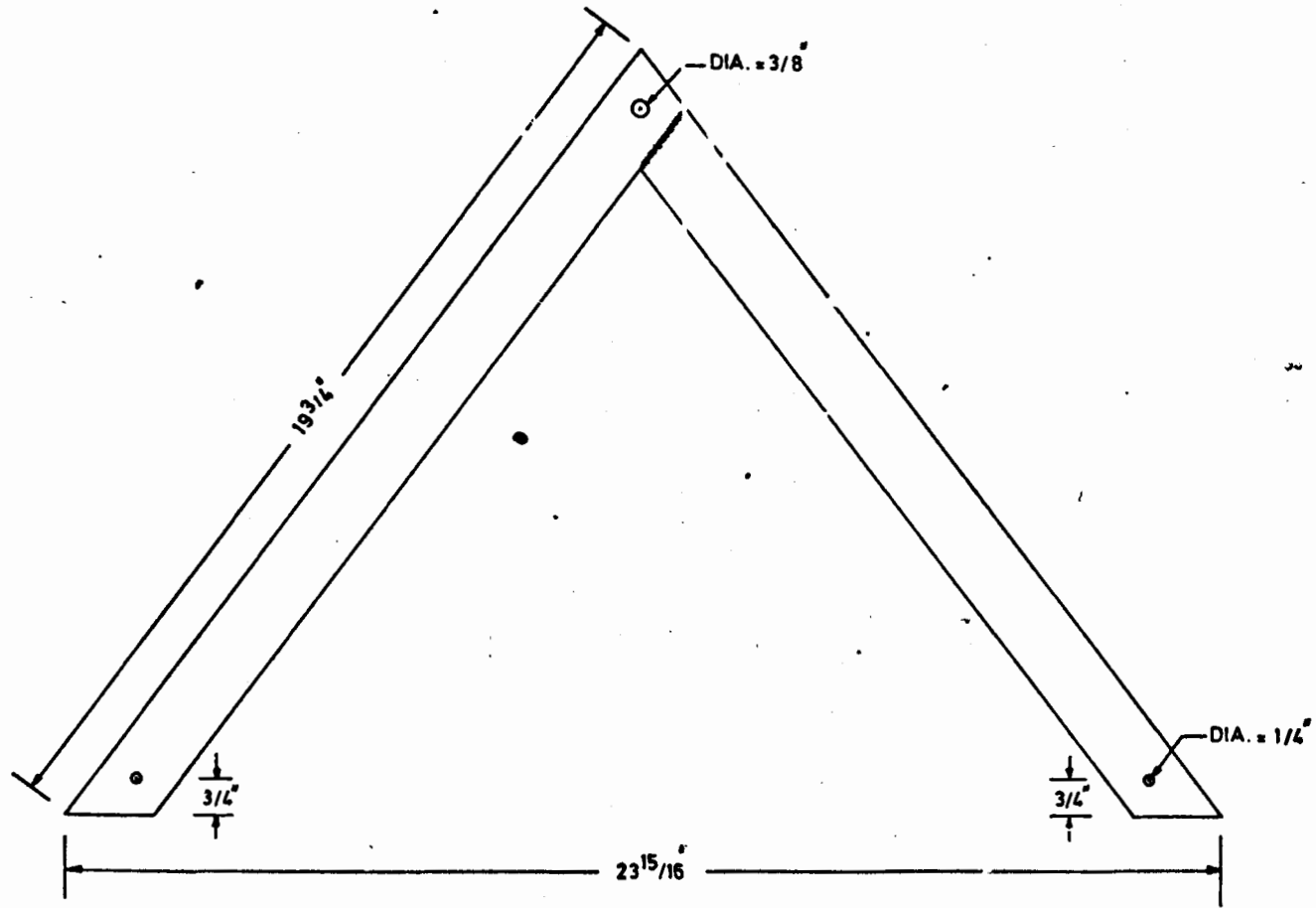


Fig. 21



2 PIEZAS

ARO CON DIJAMO

ESCALA:  $1/4" = 1'$



# MECANISMO ACOPLADOR

## PRINCIPIOS DE OPERACION

Fig. 22

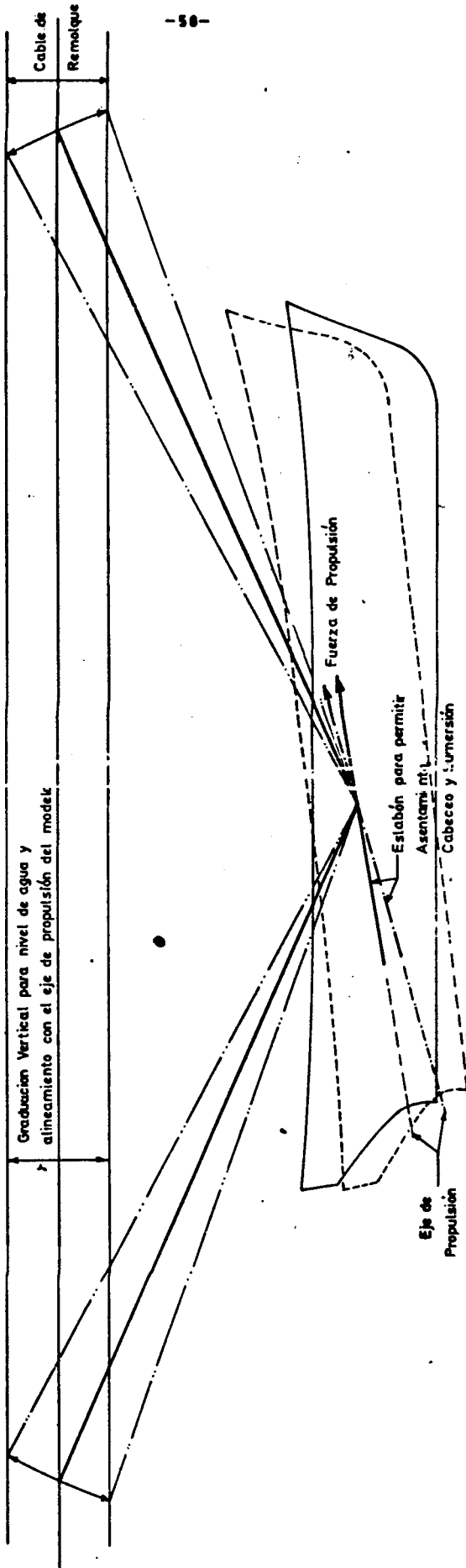
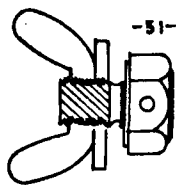
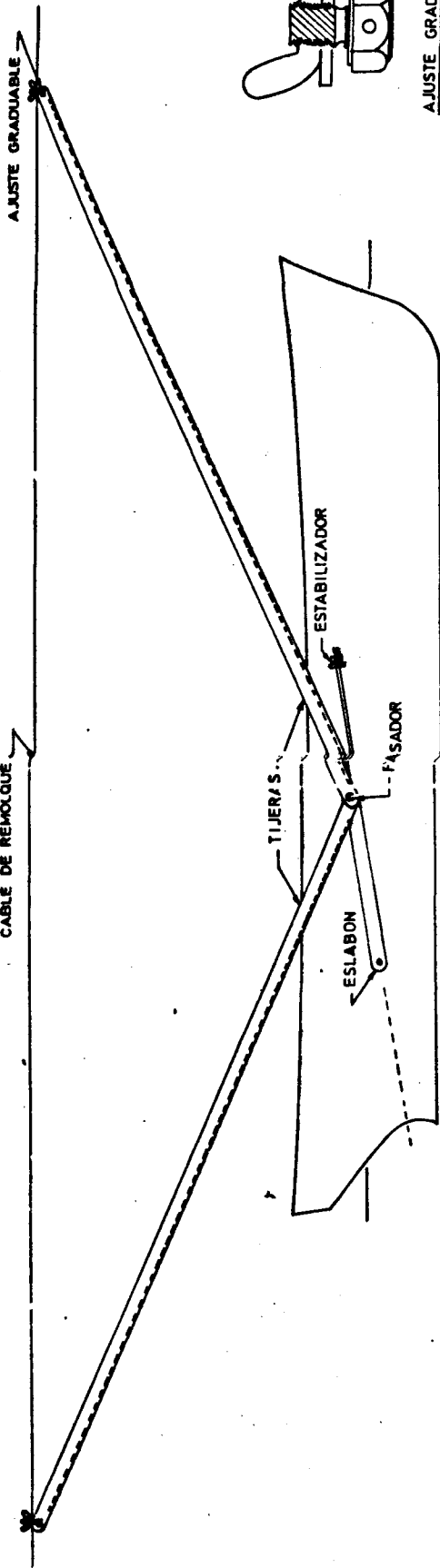


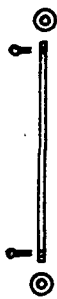
Fig. 23

CABLE DE REMOLQUE

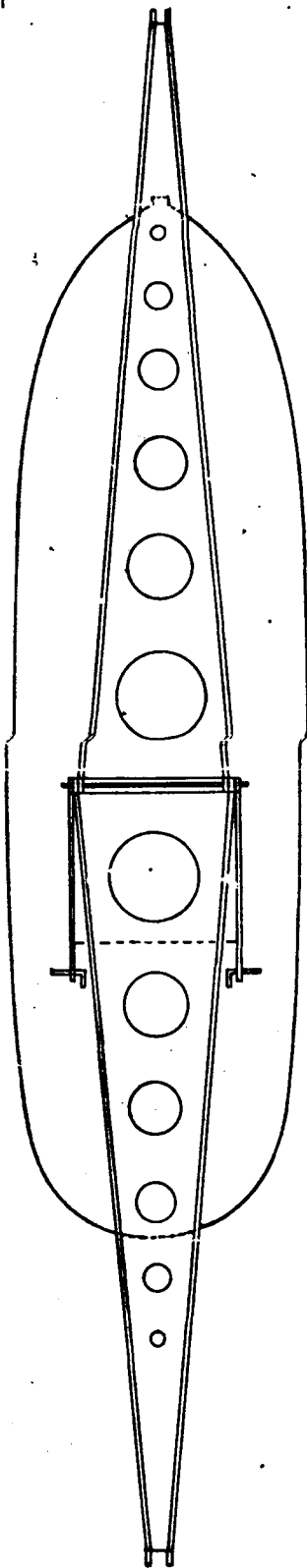


AJUSTE GRADUABLE

MECANISMO ACOPLADOR

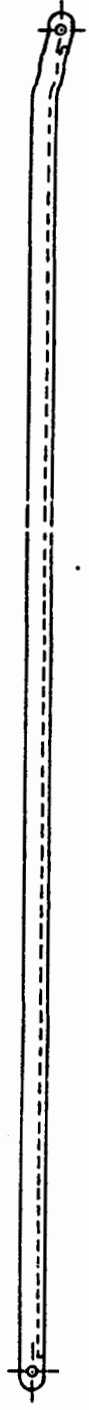
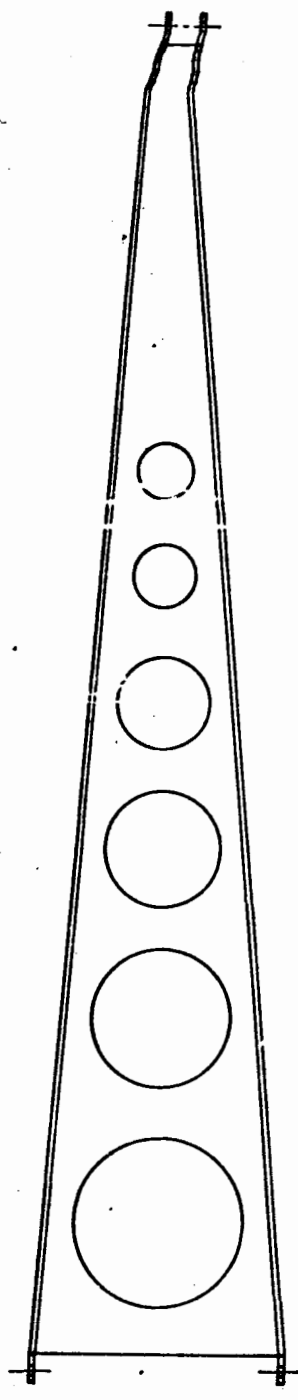
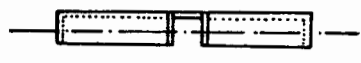
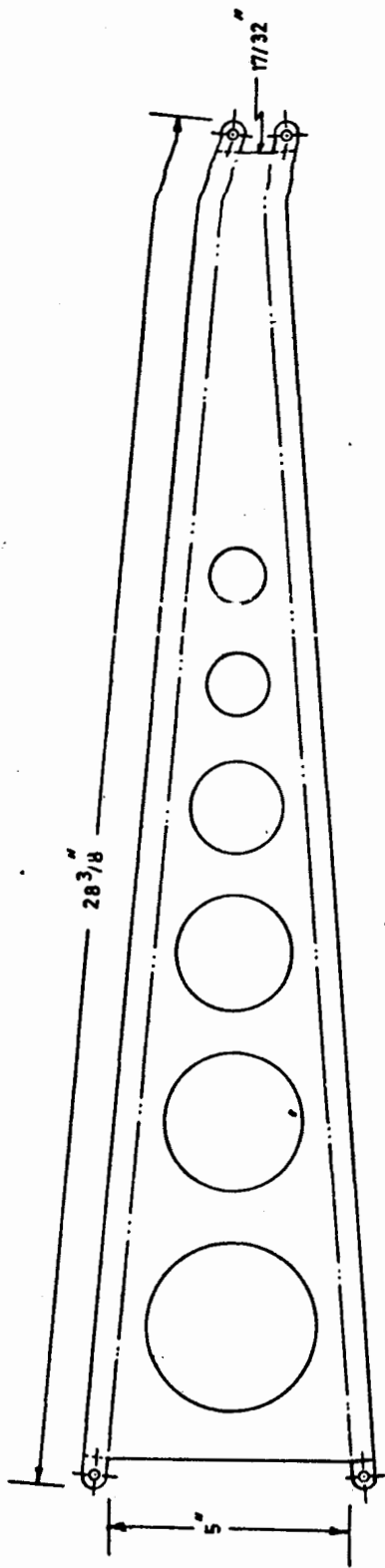


PASADOR



ESCALA: 3/16" = 1"

TIJERAS  
DESARROLLO

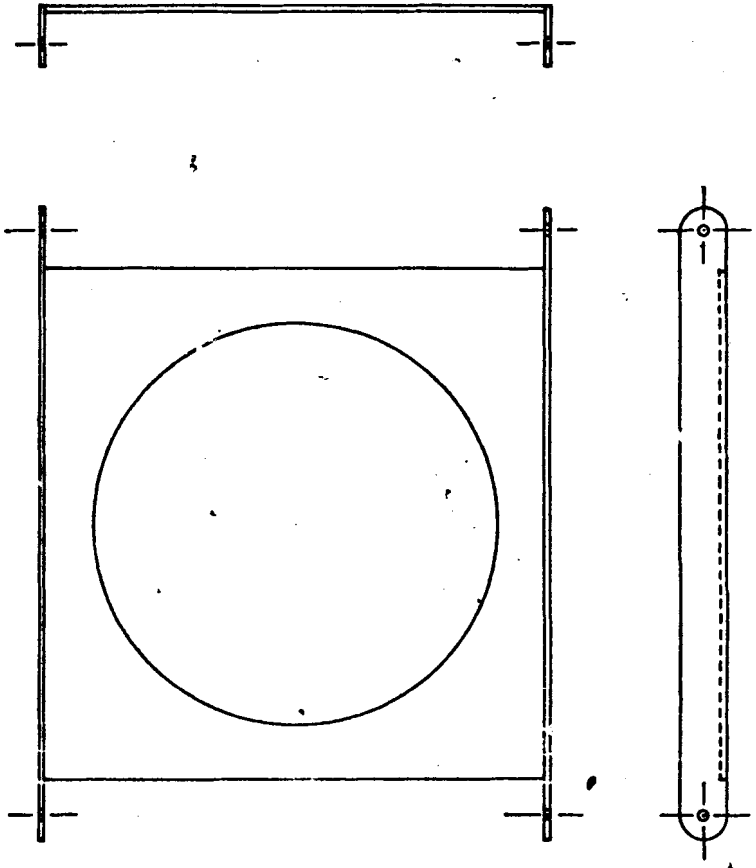
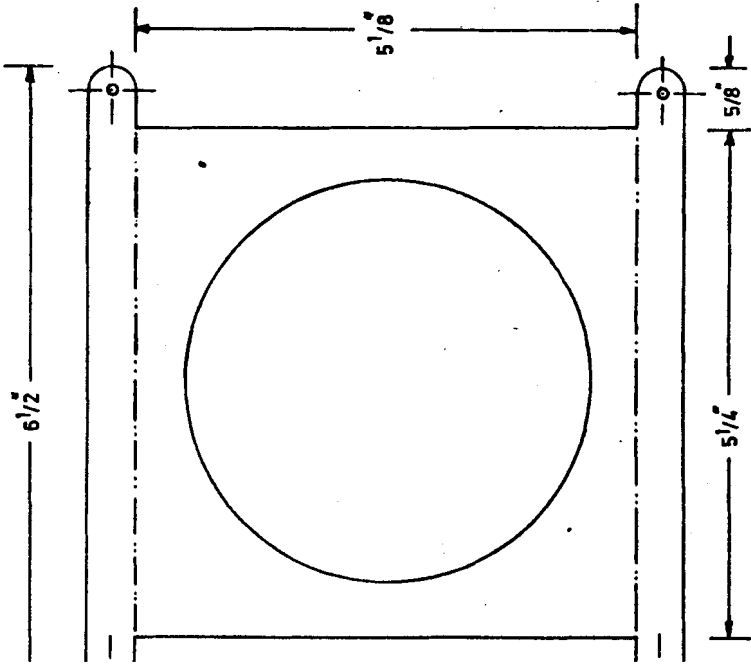


2 PIEZAS

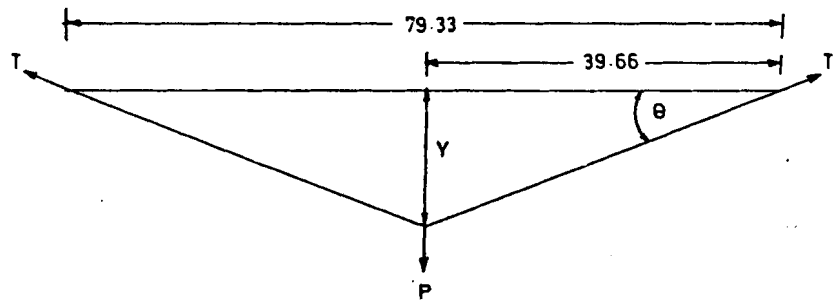
Fig. 25

ESLABON

DESARROLLO



ANALISIS DE LA DEFLECCION MAXIMA DEL CABLE DE REMOLQUE DEBIDO AL PESO DEL MECANISMO DE ACOPLA.-



Por simetría tenemos:

$$2 T \text{ sen } \theta = P \quad (i)$$

Dónde:

T = Tensión (asumimos 100 lbs)

P = Peso del mecanismo en lbs.

Así mismo tenemos:

$$Y = 39.66 \text{ tag } \theta \quad (2)$$

Dónde:

Y = Deflección del cable en pulgadas

39.66 = 1/2 de la longitud del cable entre aros

Calcular P dado Y = 1, 2, 3, 4, 5 pulgadas

$$\text{Tag } \theta = \frac{y}{39.66 \times 12}$$

Por tanto los valores correspondientes de tag para los valores de y son:

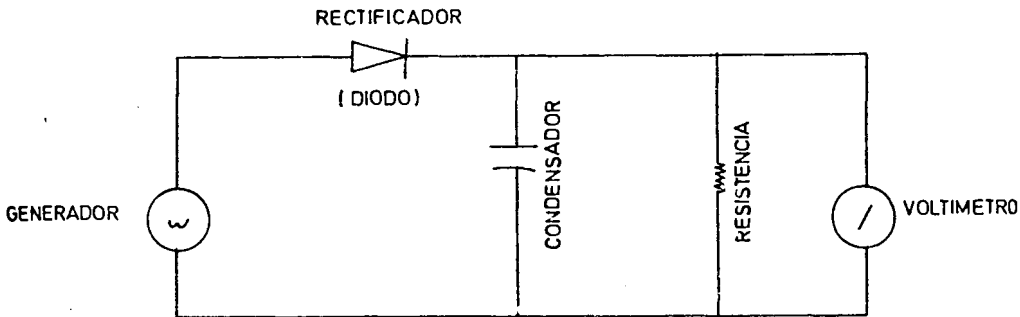
y	Tag $\theta$
1	.00208
2	.00416
3	.00624
4	.00832
5	.01040

Por ser ángulos pequeños  $\text{tag } \theta = \text{sen } \theta$  luego reemplazamos los valores de  $\text{sen } \theta$  en (1) y tenemos:

Tag	P (Lbs)
.00208	0.416
.00416	0.832
.00624	1.248
.00832	1.664
.01040	2.080

## CALIBRACION DEL DINAMO

CIRCUITO USADO EN LA CALIBRACION.-



### PROCEDIMIENTO.-

Se coloca el Dínamo en el torno y se lo va dando un número diferente de R.P.M. estas revoluciones se los va graduando en el torno, en nuestras pruebas tomamos valores de 25 a 250 R.P.M., así mismo tenemos que para cada número de revoluciones nos marca diferentes valores de voltaje.

Como nuestro afán es calibrar el dínamo marcamos el número de revoluciones en el torno, luego cronometrarnos el tiempo habiendo tomado un minuto para las pruebas, como resultado de estas pruebas obtuvimos valores de R.P.M. diferentes a los marcados en el torno así por ejemplo las 25 R.P.M. marcadas inicialmente en el torno marcaban en menos de un minuto (.77 min), igual cosa resulto con las otras pruebas.

Luego tomamos algunas lecturas para cada número de revoluciones y luego de estas lecturas la media.

CUADRO DE VALORES OBTENIDOS EN LA CALIBRACION

T A B L A N<sup>o</sup> 3

R.P.M.	TIEMPO CRONOMETRADO	R.P.M.	VOLTIOS	Pies/seg.
TORNO	MINUTOS	VERDADERO		
25	.776	32.32		3.49
			3.60	
25	.770	32.46		3.51
50	.860	58.13	7.05	6.28
75	.936	80.12		8.68
75	.938	79.95		8.63
			9.20	
.80	1.000	80.00		8.64
77	.964	79.87		8.63
125	.840	148.80		16.07
125	.850	147.05	16.90	15.88
125	.840	148.80		16.07

La figura # 26 es el resultado de graficar voltios VS.pies/seg.

Para transformar R.P.M. a pies/seg. lo hacemos de la siguiente forma:

$$\text{Pies/seg} = \pi D \times \text{R.P.M.}$$



Donde:

$$\Pi = 3.14$$

$$D = 24.8 \text{ pulg.}$$

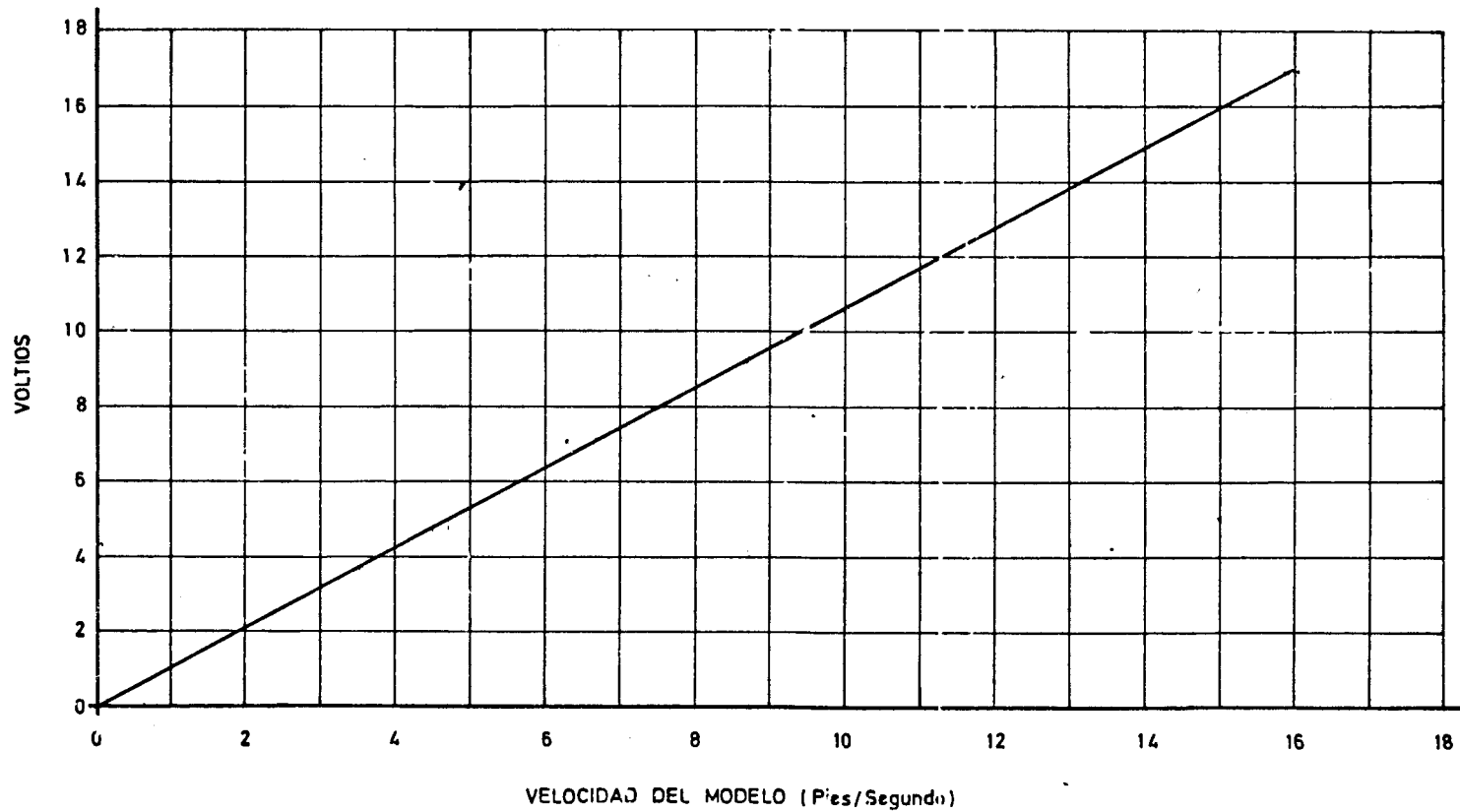
Como deseamos pies/seg. tendremos:

$$\frac{\Pi D}{12 \times 60} \times \text{R.P.M.} = \text{pies/seg}$$

$$\text{Pies/ seg.} = 0.108 \times \text{R.P.M.}$$

CALIBRACION DEL DINAMO

Fig. 26



## INSTRUCCIONES PARA ARMAR Y MANIOBRAR EL APARATO

- Debido a que todo el aparato es desarmable es conveniente tomar ciertas precauciones para armar y maniobrar el mismo durante las pruebas que se realicen. Por lo tanto el procedimiento a seguirse será :
- a.- Instalar el poste que contiene el polipasto y el aro pequeño en el hueco hecho para este fin en la piscina, luego asegurarlo por medio de una escuadra y prensas contra la pared dejando un espacio suficiente para que el recipiente de los pesos caiga libremente, es decir no golpee a la pared.
  - b.- Instalar el cable del polipasto el cual pasa sobre el aro pequeño este cable está sujeto en la parte interior del polipasto por medio de un ajuste.
  - c.- Instalar soporte de pesos este irá sujetado en el cable que pasa por el aro pequeño por medio de un ajuste, este soporte debe quedar a una distancia conveniente desde el piso con el fin de que al terminar toda la corrida del cable el modelo se frene, pues el cable se envuelve en sentido contrario.
  - d.- Instalar sistema de Montaje y Templada como en este sistema se encuentra el aro con el dinamo, sobre el cual pasará el cable de remol que deberá estar alineado con el polipasto, además la manivela que esta conectada a la parte anterior del carro deberá estar colocada de tal

manera que el carro se encuentre en una posición bastante corrida hacia el poste para luego templar el cable y alinearlo.

e.- Instalar el mecanismo acoplador al cable de remolque; regulando las posiciones relativas tanto del acoplador como de los ajustes siendo estos últimos graduables. Esta regulación se lo hace para mantener al acoplador por lo menos a unos 2 metros del borde de la piscina, cuando el depósito de pesos termina su caída.

De esta manera el peso frenará al modelo en los 2 últimos metros de corrida y así evitará un choque del modelo contra la piscina. De todas maneras hay que tomar precauciones adicionales para pruebas de altas velocidades siendo a veces necesario parar el aro y el cable manualmente en casos cuando la frenada no compensa la inercia del modelo, evitando la destrucción del modelo.

También hay que regular el peso del estabilizador de tal manera que equilibre al peso del eslabón.

f.- Instalar el cable de remolque sobre el aro del polipasto y el aro del sistema de templada y montaje, este cable está unido por medio de ajustes los cuales deberán estar ubicados en el lado del aro con el dinamómetro, esta consideración se lo ha hecho con la finalidad de que al producirse el arrastre del modelo estos ajustes no queden remordidos entre el poste y el polipasto lo que producirá una interrupción en la prueba.

Una vez hecha esta consideración se procede a la templada del cable de remolque desde el sistema de montaje y templada, por medio de la manivela que está sujeta al carro, el cable es templado hasta obtener una alineación correcta y la fricción necesaria entre el cable y los aros para producir la fuerza de remolque.

g.- Realizar las conexiones del circuito eléctrico y voltímetro al dínamo, teniendo mucho cuidado que la polaridad se encuentre bien determinada y además el voltímetro y circuito deberán estar ubicados convenientemente sobre una mesa de tal manera que el observador pueda tranquilamente realizar las lecturas correctas de voltaje.

h.- Acoplar el modelo al mecanismo acoplador, para esto el modelo está provisto de una base con 2 pasadores en los cuales va conectado el eslabón, así mismo hay que considerar que el eslabón esté alineado con el eje de propulsión.

## PRUEBA DEL APARATO CON UN YATE VELERO

Fecha: 1: de Noviembre de 1.973

Hora: 7:00 A.M.

La prueba del aparato construido fue hecha con un modelo de Yate Velero, las etapas seguidas en esta prueba se las puede clasificar de la siguiente manera:

### Instalación del Aparato.-

El tiempo demorado en armar al aparato fue de aproximadamente 2 horas, debido a que el trabajo se realizó entre 2 personas únicamente y por otra parte que en el proceso para armar el aparato hay que tener mucho cuidado de tal manera que cumplan con todos los requisitos iniciales para que posteriormente no se presenten dificultades.

Una vez realizada la instalación se procede a realizar la CALIBRACION DE FRICCION de tal manera que la tensión y el aliniamiento sean correctas, es necesario por tanto que después de cada instalación se haga la calibración de fricción para luego determinar una curva en función de la velocidad y posteriormente hacer las correcciones necesarias en base de esta curva.

### Series de Pruebas.-

Se realizaron 3 series de pruebas siendo estos:

Modelo con flujo turbulento en olas

Modelo con flujo turbulento en agua tranquila.

Modelo con flujo laminar en agua tranquila.

Utilizando para los 2 primeros un parche de arena de  $1/2''$ . Estas pruebas se realizaron en un espacio aproximado de 5 horas debido esto naturalmente que los ensayos se realizaron entre 2 personas, como resultado de estas pruebas se obtuvieron datos necesarios para posteriormente realizar gráficos, y cálculos de resistencia y poder del barco.

#### Cálculo de aceleración.-

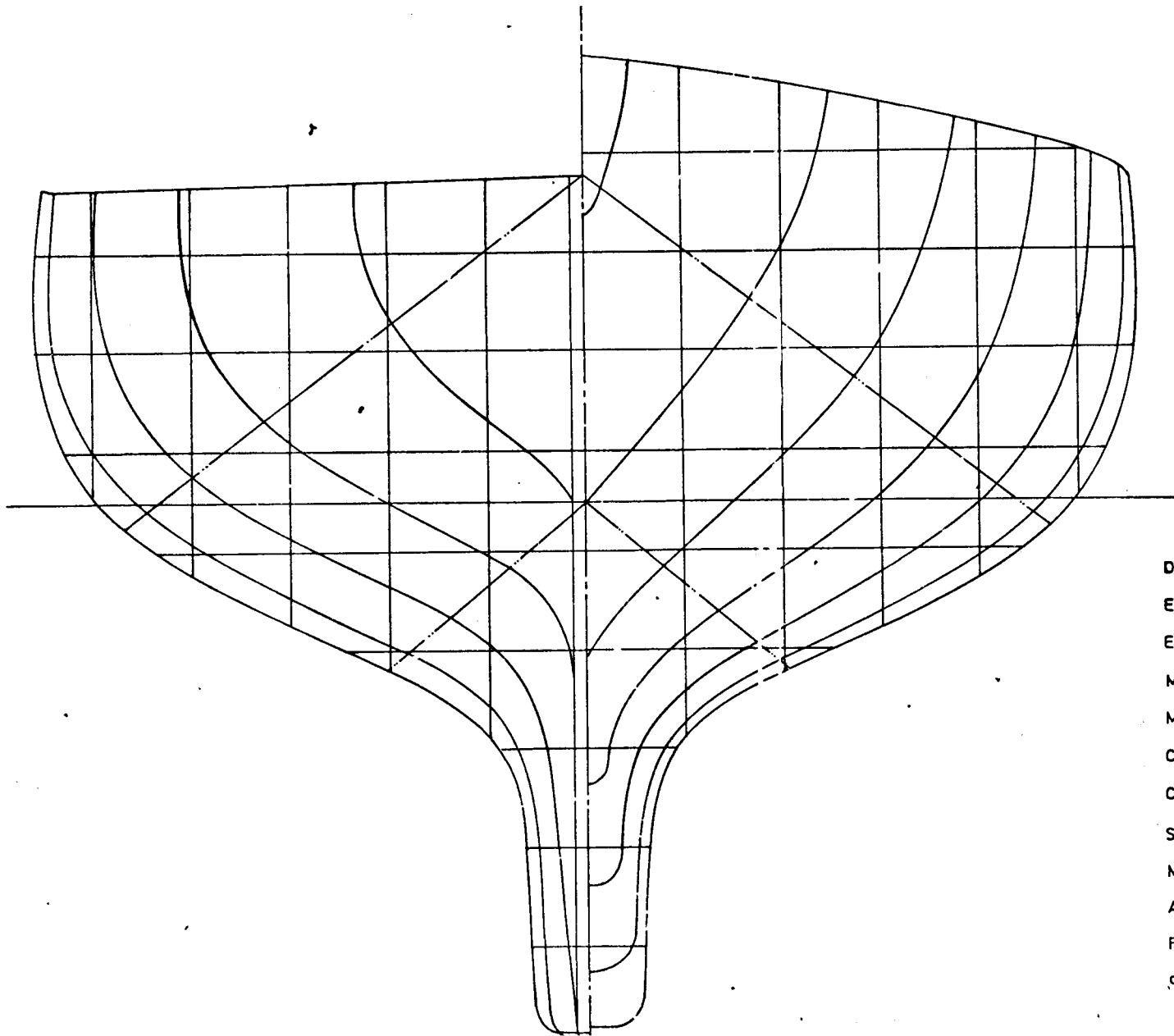
Luego de finalizadas las pruebas anteriores se calcula la aceleración del modelo lo cual es muy importante.

En estas pruebas se dió una aceleración manual para tener un mayor tiempo de medición obteniendo como resultado que el tiempo demorado para llegar a la velocidad de equilibrio es bastante aceptable.

Este cálculo de aceleración nos sirve también para una comprobación entre los resultados obtenidos en el cálculo teórico y los resultados de la prueba.

#### Modelo.-

El modelo utilizado para esta prueba es un Yate Velero, construido en el Taller de Modelaje, la escala es  $1/12$  del buque, el cuerpo de este modelo se indica en la figura # 27, las fotos de las pruebas se indica a continuación.



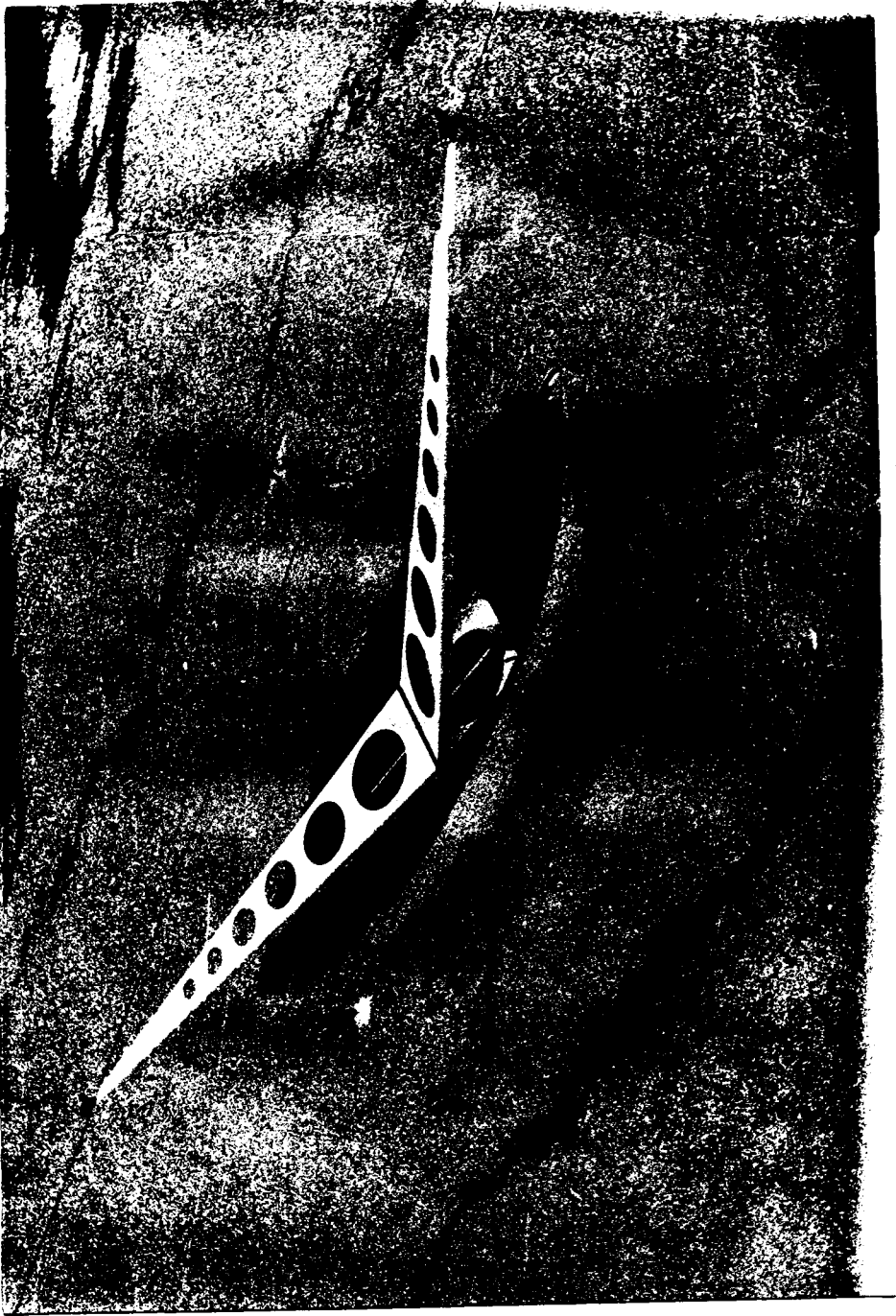
DESPLAZAMIENTO, AGUA DULCE	10.35 Lbs
ESLORA L. A. D.	30.00"
ESLORA TOTAL	36.00"
MANGA MAXIMA	11.25"
MANGA, L. A. D.	9.87"
CALADO	5.50"
Cp	0.55
SUPERFICIE MOJADA	347.12"

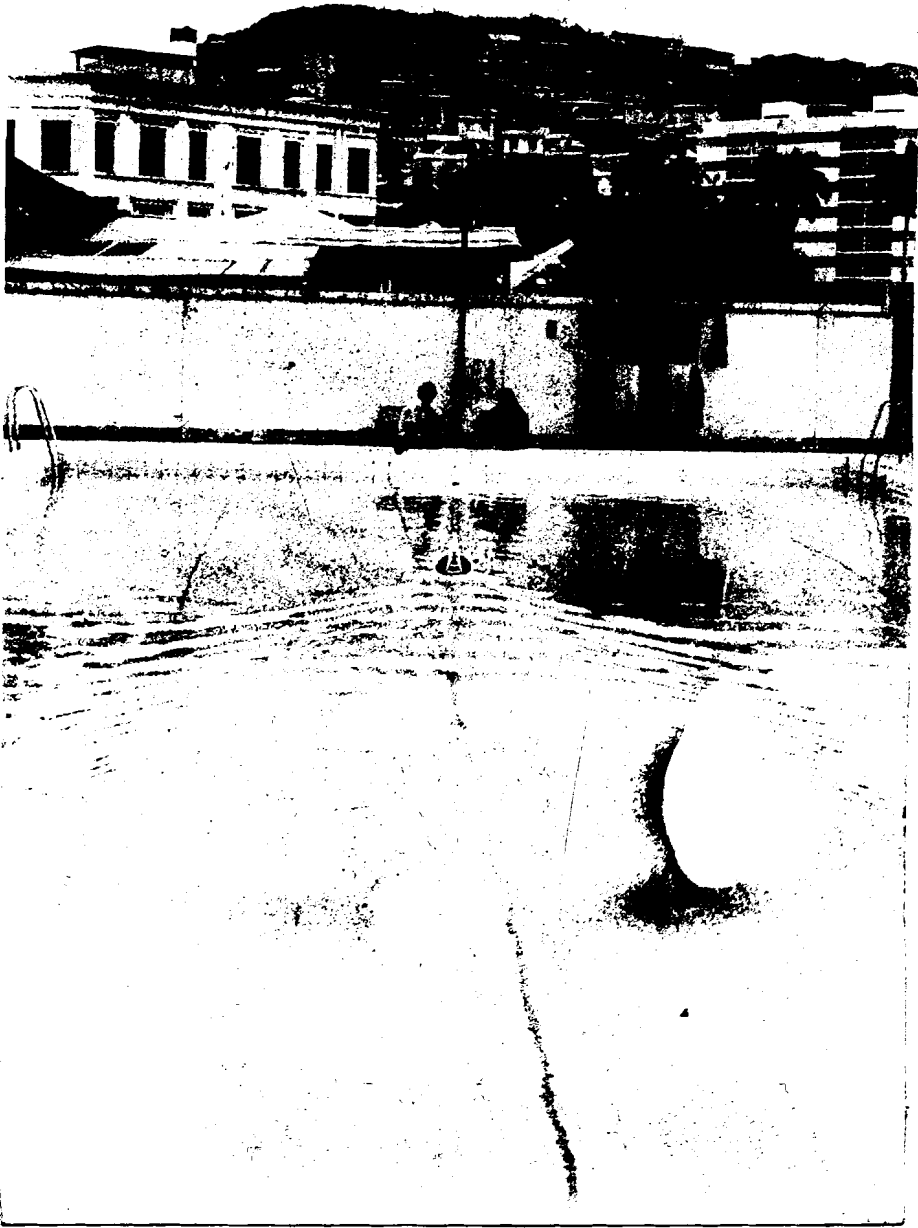
MATERIAL: Madera, Cedro de Castillo

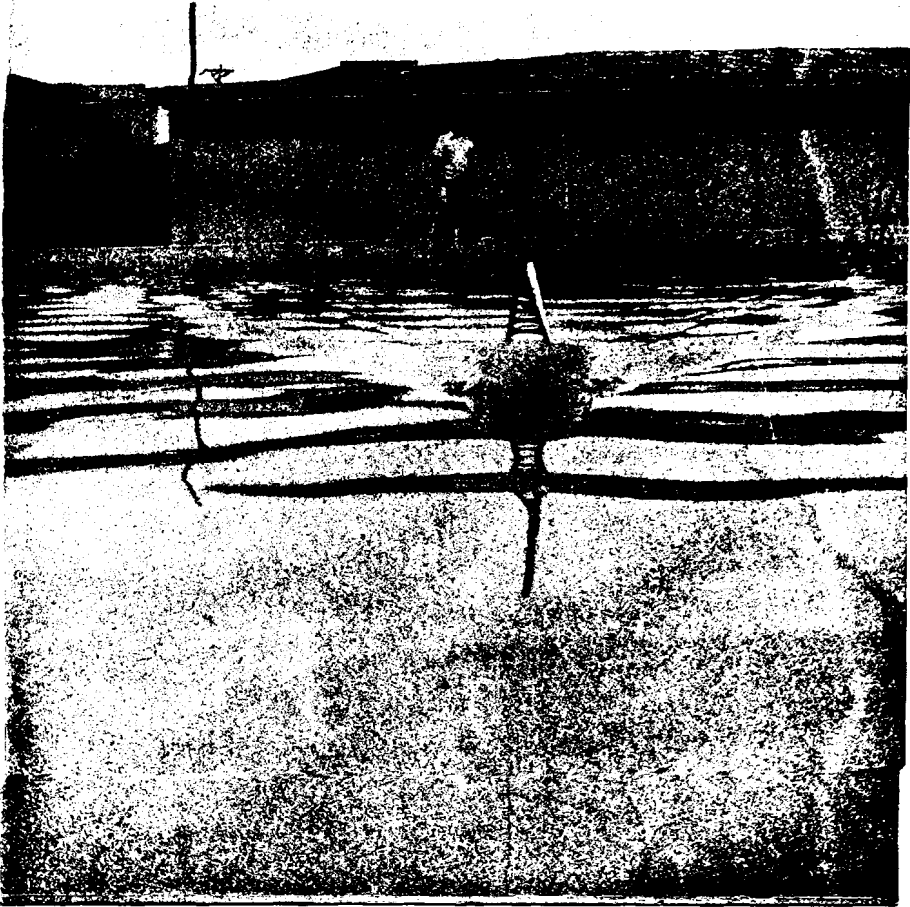
ACABADO: Laca Sintética

PERTURBADOR DE TURBULENCIA: Faja de arena de espesor ubicada a 5% de la eslora desde proa









## CALIBRACION DE FRICCIÓN

La Figura # 28 nos indica la curva de calibración de fricción en función de pesos vs. Voltios, esta figura se la obtiene de la siguiente manera: En el depósito de pesos colocamos uno por uno varios pesos lo que produce el arrastre del sistema mecánico, luego para cada prueba realizada tomamos su respectivo voltaje, una vez obtenidos los valores de voltios correspondientes a cada peso graficamos los puntos y obtenemos la figura anterior.

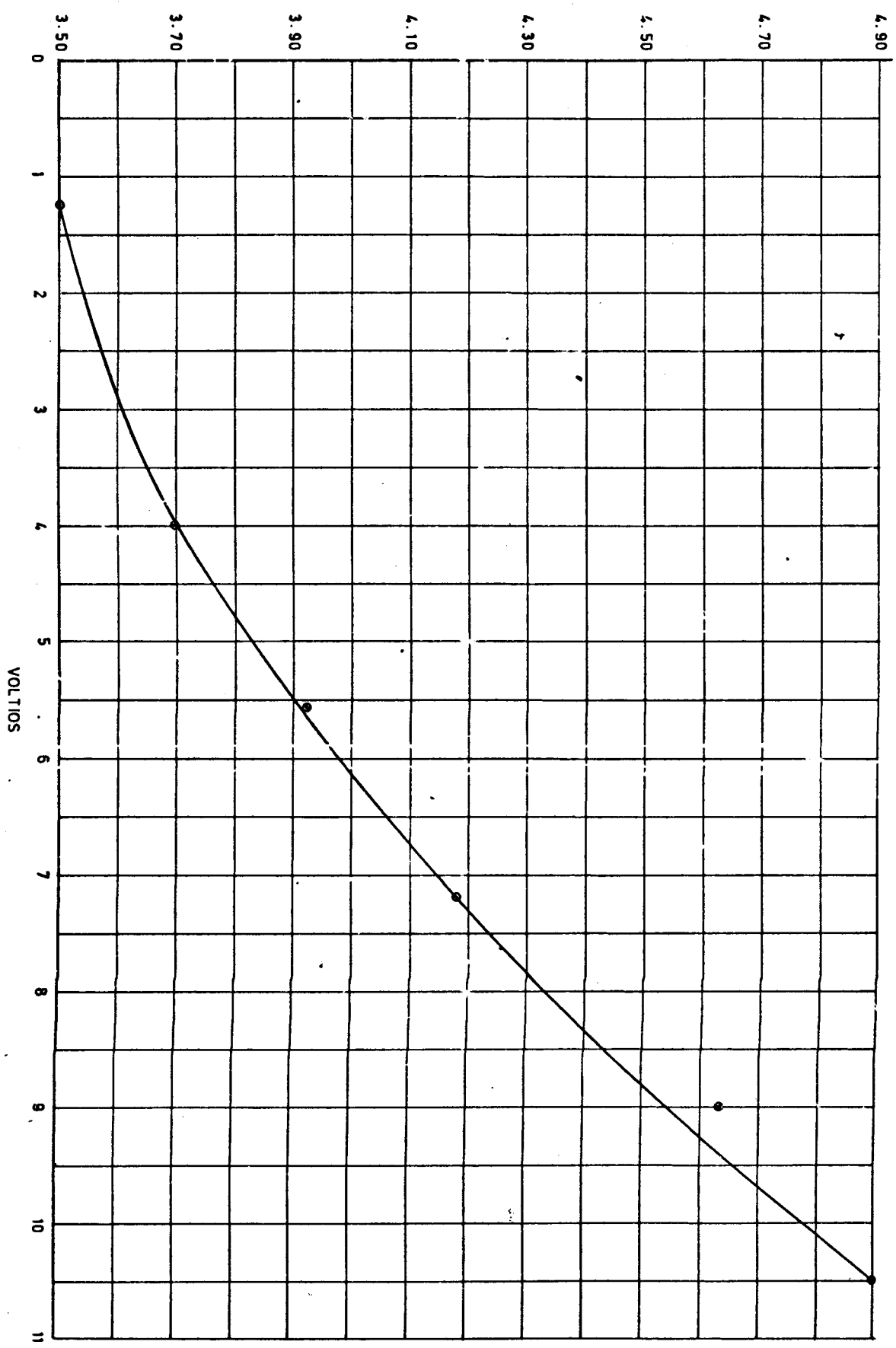
Dicha curva no empieza en cero sino en 3.5 Lbs. de peso puesto que, el depósito más los ajustes influyen como peso adicional en la calibración de la fricción.

### USO DE LA CURVA DE FRICCIÓN.-

Debido a que la fricción del sistema permanece como una función de velocidad durante las pruebas con modelos, la fuerza disponible para remolcar el modelo es la diferencia entre la fuerza total y la fuerza de fricción mecánica del sistema para cada velocidad.

Se puede realizar las correcciones de fricción mecánica para cada dato de la prueba en base al diagrama elaborado. Debido a que la fricción puede ser afectada por factores tales como tensión y alineamiento del cable, es necesario medir la fricción del sistema después de cada instala-

PESO (peso del deposito y ajustes → pesos chicos) LIBRAS



ción del aparato y luego por medio de la Figura hacer las devidas correcciones .

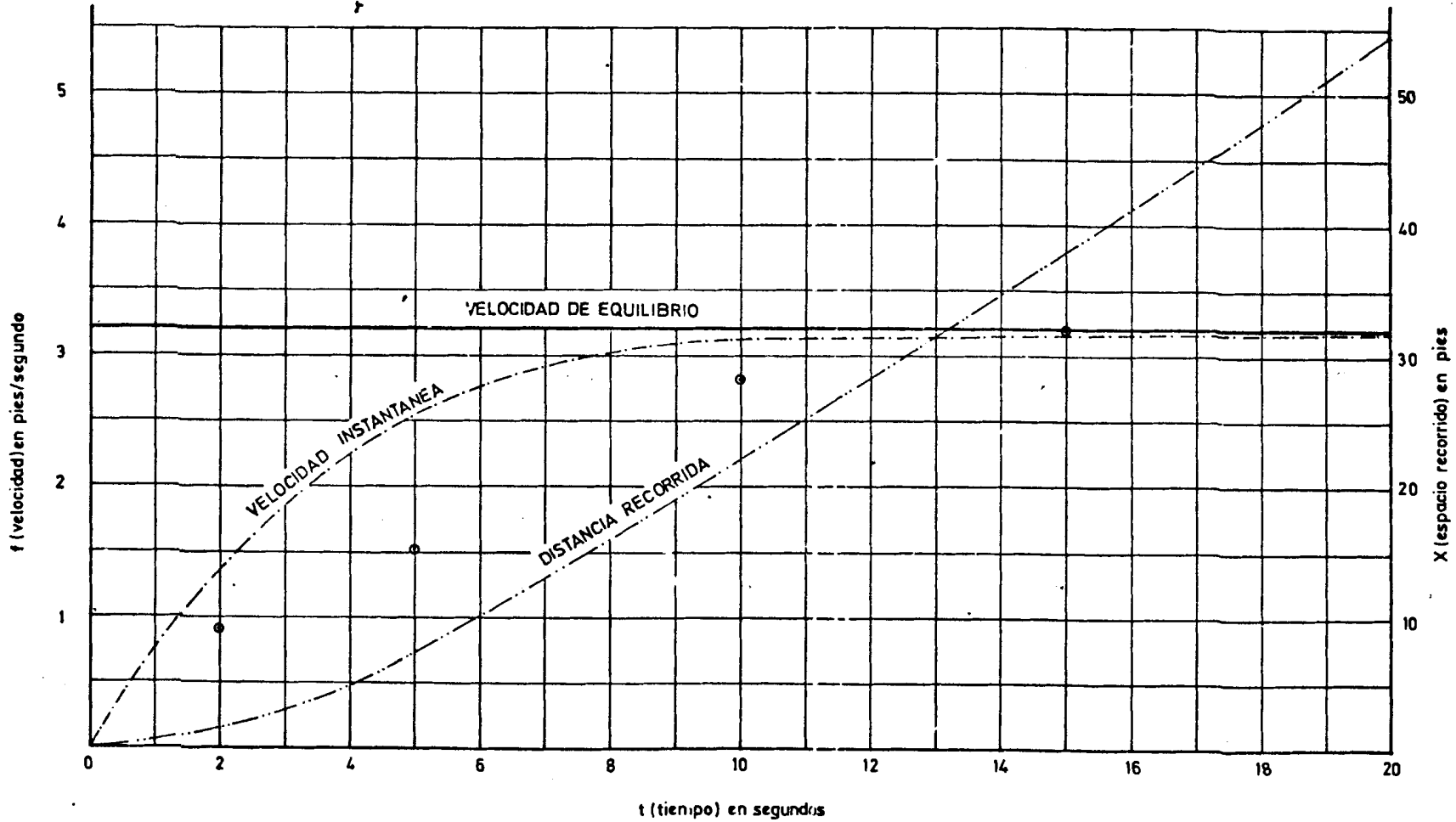
### CALCULO DE ACELERACION DEL MODELO

El cálculo de aceleración en pruebas con modelos es de suma importancia, puesto por no tratarse de un carro eléctrico el que remolca el modelo no se puede tomar como un valor que sea prácticamente constante, sino que para cada prueba que se vaya a realizar habrá que hacer el cálculo de aceleración.

Para las pruebas realizadas con un modelo de velero seguimos el siguiente cálculo de aceleración. Colocamos 10 pesos en el depósito para producir el arrastre del modelo, luego tomamos varios intervalos de tiempo que son: 2, 5, 10, 15, y 20 segundos, para cada uno de estos tiempos se obtiene su respectivo valor de voltaje, con estos valores entramos en la figura de calibración del dínamo y encontramos el valor de velocidad; entonces con velocidad y tiempo conocidos graficamos los puntos obtenidos en la Figura # 29 la cual contiene las curvas de estudio teórico del modelo probado. Hay que anotar que existe variación entre el cálculo de la prueba y el teórico, sin embargo, el tiempo demorado para llegar a la velocidad de equilibrio es bastante aceptable.

CALCULO TEORICO DE VELOCIDAD Y ESPACIO RECORRIDO

EJEMPLO: YATE VELERO



● PUNTOS DE VELOCIDAD INSTANTANEA OBTENIDOS EN LA PRUEBA.

CALCULO TEORICO DE VELOCIDAD Y DISTANCIA RECORRIDA EN BASE DEL ANALISIS DE ACELERACION.-

Ejemplo:

Modelo de un YATE VELERO de las siguientes características.

$$\text{Eslora} = 2.5 \text{ pies}$$

$$\text{Volumen} = 308.32 \text{ pulg}^3 = 0.178 \text{ pies}^3 ; \Delta = V \times 62.2 = 11.07 \text{ Lbs}$$

$$V/\sqrt{L} = 1.2$$

Utilizando las fórmulas anteriores usadas para el análisis de aceleración obtenemos:

$$a.- L/\nabla^{1/3} = 4.44$$

$$b.- V = 1.2 \times \sqrt{L} = 1.90 \text{ nudos} = 3.2 \text{ pies/seg.}$$

$$c.- FV = V/\sqrt{g\nabla^{1/3}} = 0.75$$

d.- De la figura 1 con  $L/\nabla^{1/3}$  y  $FV$  obtenemos:

$$R/\Delta = 0.0225$$

$$e.- R = 0.0225 \times \Delta = 0.249 \text{ lbs.}$$

$$f.- K = R/V^2 = 0.024$$

$$g.- C = \frac{D_1}{D_2} = 0.115$$

$$h.- P = R/C = 2.16 \text{ lbs}$$

$$i.- m_m = \Delta/32.2 = 0.343 \text{ slug.}$$



$$j.- m_p = R/C / 32.2 = 0.067 \text{ slug.}$$

$$k.- A = \frac{CP}{m_m + C^2 m_p} = 0.72$$

$$l.- B = \frac{K}{m_m + C^2 m_p} = 0.069$$

$$m.- S = \sqrt{AB} = 0.0223$$

$$n.- \sqrt{A/B} = 3.22$$

luego asumiendo valores de  $t = 0, 2, 5, 10$  y  $20$  segundos calculamos Velocidad) y  $x$  (Distancia recorrida) cuyas fórmulas son:

$$f = \sqrt{A/B} \frac{(e^{2st} - 1)}{(e^{2st} + 1)}$$

$$x = \sqrt{A/B} \left[ \ln \frac{(e^{2st} + 1)}{S} - t - \ln \frac{(2)}{S} \right]$$

Los cálculos obtenemos:

$t$	$f$ (pies/seg)	$x$ (pies)
0	0	0
2	1.34	1.35
5	2.59	7.50
10	3.14	22.34
20	3.19	54.37

La figura 29 indica los valores obtenidos y sus curvas respectivas.

## INTERPRETACION DE LOS DATOS OBTENIDOS EN LA PRUEBA

Hemos asumido en el análisis de la Dinámica del sistema que la resistencia total del modelo varía en función del cuadrado de la velocidad, debido a que esta aproximación no sirve para cálculos de potencia que requieren precisión, podemos utilizar esta relación como referencia para revisar los datos obtenidos en la prueba.

Es costumbre en los tanques de pruebas graficar la relación  $R_x/V^2$  (Resistencia total sobre Velocidad al cuadrado) vs. Velocidad. Por lo tanto podemos considerar que la cantidad  $R_x/V^2$  es el coeficiente de la fórmula simplificada:

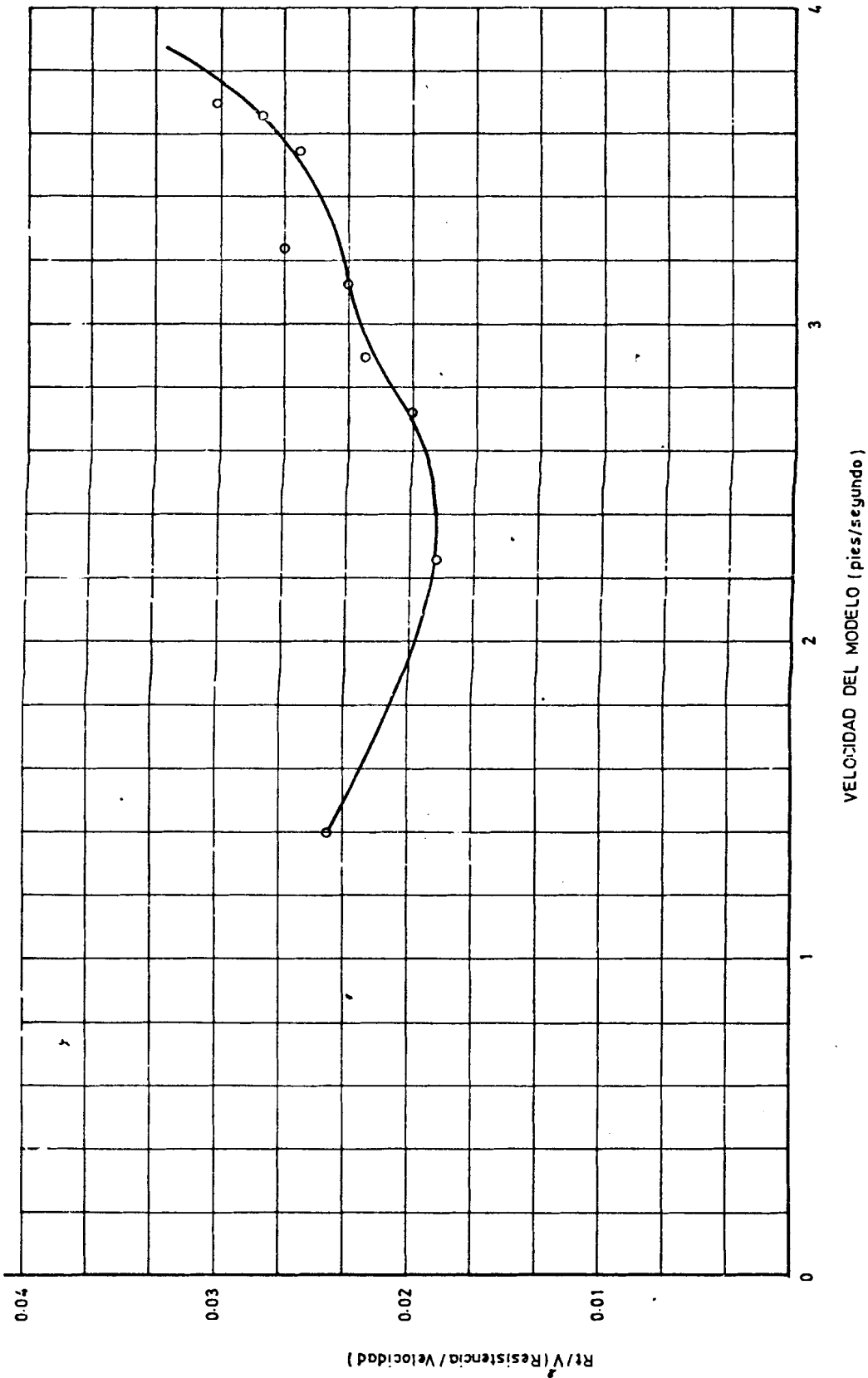
$$R = K V^2$$

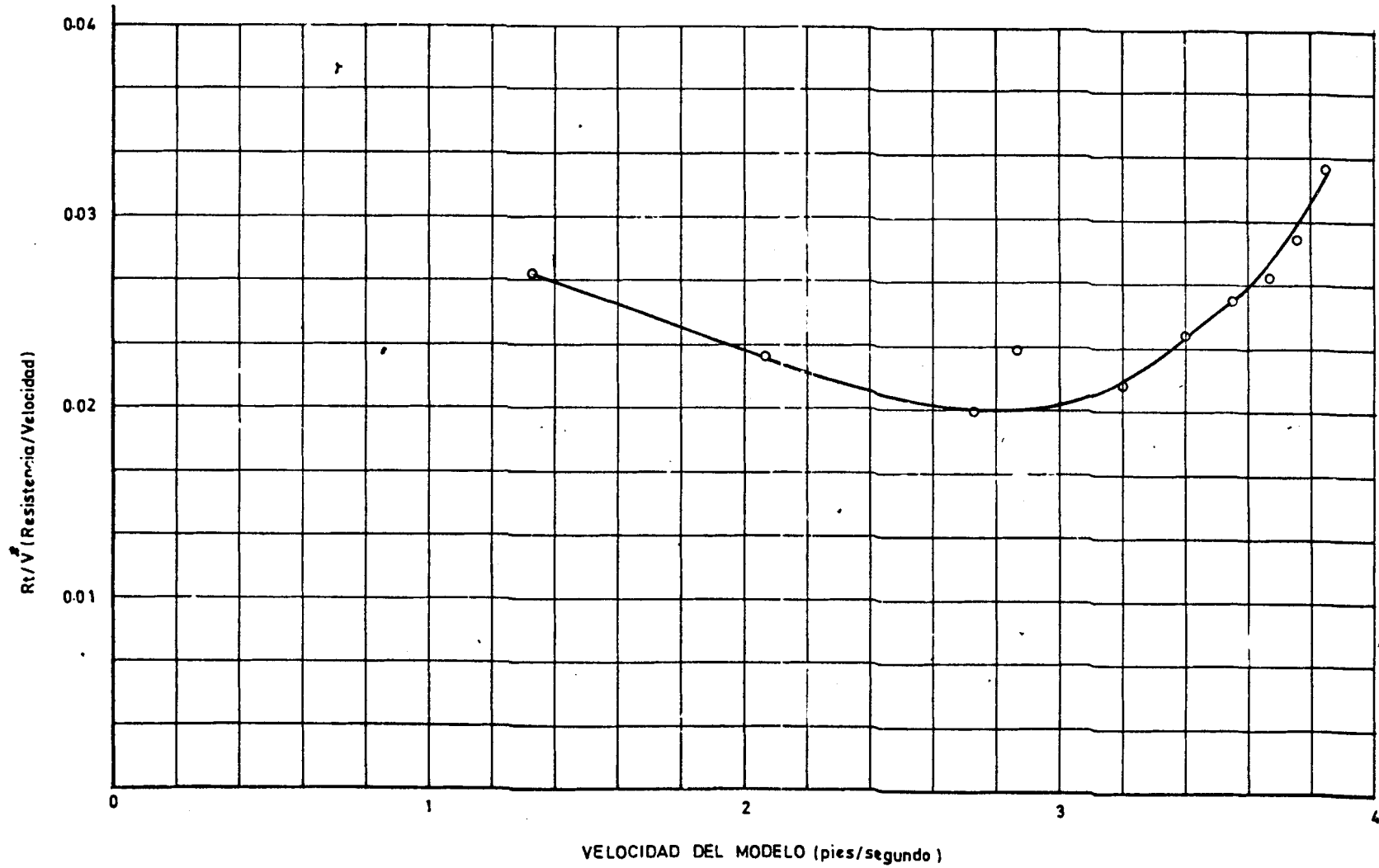
$$K = R/V^2$$

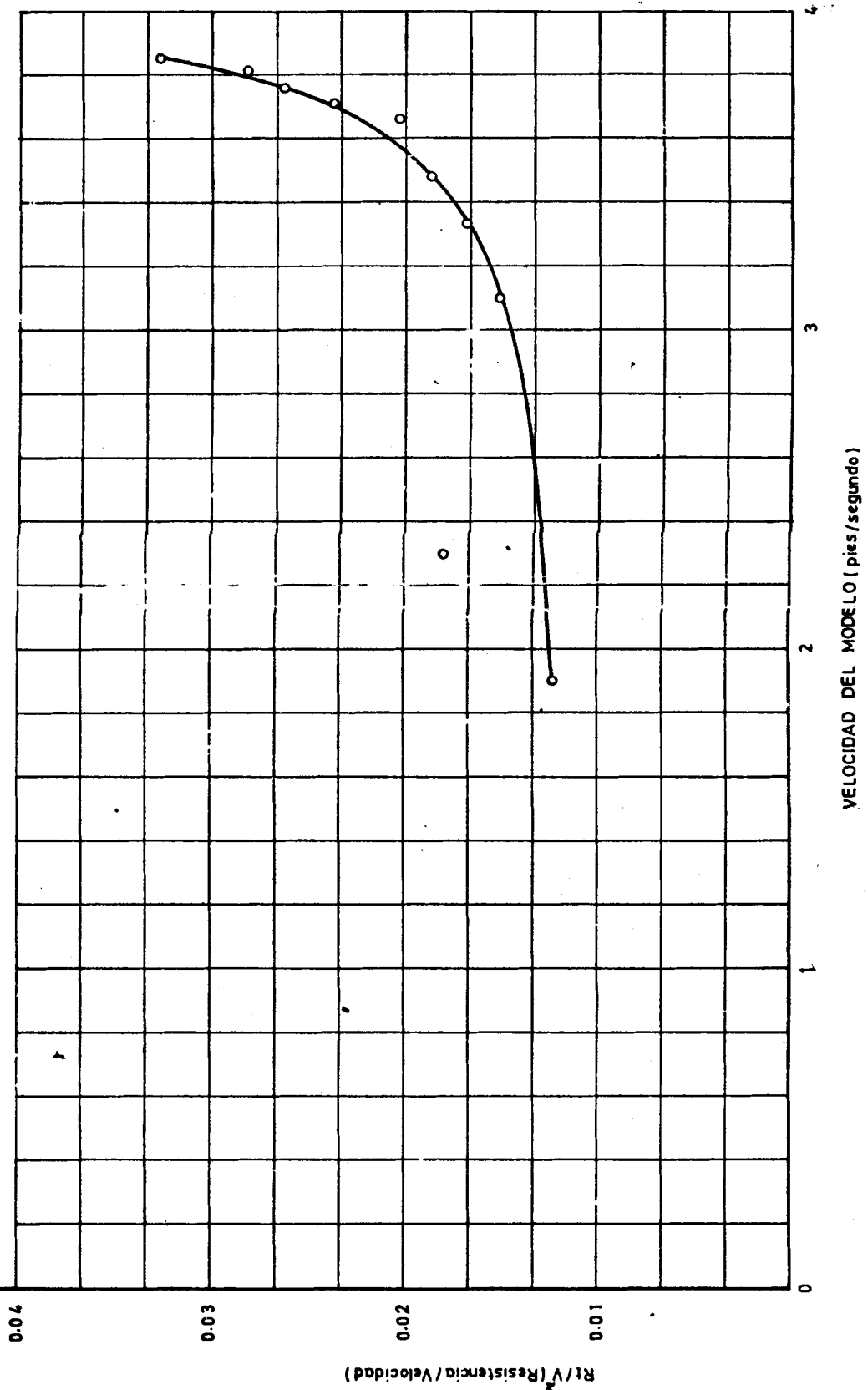
y que las Figuras 30-32. nos indica la variación de esta constante en función de velocidad. Debido a que la constante no puede variar bruscamente en función de velocidad, podemos separar los datos no adecuados y trazar una curva promedia que sirve para tomar datos rectificados, en intervalos constantes para los cálculos subsecuentes.

Las Figuras 30-32 nos indican las curvas de  $R_x/V^2$  en función de velocidad para 3 condiciones de pruebas, es decir, modelo con turbulencia en agua tranquila, modelo con turbulencia en olas y modelos sin turbulencia en agua tranquila.

AGUA TRANQUILA







El proceso seguido para obtener estas figuras hasta alcanzar los valores de velocidad y  $R_t/V^2$ , es el siguiente:

- 1.- Para cada caso realizamos 10 pruebas con pesos numerados de 1 a 21 colocando durante cada una de las pruebas de 2 en 2 los pesos a excepción de la última que se colocan los tres últimos pesos.
- 2.- En cada prueba medimos el voltaje respectivo.
- 3.- Calculamos el peso total que es igual al peso del depósito más los pesos individuales.
- 4.- Calcular la fricción; estos valores los obtenemos de la Figura # 28 en función de voltios y fricción.
- 5.- Peso verdadero que es igual a la diferencia entre peso total y la fricción.
- 6.- Calculamos la resistencia total por medio de la siguiente fórmula:

$$R_t = \text{Peso verdadero} \times C$$

Donde:

C = Relación de diámetro del aro grande y polipasto cuyo valor es 0.115

- 7.- Cálculo de la velocidad en pies/segundo; estos valores los obtenemos de la Figura # 33 (calibración del dinamo) para lo cual entramos con voltios y obtenemos la velocidad.
- 8.- Cálculo de  $R_t / V^2$  conocida la resistencia total y  $V$  entonces obtenemos la relación deseada.

La Figura # 34 resulta de los cálculos hechos para resistencia total y EHP para el buque, mientras que la Figura # 35 es de cálculo para coeficiente friccional, residual, total y resistencia total del buque sobre desplazamiento. Las curvas anteriores han sido obtenidas por medio de un programa de computación el cual se encuentra adjunto, la finalidad de este programa es hallar todos los coeficientes de resistencia, resistencia y EHP para el buque partiendo de los datos conocidos del modelo.

Este programa utiliza el método de FROUDE el cual se determina la resistencia friccional por medio de la fórmula ATTC, y se calcula la resistencia residual como la diferencia entre la resistencia total y la friccional.

$$C_f = \frac{0.075}{(\log_{10} (R_n) - 2)^2}$$

$$C_r = C_{tm} - C_{fm}$$

onde:

$$C_r = \frac{R_r}{\rho/2 S V^2} \quad ;$$

$$C_{tm} = \frac{R_{tm}}{\rho/2 S V^2}$$

mpliación para valores usados en el ejemplo)

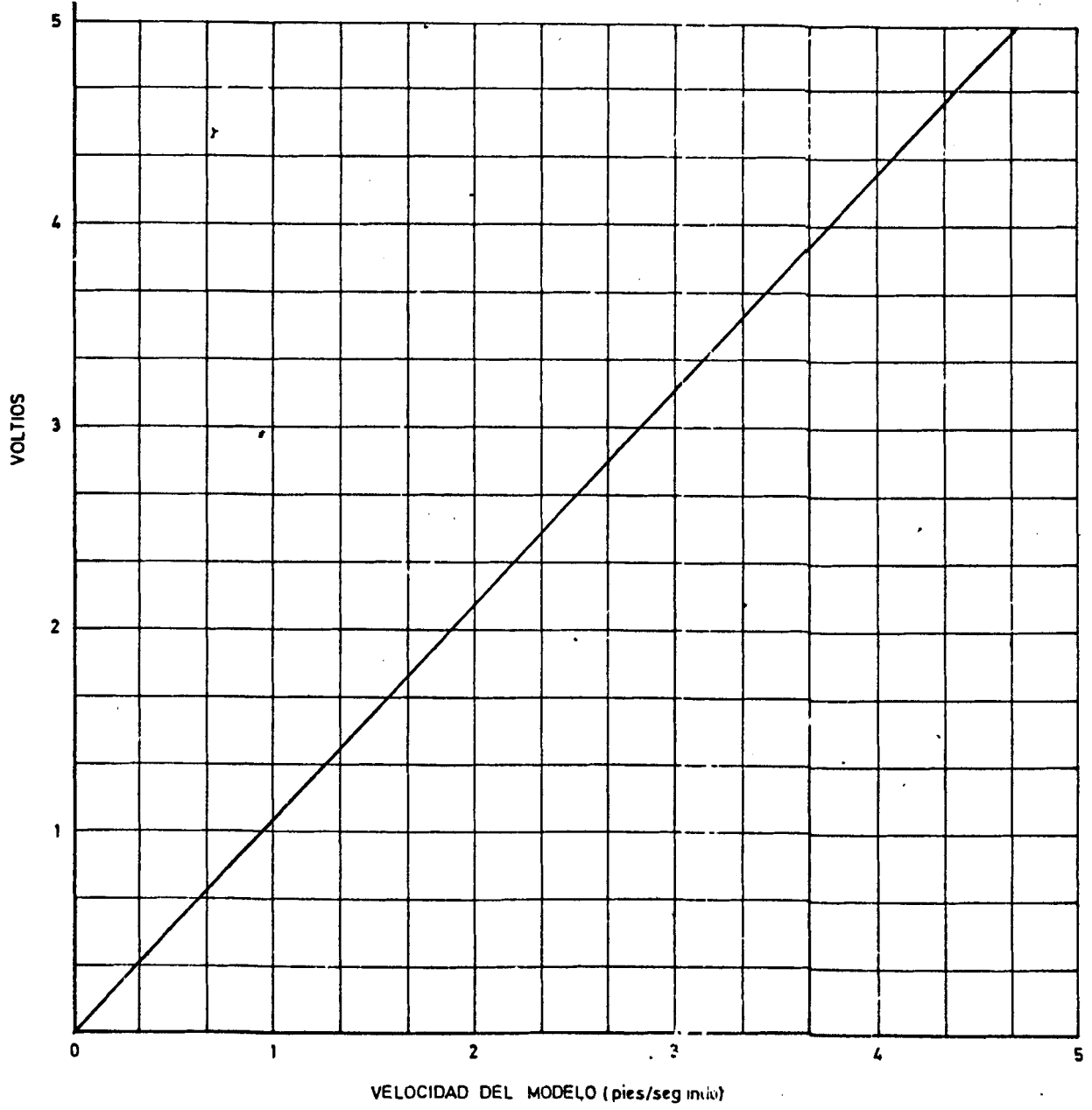




Fig. 34

RESISTENCIA TOTAL Y EHP

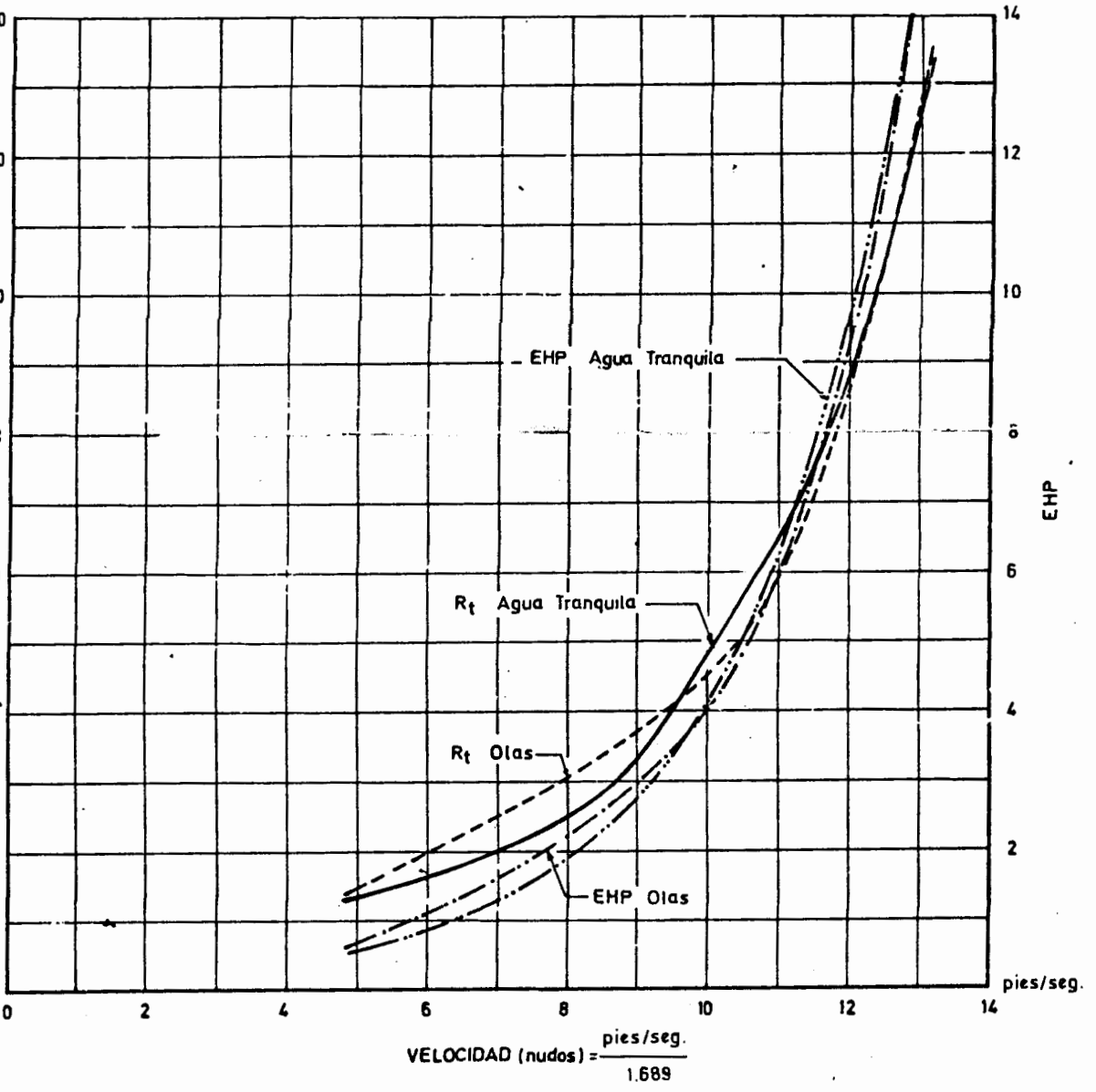
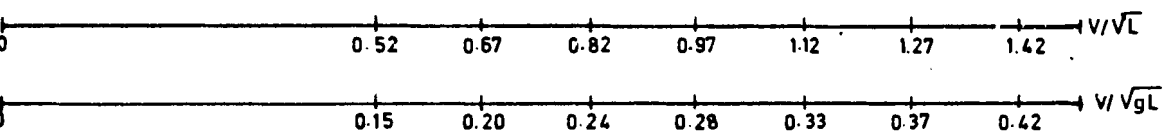
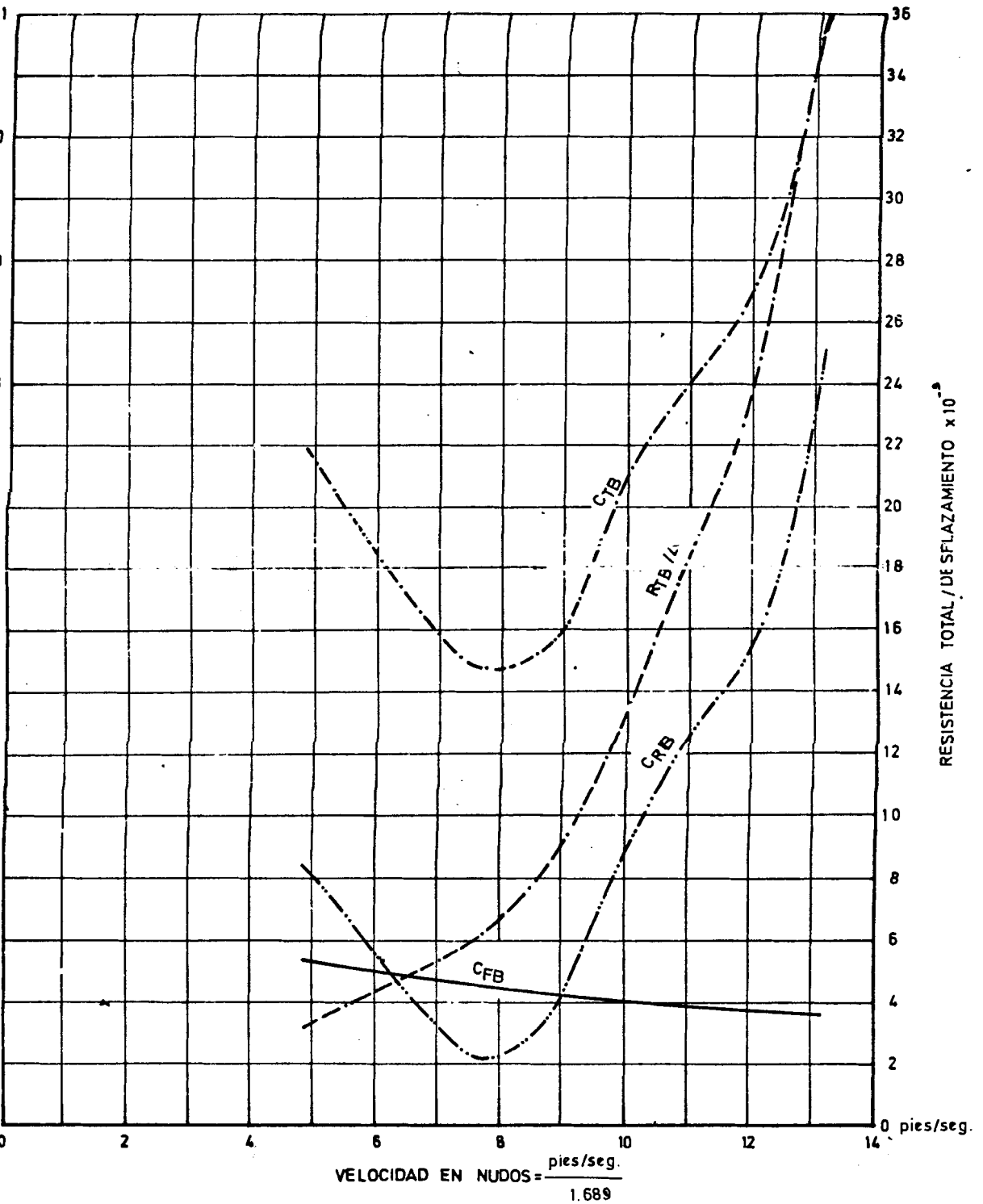


Fig. 35

CURVAS DE COEFICIENTES Y  $R_T/\Delta$



Para determinar la resistencia total del barco se calcula el coeficiente de resistencia friccional para el barco y se lo aumenta como es costumbre por la corrección de rugosidad en este caso 0.0004 luego de su mar el coeficiente de resistencia residual, tenemos entonces.

$$C_{tb} = C_{fb} + C_a + C_r$$

Donde:

$$C_a = 0.0004 \text{ corrección de rugosidad}$$

$$R_{tb} = C_{tb} \times 0.5 \times S_b V_b^2$$

$$EHP = \frac{R_{tb} \times V_b}{550}$$

Donde:

$$R_{tb} = \text{Resistencia total del barco}$$

$$V_b = \text{Velocidad del barco}$$

La Figura # 35 que contiene los coeficientes y  $R_t/\Delta$  es solo para el buque en agua tranquila y está en función de los siguientes parámetros: Velocidad en nudos,  $V/\sqrt{L}$ ,  $V/\sqrt{gL}$  y  $R_n$ ; la Figura #34 con  $R_t$  y EHP esta unicamente en función de velocidad en nudos.

### ANALISIS DE PRECISION DEL APARATO

El error máximo posible del sistema se calcula como la suma de los errores máximos de cada componente relacionados con la medición.

Mientras todo aparato mecánico o electrónico tiene su precisión, limitada por diseño y fabricación, existen sin embargo errores de lectura debido al espaciamiento de las calibraciones y a la interpretación visual de las mismas.

En el análisis subsecuente se incluye: El error de mecanismo cuando es conocido y el error de lectura (tomado como una media división de la escala del indicador) y cuando ambos errores son significativos, la suma de los dos.

Los siguientes cuadros nos indican un análisis para el cálculo de error en velocidad y fuerza.

#### VELOCIDAD

Componente	Error Mecanismo	Error Lectura	Error Máximo Posible
Dinámico		2% *	2%
Voltímetro	3% **	1.42%	4.42%
Suma			6.42%

\* Debido a la calibración, error tomado en base de la variación máxima de las lecturas.

\*\* Dado por el fabricante.

FUERZA

Componente	Error Mecanismo	Error Lectura	Error Máximo Posible
Balanza para calibrar pesos.	Insignificante	1% *	1%
Calibración de la fricción del sistema		2% **	2%
Suma			3%

\* Valor representativo para modelos pequeños de alrededor de 3 pies, el error será menor para modelos mayores.

\*\* Determinado en base de la variación máxima de lecturas obtenidas en las pruebas.

En conclusión, el error máximo inherente del sistema es 6.42% para velocidad y 3% para resistencia. Cabe anotar que errores de mayor magnitud pueden resultar por descuido en la planificación, ejecución e interpreta-

ción de los ensayos.

Por lo tanto para minimizar los errores externos al sistema que pueden influir al resultado, será conveniente tener en cuenta las siguientes precauciones:

- 1.- Determinar cuidadosamente la temperatura, densidad y viscosidad cinemática del agua en la que se realiza la prueba.
- 2.- Evitar el uso de modelos demasiado pequeños con el objeto de garantizar un número de Reynolds aceptable y para evitar valores muy pequeños de velocidad y resistencia.
- 3.- Graduar cuidadosamente la tensión del cable y la posición del mecanismo acoplador para evitar deriva entre el modelo y la trayectoria de la prueba.
- 4.- Proveer estimulación artificial de turbulencia cuando se requiere, aplicando artificios adecuados como un parche de arena o un alambre de 0.035 pulgadas de diámetro ubicado en proa y realizando las correcciones correspondientes.
- 5.- No realizar las pruebas cuando hay viento.
- 6.- Esperar hasta que se disipe el olraje de la prueba anterior antes de seguir con la próxima.

## SEGUNDA PARTE

### JUSTIFICACION DEL TANQUE DE PRUEBAS PARA EL DEPARTAMENTO.-

Debido a que la carrera de Ingeniería Naval se va acentuando cada vez más se hace imperiosa la necesidad de contar con un Tanque de Pruebas para ensayos con modelos de buques al servicio de la industria y de la enseñanza en el Departamento.

### Función Técnica y Económica del Tanque.-

Entre las cuestiones fundamentales que el proyectista tiene que resolver en el diseño de un buque, figura en primer término la determinación de la potencia que será necesaria instalar para alcanzar una cierta velocidad, cuando se trata de buques de tipo común, la determinación de la potencia de propulsión y las formas de carena, así como también las características de las hélices puede basarse en los resultados de pruebas con modelos derivados de prototipos adecuadamente graficados, otra manera sería por comparación con los resultados obtenidos en pruebas que hayan tenido éxito de buques similares.

Cuando se trata de embarcaciones cuyas características se apartan de lo convencional, sea por la forma de la carena, la alta velocidad o por que son para navegar en aguas limitadas, es pues entonces imprescindible una verificación de la forma del casco y de la eficiencia del sistema propulsivo por medio de pruebas con modelos en las condiciones hidrográficas y del funcionamiento del aparato motor semejante a la del

buque real.

Por lo tanto se trate de buques mercantes, pesqueros, militares, etc., en su diseño se busca esencialmente la utilidad que mejor convenga a su empleo, entre las cualidades que los caracterizan; Velocidad, Autonomía parte útil, etc. Si se tiene un desplazamiento, no se trata simplemente de alcanzar la velocidad deseada con la menor potencia de máquinas desde las formas del casco que mejor respondan a ese fin, pudiendo resultar al contrario que no son lo más convenientes para la explotación comercial.

En tanques de pruebas modernos permiten explorar fácilmente el movimiento, potencia requerida, esfuerzo del casco y presión de impacto a lo largo del barco lo que permite tomar precauciones para construir la quilla, evitar bamboleo de los tanques etc.

Por otra parte un tanque de pruebas es de gran importancia para la enseñanza e investigación por parte de los estudiantes y personal docente.

En cuanto a lo económico podemos indicar que es injustificable en construcciones de cierta importancia, la omisión de estos ensayos, considerando sobre todo que el costo de estos ensayos es irrisorio comparado con el precio del buque.



Para tener una mejor idea de la importancia de los Tanques de Pruebas dentro de la economía nacional, transcribimos las palabras del Dr. F. H. Todd, Director del Departamento Naval del National Physical Laboratory (Inglaterra) sobre los beneficios que se obtienen de las mejoras introducidas en las carenas por el canal de Teddington.

"Fijando en 20 años la vida promedio de un buque, la economía total en gastos de combustible, referida a ese plazo, con que se beneficia la Marina Mercante como resultado de un solo año de trabajo del canal, representa unos 2.000.000 de Lbs, es decir, aproximadamente lo que cuesta el nuevo canal de Feltham".

Por lo tanto podemos asegurar que la inversión de un Tanque de Pruebas, así como su equipo electrónico e instrumentos de medida serán largamente compensados por los beneficios que obtendrán la economía nacional y la formación de los futuros Ingenieros Navales.

ANALISIS DE DIMENSIONAMIENTO DE TANQUES DE PRUEBAS Y  
ELABORACION DE DIAGRAMAS

La meta fundamental de los tanques de pruebas es obtener resultados más precisos con los modelos más pequeños.

Por lo tanto lo fundamental radica en determinar la mínima eslora permisible, para esto tomamos en consideración una categoría de barcos y sus correspondientes rangos de velocidad relativa de operación; es también un aspecto importante el número de Reynolds y se lo puede tomar como factor límite un  $R_n = 1 \times 10^6$  correspondiente a la menor velocidad relativa de operación.

Para nuestro estudio de dimensionamiento hemos elaborado la siguiente tabla de la cual posteriormente se tomarán datos para calculos de comprobación.

T A B L A N° 4

Categoría de Barco	Rango de Operación $V/\sqrt{L}$	Coeficientes Geométricos Representativos				
		$L/\nabla^{1/3}$	L/B	B/H	$C_p$	$C_x$
Buques de Carga	.5-1.2	5.60	7.00	2.25	.70	.89
Planeadores	.8-3.5	6.00	4.00	6.00	.75	.61
Pesqueros	.4-1.2	4.35	4.00	2.50	.62	.79

Veleros	.5-1.4	5.00	3.20	3.50	.55	.52
Destruyores, Yolas, canoas	.6-2.0	8.30	10.0	2.50	.65	.65

Además la Fig. # 36 en la cual se encuentran graficados perfiles de  $V/\sqrt{L}$  en un rango que varía de 0.3-5.0 y número de Reynolds  $1 \times 10^6$ , nos indica la eslora mínima permisible para cada categoría de barcos, el procedimiento para la elaboración de esta Figura es semejante al que se realizó para obtener las Figuras # 2 y 3, es decir asumir velocidades en este caso de 0-25 pies /seg. y obtener esloras y luego con L y V graficamos los perfiles de  $V/\sqrt{L}$ .

Igualmente para graficar  $R_n$  partimos de su fórmula que es:

$$R_n = \frac{V L}{\nu}$$

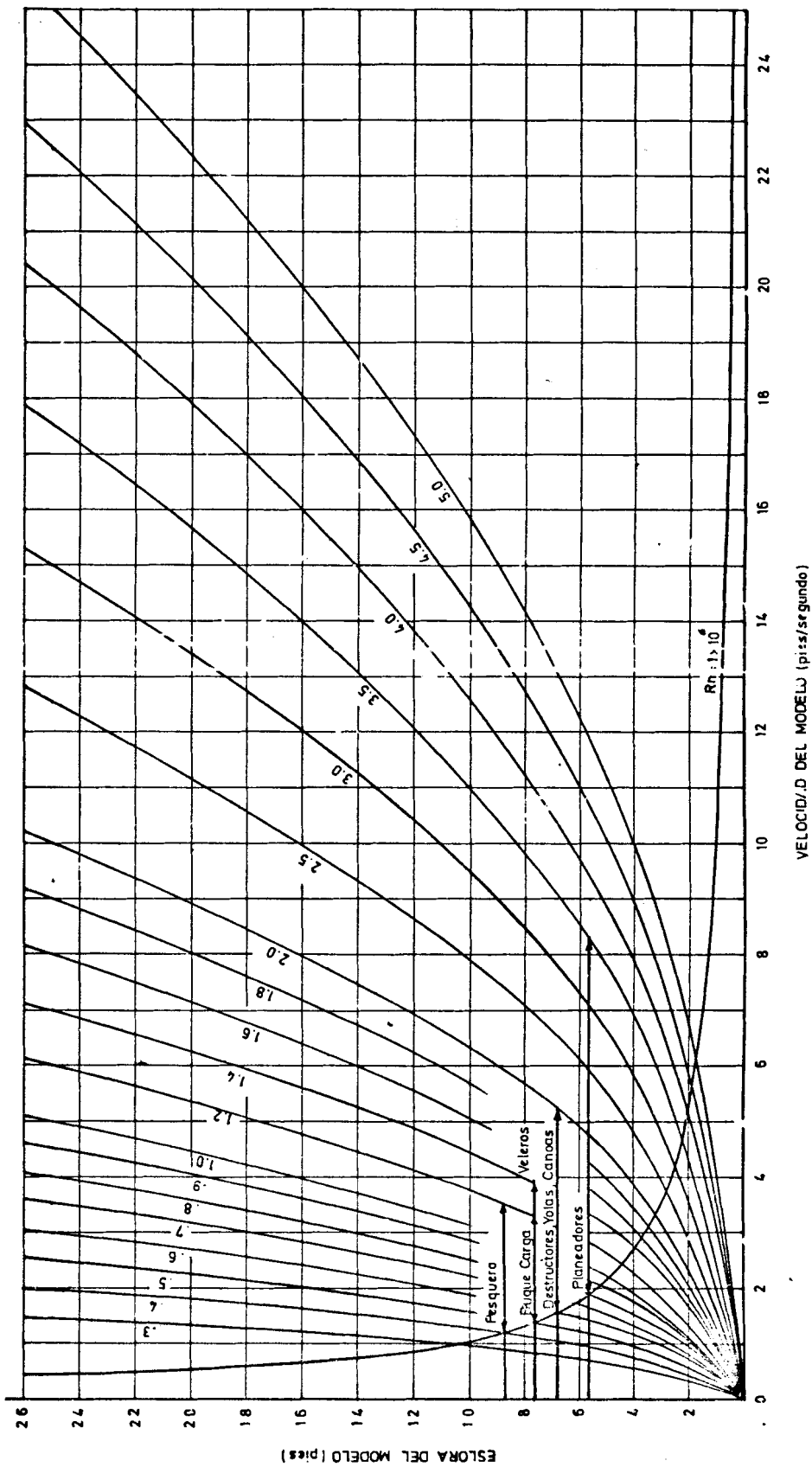
Siendo  $R_n = 1 \times 10^6$  y  $\nu = 1.05 \times 10^{-5}$  (70° de temperatura), entonces despejamos L y asumimos valores para V, los puntos así obtenidos nos dan la curva de Reynolds.

Una vez realizados estos 2 pasos preliminares hacemos ciertas consideraciones para el dimensionamiento del tanque.

LONGITUD DEL TANQUE.-

Asumiendo que el tanque es equipado con un carro eléctrico, se tie

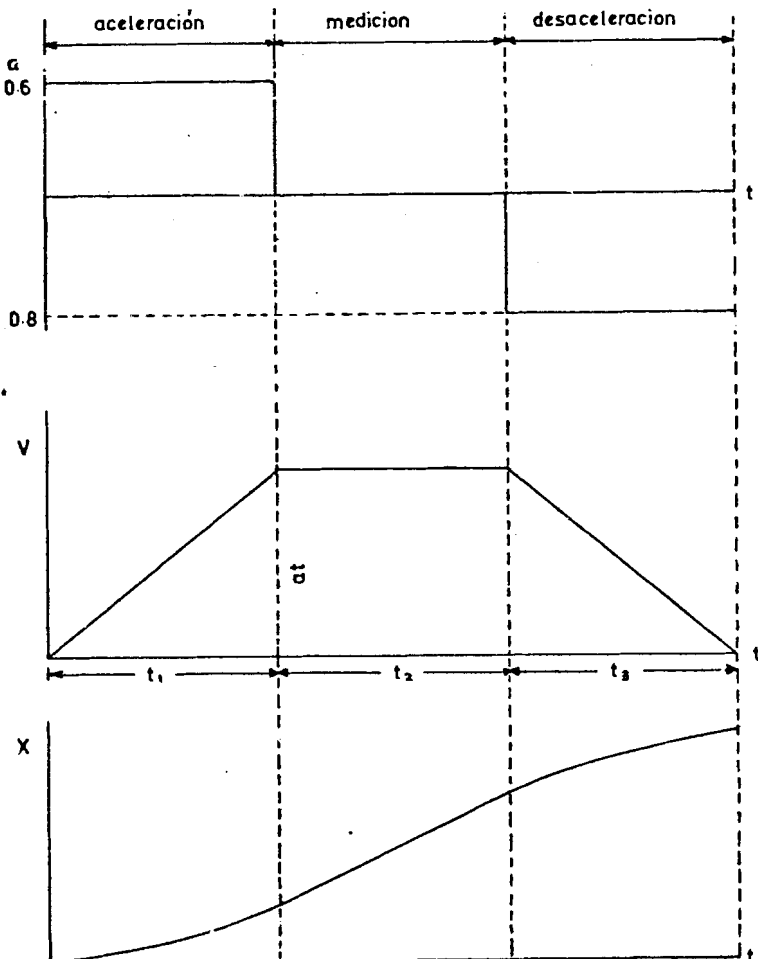
Fig. 36



ne que el tiempo de medición es igual al tiempo de corrida menos el tiempo tomado por el carro en acelerar y desacelerar.

El carro eléctrico produce una aceleración prácticamente constante cuyos valores en la práctica (tomado para el tanque de prueba del INSTITUTE OF SHIP HYDRODYNAMICS de la Universidad de ROSTOCK - ALEMANIA) son  $0.6 \text{ m/seg}^2$  en aceleración y  $0.8 \text{ m/seg}^2$  en desaceleración.

Los gráficos que se encuentran a continuación corresponden a: Aceleración, Velocidad, y distancia recorrida, en función del tiempo.



$$v = \int a \, dt$$

$$x = \iint a \, dt \, dt = \int v \, dt$$

Se puede garantizar como tiempo mínimo de medición  $t_2$  seg. En el gráfico de  $V$  vs.  $t$ , y sabiendo que  $V = at$  tenemos:

Para  $t_1$  correspondiente a aceleración

$$X_1 = 1/2 a_1 t_1^2 \text{ (área del triángulo) donde } t_1 = \frac{V_{eq}}{a_1}$$

Para  $t_2$  correspondiente a medición

$$X_2 = V_{eq} t_2 \text{ (área del cuadrado)}$$

Para  $t_3$  correspondiente a desaceleración

$$X_3 = 1/2 a_3 t_3^2 \text{ (área del triángulo) donde } t_3 = \frac{V_{eq}}{a_3}$$

Reemplazando los valores de  $t_1$  y  $t_3$  tenemos:

$$X_1 = \frac{V_{eq}^2}{2 a_1}; \quad X_2 = t V_{eq}; \quad X_3 = \frac{V_{eq}^2}{2 a_3}$$

$$a_1 = 0.6 \text{ mts/seg}^2$$

$$a_3 = 0.8 \text{ mts/seg}^2$$

Por lo tanto la longitud mínima del tanque, tomando que existen  $t$  segundo de velocidad constante para medición, está dado por la siguiente ecuación:

$$L = X_1 + X_2 + X_3. \quad L = t V_{eq} + 1/2 V_{eq}^2 \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right)$$

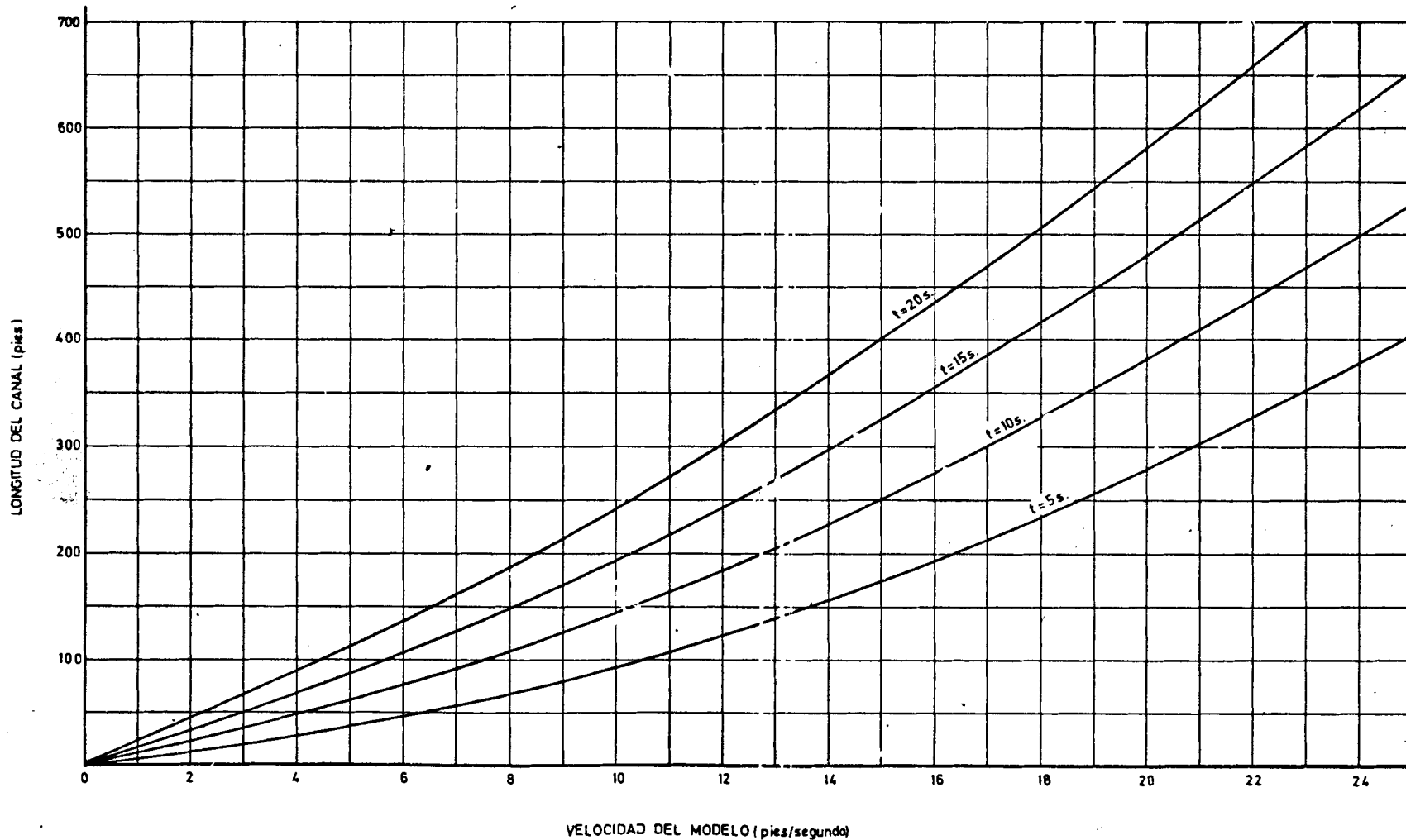
LONGITUD DEL CANAL EN FUNCION DE VELOCIDAD DEL MODELO PARA VARIOS TIEMPOS DE MEDICION

Tomando:

Duración de Velocidad Constante =  $t$

Aceleración del carro =  $0.6 \text{ mts./seg}^2 = 1.96 \text{ pies/seg}^2$

Desaceleración del carro =  $0.8 \text{ mts./seg}^2 = 2.62 \text{ pies/seg}^2$



La Figura # 37 indica los perfiles de longitud del canal para varios tiempos de velocidad constante y estos han sido calculados partiendo de la fórmula anterior donde:

$L$  = Longitud del canal en pies

$V_{eq}$  = Velocidad de equilibrio en pies /seg.

$a_1$  = Aceleración =  $1.96$  pies/seg<sup>2</sup> =  $0.6$  mts/seg<sup>2</sup>

$a_2$  = Desaceleración =  $2.62$  pies/seg<sup>2</sup> =  $0.8$  mts/seg<sup>2</sup>

$t$  = Duración de velocidad constante

Ahora asumiendo  $V_{eq}$  entre 0-25 pies/seg y  $t$  entre 5-20 segundos calculamos  $L$ , una vez obtenidos los varios puntos graficamos los perfiles de la Figura # 37 en función de velocidad del modelo y longitud del canal.

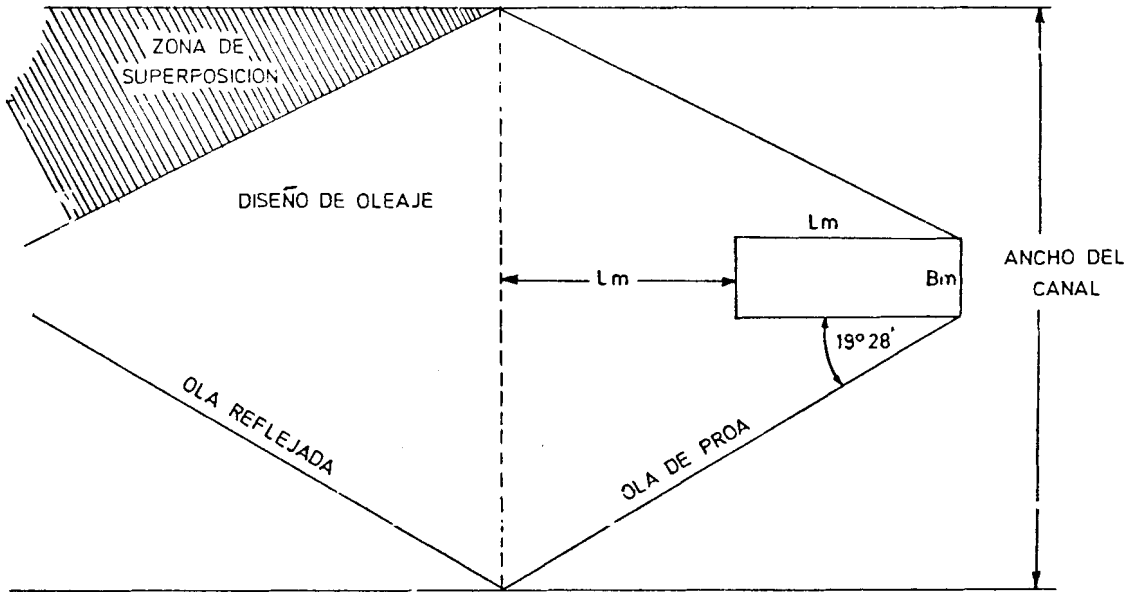
#### ANCHO DEL TANQUE.-

Para evitar que las olas reflejadas por la pared del canal restrinjan el movimiento del modelo, es recomendable que la zona de superposición de las olas no avance más adelante que una eslora a popa del modelo.

La siguiente relación resulta de la geometría indicada en la Figura que sigue y nos permite calcular el ancho del canal en función de la eslora y manga del modelo.



$$W = 4 L_m \operatorname{tag} (19^{\circ}28') + B_m$$



La fig.38 indica los perfiles de ancho del canal ( $W$ ) en función de manga del modelo ( $B_m$ ) vs. eslora del modelo.

Para obtener los perfiles de ancho del canal partimos de la fórmula anterior, y despejando  $L$  tenemos:

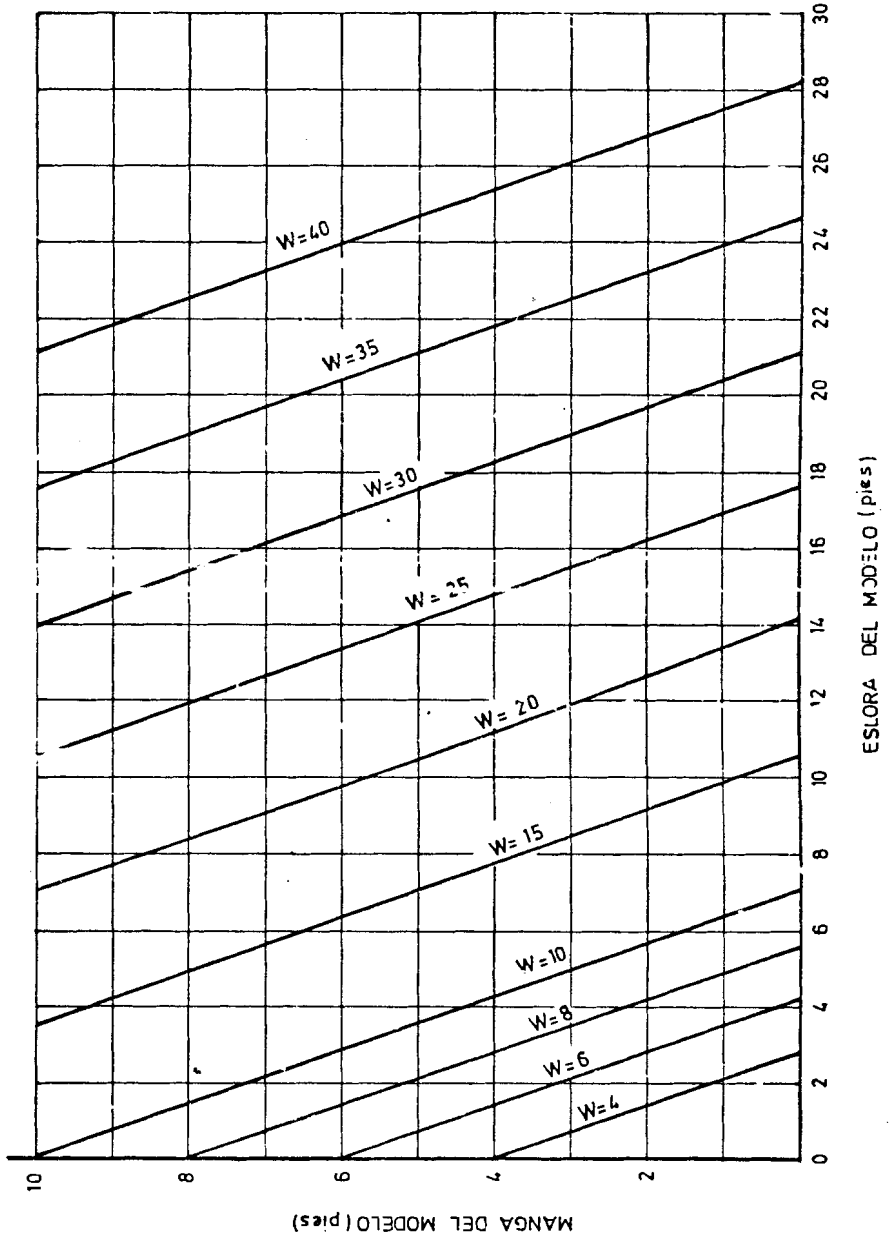
$$L = \frac{W - B_m}{4 \operatorname{tag} (19^{\circ}28')}$$

Donde:

$$L_m = \text{Eslora del modelo en pies}$$

Fig. 38

PERFILES DE ANCHO DEL CANAL



$W$  = Ancho del canal en pies

$B_m$  Manga del modelo en pies

$19^\circ 28'$  = Angulo de la ola (propiedad de diseño de olas de todos los barcos en aguas profundas)

Luego asumimos valores de  $W$  que varían de 4 a 40 pies y  $B_m$  entre 0-10 pies. Mediante la fórmula obtendremos un punto correspondiente de  $L_m$  para el valor de  $W$  asumido y los diferentes valores de  $B_m$ , luego con  $L_m$  y  $B_m$  graficamos los perfiles de ancho del canal.

#### PROFUNDIDAD DEL CANAL.-

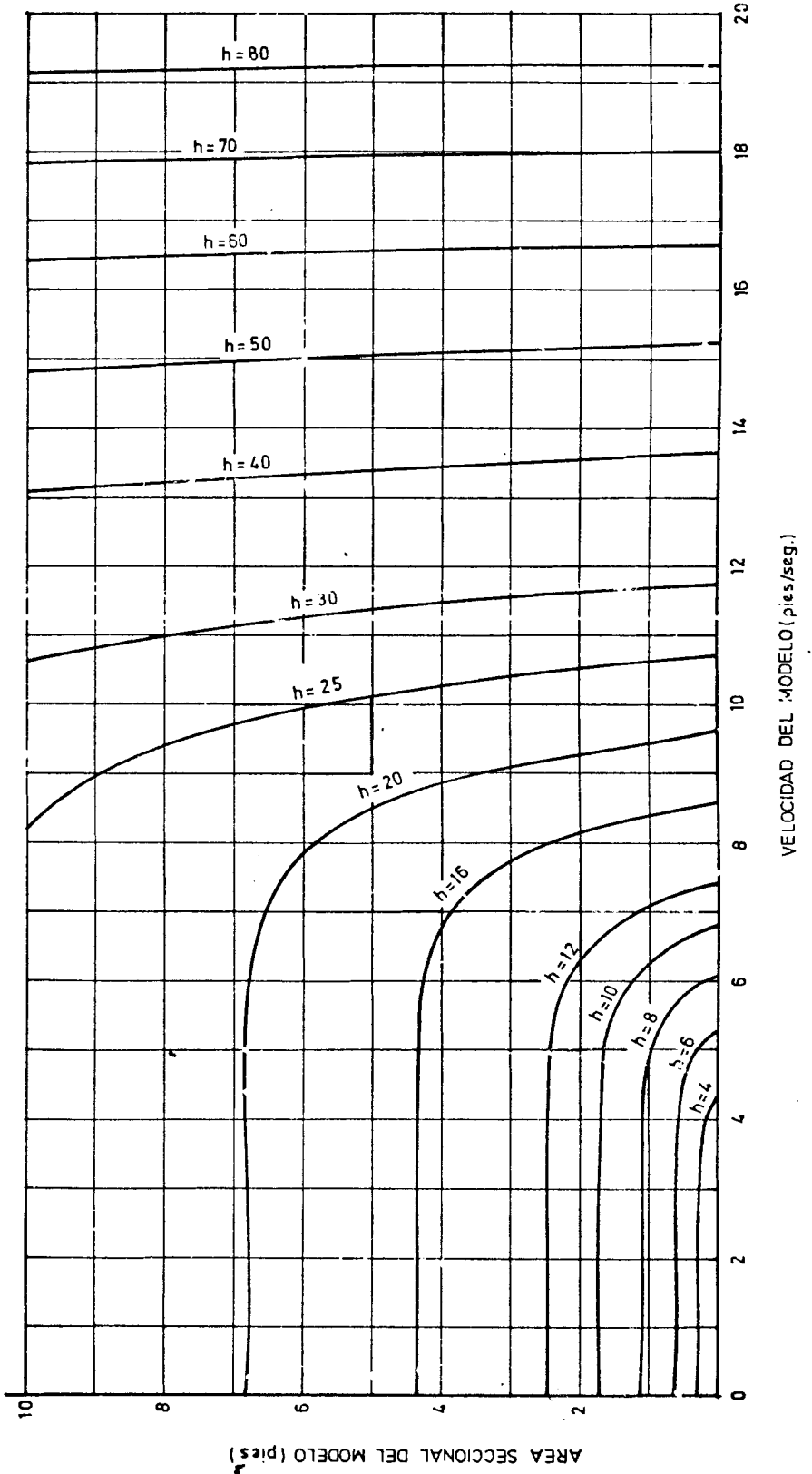
Para la determinación de la profundidad tomamos como referencia el perfil de decremento de velocidad igual a 0% dado por SCHLICHTING para aguas poco profundas y que están en función de  $\sqrt{A_x} / h$  y  $V^2 / gh$ .

Después de una interpolación de la curva de Schlichting y una transformación del perfil de cero decremento de velocidad se obtiene la Figura # 39, la cual nos indica los perfiles de profundidad que varían de 4-80 pies y están graficados en función de la velocidad del modelo y el área seccional del modelo.

Para obtener la Figura tomamos el perfil de decremento de velocidad igual a 1% y luego por interpolación obtenemos perfiles de decremento correspondientes a: 3/4%, 1/2%, 1/4% y 0%, luego de este último perfil

Fig. 39

PERFILES DE PROFUNDIDAD DEL CANAL



tomamos varios puntos los cuales nos determinan  $\sqrt{A_x} / h$  y  $V^2 / gh$ , en nuestro caso tomamos 7 valores para cada relación :

$\sqrt{A_x} / h$	$V^2 / gh$
0.1310	0
0.1305	0.025
0.1300	0.050
0.1290	0.075
0.1205	0.100
0.095	0.125
0.050	0.140
0	0.144

Ahora asumiendo valores  $h$  entre 2-80 pies obtenimos valores de  $A_x$  y  $V$  de las siguientes ecuaciones:

$$\sqrt{A_x} / h = X \quad ; \quad V^2 / gh = Y$$

$$A_x = (h X)^2 \quad ; \quad V = \sqrt{g h Y}$$

Donde:

$A_x$  = Area seccional del modelo en pies<sup>2</sup>

$h$  = Profundidad del canal en pies

$V$  = Velocidad del modelo en pies por segundos

Una vez obtenidos los valores de  $A_x$  y  $V$  para cada valor de  $h$  asumido obtenemos la Figura # 39.

#### AREA SECCIONAL.-

Una vez obtenidos los perfiles de profundidad y ancho del canal, el área seccional será calculada mediante el producto de estos dos parámetros.

COMPARACION DE DIAGRAMAS DEL ESTUDIO CON DATOS EMPIRICOS  
Y LA FORMULA DE BRAUN

Las Figuras # 40-41 nos indican varios datos tomados de algunos tanques de pruebas existentes. Dichos puntos corresponden a dimensiones del tanque en función de la eslora del modelo, siendo estos diagramas para longitud, ancho, profundidad y áreas seccional del canal todos estos en función de  $L_m$ .

Para nuestra comparación tomamos como ejemplo un buque de carga con las siguientes características:

$$L/\nabla^{1/3} = 5.60$$

$$L/B = 7.00$$

$$B/H = 2.25$$

$$V/\sqrt{L} = 1.2$$

$$C_p = 0.7$$

Las etapas a seguirse en este análisis son:

- 1.- Asumimos valores de  $\nabla$  entre 1 y 5 pies<sup>3</sup>.
- 2.- Calcular eslora del modelo partiendo de la relación  $L/\nabla^{1/3}$  para cada valor de  $\nabla$ .
- 3.- Calcular manga del modelo a partir de la relación  $L/B$ , como conocemos  $L$  despejamos  $B$  de la relación

4.- Calcular el calado del modelo usando la relación de B/H.

5.- Calcular área seccional del modelo a partir de la siguiente fórmula

$$A_x = \frac{\nabla}{C_p \times L}$$

Donde:

$\nabla$  = Desplazamiento en pies<sup>3</sup>

$C_p$  = Coeficiente prismático

$L$  = Eslora del modelo

6.- Calcular la velocidad; tomamos el mayor rango de  $V/\sqrt{L}$  y como conocemos  $L$  calculamos  $V$  de la relación.

7.- Calcular  $W$  en la Figura # 38 entramos con la eslora del modelo y la manga del modelo y calculamos  $W$ .

8.- Calcular  $h$  en la Figura # 39 con área seccional del modelo y velocidad del modelo obtenemos los valores de  $h$ .

9.- Calcular  $S$ , los valores los obtenemos por el producto de  $W$  y  $h$ .

10.- Transformación de unidades de pies a metros de las dimensiones para luego graficarlos sobre las curvas empíricas.



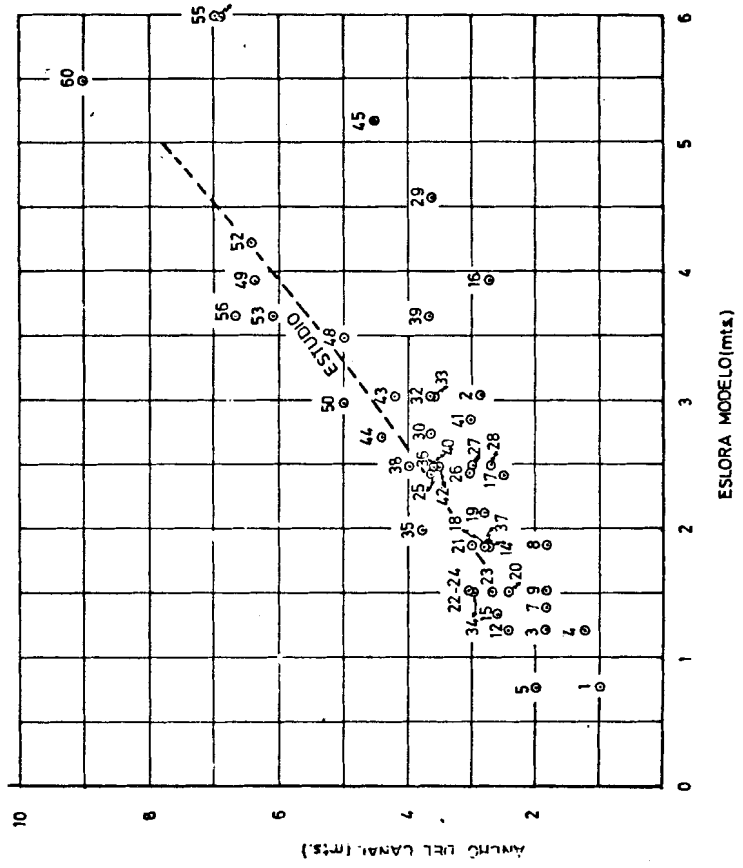


Fig. 40

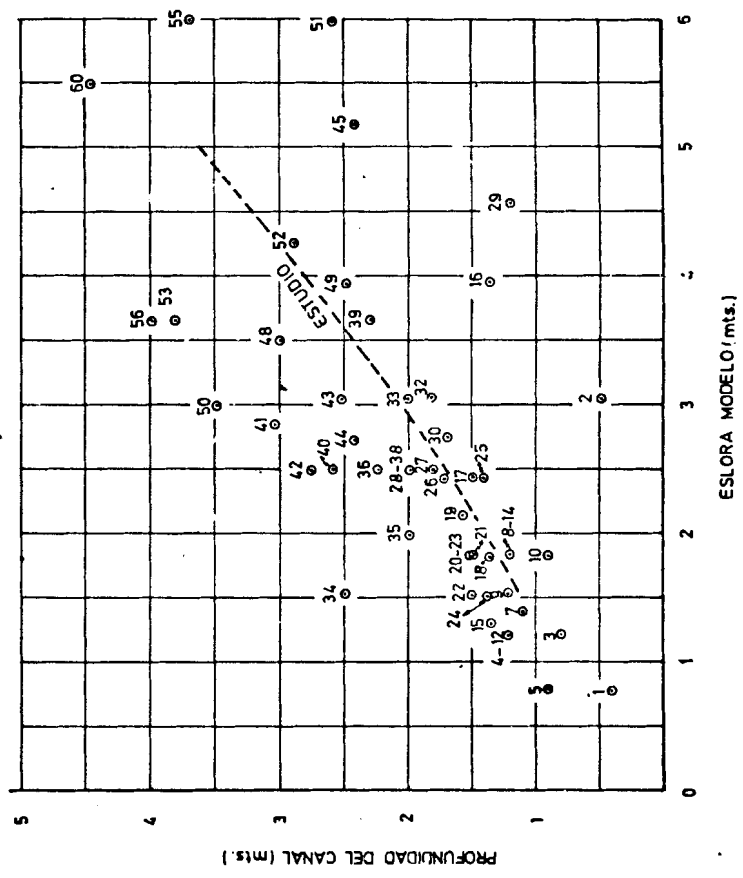
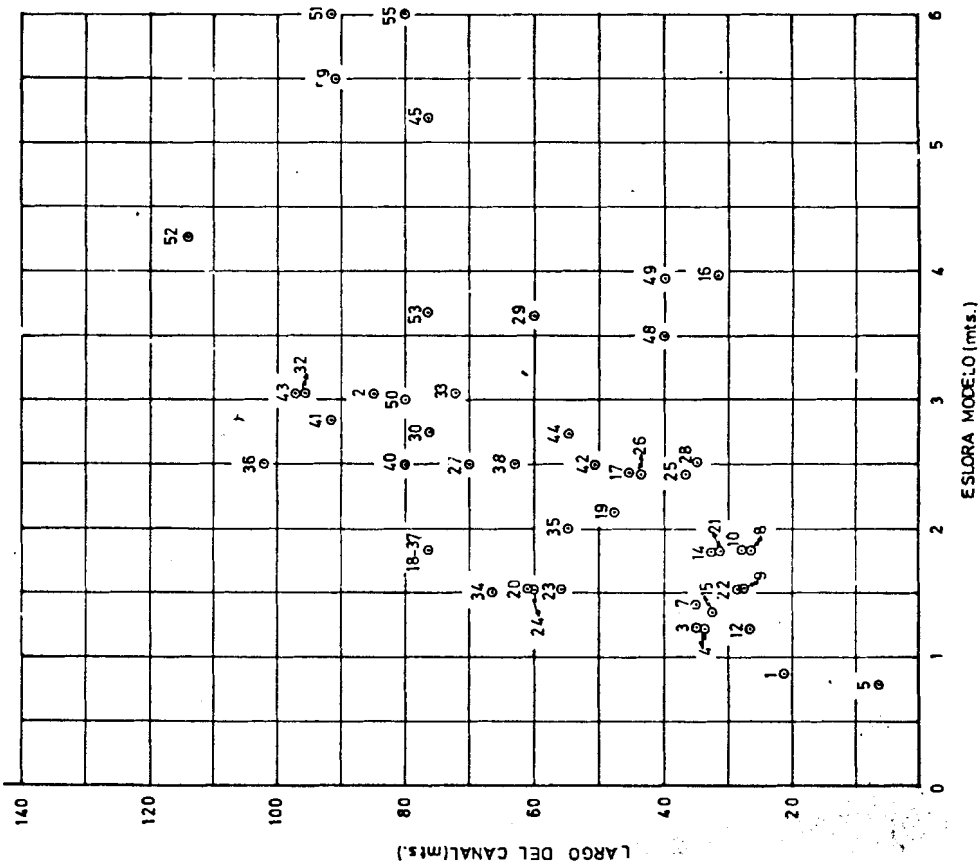
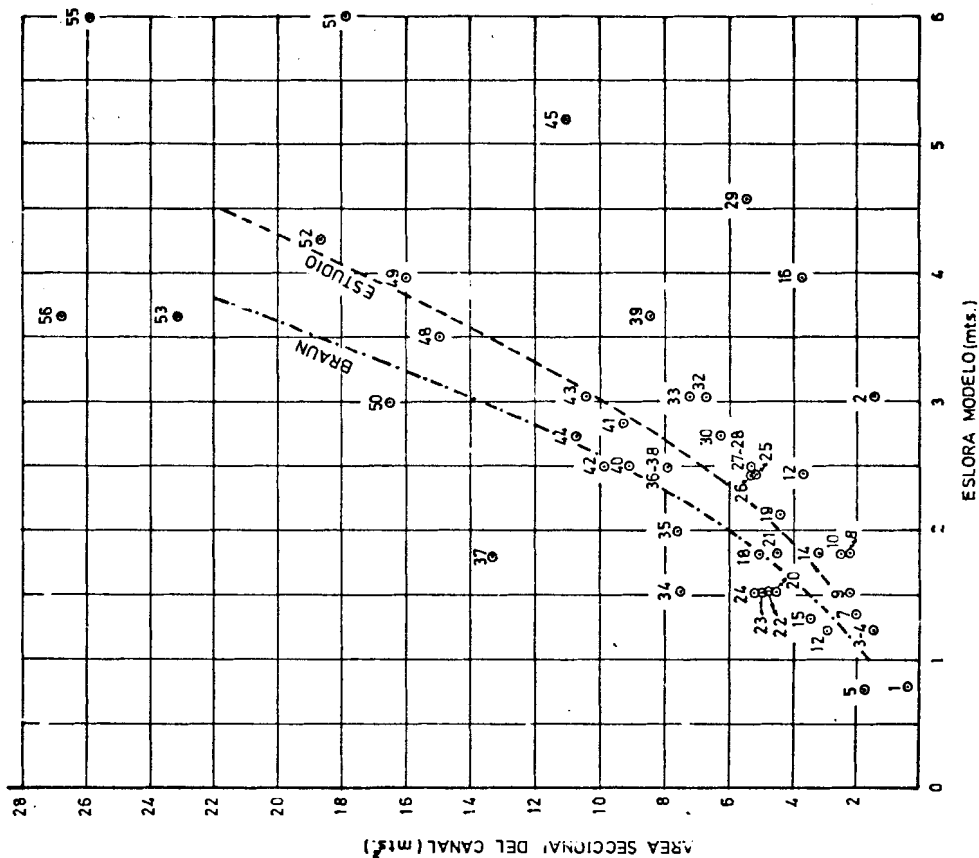


Fig. 41



Los valores que hemos obtenido se hallan graficados sobre los datos empíricos de las figuras 40-41 de aquí podemos sacar como conclusión que el procedimiento realizado en este estudio para dimensionamiento de tanques de pruebas es bastante aceptable y de buena precisión pues, las curvas encontradas atraviesan por la zona donde se encuentra la mayor parte de puntos para cada dimensión del tanque.

También esta comprobación está hecha con la fórmula de K. Th. Braun para el cálculo de S (área seccional del canal) el cual asume un buque de carga representativo de:

$$L/B = 7 \quad ; \quad B/H = 2.25 \text{ y un Blockage Factor } = 0.06$$

La fórmula de Braun es:

$$S = \left( \frac{L_m}{0.814} \right)^2$$

La curva de S sobre los datos empíricos de la Figura # 41 lo obtenimos asumiendo valores de eslora del modelo entre 2-25 pies, luego los valores serán reducidos a metros. Mientras S es el parámetro preferido por Braun para categorizar la capacidad de tanques de pruebas, no ofrece ninguna guía al proyectista para la determinación del ancho y la profundidad del canal; en cambio el procedimiento elaborado en este trabajo es específica cada una de las dimensiones del canal, y según la comparación realizada sigue la tendencia empírica con mayor exactitud que la fórmula de Braun.

## APLICACION DEL PROCEDIMIENTO PARA DIMENSIONAR UN TANQUE DE PRUEBAS

Una vez que hemos obtenido los diagramas de longitud, ancho y profundidad debemos darles una aplicación bien definida.

Para este estudio consideramos las mismas categorías de barcos que constan en la Tabla N° 4 y el procedimiento realizamos para cada una de estas categorías a fin de tener una idea clara de como varían las dimensiones del tanque en función de cada tipo de barco.

Además, la aplicación del procedimiento debemos realizarlo en etapas bien determinadas de tal manera que el orden de los capítulos sea cronológico. dichas etapas que hemos considerado son:

- 1.- Establecer rango de velocidad para cada categoría de barco, este valor lo encontramos en la Tabla N° 4 .
- 2.- Determinar eslora mínima: La eslora mínima permisible la determinamos con el menor valor de rango de operación de velocidad para cada categoría de barco, en la Fig. # 36 , se encuentra los perfiles  $V/\sqrt{L}$  y  $R_n$  en función de velocidad vs. eslora, o sea que  $L$  mínima será determinada por la intersección de  $R_n$  y el perfil correspondiente al menor rango de  $V/\sqrt{L}$ .
- 3.- Determinar velocidad máxima del modelo de eslora mínima: La velocidad máxima la obtenemos con el mayor rango de  $V/\sqrt{L}$ , para cada cate-

goria de barco es decir que la intersección del mayor rango de  $V/L$  y la eslora mínima nos determina la velocidad máxima, estos valores sacamos de la Figura # 36 .

- 4.- *Asumir tiempo de medición:* Para nuestra aplicación tomamos valores de 10, 15 y 20 seg. debido a que las curvas de longitud del canal están graficadas en función de estos tiempos de velocidad constante.
- 5.- *Determinar la longitud del canal.*- En la Figura #37. tenemos los perfiles de  $L$  en función de tiempo y velocidad máxima del modelo, por tanto como ya conocemos los valores de tiempo y velocidad entramos en las curvas y obtenemos el largo del canal, para cada categoría de barco.
- 6.- *Determinar manga del modelo de mínima eslora:* En la Tabla N° 4 tenemos las relaciones de  $L/B$  para cada tipo de barco, como ya conocemos el valor de  $L$  despejamos  $B$  y tenemos:

$$B = \frac{L}{X}$$

Donde:

- $B$  = Manga del modelo
- $L$  = Eslora del modelo
- $X$  = Valor de la razón de  $L/B$ .

- 7.- Determinar el ancho del canal: En la Figura # 38, tenemos los perfiles de  $W$  en función de eslora del modelo y manga del modelo, conocidos estos dos parámetros entramos en dicha figura y obtenemos el valor de  $W$ .
- 8.- Determinar Área seccional del modelo de eslora mínima: En la Tabla N° 4, tenemos la relación  $B/H$ , luego conocida la manga y el valor de  $B/H$ , los valores de  $H$  los encontramos despejando de la razón anterior.  $C_x$  (Coeficiente de la sección central) es sacado de la Tabla N° 4, y luego como conocemos  $B$ ,  $H$  y  $C_x$  calculamos:  
$$A_x = C_x B H.$$
- 9.- Determinar profundidad del canal: La Figura #. 39 contiene los perfiles de  $h$  en función de áreas seccional del modelo y velocidad máxima del modelo, con estos dos parámetros entramos en la figura y obtenemos los valores de profundidad del canal.
- 10.- Calcular Área seccional del canal: Como conocemos  $W$  y  $h$  el área seccional será el producto de estos dos.

A continuación presentamos la Tabla N° 5 con todos los resultados obtenidos durante las varias etapas realizadas para varias categorías de barcos.



## RECOMENDACIONES

En esta sección se propone una lista de especificaciones para el Tanque de Pruebas para la ESCUELA, determinadas en base del estudio realizado y los usos previstos. Los usos comunes de Tanques de Pruebas son los siguientes:

- 1.- Determinar la resistencia total del casco.
- 2.- Determinar el asentamiento e inmersión en función de la velocidad.
- 3.- Determinar el SHP con varias hélices.
- 4.- Realizar pruebas de hélices en agua abierta.
- 5.- Determinar la orientación de las líneas de flujo en la región de propulsores y palas.
- 6.- Obtener perfiles de oleaje para estudios teóricos del componente residual de resistencia.
- 7.- Determinar el ángulo neutro de palas múltiples y estudiar la estabilidad de rumbo, y maniobrabilidad en marcha atrás de varias configuraciones.
- 8.- Estudiar el comportamiento de modelos en olas a popa y a proa.
- 9.- Estudiar efectos de canales y aguas poco profundas sobre la resistencia de modelos.
- 10.- Estudiar la naturaleza y magnitud de las fuerzas vibratorias creadas por la hélice.



Para las cuatro primeras clases de pruebas existen equipos e instrumentos de fabricación comercial, mientras que para los demás tipos de pruebas y los posibles experimentos originales requieren la fabricación de instrumentos y equipos especializados.

Tomamos por lo tanto, como requisito mínimo del tanque, la capacidad de ejecutar los primeros cuatro tipos de prueba más comunes, y también la capacidad de fabricar instrumentos y equipos especializados, es decir, una Taller de Instrumentaciones.

El análisis de dimensionamiento nos indica las dimensiones mínimas de canal, que garantiza resultados satisfactorios para las varias categorías de barcos considerados. Además, es necesario proveer un margen para dar un poco de flexibilidad en la selección de tamaño de los modelos, y en el caso de longitud del tanque, un espacio para una bahía para los modelos, una playa artificial para absorber el oleaje producido por las pruebas, una máquina creadora de olas, y material compresible como defensa de emergencia.

Las dimensiones propuestas en la lista de especificaciones son las máximas encontradas entre las varias categorías de barcos, es decir, es la dimensión mínima para una sola categoría pero más que suficiente para las otras. La longitud ha sido aumentada 50 pies, estimados para las provisiones arriba mencionadas.

Sobre la parte de instrumentación, especificamos los componentes más

apropiados requeridos para realizar las pruebas previstas.

Considerando solo los primeros cuatro tipos de pruebas, encontramos las cantidades para medirse y los equipos correspondientes.

PRUEBA	CANTIDADES	EQUIPO
Resistencia	Velocidad, Resistencia	Dinamómetro
Asentamiento e inmersión	Asentamiento e Inmersión	Indicador de asentamiento e Inmersión
SHP	Velocidad, Resistencia Empuje, Torque, RPM	Dinamómetros, Motor Propulsor Eléctrico, Eje Prensa Estopa
Prueba de hélices en aguas abiertas	Velocidad, Empuje, Torque, RPM	Bote de Pruebas

Entre las varias cantidades para medirse encontramos velocidad lineal y rotacional, fuerza y torque. En la prueba de SHP la más compleja, encontramos presentes velocidad lineal, velocidad rotacional, dos clases de fuerzas y torque. Esta prueba requiere la medición simultánea de 5 cantidades, y por lo tanto define la capacidad del sistema proyectado de medición.

A continuación se presenta un resumen de los principios utilizados en la medición de las varias cantidades mencionadas:

### 1.- Velocidad.-

- a) *Rotopulsor: Produce 1200 pulsos/revolución, está conectado directamente al motor del carro eléctrico. Existen dos variedades una que utiliza un campo magnético para producir los pulsos y la otra que utiliza un foco y una célula fotoeléctrica. Los pulsos son contados por un circuito contador apropiado.*
- b) *Contador de Frecuencia Digital con Registro de Pantalla: Cuenta los pulsos sobre un lapso de tiempo conocido y registra el cociente pulso/tiempo.*
- c) *Oscilador: Provee el lapso de tiempo para el contador de frecuencia.*

### 2.- RPM.-

- a) *Artificio de proximidad magnética : Produce un pulso con cada paso de un objeto ferroso colocado sobre el eje.*
- b) *Contador con registro de pantalla: Cuenta los pulsos y registra el cociente pulso/unidad de tiempo.*

### 3.- Fuerza.-

- a) *Célula de carga: Utiliza una membrana metálica cuya deflexión está en función lineal con la fuerza aplicada. Produce una corriente eléctrica en proporción a la carga por medio de un*

transductor.

- b) *Amplificador:* Provee excitación a la célula de carga, convierte corriente alterna a corriente directa y amplifica la señal.
- c) *Graficadora X-Y:* Es un voltímetro sofisticado de alta sensibilidad que registra sobre un papel cuadrículado por medio de plumas en función de tiempo (eje horizontal del registro).

#### 4.- Torque.

- a) *Dinamómetro de Torque:* Utiliza calibradores de tensión y un circuito de puente Wheatstone cuyo voltaje varía en función lineal de torque.
- b) *Amplificador.*
- c) *Graficador:* Este y el anterior producen el voltaje como en resistencia.

La lista de especificaciones a continuación, presenta un resumen de los equipos indispensables para poder realizar las pruebas esenciales pre vistas. No se recomienda la adquisición de equipos para fabricar modelos de hélices en vista de que su costo y disponibilidad es dificultoso. No se recomienda tampoco la adquisición de una fresadora para los modelos de barcos siendo más económico la elaboración manual de los modelos en el ac-

tual Taller de Modelaje.

## LISTA DE ESPECIFICACIONES

### CANAL .-

- . Ancho = 15 pies.
- . Profundidad = 15 pies.
- . Longitud = 245 pies.
- . Cámara de observación submarina para recobrar diseños de flujo.
- . Bahía para modelos.
- . Playa artificial.
- . Defensa de material flexible.
- . Máquina creadora de olas.

### CARRO ELECTRICO DE TAMAÑO APROPIADO.-

- . Aceleración máxima =  $1.96 \text{ pies/seg}^2$ .
- . Desaceleración máxima =  $2.64 \text{ pies/seg}^2$ .
- . Velocidad máxima =  $10.30 \text{ pies/seg}$ .
- . Rieles e Instalaciones Asociadas.
- . Sistema de poder eléctrico, instalado encima del canal.

### EQUIPOS E INSTRUMENTOS.-

- . Un calibrador de asentamiento e inmersión.
- . Un dinamómetro de resistencia completo con acopladores y graduadores.
- . Varias hélices para pruebas de SHP.
- . Un bote de pruebas de hélices completo con dinamómetros de empuje y

torque, medidor de RPM.

- . Varios motores propulsores eléctricos para pruebas de SHP, de corriente directa .
- . Sistema de medición de la velocidad del carro: Rotopulsor, Oscilador y contador digital con registro de pantalla.
- . Una fuente de potencia graduable (transformador) de corriente directa, para los motores propulsores.
- . Un sistema medidor de RPM : Artificio de proximidad magnética y un con tador / registro digital de pantalla.
- . Dos células de carga, una para resistencia y otra para empuje.
- . Un dinamómetro de torque o un dinamómetro combinado de empuje y torque para pruebas de SHP.
- . Tres amplificadores para las células de carga y el dinamómetro de torque.
- . Tres graficadoras X-Y para resistencia, empuje y torque.

#### TALLER DE INSTRUMENTACION.-

- . Equipo de soldadura.
- . Torno mecánico de 12"
- . Taladro de banco.
- . Máquina fresadora.
- . Multímetro y varias herramientas y material para trabajo eléctrico.

APENDICES

## DATOS SOBRE ALGUNOS TANQUES DE PRUEBAS

- Column 1... Número de Referencia  
 2... Año de inauguración  
 3... Area seccional del Canal (mts<sup>2</sup>)  
 4... Longitud del Canal (m)  
 5... Ancho del Canal (m)  
 6... Profundidad del Canal (m)  
 7... Eslora de los modelos usados (m)  
 8... Velocidad máxima del carro m/seg.

1	2	3	4	5	6	7	8
1	1940	0,40	21,5	1,00	0,40	0,79	5,20
2	1961	1,44	$\frac{94,8}{85}$	2,88	0,50	$\frac{1,22}{3,05}$	2,75
3	1949	1,49	35	1,86	0,80	$\frac{0,915}{1,22}$	3,00
4	1955	1,49	33,83	1,22	1,22	1,22	
5	1940	1,80	6,5	2,00	0,90	0,79	5,20
6	1959	1,98	18,9	1,98	1,00		
7	1955	2,036	35	1,85	1,10	1,40	1,22
8	1958	2,24	26,2	1,83	1,22	$\frac{0,915}{1,83}$	6,10
9	1959	2,24	27,45	1,83	1,22	$\frac{0,305}{1,525}$	6,96
10	1939	2,56	26,8	2,80	0,915	$\frac{0,915}{1,83}$	
11	1933	2,98	17,1	2,44	1,22		
12	1962	2,98	26,8	2,44	1,22	$\frac{0,915}{1,22}$	1,59
13	1938	3,00	16,0	3,00	1,00		
14	1952	3,20	32,9	2,62	1,22	$\frac{1,22}{1,83}$	7,60
15	1958	3,54	32,5	2,60	1,36	$\frac{1,07}{1,35}$	2,50



16	1935	3,75	31,4	2,74	1,37	$\frac{0,915}{3,965}$	6,40
17	1961	3,75	45,2	2,50	1,50	$\frac{1,83}{2,44}$	3,05
18	1938	$\frac{3,77}{5,07}$	76,2	2,74	$\frac{1,36}{1,83}$	$\frac{1,83}{1,83}$	7,10
19	1947	4,42	47,9	2,80	1,58	$\frac{0,52}{2,13}$	2,75
20	1954	4,46	61,0	2,44	1,83	1,525	1,83
21	1956	4,50	30,5	3,00	1,50	$\frac{1,22}{1,83}$	4,57
22	1949	4,65	28,35	3,05	1,525	$\frac{1,22}{1,525}$	4,88
23	1953	4,92	56,7	2,685	1,83	1,525	4,00
24	1921	5,20	60,0	3,00	1,40	1,525	3,95
25	1953	5,20	36,6	3,66	1,42	2,44	5,50
26	1941	5,31	43,5	3,05	1,74	$\frac{1,225}{2,44}$	6,15
27	1958	5,40	70,0	3,00	1,80	2,50	3,00
28	1958	5,40	35,0	2,70	2,00	$\frac{1,50}{2,50}$	
29	1961	5,57	152,4	3,66	1,22	$\frac{1,225}{4,57}$	6,16
30	1956	6,25	76,2	3,66	1,71	2,75	12,2
31		6,42	21,35	2,65	2,42		
32	1944	6,70	95,5	3,66	1,83	$\frac{0,07}{3,05}$	12,2
33	1962	7,20	72,0	3,60	2,00	$\frac{1,525}{3,05}$	4,00
34	1954	7,50	$\frac{43,7}{66,5}$	3,00	2,50	1,525	3,15
35	1967	7,60	55,0	3,80	2,00	$\frac{1,76}{2,00}$	3,50
36	1956	7,87	102,5	3,50	2,25	$\frac{1,50}{2,50}$	7,60

37	1933	$\frac{7,89}{13,3}$	76,0	2,66	$\frac{3,00}{5,00}$	1,80	5,00
38	1932	8,00	63,0	4,00	2,00	$\frac{2,00}{2,50}$	2,50
39	1956	8,51	60,0	3,70	2,30	3,66	4,70
40	1937	9,10	80,0	3,50	2,60	2,50	6,00
41	1958	9,30	91,5	3,05	3,05	2,85	$\frac{7,60}{9,15}$
42	1953	9,90	50,5	3,60	2,75	2,50	3,00
43	1961	10,56	$\frac{144,0}{97,0}$	4,20	2,52	$\frac{1,28}{3,05}$	2,75
44	1953	10,77	54,9	4,42	2,44	2,74	3,95
45	1963	11,16	76,2	4,58	2,44	$\frac{2,90}{5,18}$	5,18
46	1932	13,20	34,5	6,00	2,20		
47	1940	13,75	36,0	5,50	2,50		
48	1961	15,0	$\frac{55,0}{40,0}$	5,00	3,00	$\frac{2,50}{3,50}$	$\frac{3,00}{4,00}$
49	1924	16,0	40,0	8,40	2,50	$\frac{3,05}{3,95}$	2,00
50	1967	16,5	80,0	5,00	3,50	3,00	6,00
51	1883	17,93	91,5	6,90	2,60	$\frac{3,60}{6,10}$	$\frac{6,10}{9,50}$
52	1961	18,71	114,0	6,46	2,90	4,26	6,10
53	1955	23,2	76,8	6,10	3,80	$\frac{2,44}{3,66}$	3,00
54	1958	24,7	50,0	6,50	3,80		
55	1962	25,6	80,0	7,00	3,70	$\frac{3,95}{6,00}$	4,00
56	1963	26,8	142,0	6,70	4,00	3,66	4,70
57		28,0	80,0	7,00	4,00		
58		28,0	60,0	7,00	4,00		

59	1959	41,3	90,5	9,05	4,57	5,50	9,15
60			9,0				

TABLA N<sup>o</sup> 2

KEYS IN RELATION TO TABLE 1 (Column 1)

- 1.- Yokohama Yacht Co., Ltd. I
- 2.- Technische Hogeschool, Delft II.
- 3.- Engineering School, Turku
- 4.- University of Adelaide.
- 5.- Yokohama Yacht Co., Ltd. II.
- 6.- HyA Hydro = og Aerodynamick Laboratorium, Lyngby II-III.
- 7.- Kobe University of Mercantile Marine, Kobe.
- 8.- Naval Academy, Annapolis (Md).
- 9.- Collins Marine Laboratory, Cedar Rapids (Iowa).
- 10.- NST Skispsmodelltanken Norges Tekniske Hogskole, Trondheim II.
- 11.- Newport News Shipbuilding & Dry Dock Co.
- 12.- Austin Lamont Yacht Testing Tank, University of Southampton.
- 13.- CBK-51, Gorkij.
- 14.- MIT Massachusetts Institute of Technology.
- 15.- Istituto di Architttura Navale, Università di Trieste.
- 16.- DL Davidson Laboratory, Stevens Institute of Technology, Hoboken  
(N.J.) I.
- 17.- Technion Model Basin, Institute of Technology, Haifa

- 18.- *St. Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota Minneapolis (Minn).*
- 19.- *University di Genova.*
- 20.- *Towing Tank Richmond Field, University of California, Berkeley.*
- 21.- *Politechnika Gdńska .*
- 22.- *Webb Institute of Naval Architecture, Glen Cove (N.Y.).*
- 23.- *Ship Model Test Tank, Sidney University.*
- 24.- *Kungl. Tekniska Hogskola, Stockholm.*
- 25.- *KC King's College Towing Tank, Newcastle upon Tyne.*
- 26.- *DTMB David Taylor Model Basin, Washington D.C. IV.*
- 27.- *University of Osaka Prefecture, Sakai.*
- 28.- *École Nationale Supérieure de Mécanique de Nantes.*
- 29.- *Ship Model Testing Tank, Khadalwaska, Poona-4 (India).*
- 30.- *Fluid Dynamics Laboratories at Saunders Roe.*
- 31.- *Northwestern University, Evanston III.*
- 32.- *DL Davidson Laboratory, Hoboken (N.J.) III.*
- 33.- *Canal de Experiencia de Arquitectura Naval, Univ. Buenos Aires.*
- 34.- *IBH Brodarski Institut, Zagreb III.*
- 35.- *ESIN Escuela Técnica Superior de Ingenieros Navales Madrid.*
- 36.- *Meguro Model Basin, Meguro, Tokyo II.*
- 37.- *University of Kyushu, Fukuoka.*
- 38.- *Ministry of Agricultur + Forrestry, Fishery Agency Tsukishma, Tokyo.*
- 39.- *IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Sao Paulo I.*
- 40.- *University of Tokyo Motofujicho, Tokyo.*
- 41.- *IHH Iowa Institute of Hydraulic Research, University of Iowa.*

- 42.- *University of Yokohama, Ookamachi, Yokohama.*
- 43.- *Technische Hogeschool, Delft I.*
- 44.- *Indian Institute of Technology, Kharagpur (S.E.RLY).*
- 45.- *Experiment Tank, University of Glasgow.*
- 46.- *Institut Wodi Transport, Odessa.*
- 47.- *LKI Leningradskij Korblestroitelnij Institut, Leningrad.*
- 48.- *ITS Institut für Theorie des Schiffes, Universität Rostock.*
- 49.- *Schiffbaulaboratorium, Ingenieurschule Hamburg*
- 50.- *University of Hiroshima, Hiroshima.*
- 51.- *Denny, Experimental Tank, Dumbarton.*
- 52.- *Ship Hydrodynamics Laboratory, University of Michigan, Ann Arbor.*
- 53.- *Turkish Shipbuilding Research Institute, Istanbul.*
- 54.- *Phoejang, P.R. of Korea.*
- 55.- *University of Osaka.*
- 56.- *IPT Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Sao Paulo II.*
- 57.- *Kiew.*
- 58.- *Bucaresti*
- 59.- *Chalmers Tekniska Hogskola, Goteborg.*
- 60.- *Royal Navy Engineering Officers School, Manadon (Plymouth).*

PRESUPUESTO DEL APARATO PARA PRUEBAS DE MODELOS

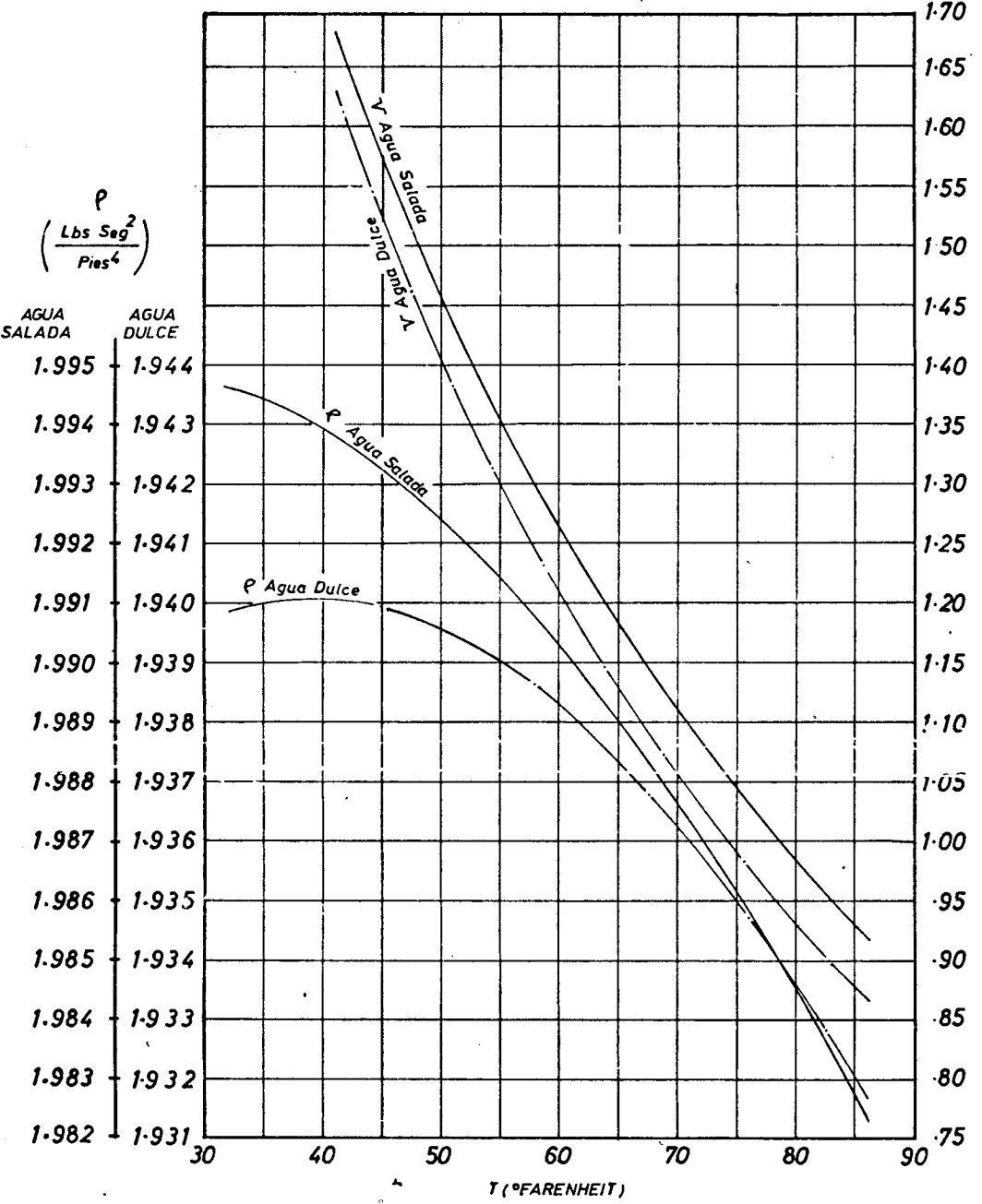
CANTIDAD	ITEM	PRECIO (Suces)
1	Voltímetro	S/.600,00
2	Aros de 24" de diámetro	452,00
61	Metros de cable	427,00
2	Platinas de hierro de 1/4" x 1 1/2"x 6 mts	353,60
4	Tarros de pintura	309,60
1	Dínamo	250,00
	Madera	250,00
3 1/2	Libras de bronce (polipasto)	210,00
42	Pernos de diferentes medidas	132,60
1	Depósito para pesos	130,00
2	Libras de hierro acerado (manivela)	152,00
1	Aro de 13" de diámetro	50,00
2	Tubos	40,00
21	Pesos	40,00
2 1/2	Libras de soldadura 6011	31,20
16	Rodelas para pernos	26,00
2	Carreras con Rosca	20,00
3	Componentes del circuito	26,00
2	Conectores para el dínamo y voltímetro	20,00
1	Cepillo y lija	13,00
1	Libra de clavos	7,00

CANTIDAD	ITEM	PRECIO (Suces)
2	Tuercas exteriores para aros	6,00
2	Contratuercas	4,00
	TOTAL	<u>S/. 3.550,00</u> =====

# VARIACION DE DENSIDAD Y VISCOSIDAD

## CINEMATICA CON LA TEMPERATURA

$V \times 10^5$  (Pie<sup>2</sup>/Seg)



### FORMULAS DE RESISTENCIA FRICCIONAL (FLUJO TURBULENTO)

ATTC 1947 (SCHOENHERR):

$$0.242 / \sqrt{C_F} = \log_{10} (R_n \cdot C_F)$$

ITTC:

$$C_F = 0.075 / (\log_{10} R_n - 2)^2$$

$$R_n = VL / \nu$$



1

B T

RIVE      CART SPEC      CART AVAIL      PHY DRIVE  
0            0001            0001            0000

0      ACTUAL    8K    CONFIG    8K

R

```
SOURCE PROGRAM
WORD INTEGERS
(CARD,1132 PRINTER)
ENDED PRECISION
GRAMA PARA CALCULAR VELOCIDAD EQUIVALENTE,VELOCIDAD,TIEMPO,ESPACIO
REAL MAM,MAP
DO 16 IG=1,3
READ(2,9)K,R
FORMAT(I2,F10.3)
J=0
WRITE(3,8)R
FORMAT(1H0,50X,'RESISTENCIA=',F7.3)
J=J+1
READ(2,10)CC,ESLM,MAM,CTE
FORMAT(4F10.3)
WRITE(3,11)CC,ESLM,MAM,CTE
FORMAT(1H ,1X,'COEFICIENTE CUBICO=',F7.3,4X,'ESLORA MODELO=',
F7.3,8X,'MASA MODELO=',F7.4,10X,'CONSTANTE=',F7.5)
WRITE(3,12)
FORMAT(1H ,3X,'VELOCIDAD EQUI',8X,'VELOCIDAD',13X,'TIEMPO',
113X,'ESPACIO')
DO 13 I=4,12,2
VEQU=I
F=0.96*VEQU
C=1.
P=(CTE*VEQU**2)/C
MAP=P/32.2
A=(C*P)/(MAM+MAP*C*C)
B=CTE/(MAM+MAP*C*C)
ARG=((A/B)**.5+F)/((A/B)**.5-F)
T=ALOG(ARG)/(2.*(A*B)**.5)
S=(A*B)**.5
ARG=2.*S*T
ARG=EXP(ARG)+1.
X=((A/B)**.5)*(ALOG(ARG)/S-T-ALOG(2.)/S)
WRITE(3,14)VEQU,F,T,X
FORMAT(5X,4(F10.4,10X))
IF(K-J)16,16,15
CONTINUE
CALL EXIT
END
```

ES SUPPORTED  
WORD INTEGERS  
ENDED PRECISION

EQUIREMENTS FOR  
N      0    VARIABLES      58    PROGRAM      394

COMPILATION

1  
JOB T  
DRIVE      CART SPEC      CART AVAIL      PHY DRIVE  
000            0008            0008            0000

110    ACTUAL    8K    CONFIG    8K

FOR  
S(CARD, 1122 PRINTER)

T SOURCE PROGRAM

WORD INTEGERS

ALCULOS DE RESISTENCIA Y PODER

DIMENSION CR(20),VM(20)

1 READ(2,10)PM,VISM,ESLM,SM,DESM

0 FORMAT(5F10.3)

READ(2,10)PB,VISR,ESLB,SB,DESB

READ(2,11)N

1 FORMAT(I2)

WRITE(3,20)

0 FORMAT(1H1,'MODELO ',5X,'DENSIDAD',7X,'VIS',4X,'ESLORA',  
19X,'S',5X,'DESPLE')

WRITE(3,21)PM,VISM,ESLM,SM,DESM

1 FORMAT(1H ,10X,F10.4,F10.8,3F10.3)

WRITE(3,22)

2 FORMAT(1H0,8X,'VM',7X,'RTM',7X,'V/L',6X,'V/GL',7X,

1'RNM',7X,'CFM',8X,'CR')

DO 30 I=1,N

READ(2,10)VM(I),RTM

VN=VM(I)/1.6889

RV=VN/ESLM\*\*.5

FN=VM(I)/(32.2\*ESLM)\*\*.5

RNM=VM(I)\*ESLM/VISM

CFM=.075/((ALOG(RNM)/2.3026-2.))\*\*2.)

CTM=RTM/(PM/2.\*SM\*VM(I)\*VM(I))

CR(I)=CTM-CFM

WRITE(3,25)VM(I),RTM,RV,FN,RNM,CFM,CR(I)

5 FORMAT(1H ,4F10.4,E9.3,2F10.6)

0 CONTINUE

WRITE(3,35)

5 FORMAT(1H0,'BARCO ',6X,'DENSIDAD',7X,'VIS',4X,'ESLORA',  
19X,'S',5X,'DESPLE')

WRITE(3,21)PR,VISR,ESLB,SB,DESB

WRITE(3,36)

6 FORMAT(1H0,8X,'VR',7X,'RNR',7X,'CFB',7X,'CTB',7X,

1'RTB',3X,'RTB/DESB',7X,'EHP')

DO 40 J=1,N

VR=VM(J)\*(ESLB/ESLM)\*\*.5

VN=VR/1.6889

RNB=VR\*ESLB/VISR

CFB=.075/((ALOG(RNB)/2.3026-2.))\*\*2.+.0004

CTB=CR(J)+CFB

RTR=CTB\*PR\*SB\*VR\*VR/2.

RTBD=RTR/DESB

EHP=RTR\*VR/550.

0 WRITE(3,39)VR,RNB,CFB,CTB,RTB,RTBD,EHP

9 FORMAT(1H ,F10.3,E9.3,2F10.6,3F10.4)

GO TO 1

END

EN AGUA TRANQUILA

LO	DENSIDAD	VIS	ESLORA	S	DESPL		
	1.93740	.00001130	2.500	2.410	10.350		
VM	RTM	V/L	V/GL	RNM	CFM		CR
1.4000	0.0470	0.5242	0.15600.309E	06	0.006154		0.004114
1.8000	0.0680	0.6740	0.20060.398E	06	0.005786		0.003201
2.2000	0.0912	0.8238	0.24520.486E	06	0.005516		0.002553
2.6000	0.1307	0.9736	0.28970.575E	06	0.005305		0.002974
3.0000	0.2043	1.1234	0.33430.663E	06	0.005134		0.004586
3.4000	0.2861	1.2732	0.37890.752E	06	0.004991		0.005607
3.8000	0.4440	1.4230	0.42350.840E	06	0.004869		0.008298

LO	DENSIDAD	VIS	ESLORA	S	DESPL		
	1.99050	.00001279	30.000	347.120	18400.003		
VR	RNR	CFB	CTB	RTB	RTB/DES		EHP
4.8490.113E	08	0.003334	0.007448	60.5264	0.0032		0.5337
6.2350.146E	08	0.003211	0.006412	86.1320	0.0046		0.9764
7.6210.178E	08	0.003118	0.005671	113.8050	0.0061		1.5769
9.0060.211E	08	0.003045	0.006019	168.6942	0.0091		2.7624
10.3920.243E	08	0.002984	0.007571	282.4920	0.0153		5.3377
11.7770.276E	08	0.002933	0.008540	409.2903	0.0222		8.7647
13.1630.308E	08	0.002888	0.011187	569.6987	0.0363		16.0284

EN GLAS

LO	DENSIDAD	VIS	ESLORA	S	DESPL		
	1.93740	.00001130	2.500	2.410	10.350		
VM	RTM	V/L	V/GL	RNM	CFM		CR
1.4000	0.0520	0.5242	0.15600.309E	06	0.006154		0.005207
1.8000	0.0783	0.6740	0.20060.398E	06	0.005786		0.004562
2.2000	0.1060	0.8238	0.24520.486E	06	0.005516		0.003862
2.6000	0.1372	0.9736	0.28970.575E	06	0.005305		0.003386
3.0000	0.1832	1.1234	0.33430.663E	06	0.005134		0.003582
3.4000	0.2763	1.2732	0.37890.752E	06	0.004991		0.005244
3.8000	0.4476	1.4230	0.42350.840E	06	0.004869		0.008405

## BIBLIOGRAFIA - REFERENCIA

- 1.- The Ship Model Towing Tank at M.I.T. Martin A. Abkowitz
- 2.- General Dynamics Towing Basin Modern Instrument for the Advancement of Marine Technology. W. B. Barkley.
- 3.- Facilities and Experiment Techniques at the Netherlands Ship Model Basin. Dr. W.P. Van Lammeren.
- 4.- The use of Model Basins in the Design Process. George Stuntz.
- 5.- A Survey of Recent Developments in facilities at the University of Michigan. Ship Hydrodynamics Laboratory. Han Chol Him and James L. Moss
- 6.- Two New Hydrodynamics Research facilities at the David Taylor Model Basin. W. F. Brownell
- 7.- The Development and Operation of the Boeing Hydrodynamics Test System. W. R. Wiberg.
- 8.- Additional Resistance Due to Boundary Layer Separation in Model Testing. F. D. Jones
- 9.- Proceedings the Thirteenth General Meeting of the American Towing Tank conference. L. S. Aztjushkov
- 10.- Resistencia Viscosa de Buques. José A. Aláez.

- 11.- Canal de Experiencias de la Facultad de  
Arquitectura Naval Universidad de Buenos  
Aires. Ing. Edmundo Manera
- 12.- Principles of Naval Architecture SNAME
- 13.- Tecnología Naval SOBENA.