

**UNIVERSIDAD DE SANTANDER**  
**ESCUELA TECNICA SUPERIOR DE INGENIEROS**  
**DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS**

**TESIS DOCTORAL**

**DESARROLLO Y NORMALIZACION DEL ENSAYO DE PERDIDA  
POR DESGASTE APLICADO A LA CARACTERIZACION, DOSIFICA-  
CION Y CONTROL DE MEZCLAS BITUMINOSAS DE  
GRANULOMETRIA ABIERTA**

**Realizada por: D. MIGUEL ANGEL CALZADA PEREZ**  
**Dirigida por: D. FELIX EDMUNDO PEREZ JIMENEZ**

**SANTANDER, JUNIO DE 1984**

## CAPITULO 4

PRECISION Y REPETITIVIDAD DEL  
ENSAYO CANTABRO DE PERDIDA POR  
DESGASTE

#### 4.1. PRECISION Y EXACTITUD DE UN PROCESO DE MEDIDA

Para valorar las propiedades, de un material, llevar a cabo un control de calidad ó comprobar si ese material cumple unas especificaciones, es necesario recurrir al empleo de un método de ensayo.

El empleo repetido de un método de ensayo para determinar una propiedad presente en un material, es lo que constituye un proceso de medida.

Para que un proceso de medida sea susceptible de normalización y se pueda utilizar para valorar las propiedades de un material, debe reunir las siguientes características generales:

a) Existencia de un método de ensayo.

Para efectuar un proceso de medida es necesario la aplicación de un método de ensayo donde se especifique como debe de ser empleado un aparato de ensayo, si se debe de emplear un operador concreto, etc.

b) Conocimiento del conjunto de causas que influyen en el proceso de medida.

Un conjunto de causas de un proceso de medida son los factores que pueden producir variabilidad cuando estamos a

plicando un método de ensayo. A título de ejemplo podemos citar, la temperatura, el aparato concreto que estamos usando, el operador que realiza el ensayo, las probetas, el día, etc.

Generalmente la variabilidad está referida únicamente a la que produce el proceso de medida en sí mismo. Pero para cierto tipo de ensayos, tales como los referentes a mezclas bituminosas, la variabilidad que produce la preparación de las probetas no se puede distinguir de la del proceso de medida en sí mismo, por lo que la variabilidad correspondiente a la fabricación de las probetas se debe incluir en la que presenta el proceso de medida.

c) Facultad de poder establecer un control estadístico.

Un proceso de medida ha de poseer la propiedad de que se le pueda aplicar un control estadístico, de forma que las medidas que realizamos han de pertenecer a una población estadística definida e identificable.

Al realizar el ensayo de un material, manteniendo constantes todas las condiciones de ensayo, lo más probable es que no obtengamos idénticos resultados. Esto es debido a los errores que se cometen en la preparación de probetas y en el proceso de medida.

Por lo tanto conocer a partir de la aplicación de un número finito de ensayos el verdadero valor que tiene una determinada propiedad de un material resulta prácticamente imposible. Pero podemos determinar a partir de estos resultados un intervalo en el cual tengamos una gran probabilidad de que se encuentre incluido el valor de la propiedad que estamos evaluando. La amplitud de este intervalo es lo que nos determina la precisión del proceso de medida.

Por otra parte el verdadero valor de la propiedad se podría definir como: el valor hacia el cual tiende la media de los resultados obtenidos por N laboratorios cuando N tiende a infinito.

El sesgo de los valores medidos con relación a este verdadero valor es lo que nos determinaría la exactitud del proceso de medida.

Dependiendo de la precisión y exactitud del proceso de medida, oscilará también la mayor o menor proximidad entre las medidas individuales observadas, y entre éstas y el verdadero valor. En este sentido, la norma ASTM E177 da las siguientes definiciones para los términos precisión y exactitud:

Precisión: Grado de mutua concordancia entre medidas individuales.

Exactitud: Grado de concordancia de las medidas con relación al nivel de referencia aceptado.

Las definiciones anteriores nos indican claramente la diferencia existente entre precisión y exactitud, es decir, un proceso de medida que sea calificado de preciso no implica que sea exacto, puesto que los resultados de los ensayos pueden estar muy próximos entre sí, pero esto no obliga que esten próximos al valor aceptado de la propiedad. Por ejemplo, las medidas que realicemos con un aparato pueden estar muy próximas, pero si el aparato comete un error sistemático, los valores obtenidos no serán exactos.

Estos términos pueden explicarse y ser calculados estadísticamente a partir de la varianza y del error cuadrático medio de las medidas realizadas. En efecto, si hemos realizado una serie de medidas  $(x_1, \dots, x_n)$  encaminadas a conocer el verdadero valor de una propiedad, que vamos a denominar  $x_0$ , entre los valores medidos y el verdadero valor podemos establecer la siguiente relación:

$$E\{(X-X_0)^2\} = E\{(X-\bar{X})^2\} + \{\bar{X}-X_0\}^2$$

donde

$$E\{(X-X_0)^2\} = \text{es el error cuadrático medio.}$$

$E\{(X-\bar{X})^2\}$  = varianza de las medidas efectuadas.

$\bar{X}$  = valor medio de las medidas efectuadas.

Pues bien, la varianza del estimador la podemos identificar con la precisión del proceso y el error cuadrático medio del estimador con su exactitud.

Los términos precisión y exactitud, aparecen en otras normas -ISO, por ejemplo- como fidelidad y precisión (precisión = fidelidad; exactitud = precisión).

Por otra parte, dado que la precisión de un proceso de medida depende del sistema de causas a que está asociado, para que un índice de precisión tenga significado, es necesario que especifiquemos cual es éste.

En efecto, cuando las medidas son realizadas por un mismo operador, empleando los mismos aparatos y en las mismas condiciones, la variabilidad es inferior a la que se obtiene cuando las medidas son realizadas por distintos operadores, con distintos aparatos y en diferentes condiciones.

Esto se puede contemplar empleando los prefijos simple y multi, que nos indican de una forma más precisa las condiciones y el sistema de causas empleado en la determinación de la precisión o error sistemático. Como ejemplo

podemos citar:

simple-operador

simple-aparato

simple-laboratorio

simple-laboratorio-operador-día

multi-laboratorio

multi-operador-probeta-día, etc.

Frecuentemente se usan los términos repetitividad y reproductividad para describir un sistema de causas, sobre el que se basa un índice de precisión.

La repetitividad está relacionada con procesos de medida realizados en cortos intervalos de tiempo, en un laboratorio, por un mismo operador y un mismo equipo.

La reproductividad, hace relación a los procesos de medida realizados en diferentes laboratorios, realizados por lo tanto por diferentes operadores, con diferentes aparatos y diferentes épocas.

Las definiciones de repetitividad y reproductividad, que aparecen en los párrafos siguientes, corresponden a las normas ISO, números 3534 y 5725 respectivamente.

Repetitividad. Es una expresión cuantitativa del error aleatorio asociado a un operador único, en un laboratorio,



siendo los resultados consecutivos, empleando el mismo equipo, en condiciones de ensayo constantes y sobre un material de ensayo idéntico. Se define como el valor por debajo del cual el valor absoluto de la diferencia entre dos valores tiene el 95% de posibilidades de estar incluido.

Reproductividad. Es una expresión cuantitativa del error aleatorio, asociado a diferentes operadores, en laboratorios distintos, empleando un material y método de ensayo idénticos. Se define como el valor por debajo del cual el valor absoluto de la diferencia entre dos valores tiene el 95% de probabilidades de estar incluido.

La norma ASTM E177-71, define mas concisamente los términos repetitividad y reproductividad.

Repetitividad. La precisión simple-laboratorio-operador de un proceso de medida.

Reproductividad. La precisión multi-laboratorio-operador de un proceso de medida.

Se observa que la reproductividad siempre es mayor que la repetitividad. Asimismo, cuanto mayor es la precisión de un ensayo, más pequeños son los valores de repetitividad y reproductividad.

Estos términos de repetitividad y reproductividad han caído en desuso debido a su ambigüedad, puesto que ninguno de ellos hace referencia explícita de forma clara al sistema de causas. La norma ASTM E177-71, dada por el comité E-11 de la American National Standard, recomienda el empleo de los términos precisión y exactitud.

#### 4.1.1. EXPRESION DE LA PRECISION Y EXACTITUD DE UN PROCESO DE MEDIDA

La precisión de un proceso de medida la podemos establecer mediante un índice ( $\pm a$ ), siendo  $a$  un número positivo. La base más usual para determinar este índice de precisión es a partir de la varianza muestral,  $S^2$ , de la distribución estadística de las mediciones realizadas.

Como índices de precisión se suelen tomar:

$\pm S$  Es el valor más empleado, y nos indica que en la mayoría de las experiencias, se puede confiar que alrededor del 68% de los casos el valor medido está incluido en el intervalo  $X_0 \pm S$ .

$\pm 2S$  Se puede confiar que alrededor del 95% de los casos el valor medido está incluido en el intervalo  $X_0 \pm 2S$ .

$\pm 3S$  Se puede confiar que alrededor del 99% de las experiencias el valor medido esté incluido en el intervalo  $X_0 \pm 3S$ .

Estos niveles de confianza del 68%, 95% y 99% corresponden supuesta una distribución normal, lo que sucede para muchos estadísticos, cuando el tamaño de muestra es mayor de 30.

También el índice de precisión se suele establecer como el intervalo máximo de amplitud entre 2 medidas aisladas. Supuesta la distribución normal estos índices de precisión serían:

$\pm 2\sqrt{2}S$  Se puede confiar que alrededor del 95% de las experiencias el valor de la diferencia de dos resultados este incluido en el intervalo:

$$-2\sqrt{2}S < X_1 - X_2 < 2\sqrt{2}S$$

$\pm 3\sqrt{2}S$  Se puede confiar que alrededor del 99% de las experiencias el valor de la diferencia de dos resultados esté incluida en el intervalo:

$$-3\sqrt{2}S < X_1 - X_2 < 3\sqrt{2}S$$

La precisión también se puede indicar como un porcentaje de alguno de los índices anteriores, con relación al

valor real de la propiedad.

El valor de  $a$ , una vez definido el índice de precisión a utilizar ( $\pm S$ ;  $\pm 2S$ ...), será tanto más pequeño cuanto más agrupadas estén las mediciones realizadas y, por lo tanto, más preciso sea el ensayo.

El índice de precisión variará si se aplican diferentes procesos de medida para medir una misma propiedad de un material, por causa de diferencias en los métodos de ensayo ó en el sistema de causas. Si dos índices de precisión están referidos a dos procesos diferentes, pero basados en el mismo método ó dirigidos a medir la misma propiedad, y ambos tienen la misma clase de interpretación con relación a la variación de los resultados, será mas preciso el que tenga un menor valor para  $a$ .

Referente a la exactitud, no hay una forma sencilla - que nos permita determinarla y que se pueda recomendar siempre. Sin embargo, ya que el concepto de exactitud dado anteriormente abarca no solo el concepto de precisión (concordancia de cada uno de los valores individuales con el nivel de referencia), sino también la idea de una desviación de los valores medidos con relación al valor de referencia (sesgo sistemático), a veces puede ser apropiado establecer la exactitud mediante un índice de precisión y una corrección tal que aplicada de una manera específica a cada medida permita reducir ó, si es posible, eliminar el sesgo sistemático.

El error sistemático de un proceso se puede establecer como diferencia existente entre la media correspondiente a las mediciones realizadas y el verdadero valor de la propiedad considerada. Figura 4.1.

$$\delta = X_0 - \bar{X}$$

donde

$\delta$  : Sesgo sistemático de un proceso de medida a un nivel de referencia  $X_0$ .

$X_0$ : Nivel de referencia aceptado de la propiedad del material. Valor teórico de la propiedad medida.

$\bar{X}$  : Media de los valores medidos.

Por otra parte, las correcciones sistemáticas son a menudo consideradas inherentes al método o procedimiento de ensayo y podría ser mejor incorporarlas al proceso de ensayo, que asociarlas con la exactitud de un proceso de medida. Es decir, que dados dos procesos de medida con el mismo índice de precisión, pero con diferentes errores sistemáticos, el proceso con error sistemático menor sería el más exacto. Sin embargo, correcciones apropiadas en cada caso podrían hacer ambos procesos equivalentes en exactitud.

En la figura 4.2a) y b), se puede apreciar dos procesos de medida que presentan el mismo índice de precisión. En este caso el método B es más exacto que el A, pero haciendo una corrección adecuada (error sistemático) el método A y B resultan igualmente exactos.

Unicamente sería posible decir que un proceso es más exacto que otro si los errores sistemáticos en ambos procesos de medida fuesen despreciables y uno fuese más preciso que el otro. Entonces aquel que tuviera menor índice de precisión sería también el más exacto. Por otra parte, si tenemos dos procesos y uno es más preciso que el otro, pero tiene mayor sesgo sistemático y no podemos aplicar una corrección, no hay una comparación sencilla de la exactitud de los dos procesos, sin embargo, en este caso se podría utilizar el criterio de menor error cuadrático medio.

#### 4.1.2. CAMBIOS EN LA PRECISION Y EN LA EXACTITUD

Los cambios en la precisión y exactitud de un sistema de medida se pueden deber a:

- cambios asociados con el nivel de referencia.
- cambios asociados a la modificación en el sistema de causas.

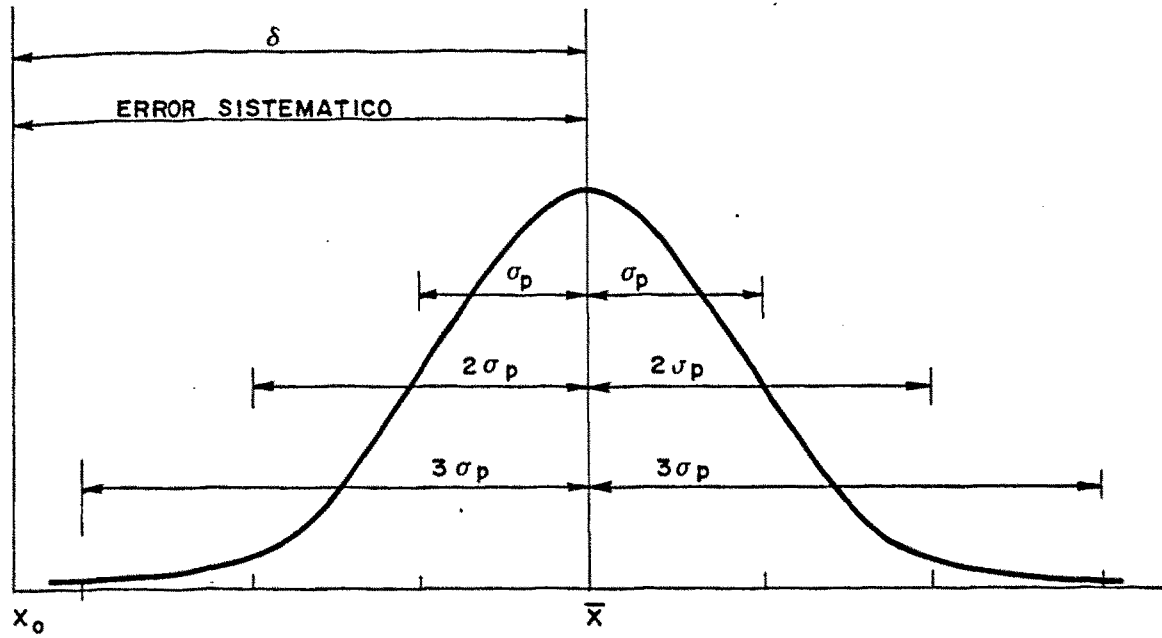


FIG.4.1.- REPRESENTACION DE LOS INDICES DE PRECISION MAS HABITUALES Y ERROR SISTEMATICO

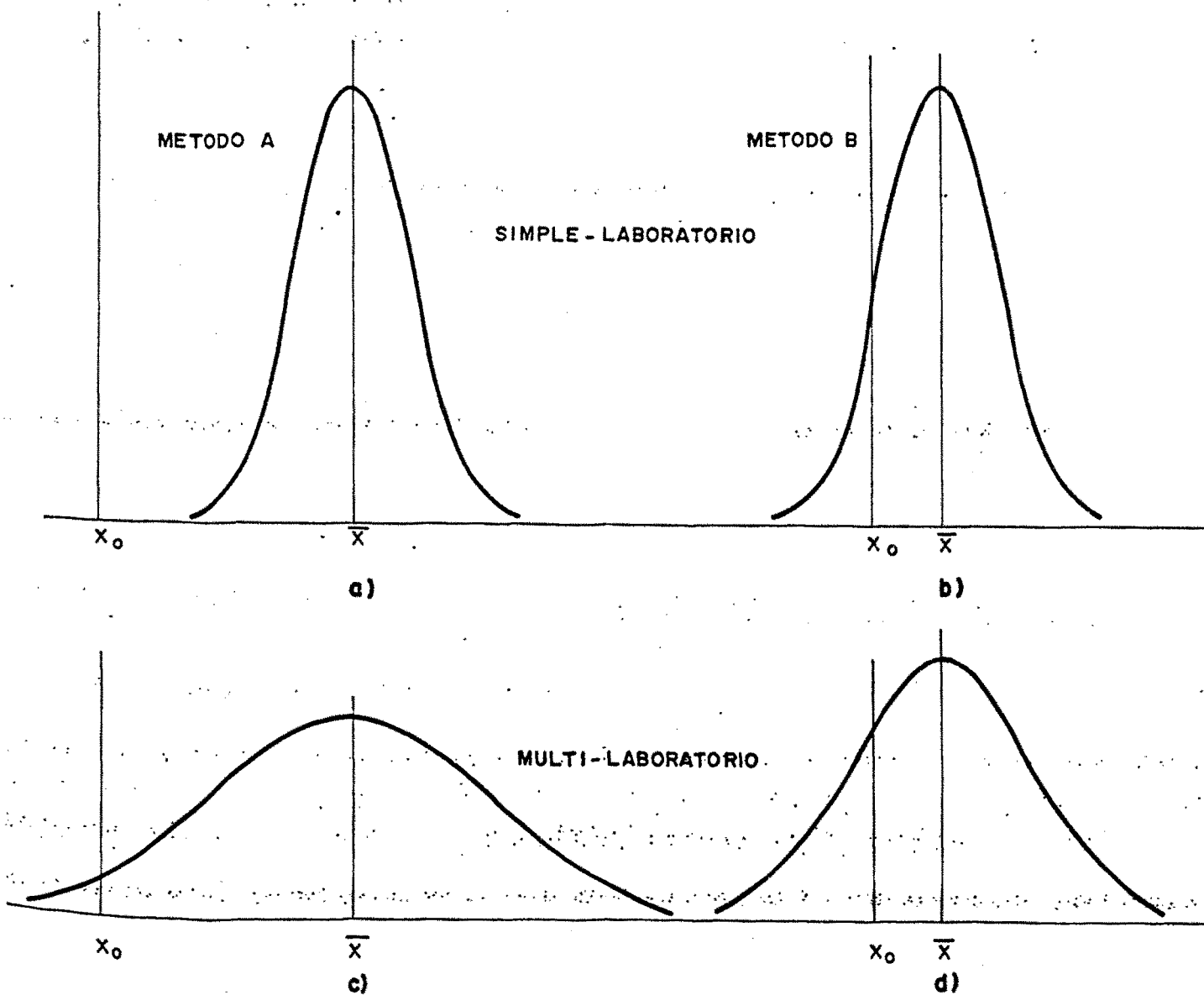


FIG.4.2. - VARIACIONES DE LA PRECISION AL VARIAR EL SISTEMA DE CAUSAS

El valor del índice de precisión y el error sistemático, ó ambos, pueden variar con cambios en el nivel de referencia aceptado para la propiedad del material que se está midiendo. Este cambio de nivel de referencia ocurre normalmente cuando se produce un cambio en las propiedades físicas del material que se está ensayando (por ejemplo: % de betún,...), esto hace que el material se comporte de distinta manera, y que el grado de variación y la concordancia entre los resultados individuales con el nivel de referencia puedan ser distintos, dependiendo de las propiedades del material ensayado.

Por lo tanto, cuando determinamos un índice de precisión, ó el error sistemático de un proceso, puede ser necesario indicar el nivel de referencia. Afortunadamente, en muchos casos prácticos, puede evitarse este inconveniente de una manera sencilla, mediante el uso de una simple función matemática, como por ejemplo la raíz, el logaritmo, etc, que se aplica a cada una de las medidas, con lo que se obtiene una nueva variable cuyo índice de precisión, o error sistemático, es independiente del nivel de referencia.

Con relación a los cambios en la precisión producidos por la variación en el sistema de causas, ya nos hemos referido a ello al tratar los prefijos simple y multi en el comentario preliminar a las definiciones de repetitividad y reproductividad. Como se indica en dicho apartado toda



modificación del sistema de causas produce una variación en la precisión y exactitud. Cuando las medidas son realizadas por un mismo operador, empleando los mismos aparatos y en las mismas condiciones, la variabilidad es inferior a la que se obtiene cuando las medidas son realizadas por distintos operadores, con distintos aparatos y en diferentes condiciones. Esto puede observarse en la figura 4.2 donde se representan los resultados en el caso de un simple-laboratorio y en el caso de un multi-laboratorio.

Con relación a los cambios del error sistemático, puede ser frecuente que cuando se realiza una gran cantidad de medidas, sobre todo durante un amplio periodo de tiempo, el error sistemático, pueda ir cambiando. Este cambio en el error sistemático puede ser predicho a medida que causas conocidas (p. ej.: variación de la temperatura ambiente), van entrando en el sistema de causas, ó bien, puede cambiar por razones difíciles de identificar. (P. ej.: aparición de tendencias extrañas en el operador).

Estas variaciones pueden dar lugar, a que errores que antes eran considerados como sistemáticos, puedan ser ahora explicados mediante una variable que no había sido incluida en el sistema de causas, aunque realmente debía pertenecer a él. Un nuevo índice de precisión y un nuevo error sistemático deben ser establecidos a la vista de los nue-

vos resultados obtenidos, y obedecerán a un nuevo sistema de causas.

#### 4.1.3. DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA PRECISION

La precisión de un proceso de medida se determina experimentalmente aplicando a los valores obtenidos en los ensayos un análisis estadístico.

La determinación experimental requiere, el empleo de un método de ensayo, la realización de un plan de ensayos y un procedimiento estadístico, que constituyen conjuntamente el método experimental.

El método o procedimiento de ensayo habrá sido fijado a partir de unos ensayos previos de normalización, en que se hayan analizado los factores que producen variabilidad. Esta normalización del ensayo es una cuestión previa de todo proceso de medida.

Definido el método de ensayo, si queremos determinar la precisión del proceso de medida, habremos de fijar un plan experimental de ensayos de acuerdo con un método o procedimiento estadístico seleccionado, que nos permita valorar su precisión y exactitud a partir de los valores obtenidos.

El método estadístico de ensayo seguido para determinar la precisión de un proceso de medida tiene a su vez una "precisión", denominada error de muestreo, que además puede tener un error sistemático, que depende de lo adecuado que sea el diseño del experimento.

Como procedimientos normalizados para determinar la precisión podemos destacar: la  $t$  de Student, análisis de varianza, análisis de covarianza, modelos de regresión, etc.

En los apartados siguientes pasamos a comentar, el método estadístico y el plan de ensayos utilizados en la determinación de la precisión del ensayo de desgaste Cántabro. Describiendo previamente las características del método de ensayo.

#### 4.2. DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA PRECISION DEL ENSAYO DE DESGASTE CANTABRO. METODO EXPERIMENTAL EMPLEADO

La determinación de la precisión del proceso empleado en la medida de las pérdidas por desgaste mediante el ensayo Cántabro se realizó, a partir de los valores obtenidos después de la puesta a punto y desarrollo del ensayo, una vez normalizado éste.

El ensayo de pérdida por desgaste no tenía ningún precedente en su aplicación a mezclas bituminosas y, por tanto, no existía ningún modelo que pudiese marcar una pauta para su desarrollo. Los primeros ensayos consistentes en un estudio piloto sobre tres mezclas tipo recogidas en el capítulo anterior, sirvieron para poner de manifiesto la validez del método de ensayo así como para la determinación del conjunto de causas que influyen en el proceso de pérdida.

Realizado este estudio piloto, se fijó el siguiente procedimiento de ensayo del que se ha determinado su precisión.

#### 4.2.1. METODO DE ENSAYO

##### 1. APARATOS DE ENSAYO

Máquina de desgaste de los Angeles: la máquina empleada en el ensayo de desgaste Cántabro es la misma que se uti

za en el ensayo de desgaste de los áridos por medio de la máquina de Los Angeles (NLT-149/72), figura 4.3, pero sin carga abrasiva. Las características de la máquina están definidas en el apartado 2.1 de la Norma NLT-149/72.

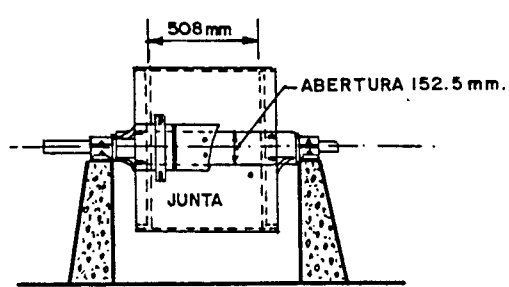
## 2 PREPARACION DE LAS PROBETAS DE ENSAYO

La muestra ensayada consiste en una probeta cilíndrica ( $\phi = 101,6$  mm) con un peso de 1 Kg de áridos más el peso de ligante, compactada mecánicamente en la compactadora Marshall. El procedimiento seguido para la preparación de la probeta es el señalado en la Norma dada por el Laboratorio de Transporte y Mecánica del suelo para determinar "la resistencia a la deformación plástica de mezclas bituminosas aplicando el aparato Marshall" NLT-159/73, empleando una energía de compactación de 50 golpes por cara y una temperatura que en principio deberá responder a una viscosidad del ligante comprendida entre 700 y 900 centistokes.

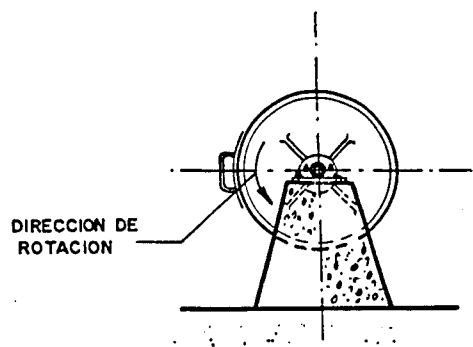
## 3 EJECUCION DEL ENSAYO

Para determinar la pérdida de desgaste de cada una de las probetas ensayadas se sigue el siguiente procedimiento:

- 1.- Se pesa en seco la probeta, con una aproximación de 0,1 gramos ( $P_1$ ).

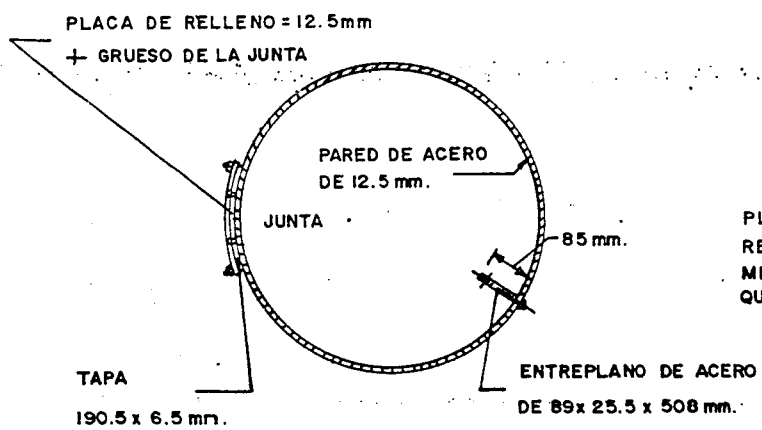


ALZADO

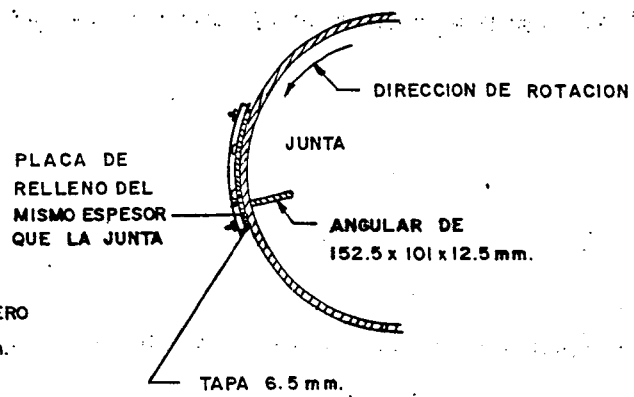


LATERAL

VISTA DE CONJUNTO



DISPOSICION MAS CONVENIENTE



DISPOSICION DEL ENTREPLANO EN LA TAPA

FIG.43.- MAQUINA DE "LOS ANGELES"

2.- Se introduce la probeta en la máquina de Los Angeles, sin ninguna clase de carga abrasiva, y se le somete a 300 revoluciones.

3.- Se saca la probeta que se habrá ido reduciendo por el desgaste, se pesa en seco, con una aproximación de 0,1 gramos ( $P_2$ ).

#### 4. RESULTADO DEL ENSAYO

La pérdida de desgaste se expresa en tanto por ciento referido al peso inicial de la probeta.

$$\text{Tanto por ciento de pérdida por desgaste} = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100$$

donde

$P_1$  = peso inicial probeta en g.

$P_2$  = peso final probeta en g.

#### 4.2.2. METODO ESTADISTICO

En la determinación de la precisión del ensayo se ha empleado el programa de regresión lineal múltiple desarrollado por A. Luceño en 1983. El comentario de todas las características del modelo sería muy prolijo. No obstante, se comentan a continuación los rasgos fundamentales del modelo de regresión lineal múltiple empleado. La forma general de la ecuación -

que define el modelo es:

$$\sqrt{w} f(y) = \sqrt{w} \sum_{i=1}^p f_i(X_1, \dots, X_r) \beta_i + \epsilon$$

donde  $w$  es el peso correspondiente a cada observación;  $\epsilon$  es una variable aleatoria, cuya distribución se supone normal de media cero y varianza  $\sigma^2$  constantemente independiente de los valores de las variables  $X_1, \dots, X_r$  que constituyen el sistema de causas;  $\beta_i$  ( $i = 1, \dots, p$ ) son parámetros de ajuste del modelo lo mismo que las funciones  $f_i(X_1, \dots, X_r)$ , que bien son conocidas a priori o bien deben ser inferidas a partir de los datos, al objeto de que se verifiquen las hipótesis del modelo, para que la regresión sea significativa y que el coeficiente de determinación sea alto.

Mediante la aplicación de este modelo podemos obtener una correlación, entre la variable dependiente: pérdida por desgaste, y las variables independientes ó sistema de causas: porcentaje betún, porcentaje finos, etc, al mismo tiempo que nos permite determinar la varianza,  $\sigma^2$ , de la variable  $\epsilon$ , que es precisamente la base de referencia para definir la precisión del proceso de medida.

Frecuentemente el modelo de regresión lineal multiple se expresa en forma matricial:



$$Y = X \beta + \epsilon$$

donde

Y Es un vector columna ( $n \times 1$ ) elementos  $f(y_j)$  donde  $j = 1, \dots, n$  ( $n = n^{\circ}$  de observaciones).

X Es una matriz de ( $n \times p$ ) elementos cuyo elemento  $j, i$  es el valor de  $f_i(X_1, \dots, X_p)$  para la observación  $j$ .

$\beta$  Es un vector columna ( $p \times 1$ ) de parámetros  $\beta_i$ .

$\epsilon$  Es un vector columna ( $n \times 1$ ) de errores.

La resolución del problema, implica la elección de los parámetros  $\beta$  de tal forma que el valor de la respuesta que hemos obtenido experimentalmente se aproxime lo máximo posible a la respuesta suministrada por el modelo. Una forma de realizar esto, es aplicar el método de máxima verosimilitud ó el de mínimos cuadrados (que son equivalentes para las hipótesis realizadas), es decir, que la suma de los errores cuadráticos sea mínima. Esto se puede expresar matemáticamente mediante la condición:

$$E(\epsilon) = 0$$

Lo que hace que podamos expresar la ecuación:

$$E(Y) = X \beta$$

Entonces la suma de errores cuadráticos:

$$\begin{aligned} (*) \quad \epsilon' \epsilon &= (Y - X\beta)' (Y - X\beta) = Y'Y - \beta'X'Y - Y'X\beta + \beta'X'X\beta = \\ &= Y'Y - 2\beta'X'Y + \beta'X'X\beta \end{aligned} \quad (a)$$

La estimación de  $\beta$ , obtenida a partir de la minimización de  $\epsilon' \epsilon$ , es lo que vamos a denominar  $b$ . Esto se puede obtener derivando la ecuación (a) con relación a  $\beta$  e igualando los valores de la ecuación matricial a cero. El resultado de la derivación es:

$$(X'X)b = X'Y$$

si los parámetros son independientes la matriz  $X'X$  admite inversa y podemos poner:

$$b = (X'X)^{-1}X'Y$$

Igualmente podemos calcular la matriz de varianzas-covarianzas de los estimadores (b):

$$V(b) = (X'X)^{-1}\sigma^2$$

donde las varianzas son los elementos de la diagonal principal, y las covarianzas los elementos exteriores a la misma.

NOTA(\*): El símbolo ' significa transpuesta, es decir, la matriz  $\epsilon'$  es la transpuesta de  $\epsilon$ .

El valor de  $\sigma^2$  se estima mediante  $S^2$  y éste está dado por:

$$S^2 = \frac{Y'Y - b'X'Y}{n - p}$$

siendo este valor de  $S$  un índice de precisión si el modelo es correcto.

Una forma de medir la bondad del ajuste que hemos obtenido al determinar la ecuación de regresión es el denominado coeficiente de correlación.

Si denominamos:  $Y$  el valor de la respuesta obtenido en una medida;  $\bar{Y}$  el valor medio de los valores observados e  $\hat{Y}$  al valor de respuesta que proporciona el modelo, la variación total de  $Y$  se define como:

$$\Sigma(\hat{Y} - \bar{Y})^2 = \Sigma(Y - \hat{Y})^2 + \Sigma(\hat{Y} - \bar{Y})^2$$

donde

$$\Sigma(Y - \hat{Y})^2 = \text{variación no explicada.}$$

$$\Sigma(\hat{Y} - \bar{Y})^2 = \text{variación explicada por el modelo.}$$

La relación entre la variación explicada y la variación total se denomina coef. de determinación. Al valor de  $r$  se denomina coeficiente de correlación y está dado por

la relación:

$$r = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Y} - \bar{Y})^2}{\sum (Y - \bar{Y})^2}} = \sqrt{1 - \frac{\text{variación no explicada}}{\text{variación total}}}$$

el rango de variación es de 0 a 1, cuanto más nos aproximamos a  $r = 1$  la variación no explicada es más pequeña y el modelo es mejor.

#### 4.2.2.1 TRANSFORMACION DE BOX-COX Y ESTADISTICO Cp

Este modelo general es sumamente versátil. De hecho su uso requiere un estudio muy cuidadoso respecto de todo aquello que los datos tratan de decir al estadístico que los analiza. En particular a veces son necesarias transformaciones que ajusten los datos a las hipótesis del modelo.

Una de estas hipótesis es suponer la variable aleatoria  $\varepsilon$  normal, de media 0 y varianza  $\sigma^2$ , constantemente independiente de los valores de las variables  $X_1, \dots, X_r$ , que constituyen el sistema de causa. Cuando esto no ocurre, como es el caso de la pérdida de desgaste, que presenta una mayor dispersión de resultado a medida que aumenta el desgaste, es posible, mediante la transformación de Box-Cox, conseguir una variable que cumpla esta condición. La transformación de Box-Cox en su forma más sencilla

lla esta dada por:

$$Y^{(\lambda)} = \frac{Y^\lambda - 1}{\lambda Y^{\lambda-1}} \quad \text{si } \lambda \neq 0$$

$$Y^{(\lambda)} = \dot{Y} \text{ Ln}(Y) \quad \text{si } \lambda = 0$$

siendo:

$\dot{Y}$  Media geométrica de todas las observaciones de la variable aleatoria ó característica de interés.

$\lambda$  Es un parámetro que define la transformación.

$Y^{(\lambda)}$  Es la transformación del valor  $Y$ .

Esta transformación es un método muy adecuado para inferir la función  $f(Y)$  de la ecuación del modelo. Para la variable aleatoria el porcentaje de pérdida por destaste se ha encontrado que  $\lambda = \frac{1}{3}$  es un valor adecuado del parámetro, lo que equivale a usar la transformación  $\sqrt[3]{Y}$ .

Otro problema que se presenta es la selección de las variables que deben formar parte del modelo. Suponiendo que existan en principio  $K$  variables que puedan intervenir en la ecuación de regresión, el número de posibles combinaciones entre ellas es:

$$\binom{K}{0} + \binom{K}{1} + \binom{K}{2} + \dots + \binom{K}{i} + \dots + \binom{K}{K-1} + \binom{K}{K} = (1+1)^K = 2^K$$

siendo

$\binom{K}{i}$  El número de combinaciones de las K variables cuando en la ecuación intervienen i.

Esto implica que se debería de ajustar las  $2^K$  ecuaciones y elegir la mejor de ellas, parece en principio - que una forma de selección debe de ser elegir aquellas ecuaciones que presenten un mayor coeficiente de correlación y a su vez intervenga el menor número de parámetros posible.

Un criterio para establecer un equilibrio entre las dos condiciones esta dado por el estadístico Cp debido a Mallows, que permite hacer una selección de las variables en función del valor que toma Cp en los  $2^K$  ecuaciones posibles. El cálculo de los  $2^k$  valores de Cp puede hacerse, mediante el algoritmo de Furnival y Wilson, sin necesidad de ajustar las  $2^k$  ecuaciones de regresión.

Este estadístico Cp estima el error cuadrático medio, es decir, la suma de los cuadrados del sesgo de cada observación más la varianza de su estimación, para cada ecuación. Por tanto, debe ser lo más pequeño posible.

El estadístico Cp está dado por la ecuación:

$$C_p = \frac{RSS_p}{S^2} - (N-2p)$$

donde

$s^2$  Es el estimador de  $\sigma^2$ .

RSSp Es la suma de cuadrados residual que esta dada por  
 $(Y'Y - b'X'Y)$ .

p El número de parámetros  $\beta$ .

n El número de observaciones.

Cuando una ecuación de p términos tiene un sesgo despreciable  $SSBp \approx 0$ ,  $E(RSSp) = (N-p)\sigma^2$ , y

$$E(Cp | SSBp = 0) = \frac{(N-p)\sigma^2}{\sigma^2} - (N-2p) = p.$$

es decir, cuando el sesgo tiende a cero el valor de Cp tiende a p.

Si procedemos a dibujar, figura 4.4 los valores de Cp obtenidos para un número de parámetros p, resulta que cuando el sesgo es pequeño el punto que representamos tiende a aproximarse a la recta  $Cp = p$  (punto A). Cuando el sesgo es grande el punto representado se aleja de la recta  $Cp = p$  (punto B). No obstante puede suceder que el punto B, teniendo un sesgo muy grande, presente un valor de Cp mas pequeño.

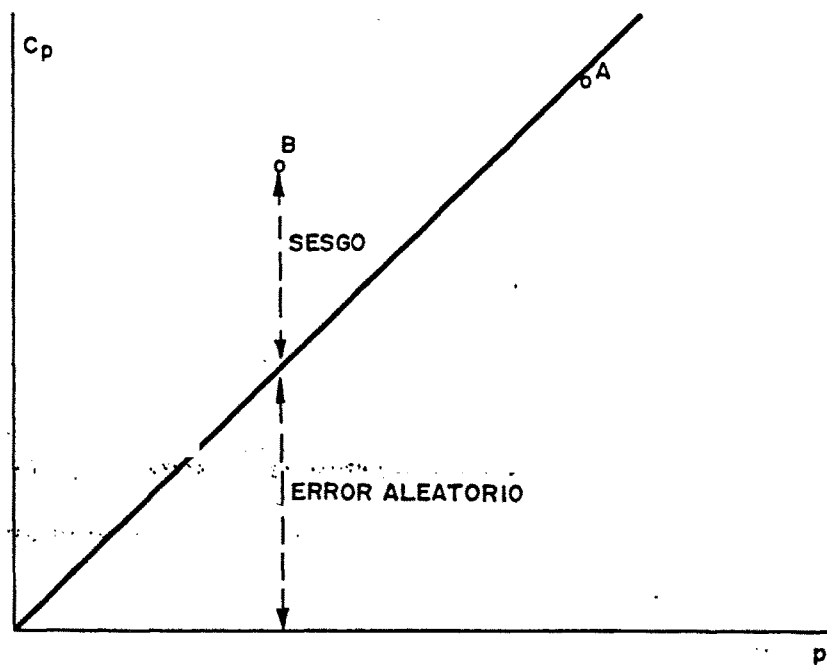


FIGURA 4.4 - VARIACION DEL ESTADISTICO  $C_p$  CON EL NUMERO DE PARAMETROS Y EL SESGO

Es decir, si aumentamos el número de parámetros se puede hacer disminuir el sesgo, pero puede aumentar el valor  $C_p$ . Lo que se trata de conseguir es un equilibrio entre el número de variables empleadas ( $p$ ) y el sesgo.

#### 4.2.2.2. - CONTROL DE LAS HIPOTESIS DEL MODELO

Las hipótesis que nos han permitido ajustar el modelo, se basan en que  $\epsilon_i$  sea una variable aleatoria normal de media 0 y varianza  $\sigma^2$ . Esto hace necesario que comprobemos prácticamente la validez de estas hipótesis, siendo una...



técnica muy adecuada el análisis de los residuos. Este análisis se basa en que si las hipótesis planteadas son correctas, cabe esperar, que los residuos varíen aleatoriamente, y si por el contrario presentan tendencias sistemáticas se debe suponer que el modelo no es correcto.

La hipótesis de normalidad se puede contrastar empleando papel probabilístico normal. Para representar los residuos, inicialmente se ordenan de menor a mayor y si es  $n$  el número de ellos, se representa en abscisas el valor  $(j-1/2)/n$  y en ordenadas el valor del residuo, siendo  $j$  el lugar que ocupa el residuo representado. Si los puntos representados se pueden ajustar mediante una línea recta, podemos concluir que no se contradice la hipótesis de normalidad. Si no sucediera esto sería necesario realizar alguna transformación que permitiera hacer válida la hipótesis contrastada.

Además de este gráfico, deben de realizarse otros que tienen por objeto detectar fallos en las hipótesis de linealidad de la media e igualdad de varianzas de la variable dependiente (pérdida por desgaste) cuando varían las variables independientes (sistema de causas).

Estos gráficos se obtienen dibujando las  $n$  observaciones en un diagrama cartesiano. La abscisa es el valor

estimado de la respuesta al ajustar el modelo, y su ordenada es el residuo. El puede suministrar información sobre la hipótesis de normalidad, igualdad de varianzas y linealidad.

A título de ejemplo podemos observar la figura 4.5, el gráfico a, que nos indica que la distribución de  $\epsilon$  está sesgada hacia los valores positivos, mientras que el gráfico b nos indica que la varianza de las observaciones no es constante. Del mismo modo el gráfico c nos indica que la relación entre la variable dependiente y las variables independientes no es lineal.

El mismo tipo de gráficos se utiliza, para comprobar la linealidad y dispersión de cada una de las variables independientes.

#### 4.2.3. PLAN EXPERIMENTAL

Para la determinación de la precisión del ensayo de pérdida por desgaste Cántabro se procedió a determinar la pérdida por desgaste de probetas fabricadas con distintas granulometrías y porcentajes de ligante.

Las granulometrías estudiadas se diferenciaban por el tamaño máximo de árido empleado (10, 12 y 20 mm), el porcentaje de árido fino empleado (10, 15%) y el conteni

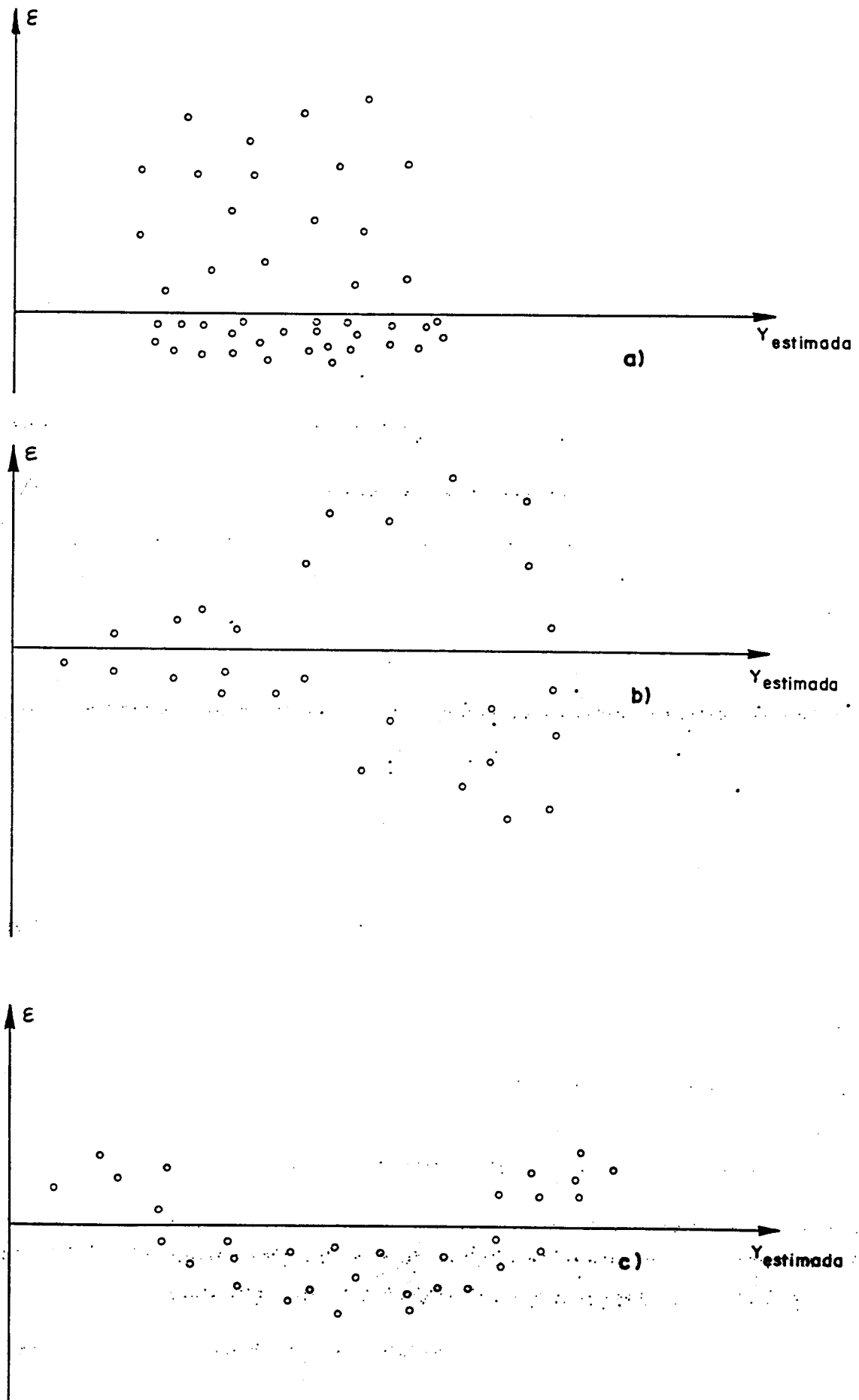


FIGURA 4.5.- GRAFICOS PARA EL CONTRASTE DE LAS HIPOTESIS DE IGUALDAD DE VARIANZAS Y LINEALIDAD

nido de filler (2-4-6%). En total se estudiaron 18 granulometrías que han sido recogidas en la tabla 4.1 y representadas en las figuras 4.6, 4.7 y 4.8. Todas ellas corresponden a granulometrías normales que se utilizan en mezclas bituminosas porosas.

Los porcentajes de betún empleados en cada granulometría fueron del 3,5-4,5-5,5%. Por cada granulometría y porcentaje de ligante se ensayaron dos probetas.

El árido empleado para la fabricación de estas mezclas es de naturaleza ofítica y como ligante se empleó un betún de pretracción B-60/70. Las características del árido y del betún aparecen en la tabla 4.2.

Los ensayos se realizaron en los meses de octubre y noviembre de 1981, con una temperatura en el laboratorio comprendida entre los 16 y 18°C.

Las variables estudiadas con los valores considerados, son por tanto, las siguientes:

b contenido de betún 3,5; 4,5; 5,5% s/a.

f contenido de filler 2; 4; 6%.

TAMIZ UNE	GRANULOMETRIAS																	
	P-20(15,2)	P-20(15,4)	P-20(15,6)	P-20(10,2)	P-20(10,4)	P-20(10,6)	P-12(15,2)	P-12(15,4)	P-12(15,6)	P-12(10,2)	P-12(10,4)	P-12(10,6)	P-10(15,2)	P-10(15,4)	P-10(15,6)	P-10(10,2)	P-10(10,4)	P-10(10,6)
25	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
20	87	87	87	86	86	86	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
12,5	65	65	65	63	63	63	74	74	74	74	72	72	100	100	100	100	100	100
10	57	57	57	54	54	54	63	63	63	61	61	61	85	85	85	84	84	84
5	33	33	33	29	29	29	36	36	36	32	32	32	46	46	46	42	42	42
2,5	15	15	15	10	10	10	15	15	15	10	10	10	15	15	15	10	10	10
0,63	7	8	10	5	6	8	7	8	10	5	6	8	7	8	10	5	6	8
0,32	6	7	8	4	5	7	6	7	8	4	5	7	6	7	8	4	5	7
0,08	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2	4	6

TABLA 4. I.- GRANULOMETRIA DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS

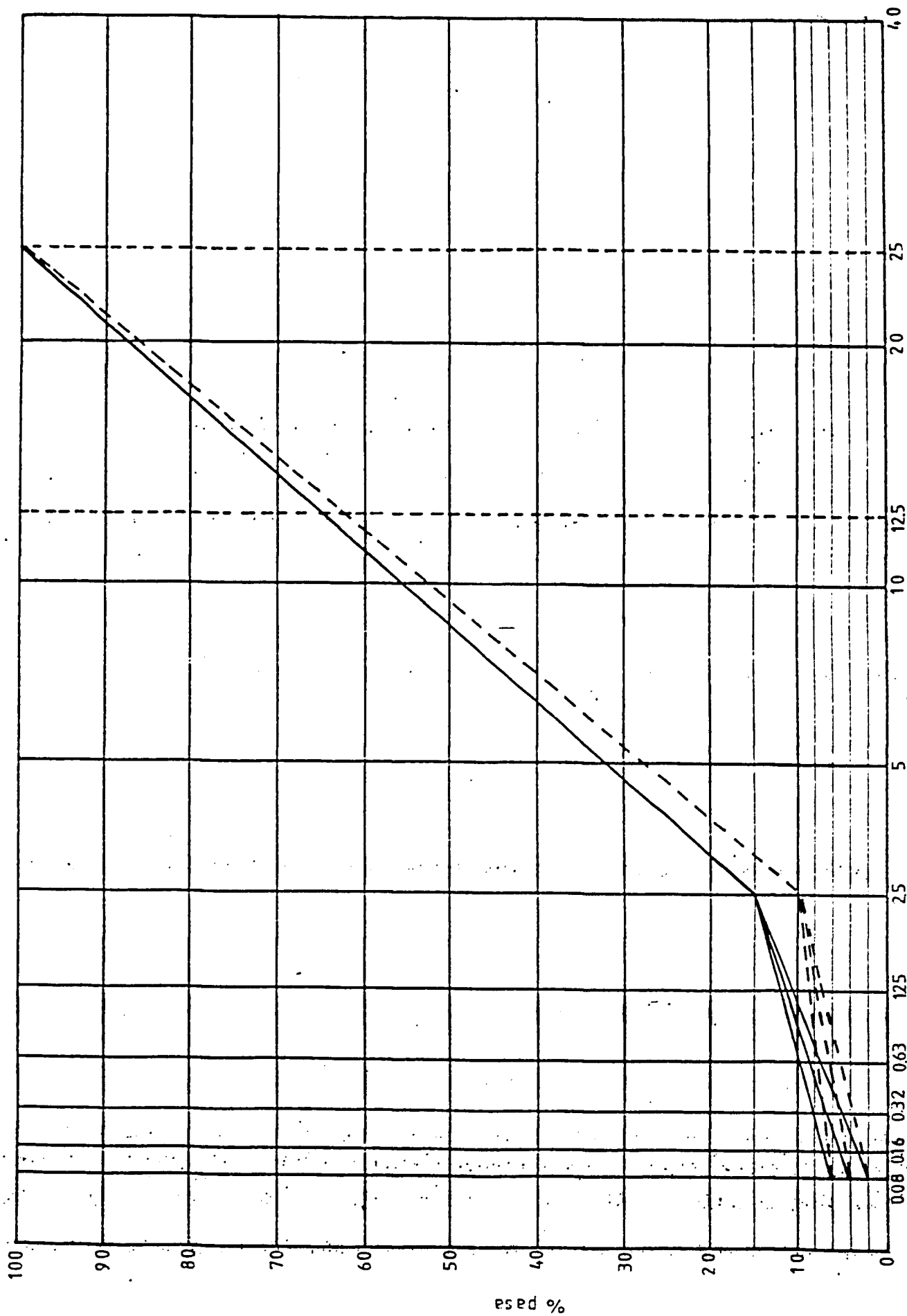


FIG.4.6.- GRANULOMETRIAS ENSAYADAS. TAMAÑO MAXIMO 20 mm.

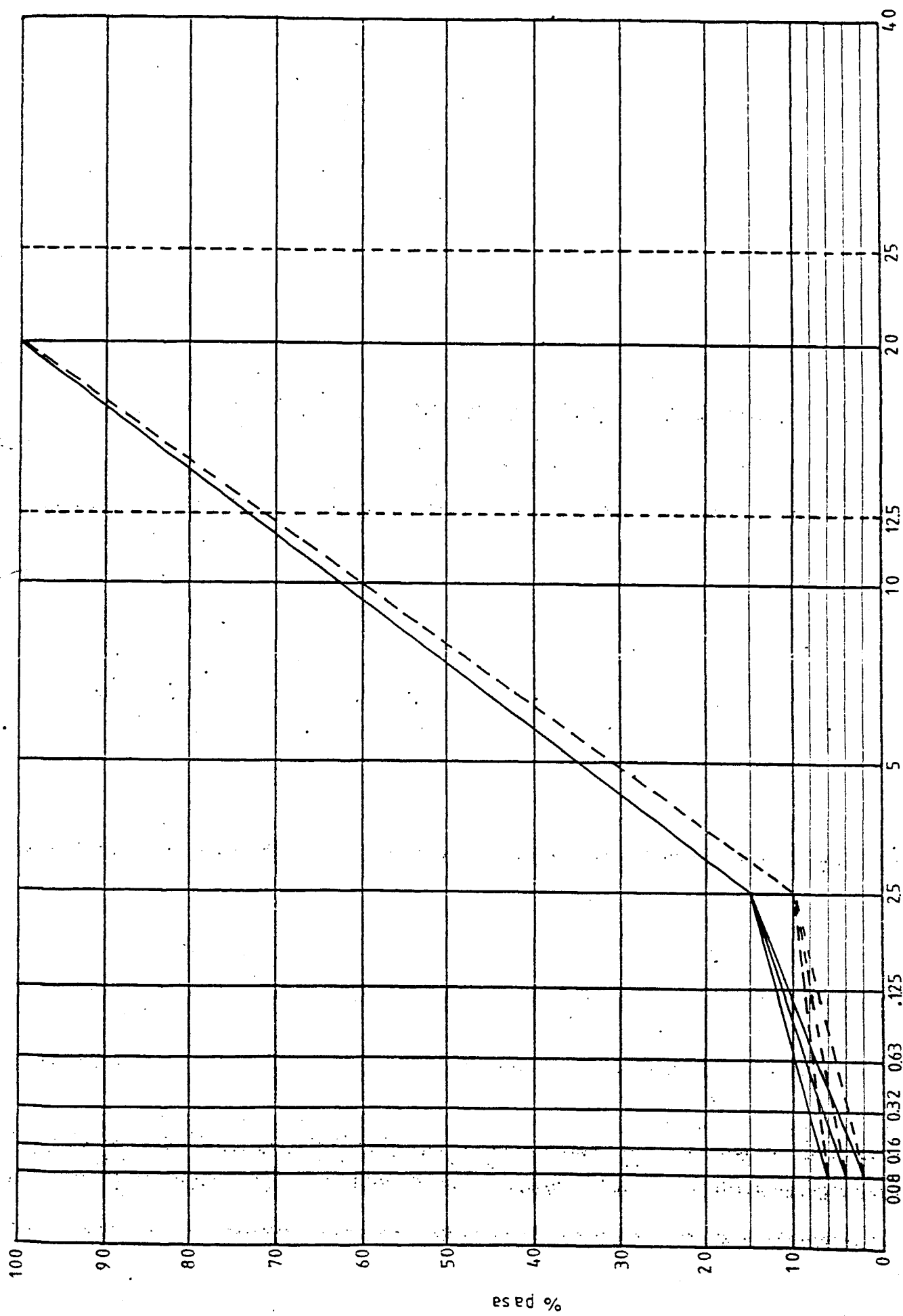


FIG. 4.7 .- GRANULOMETRIAS ENSAYADAS . TAMAÑO MAXIMO 12.5 mm.

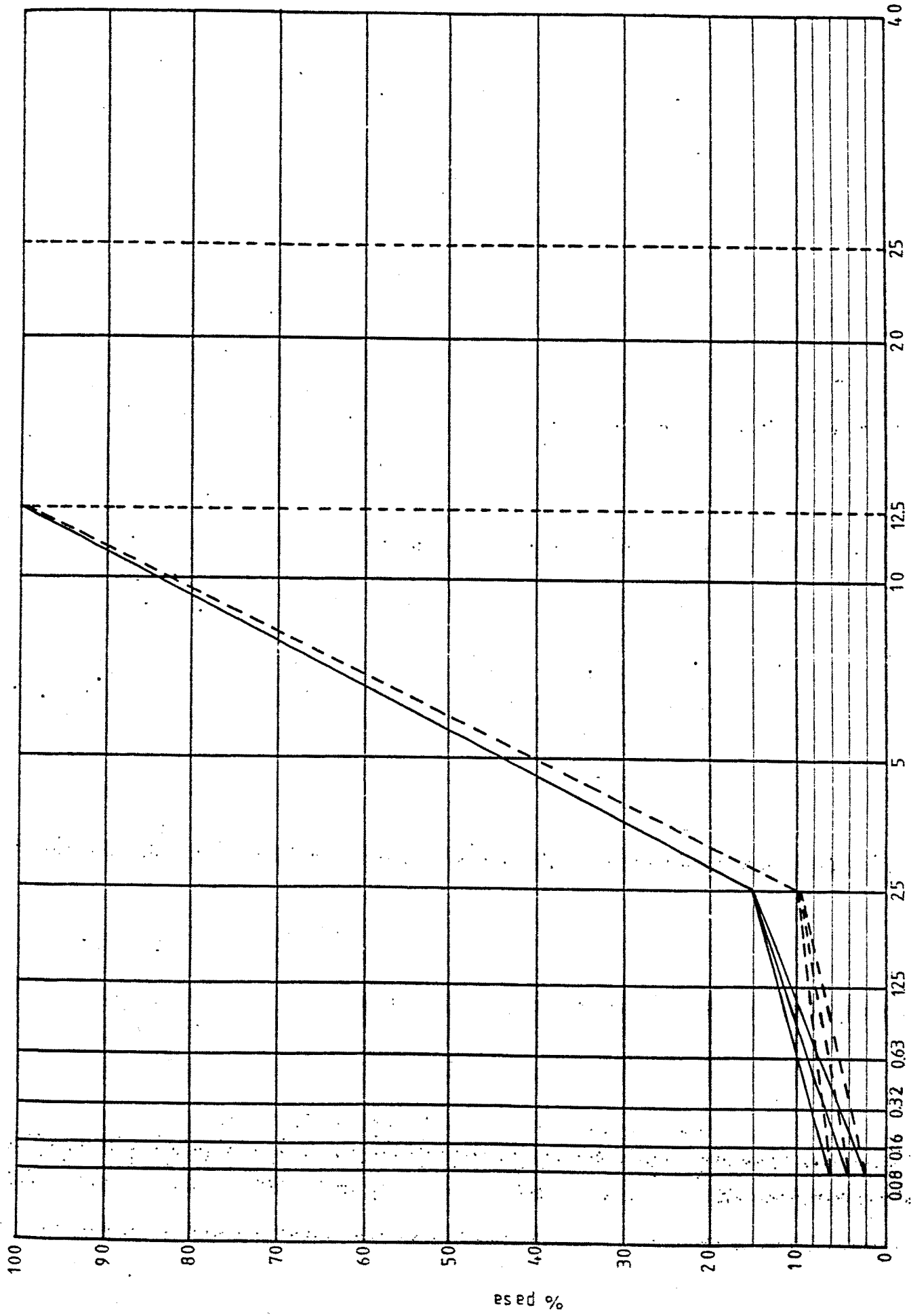


FIG. 4. 8. - GRANULOMETRIAS ENSAYADAS. TAMAÑO MAXIMO 10 mm.



ARIDO GRUESO

CARACTERISTICA	NORMA NLT	VALOR
DESGASTE DE LOS ANGELES (%)	149/72	11
COEFICIENTE DE FRIABILIDAD (%)	351/74	10,5
COEFICIENTE DE PULIMENTO	174/72	11,49
ADHESIVIDAD (%)	166/	99
PESO ESPECIFICO (g/cm <sup>3</sup> )	153/76	2,935
ABSORCION DE AGUA (%)	153/76	0,5
INDICE DE LAJAS (%)	354/74	30
INDICE DE AGUJAS (%)	354/74	--

\* Valor a determinar

ARIDO FINO

CARACTERISTICA	NORMA NLT	VALOR
ADHESIVIDAD: RIEDEL-WEBER	355/74	-
PESO ESPECIFICO (g/cm <sup>3</sup> )	154/76	2,920
ABSORCION DE AGUA (%)	154/76	2,85
EQUIVALENTE DE ARENA (%)	113/72	-

BETUN ASFALTICO

CARACTERISTICA	NORMA DE ENSAYO NLT	VALOR
PENETRACION (a 25°C, 100 g y 5 s) (0.1mm)	124/72	68
P. REBLANDECIMIENTO (ANILLO Y BOLA) (°C)	125/72	51,2
INDICE DE PENETRACION	101/72	-0,1
DUCTILIDAD (a 25°C y 5 cm/min) (cm)	126/72	100
PERDIDA POR CALENTAMIENTO (%) (a 163°C y 5h)	120/77	0,006
PENETRACION DEL RESIDUO (%)	120/72	96
PUNTO DE FRAGILIDAD FRAASS (°C)	102/72	-
DENSIDAD RELATIVA (a 25°C)	122/72	1,035
CONTENIDO EN AGUA (%)	123/72	0

TABLA 4.2.- CARACTERISTICAS DE LOS ARIDOS Y BETUN

T Tamaño máximo del árido 10; 12,5; 20 mm.

A Contenido de arena (pasa 2,5 UNE) 10; 15%.

Aparte de estas características iniciales, y una vez fabricadas las probetas, se miden otras características que pueden llegar a tener importancia y que también se han introducido en el sistema de causas: el porcentaje de huecos de la mezcla (H), determinado por procedimientos geométricos, y la altura de probeta (h).

### 3. APLICACION DEL MODELO. RESULTADOS OBTENIDOS

Los resultados obtenidos en la medida de la resistencia a la pérdida por desgaste de estas mezclas, así como las características de las probetas fabricadas (altura y porcentaje de huecos), aparecen en las tablas 4.3, 4.4 y 4.5

Para la aplicación del modelo, los contenidos de betún, filler, arena y porcentaje de huecos se han expresado en tanto por uno. El tamaño máximo está expresado en mm y la altura de probeta en cm. Asimismo, la pérdida por desgaste se expresa en tanto por uno.

#### AJUSTE PRELIMINAR

El primer ajuste se ha realizado a partir de los resultados obtenidos de la realización de 120 ensayos, siendo las variables independientes que han intervenido en el

P-20 (15,2)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,84	20,6	-
3,5	5,81	20,3	50,4
3,5	5,79	20,3	56,0
4,5	5,83	18,4	49,4
4,5	5,79	18,3	50,3
4,5	5,80	18,7	52,4
5,5	5,74	15,4	41,9
5,5	5,75	16,0	47,9
5,5	5,77	16,1	32,4

P-20 (10,2)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	6,03	22,5	84,5
3,5	5,85	21,1	59,3
3,5	5,87	21,3	68,3
4,5	5,87	19,8	50,5
4,5	5,92	20,1	43,0
4,5	5,93	20,3	58,9
5,5	5,88	17,8	42,3
5,5	5,93	18,1	35,0
5,5	5,84	17,2	49,9

P-20 (15,4)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,74	20,0	55,1
3,5	5,69	18,6	51,3
4,5	5,60	15,8	20,3
4,5	5,60	15,6	26,8
5,5	5,63	14,6	19,9
5,5	5,62	13,4	19,6

P-20 (10,4)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,89	22,8	51,2
3,5	5,83	21,3	37,1
4,5	5,88	20,0	37,7
4,5	5,77	18,6	30,1
5,5	5,76	16,5	24,3
5,5	5,92	18,1	37,3

P-20 (15,6)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,72	19,4	44,7
3,5	5,63	17,6	32,1
4,5	5,66	17,2	22,3
4,5	5,64	16,4	23,0
5,5	5,60	13,6	18,6
5,5	5,60	13,8	16,3

P-20 (10,6)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,83	20,8	34,5
3,5	5,81	20,0	28,4
4,5	5,77	19,0	25,1
4,5	5,83	19,3	35,2
5,5	5,71	16,1	26,0
5,5	5,77	17,2	27,9

TABLA 4.3.- CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS CON UN TAMAÑO

P-12 (15,2)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,85	21,3	53,8
3,5	5,81	20,5	53,4
4,5	5,75	18,3	34,4
4,5	5,80	18,6	30,5
5,5	5,79	16,9	28,8
5,5	5,71	16,1	30,4

P-12 (10,2)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,91	22,4	51,9
3,5	5,75	19,7	61,1
4,5	5,78	19,5	45,5
4,5	5,77	18,4	37,5
5,5	5,89	16,6	30,3
5,5	5,74	16,3	31,1

P-12 (15,4)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,66	19,6	40,7
3,5	5,62	18,1	38,5
4,5	5,65	16,5	26,8
4,5	5,54	14,4	19,0
5,5	5,51	12,6	17,0
5,5	5,55	13,3	15,9

P-12 (10,4)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,84	22,0	43,4
3,5	5,79	20,9	43,2
3,5	5,84	21,0	42,1
4,5	5,84	19,8	28,8
4,5	5,90	19,6	30,3
4,5	5,79	18,8	28,7
5,5	5,76	16,9	29,8
5,5	5,79	16,8	25,0
5,5	5,76	17,5	31,3

P-12 (15,6)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,62	17,8	27,2
3,5	5,58	17,1	19,6
3,5	5,57	16,8	26,1
4,5	5,56	15,4	17,1
4,5	5,51	14,2	13,7
4,5	5,61	16,0	21,7
5,5	5,50	12,5	12,0
5,5	5,44	11,7	10,3
5,5	5,54	12,5	16,1

P-12 (10,6)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,77	21,1	43,1
3,5	5,87	21,6	36,0
3,5	5,81	20,6	32,2
4,5	5,68	17,8	29,2
4,5	5,73	17,8	26,4
5,5	5,70	16,3	26,6
5,5	5,67	15,8	25,9

TABLA 4.4.- CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS CON UN TAMAÑO MAXIMO DE 12.5 mm.

P-10 (15,2)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,87	22,4	55,2
3,5	5,97	22,2	50,6
4,5	5,91	15,8	32,3
4,5	5,93	20,8	36,2
5,5	5,90	18,2	25,3
5,5	5,87	18,2	31,3

P-10(10,2)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	6,12	24,3	61,4
3,5	6,10	23,8	55,2
4,5	6,07	21,9	35,1
4,5	6,04	21,4	37,6
5,5	6,11	20,8	30,8
5,5	6,10	21,1	37,7

P-10 (15,4)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,78	20,5	37,9
3,5	5,76	20,1	41,6
4,5	5,76	17,6	30,3
4,5	5,74	17,6	22,0
5,5	5,74	16,0	18,9
5,5	5,75	16,0	19,2

P-10 (10,4)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,05	23,4	47,8
3,5	6,07	23,6	44,6
4,5	6,02	21,5	31,3
4,5	6,04	21,8	34,9
5,5	6,05	20,0	26,8
5,5	5,97	19,3	21,6

P-10 (15,6)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	5,68	18,7	33,9
3,5	5,69	18,9	20,8
4,5	5,65	17,5	25,9
4,5	5,67	16,9	18,3
5,5	5,61	13,9	14,0
5,5	5,64	13,9	15,1

P-10 (10,6)			
% BETUN	ALTURA (cm)	% HUECOS	% PERDIDA
3,5	6,06	23,0	41,9
3,5	6,01	23,5	40,4
4,5	5,99	21,4	28,0
4,5	5,98	21,0	28,1
5,5	5,91	18,6	22,0
5,5	6,05	19,8	20,7

**TABLA 4.5.- CARACTERISTICAS DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS CON UN TAMAÑO MAXIMO DE 10 mm.**

modelo las siguientes: porcentaje de filler, betún y arena, tamaño máximo del árido y altura de probeta.

Para comprobar la bondad del ajuste se ha procedido a la representación gráfica de cada una de las variables con sus residuos. También se ha procedido a la representación en papel probabilístico normal de los residuos. Todos estos gráficos junto con los parámetros estadísticos más representativos obtenidos al aplicar el modelo: residuos, coeficiente de regresión, correlaciones entre variables, etc, han sido recogidos en el Anejo de resultados.

De una observación de estos gráficos, en la figura 5 del Anejo, que representa la relación porcentaje de betún y su residuo, se aprecia la existencia de una curvatura, que nos indica la posibilidad de que intervenga un término de segundo grado en el porcentaje de betún.

#### 1° AJUSTE

En la realización de este nuevo ajuste, se han introducido además del término betún al cuadrado otras dos nuevas variables, contenido de huecos y relación filler/betún. Con estas nuevas variables se ha procedido a un nuevo procesamiento de los datos, observando una mejora del coeficiente de correlación.

Una observación de los coeficientes de correlación simple obtenidos en este segundo ajuste, nos indican que la altura de la probeta no tiene mucha influencia. Pero sólo podemos concluir que esta variable no tiene mucha importancia dentro del rango, muy reducido, en el que esta incluída.

También se observa que la relación filler/betón tiene relativamente poca importancia.

En los ajustes siguientes se ha preferido separar los resultados obtenidos de probetas que contenían un tamaño máximo de 20 mm de los de 10 y 12,5 mm, ya que, se observaba que al aumentar el tamaño máximo aumentaba la dispersión, y se prefirió medir ésta cuando se aplicaba a mezclas de tamaño máximo 10 y 12,5 mm (100% del árido pasando por los tamices 12,5 UNE y 20 UNE, respectivamente), que son los dos tamaños habituales empleados para este tipo de mezclas. Pasándose de un estudio realizado sobre 120 probetas a uno sobre 80.

En los resultados obtenidos se ha observado una mejora muy sensible del coeficiente de correlación, lo cual puede explicarse debido a la mayor homogeneidad de las probetas al ser la granulometría de menor tamaño máximo.

## 2° AJUSTE

El nuevo análisis se ha realizado sobre 8 variables: (T, A, f, b, b<sup>2</sup>, H, f/b, h). Sólo hemos considerados las tres soluciones que tenían un valor de Cp más pequeño, tabla 4.6.A. Eran las siguientes:

- a) (T, A, f, b, b<sup>2</sup>, H) → Cp = 6.173
- b) (T, f, b, b<sup>2</sup>, H, b) → Cp = 6.021
- c) (T, f, b, b<sup>2</sup>, H) → Cp = 5.483

Se observa que en ninguna de las tres soluciones que presentan un valor de Cp más bajo aparecen los términos relación filler/betún y altura de probeta.

## 3° AJUSTE

A la vista de estos resultados, se procedió de nuevo a calcular el estadístico Cp, pero sin tener en cuenta la influencia de la altura de probeta, con lo que las variables consideradas son (T, A, f, b, b<sup>2</sup>, H, f/b).

Se recogen las tres relaciones de variables que tienen un valor de Cp más pequeño:

- d) (T, f, b, b<sup>2</sup>, H) → Cp = 6.037
- e) (T, b, b<sup>2</sup>, H, f/b) → Cp = 6.849



$$f) (T, A, f, b, b^2, H) \rightarrow Cp = 6.988$$

Correspondiendo a cada una de ellas, los siguientes coeficientes de correlación:

$$f) r^2 = .8607$$

$$d) r^2 = .8591$$

$$e) r^2 = .8585$$

#### 4° AJUSTE

El paso siguiente fue analizar la influencia que tenía en el modelo la introducción de los dobles productos de las variables independientes que ya habíamos incluido en el modelo.

Asimismo, la observación de la representación gráfica de la relación residuos-filler hizo suponer que el término filler podía intervenir elevado al cuadrado (figura 49)

Aplicando el criterio de selección dado por el valor de  $C_p$  (Tabla 4.6B) se procedió a la selección de las siguientes combinaciones de variables:

$$(A, f, b, b^2, H, H^2, f/b, Txb, Hxb)$$

$C^{te}$	T	A	f	b	H	f/b	h	$C_p$
1	0	0	1	1	1	1	0	6.02
1	0	1	1	1	1	1	0	6.39
1	1	1	1	1	1	0	1	7.94
1	0	0	1	1	1	1	1	7.88
1	0	1	1	1	1	1	1	8.19
1	1	1	1	1	1	1	0	7.19
1	0	1	1	1	1	0	0	5.48
1	1	0	1	1	1	1	0	7.17
1	0	1	1	1	1	0	1	7.24
1	1	1	1	1	1	0	0	6.17

A)

T	A	f	$f^2$	b	$b^2$	H	$H^2$	f/b	h	T*b	A*f	A*b	$C_p$
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	12.86
0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	12.65
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	13.32
0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	13.03
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	12.81
1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	12.54
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	13.18
1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	12.80

B)

**TABLA 4.6.- VALOR QUE TOMA EL VALOR DE  $C_p$  EN DIVERSOS AJUSTES**

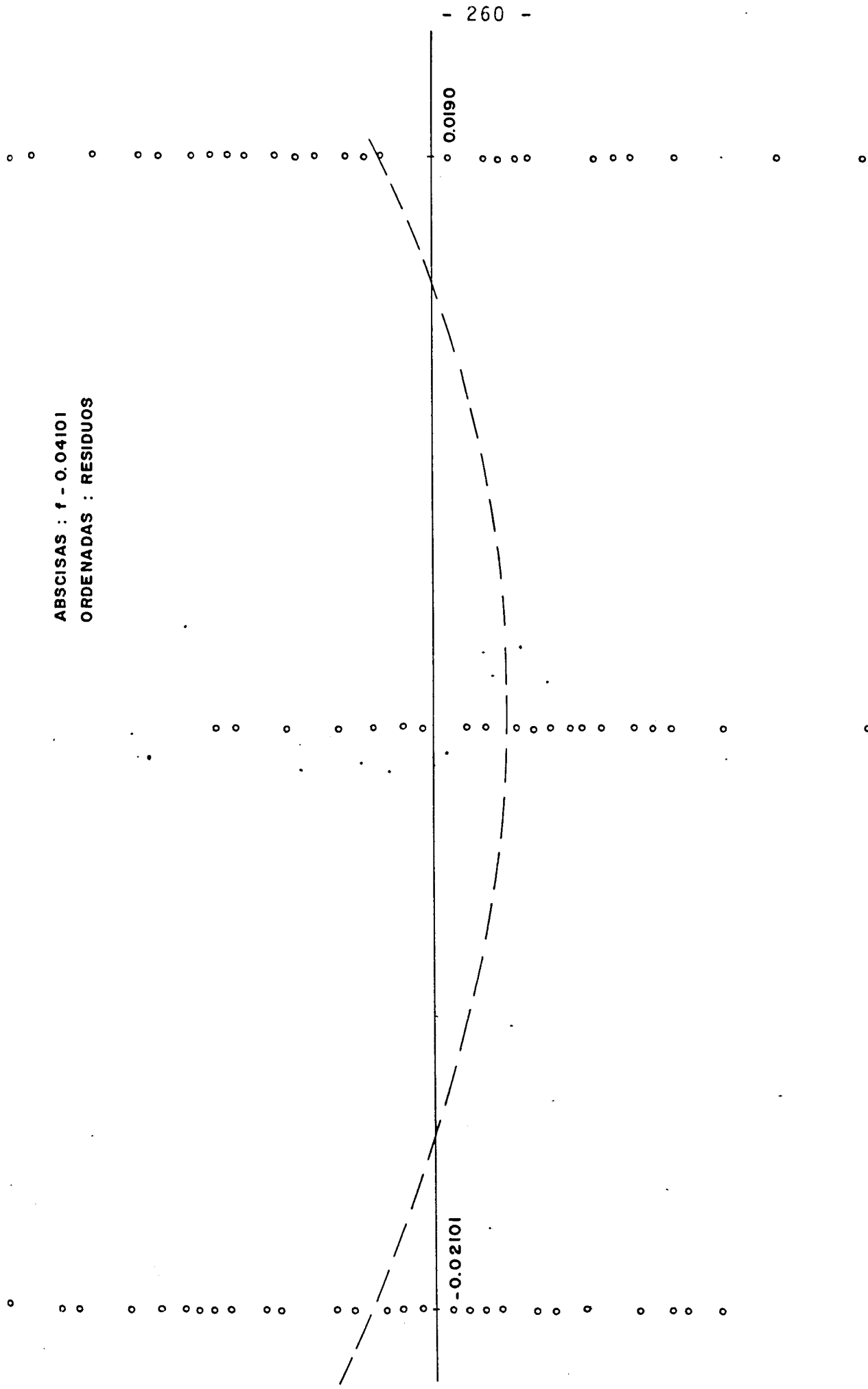


FIG. 4.9. - AJUSTE REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : FILLER - RESIDUO

(A, f<sup>2</sup>, b, b<sup>2</sup>, H, H<sup>2</sup>, f/b, Txb, Mxb)

(A, f, f<sup>2</sup>, b, b<sup>2</sup>, H, H<sup>2</sup>, f/b, Txb, Hxb)

De estas tres relaciones hemos obtenido unos coeficientes de determinación .9330, .9388 y .9457 respectivamente.

La observación de los valores, obtenidos al ajustar el modelo de regresión, indican que el coeficiente de correlación simple existente entre la respuesta y la relación filler/betún, 0.057, es muy pequeña, por lo que se prescinde definitivamente de esta variable.

### SOLUCION 1

Realizando nuevos ajustes sobre las variables consideradas, llegamos a la siguiente ecuación:

$$\sqrt[3]{P} = 0.5686 - 0.6253A - 7.8516f + 34.8954f^2 - 25.2028b + 215.7806b^2 + 13.3603H - 0.04246T + b(0.9462T + 60.6228f - 68.6697H) - 25.8103H^2$$

Teniendo las variables los siguientes significados:

P Porcentaje de pérdida por desgaste, en tanto por uno.

A Porcentaje de finos (pasa 2,5 UNE), en tanto por uno.

f Porcentaje de filler (pasa 0.08 UNE), en tanto por uno.

b Porcentaje de betún sobre áridos, en tanto por uno.

T Tamaño máximo expresado en milímetros.

H Porcentaje de huecos, expresado en tanto por uno.

El coeficiente de determinación resulta ser  $r^2 = 0.9591$ , y la varianza residual estimada para la variable  $\sqrt[3]{P}$  es  $S^2 = 4,26 \times 10^{-4}$ .

En las figuras 7 a 17 del Anejo de cálculo, se representan las relaciones variables residuos de esta solución.

## SOLUCION 2

Prescindiendo de la variable contenido de huecos en mezcla, no porque no tenga influencia, sino porque ésta es difícil de cuantificar, llegamos a la ecuación de correlación:

$$\sqrt[3]{P} = 1.7208 - 32.4018b + 281.8661b^2 - 1.4803f + 30.6641f^2 + 1.6448a - 35.2062ab - 30.174af - 0.0206t + 0.3899tb.$$

En las figuras 18 a 27 del Anejo están representados los valores de los residuos con las diferentes variables correspondientes a esta segunda solución que muestran la normalidad de las variables consideradas y como estas cumplen las hipótesis del modelo.

Para esta ecuación el coeficiente de determinación obtenido es  $r^2 = 0.935$ , y la varianza residual estimada para la variable  $\sqrt[3]{p}$  es  $s^2 = 5,43 \cdot 10^{-4}$ , siendo independiente de las características de las mezclas, dentro de los rangos experimentados. En las figuras 4.10, 4.11, 4.12 y 4.13 se representa conjuntamente la correlación teórica y la media de los valores experimentales.

#### 4.4. CONTRASTE DE LA PRECISION Y REPETITIVIDAD DEL ENSAYO MEDIANTE LA APLICACION DEL TEST DE LA F DE SNEDECOR

Con objeto de contrastar la precisión del ensayo estimada mediante el empleo del análisis de regresión y comprobar mediante un nuevo análisis la repetitividad del ensayo, se ha aplicado el test de la F de Snedecor a diferentes series de probetas fabricadas con el mismo tipo de mezcla.

Este test de la F de Snedecor nos permite apreciar si hay diferencias significativas entre las distintas series fabricadas, al mismo tiempo que nos permite estimar la varianza del proceso de medida.

Al aplicar el test de la F de Snedecor establecemos una región de rechazo para hipótesis de igualdad de medias de las diferentes series. La relación que nos permite determinar esta región esta dada por:

$$s_B^2 / s^2 > F(K-1, n-k, \alpha)$$

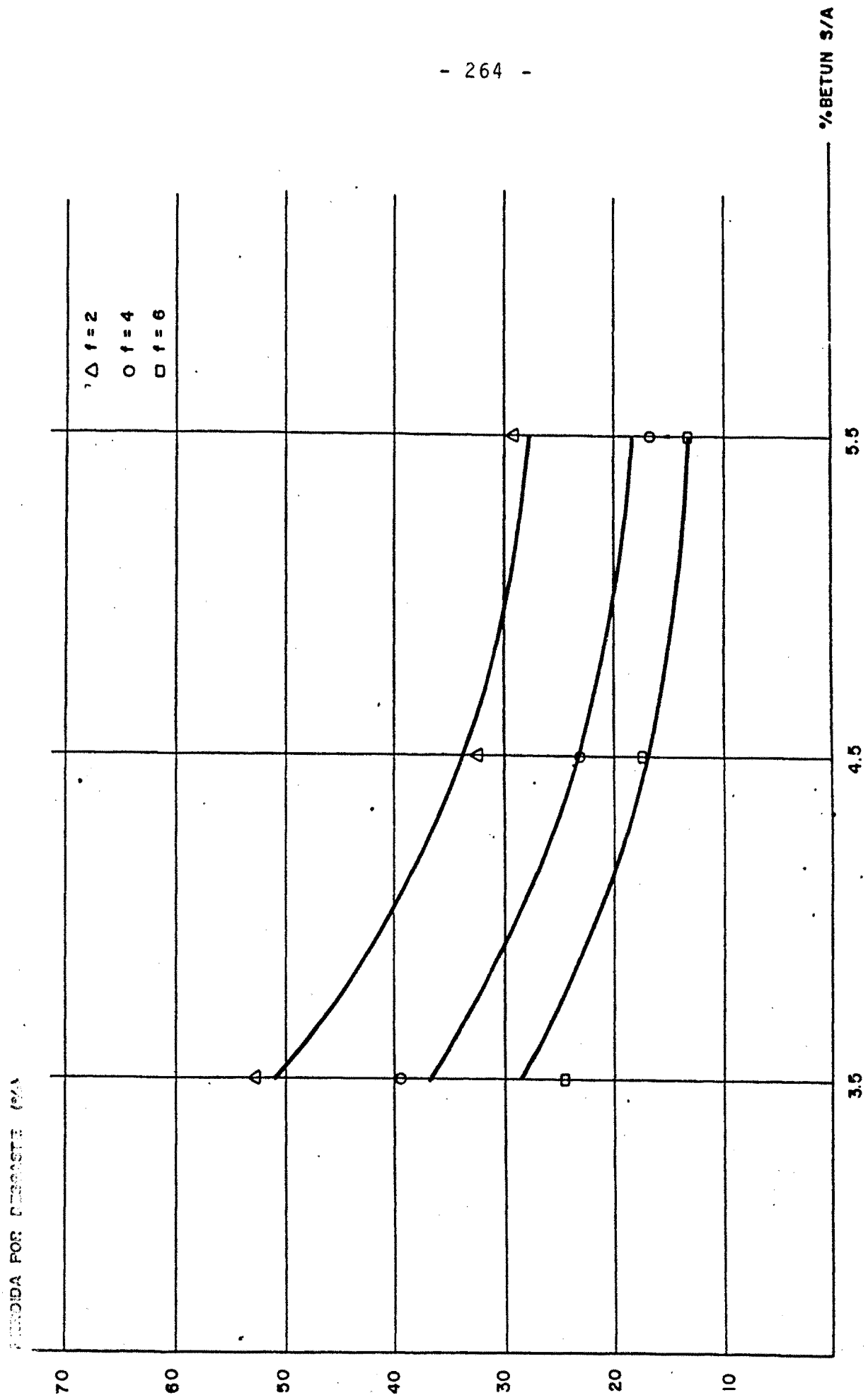


FIG. 4.10. - REPRESENTACION DE LOS VALORES EXPERIMENTALES Y CORRELACION OBTENIDA.  
MEZCLA P-12 (15,X)

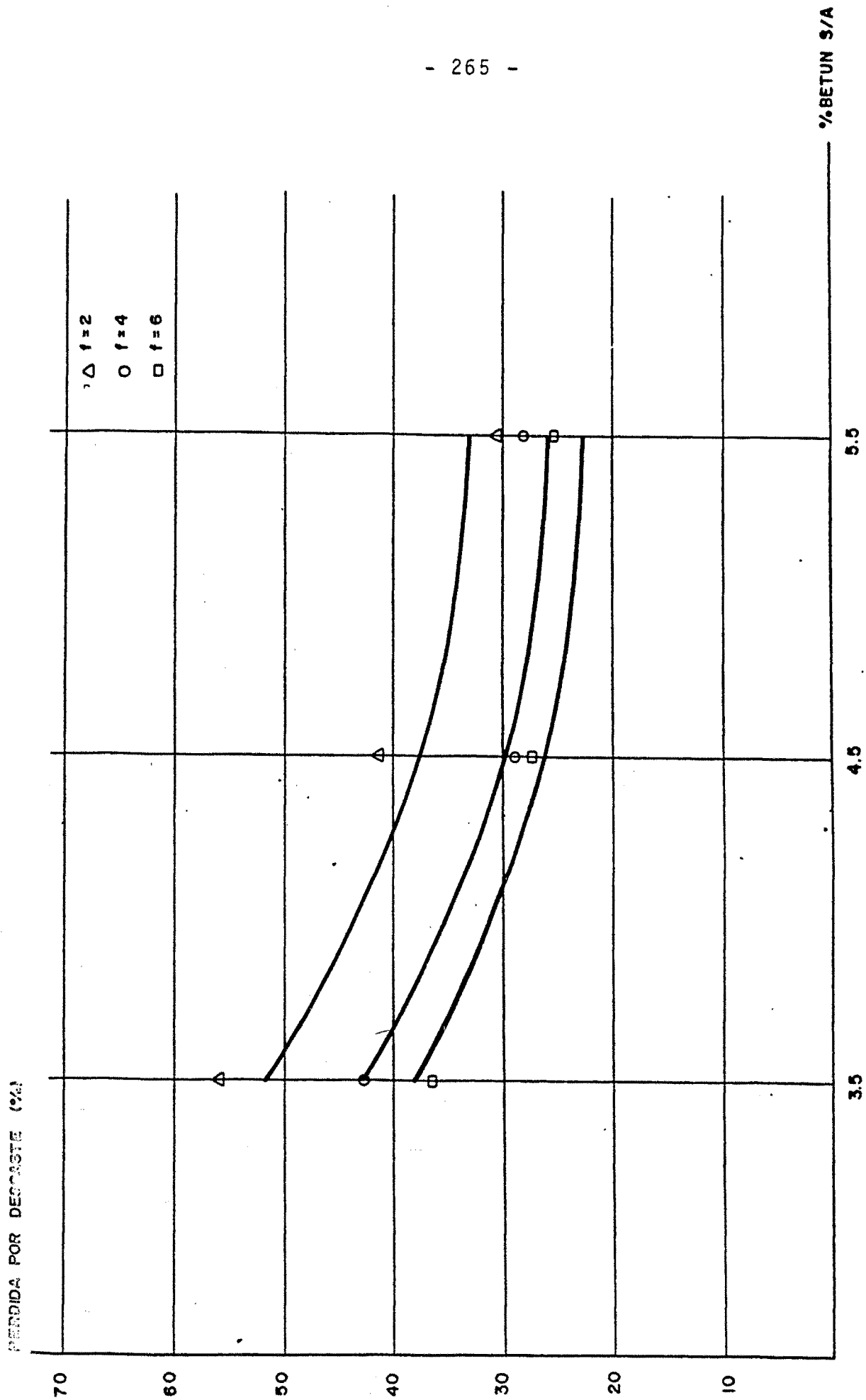


FIG. 4.11. - REPRESENTACION DE LOS VALORES EXPERIMENTALES Y CORRELACION OBTENIDA.  
MEZCLA P-12(10, X)



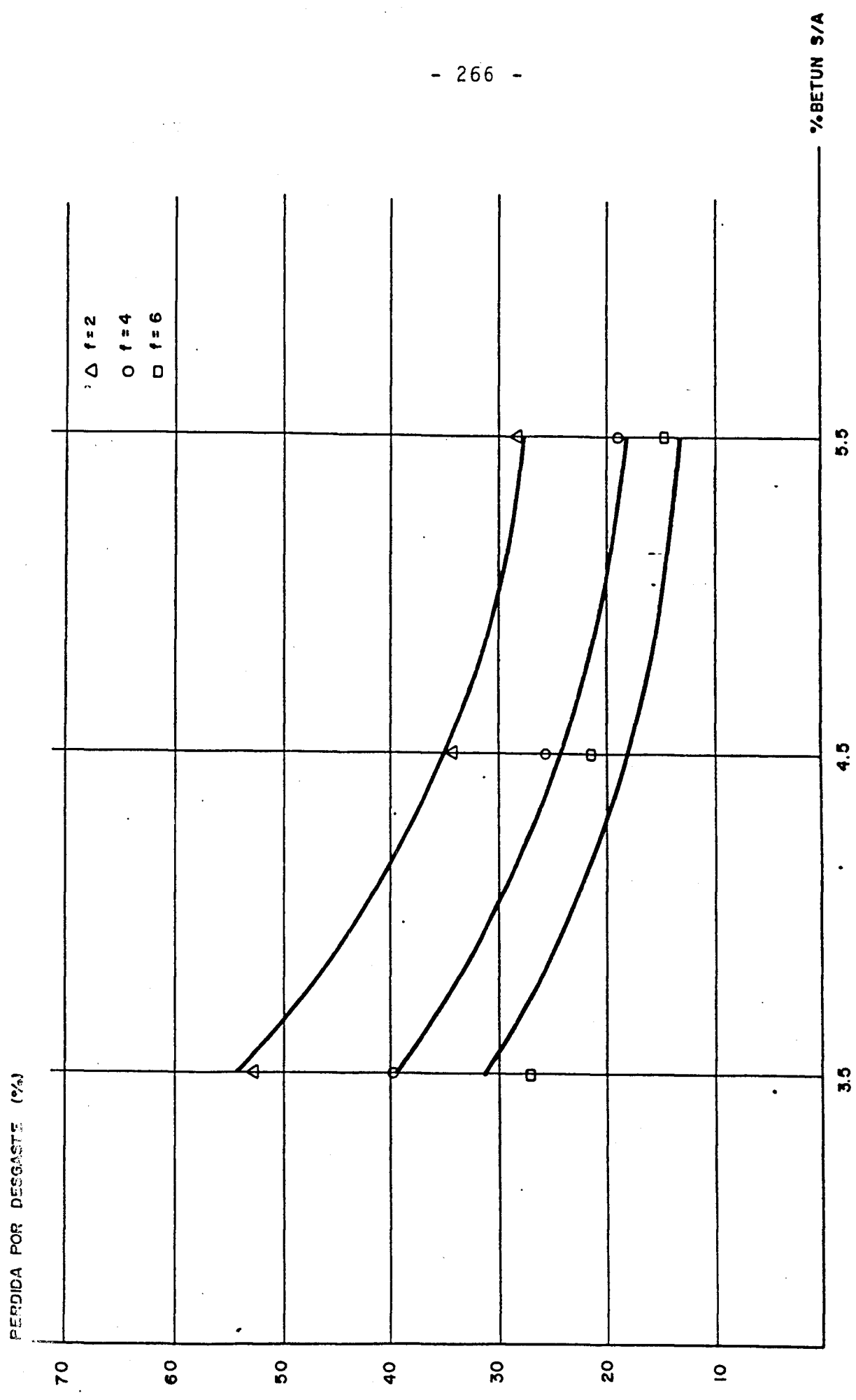


FIG.4.12. - REPRESENTACION DE LOS VALORES EXPERIMENTALES Y CORRELACION OBTENIDA.  
MEZCLA P-10 (15,X)

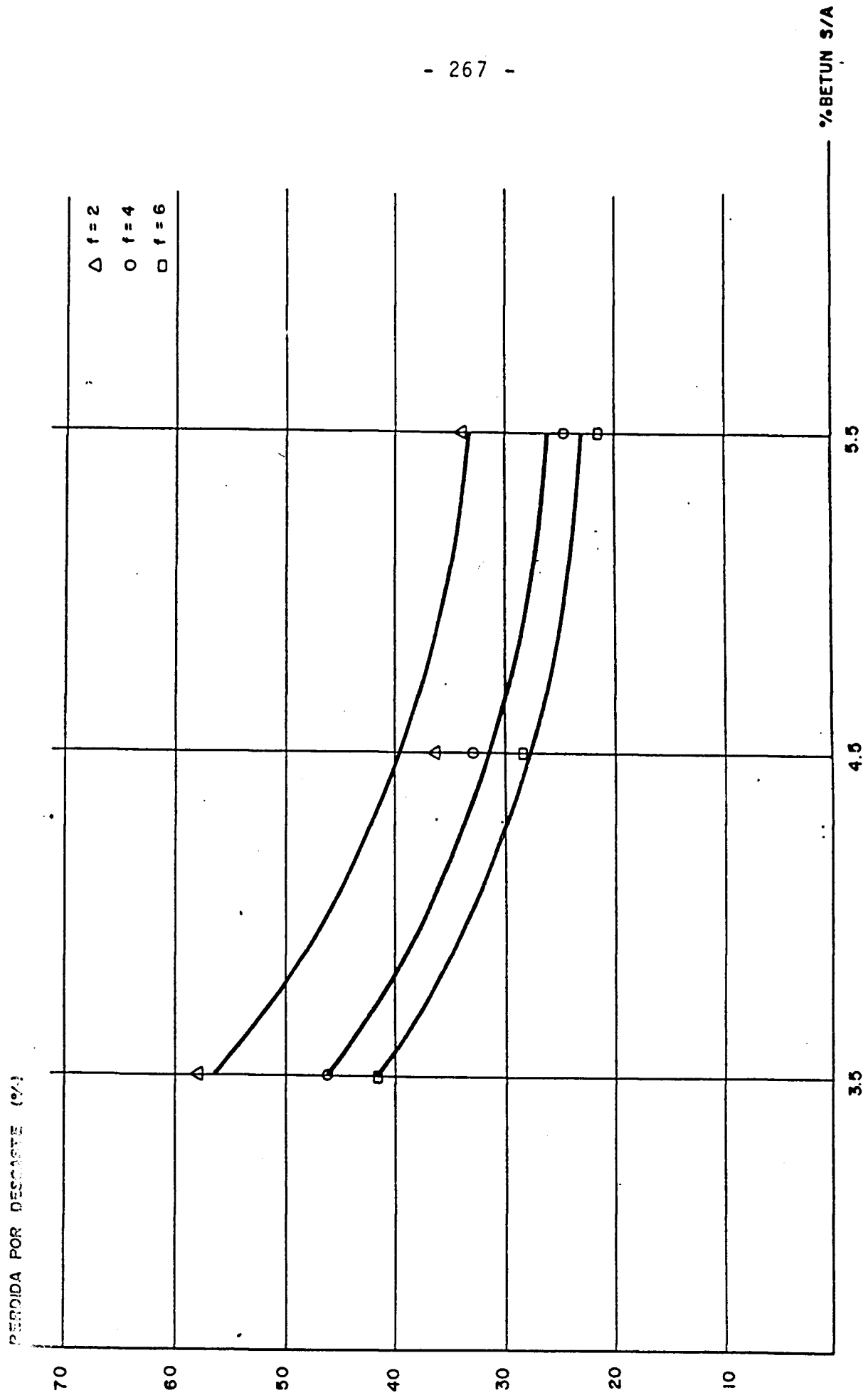


FIG.4.13. - REPRESENTACION DE LOS VALORES EXPERIMENTALES Y CORRELACION OBTENIDA.  
MEZCLA P-10 (10, X)

donde  $F(K-1, n-k, \alpha)$  es el percentil  $100(1-\alpha)$  de la distribución F de Snedecor con  $k-1$  y  $n-k$  grados de libertad, siendo:

$$S_R = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (X_{ij} - \bar{X})^2$$

$$S^2 = \frac{S_R}{n-k}$$

$$S_B^2 = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{X}_i - \bar{X})^2}{k-1}$$

$k$  = número de series.

$n_i$  = número de probetas de la serie  $i$ .

$n = \sum_{i=1}^k n_i$  = número total de probetas.

$X_{ij}$  = valor de la probeta  $j$  de la serie  $i$ .

$\bar{X}_i$  = valor medio de las probetas de la serie  $i$ .

$\bar{X}$  = valor medio de todas las probetas.

Aplicar el test de la F de Snedecor para el contraste de igualdad de medias y obtener como resultado que no se puede admitir esta hipótesis, significaría que no podemos emplear el ensayo en el proceso de medida por su falta de repetitividad. Esto podría ser debido al proceso de fabricación, es decir, que aunque empleásemos la misma mezcla, no conseguimos las mismas probetas; podría ser debido a que el desgaste se produjese más en una serie que en otra, dependiendo de su acabado, etc. Todo haría que descartásemos un ensayo que pretende medir la propiedad de

una mezcla y nos proporcionase cada vez un resultado diferente.

Por lo tanto, aplicar el test de la F de Snedecor para comprobar la repetitividad del ensayo tiene su valor. Pero este test sólo nos permite obtener la precisión del ensayo para la mezcla ensayada, mientras que el de regresión nos ha permitido obtener este valor para un mayor rango de amplitud.

El test de la F de Snedecor fué aplicado a dos tipos de mezclas diferentes P-10(15,4) y P-10(10,4), de las que se fabricaron seis series de cinco probetas para cada una de ellas.

Los resultados obtenidos en el ensayo de estas mezclas aparecen en las tablas 4.7 y 4.8 donde se recogen para cada serie su media y varianza muestral.

El análisis de los resultados al aplicar la F de Snedecor nos indica que, con un nivel de significación del 95%, podemos afirmar que no hay diferencia significativa entre los valores medios obtenidos con cada tipo de mezcla.

Por otra parte, la varianza estimada mediante este procedimiento es similar a la estimada por el de análisis de regresión lineal múltiple.

$$s^2 = 6,98 \times 10^{-4} \text{ para la mezcla P-10(15,4)}$$

TABLA 4.7- TEST F DE SNEDECOR PARA CONTRATE DE MEDIAS  
 GRANULOMETRIA P10(10,4) B-60/70 %b = 4,5%

Nº SERIE (i)	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$
1	35,3	.7067	34,5	.7014	26,8	.6447	37,7	.7224	32,8	.6896	26,6	.6431						
2	36,5	.7147	36,9	.7173	33,6	.6952	36,2	.7127	34,8	.7034	31,4	.6797						
3	28,1	.6550	32,1	.6847	35,0	.7047	39,6	.7343	36,4	.7140	30,6	.6739						
4	28,4	.6573	28,5	.6581	33,4	.6938	27,9	.6534	32,9	.6903	36,3	.7133						
5	27,4	.6519	31,7	.6818	29,0	.6619	29,9	.6687	37,0	.7179	28,8	.6604						
$\bar{X}_i$	31,0*	.6771	32,7*	.6886	31,5*	.6801	34,1*	.6983	34,8*	.7031	30,6*	.6741						
S <sub>i</sub>		.02759		.01988		.02283		.03155		.01168		.02332						

$\bar{X}^* = 32,4$   
 $\bar{X} = .6869$

$$S_R = \frac{\sum_{i=1}^6 \sum_{j=1}^5 (X_{ij} - \bar{X}_i)^2}{5 \sum_{i=1}^6} = 1,677 \cdot 10^{-2} \quad S^2 = \frac{S_R}{30-6} = 6,986 \cdot 10^{-4}$$

$$S_B^2 = \frac{\sum_{i=1}^6 5(\bar{X}_i - \bar{X})^2}{6-1} = 7,0090 \cdot 10^{-4}$$

$$S_B^2/S^2 = 1,003 < F(5, 24, 0.05) = 2,62$$

\*NOTA  $\bar{X}_i^* = 100 \cdot \left[ \frac{\sum_{j=1}^5 \sqrt[3]{P_j/100}}{5} \right]$

TABLA 4.8- TEST F DE SNEDECOR PARA CONTRASTE DE MEDIAS  
 GRANULOMETRIA P-10(15,4) B-60/70 %b = 4,5

Nº SERIE (i)	1		2		3		4		5		6		7		8		9	
	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$	P <sub>j</sub> (%)	$\sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}$
	22,0	.6037	16,6	.5496	21,3	.5972	23,8	.6197	22,2	.6055	26,5	.6423						
	24,7	.6274	16,6	.5496	20,7	.5915	24,1	.6223	21,6	.6000	22,6	.6091						
	22,4	.6073	23,5	.6171	25,8	.6366	26,1	.6391	25,3	.6325	19,0	.5749						
	17,7	.5615		.5819	27,1	.6471	23,9	.6206	26,6	.6431	24,7	.6274						
	16,5	.5485	24,2	.6232	21,6	.6000	22,8	.6109	24,9	.6291	25,3	.6325						
$\bar{X}_1$	20,5*	.5897	19,9*	.5843	23,2*	.6145	24,1*	.6225	24,1*	.6220	23,5*	.6172						
$S_i$	.02975		.03163		.02276		.00917		.01651		.92377							

$\bar{X}^* =$	22,5
$\bar{X} =$	.6084

$$S_R = i \sum_{j=1}^5 \sum_{i=1}^6 (X_{ij} - X_i)^2 = 5 \sum_{i=1}^6 S_i^2 = 1.662 \cdot 10^{-2} \quad S^2 = \frac{S_R}{30-6} = 6,927 \cdot 10^{-4}$$

$$\sum 5(\bar{X}_i - \bar{X})^2$$

$$S_B^2 = \frac{1}{6-1} = 1,434 \cdot 10^{-3}$$

$$S_B^2/S^2 = 2,07 < F(5,24,0.05) = 262$$

\*NOTA  $\bar{X}_1^* = 100 \left[ \frac{\sum 1}{\sum \sqrt[3]{\frac{P_j}{100}}} \right]^3$

$s^2 = 6,92 \times 10^{-4}$  para la mezcla P-10(10,4)

$s^2 = 5,43 \times 10^{-4}$  determinado en el análisis de  
regresión.

CAPITULO 5

INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN  
LA PERDIDA POR DESGASTE



### 5.1. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA EN LA PERDIDA POR DESGASTE

Una vez comprobada la idoneidad de este ensayo en la caracterización de mezclas de granulometría abierta, se procedió al estudio de la influencia de la temperatura, con el fin de poder realizar el ensayo a temperaturas diferentes a las empleadas en laboratorio, comprendidos entre 15 y 18°C.

En los estudios preliminares que habían sido realizados para el desarrollo del ensayo, el efecto de la temperatura solo había sido comprobada con una granulometría. Ahora se quiso también valorar en que grado su efecto dependía de la composición de la mezcla y el porcentaje de ligante empleado.

Para ello, se estableció un plan de ensayos que tenía en cuenta todas estas variables, fijándose los contenidos de betún árido fino y variaciones de la temperatura de manera que se redujesen al mínimo la influencia de unos factores con los otros. De acuerdo con el modelo de regresión lineal empleado, tablas 5.1 y 5.2., estos valores son:

- Porcentajes de ligante: 3,5-3,99-4,5-5,10-5,5 s/a.
- Porcentaje de arido fino: 5-7-10-13-15.
- Temperatura de ensayo: 12-15,2-20-24,8-28.

El plan de ensayos está diseñado para conseguir con un mínimo número de probetas estimaciones estadísticamente independientes de la influencia de cada variable (causa) en la respuesta (porcentaje de desgaste), así como estimaciones de ésta con varianza aproximadamente constante en todo el rango de -

	t°C	% A	% b
M	28	15	5,5
m	12	5	3,5
$x_1 = m$	12	5	3,5
$x_2 = 0,797 m + 2,03 M$	15,2	7	3,9
$x_3 = 0,5 m + 0,5 M$	20	10	4,5
$x_5 = 0,203 m + 0,797 M$	24,8	13	5,1
$x_5 = M$	28	15	5,5

TABLA 5.1. MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE. DISEÑO DE EXPERIMENTO:  
DETERMINACION DE LOS VALORES DE LAS VARIABLES.

variación de aquéllas que tenga interés en la práctica. En la tabla 5.2 se recogen las mezclas y número de probetas ensayados para cada temperatura. Todas las mezclas fueron fabricadas con un porcentaje de filler del 4% y un tamaño máximo del arido de 10 mm. En la tabla 5.3 y figura 5.1 se recogen las granulometrías de las mezclas ensayadas.

El modelo de regresión lineal empleado es el mismo de la precisión y exactitud del ensayo, cuyas principales características se han comentado en el apartado 4.2.2.

La temperatura de la cámara de ensayo donde se encuentra instalada la máquina de Los Angeles se ha controlado mediante un termostato con capacidad de regulación de 0.2°C. Siendo la temperatura de ensayo  $\pm 0.5^\circ\text{C}$  la temperatura fijada. Asimismo, antes de ensayar una probeta, esta se mantiene a la temperatura de ensayo al menos durante 6 horas.

Al igual que los ensayos anteriores los aridos eran ofí-ticos y el ligante un betún de penetración B-60/70. Las características de estos materiales fueron recogidas en el capítulo anterior.

En la tabla 5.4 se recogen los resultados obtenidos en el ensayo de cada una de estas mezclas, así como su porcentaje de huecos.

	LIGANTE % % LIGANTE	3,5	3,9	4,5	5,1	5,5
12°C	5					
	7					
	10			1		
	13					
	15					
15,2°C	5					
	7		1		1	
	10					
	13		1		1	
	15					
20	5			1		
	7					
	10	1		6		1
	13					
	15			1		
24,8°C	5					
	7		1		1	
	10					
	13		1		1	
	15					
28°C	5					
	7					
	10			1		
	13					
	15					

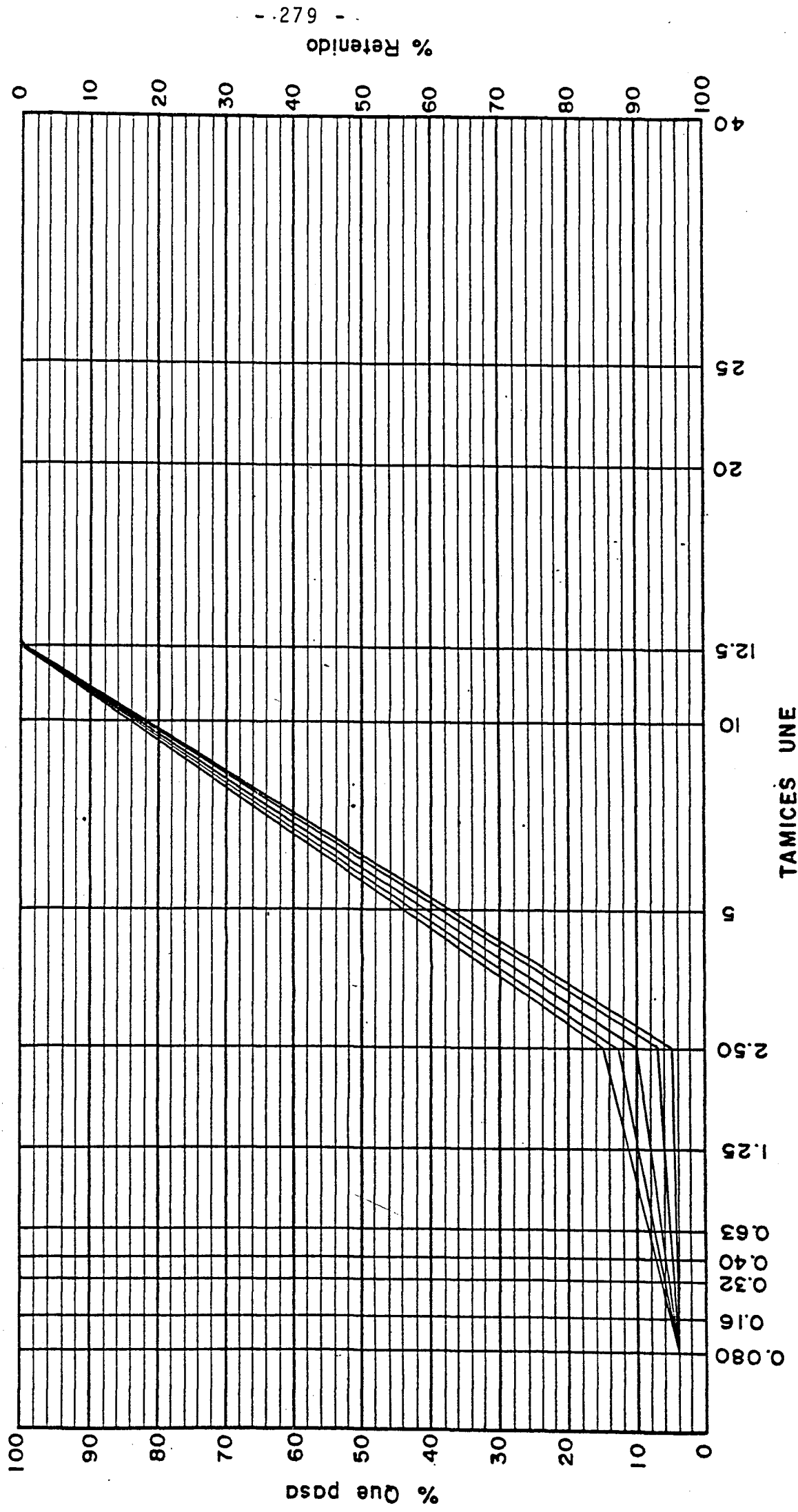
TABLA 5.2. MODELO DE REGRESION LINEAL MULTIPLE. DISEÑO DE EXPERIMENTO. CASO DE TRES VARIABLES.

G R A N U L O M E T R I A S					
tamiz UNE	P.10(15,4)	P.10(13,4)	P.10(10,4)	P.10(7,4)	P.10(5,4)
20	100	100	100	100	100
12,5	100	100	100	100	100
10	84	84	83	83	82
5	44	43	41	39	38
2,5	15	13	10	7	5
0,63	9	8	7	5	4
0,032	7	6	5	5	4
0,016	5	5	5	4	4
0,08	4	4	4	4	4

TABLA 5.3. GRANULOMETRIAS DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS PARA EL ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA.

ANALISIS GRANULOMETRICO ( ABERTURA TAMIZ  $0.45$  )

FIGURA 5.1. GRANULOMETRIA DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS.



Aunque el estudio se podía haber realizado solo con una serie de 20 probetas, se decidió repetir la serie, e incluir en el estudio otras dos series recogidas en las tablas 5.6 y 5.7, que no se corresponden exactamente con el diseño del experimento, pero que pueden contribuir también a mejorar la correlación buscada.

5.1.1. VALORACION EXPERIMENTAL DEL EFECTO DE LA TEMPERATURA  
ANALISIS DE RESULTADOS

El análisis de los resultados obtenidos se ha realizado aplicando el modelo de regresión a las tres variables consideradas, sus cuadrados y sus dobles productos ( $b, A, t, b^2, A^2, t^2, b \cdot A, t \cdot t, A \cdot t$ ), siendo:

- b = porcentaje de ligante en %
- A = porcentaje de finos en %
- t = temperatura en grados centigrados.

Como variable dependiente del modelo se ha seguido tomando igual que en el caso anterior  $\sqrt[3]{P}$ , siendo P el valor de la pérdida por desgaste expresada en tanto por uno.

Este ajuste nos indica que las variables b, A y t con unos coeficientes de correlación simple respectivamente de

MEZCLA	% BETUN s/a	TEMPERA- TURA	HUECOS	%PERDIDA DE PESO
P-10 ( 5,4)	4,5	20	25,6	48,8
P-10 (7,4)	3,91	15,2	26,0	51,3
P-10 (7,4)	3,91	24,8	25,1	39,1
P-10 (7,4)	5,09	15,2	23,1	33,8
P-10 (7,4)	5,09	24,8	23,6	24,3
P-10 (10,4)	3,5	20	26,0	50,7
P-10 (10,4)	5,5	20	24,1	20,4
P-10 (10,4)	4,5	12	23,3	52,9
P-10 (10,4)	4,5	28	22,9	15,5
P-10 (10,4)	4,5	20	23,0	33,3
P-10 (10,4)	4,5	20	23,2	26,9
P-10 (10,4)	4,5	20	23,5	27,7
P-10 (10,4)	4,5	20	23,5	28,5
P-10 (10,4)	4,5	20	23,1	31,4
P-10, (10,4)	4,5	20	23,5	22,5
P-10 (13,4)	3,91	15,2	23,9	40,9
P-10 (13,4)	3,91	24,8	23,5	26,8
P-10 (13,4)	5,09	15,2	21,1	26,9
P-10 (13,4)	5,09	24,8	21,6	8,9
P-10 (15,4)	4,5	20	20,9	19,7

TABLA 5.4. ESTUDIO DE LA TEMPERATURA. SERIE 1.



MEZCLA	% BETUN s/a	TEMPERA TURA cm	% HUECOS s/m	% PERDI DA PESO
P-10 (5,4)	4,5	20	25,4	50,1
P-10 (7,4)	3,91	15,2	25,3	53,8
P-10 (7,4)	3,91	24,8	26,3	34,3
P-10 (7,4)	5,09	15,2	23,4	45,0
P-10 (7,4)	5,09	24,8	24,1	19,7
P-10 (10,4)	3,5	20	24,6	51,7
P-10 (10,4)	5,5	20	21,7	30,9
P-10 (10,4)	4,5	12	24,1	35,1
P-10 (10,4)	4,5	28	24,1	14,7
P-10 (10,4)	4,5	20	23,2	30,3
P-10 (10,4)	4,5	20	23,1	34,7
P-10 (10,4)	4,5	20	23,4	22,2
P-10 (10,4)	4,5	20	22,9	26,3
P-10 (10,4)	4,5	20	22,6	25,8
P-10 (10,4)	4,5	20	22,6	25,9
P-10 (13,4)	3,91	15,2	23,2	42,5
P-10 (13,4)	3,91	24,8	23,5	20,2
P-10 (13,4)	5,09	15,2	20,5	21,1
P-10 (13,4)	5,09	24,8	20,4	13,1
P-10 (15,4)	4,5	20	21,0	22,2

TABLA 5.5. ESTUDIO DE LA TEMPERATURA. SERIE 2.

MEZCLAS	% BETUN s/a	TEMPERA TURA	HUECOS	% PERDI DA PESO
P-10 (5,4)	3,5	12	24,8	80,9
P-10 (5,4)	3,5	28	24,6	54,3
P-10 (5,4)	5,5	12	21,3	48,9
P-10 (5,4)	5,5	28	21,4	26,2
P-10 (7,4)	4,5	20	21,7	38,4
P-10 (10,4)	3,91	20	21,7	44,8
P-10 (10,4)	4,5	15,2	20,2	37,4
P-10 (10,4)	4,5	20	20,8	27,4
P-10 (10,4)	4,5	20	21,1	31,3
P-10 (10,4)	4,5	20	20,5	31,8
P-10 (10,4)	4,5	20	20,4	25,6
P-10 (10,4)	4,5	20	20,0	29,7
P-10 (10,4)	4,5	20	20,9	31,8
P-10 (10,4)	4,5	24,8	21,3	31,9
P-10 (10,4)	5,09	20	20,0	28,1
P-10 (13,4)	4,5	20	19,4	25,8
P-10 (15,4)	3,5	12	21,5	49,5
P-10 (15,4)	3,5	28	20,1	25,4
P-10 (15,4)	5,5	12	16,7	25,1
P-10 (15,4)	5,5	28	17,8	12,7

TABLA 5.6. ESTUDIO DE LA TEMPERATURA, SERIE 3.

MEZCLA	% BETUN s/a	TEMPERA TURA	% HUECOS s/m	% PERDI DA PESO
P-10(5,4)	3,5	12	27,4	81,3
P-10(5,4)	3,5	28	27,8	58,2
P-10(5,4)	5,5	12	24,5	52,0
P-10(5,4)	5,5	28	23,9	14,7
P-10(7,4)	4,5	20	24,9	49,6
P-10(10,4)	3,91	20	25,8	43,7
P-10(10,4)	4,5	15,2	23,2	41,9
P-10(10,4)	4,5	20	24,0	30,7
P-10(10,4)	4,5	20	22,7	36,5
P-10(10,4)	4,5	20	23,5	39,0
P-10(10,4)	4,5	20	23,6	34,8
P-10(10,4)	4,5	20	23,5	36,0
P-10(10,4)	4,5	20	23,6	27,3
P-10(10,4)	4,5	24,8	23,5	24,3
P-10(10,4)	5,09	20	22,0	24,6
P-10(13,4)	4,5	20	21,4	26,8
P-10(15,4)	3,5	12	21,9	42,7
P-10(15,4)	3,5	28	21,7	28,5
P-10(15,4)	5,5	12	18,1	26,7
P-10(15,4)	5,5	28	17,6	8,2

TABLA 5.7. ESTUDIO DE LA TEMPERATURA. SERIE 4.

0.456, 0.508 y 0.537, tienen bastante más influencia que los dobles productos  $b^2$  y  $A^2$ , cuyos coeficientes de correlación simple son de 0.023 y 0.002.

Asimismo, se ha realizado un test para contrastar la hipótesis de que el valor de cada coeficiente sea cero. Para ello se emplea la T de Studen con 70 grados de libertad, cuyas regiones de rechazo estan dadas por:

$T > 1.671$ : Existe el 90% de probabilidades de que el coeficiente no sea cero.

$T > 2$  : Existe el 95% de probabilidades de que el coeficiente no sea cero.

$T > 2.66$  : Existe el 99% de probabilidades de que el coeficiente no sea cero.

Es decir, tenemos más de un 99% de probabilidades de que los coeficientes de  $c^2$ ,  $b^2$ ,  $A^2$ ,  $t^2$  cuyos valores de T son respectivamente 174;13.2;2.85;12.3;12.9; no sean cero. Los coeficientes de  $t^2$  y  $b^2$  tiene mas del 95% de probabilidades de no ser cero, mientras que los coeficientes de  $A^2$ ,  $b^2$  y  $A^2$  tiene una probabilidad inferior al 90%.

A la misma conclusión se llega analizando, el estadístico  $C_p$  del modelo. Con la combinación de variables ( $b^2$ ,  $A^2$ ,  $t^2$ ,  $b^2$ ) se obtiene el mínimo valor de  $C_p$ , tabla 5.8. La correlación definitiva se estableció pues con esta combinación, habiendose obtenido la siguiente expresión:

b	b <sup>2</sup>	A	A <sup>2</sup>	t	t <sup>2</sup>	b*A	b*t	A*t	Cp	P	VARIANZA	SSQ
1	1	1	1	1	1	1	1	0	8.002	9	0.0012052	0.08557
1	1	1	0	1	0	1	1	0	7.929	7	0.0012380	0.09037
1	1	1	0	1	1	1	1	0	7.550	8	0.0012148	0.08746
1	1	1	0	1	1	0	1	-1	7.844	8	0.0012198	0.08782
1	1	1	1	1	1	0	1	1	8.296	9	0.0012103	0.08593
1	1	1	0	1	0	0	1	0	6.225	6	0.0012261	0.09073
1	1	1	1	1	0	0	1	0	7.994	7	0.0012382	0.09039
1	1	1	0	1	1	0	1	0	5.846	7	0.0012031	0.08782
1	1	1	1	1	1	0	1	0	6.298	8	0.0011935	0.08593
1	1	1	0	1	0	0	1	1	8.224	7	0.0012429	0.09073

TABLA 5.8. VALORES DEL ESTADISTICO Cp.

$$\sqrt[3]{P} = 2.0738 - 0.4637b + 0.0467b^2 - 0.0165A + 0.0117t - \\ - 0.000308t^2 - 0.0022tb$$

En las figuras 28 a 33 del anejo están representados los valores de los residuos con las diferentes variables correspondientes a esta solución, que muestran la normalidad de las variables consideradas y como estas cumplen las hipótesis del modelo.

Para este ajuste el coeficiente de correlación es  $r^2 = 0.8709$  y la varianza residual estimada para la variable  $\sqrt[3]{P}$  es  $s^2 = 1.203 \cdot 10^{-3}$ .

En las figuras 5.2 a 5.6 se ha representado la variación de la pérdida por desgaste con la temperatura a partir de la correlación obtenida. En ella se observa, en primer lugar, la mejora de la resistencia al desgaste al aumentar la temperatura. Esto ocurre con todas las granulometrías y porcentajes de ligante empleados. Según estos resultados una diferencia de 5 grados en la temperatura de ensayo puede suponer de 5 a 10 puntos en el valor de la pérdida por desgaste.

El efecto de la temperatura es tanto mayor cuanto menor sea el porcentaje de finos, de la mezcla y mayor sea su porcentaje de betún, figuras 5.5 y 5.6.

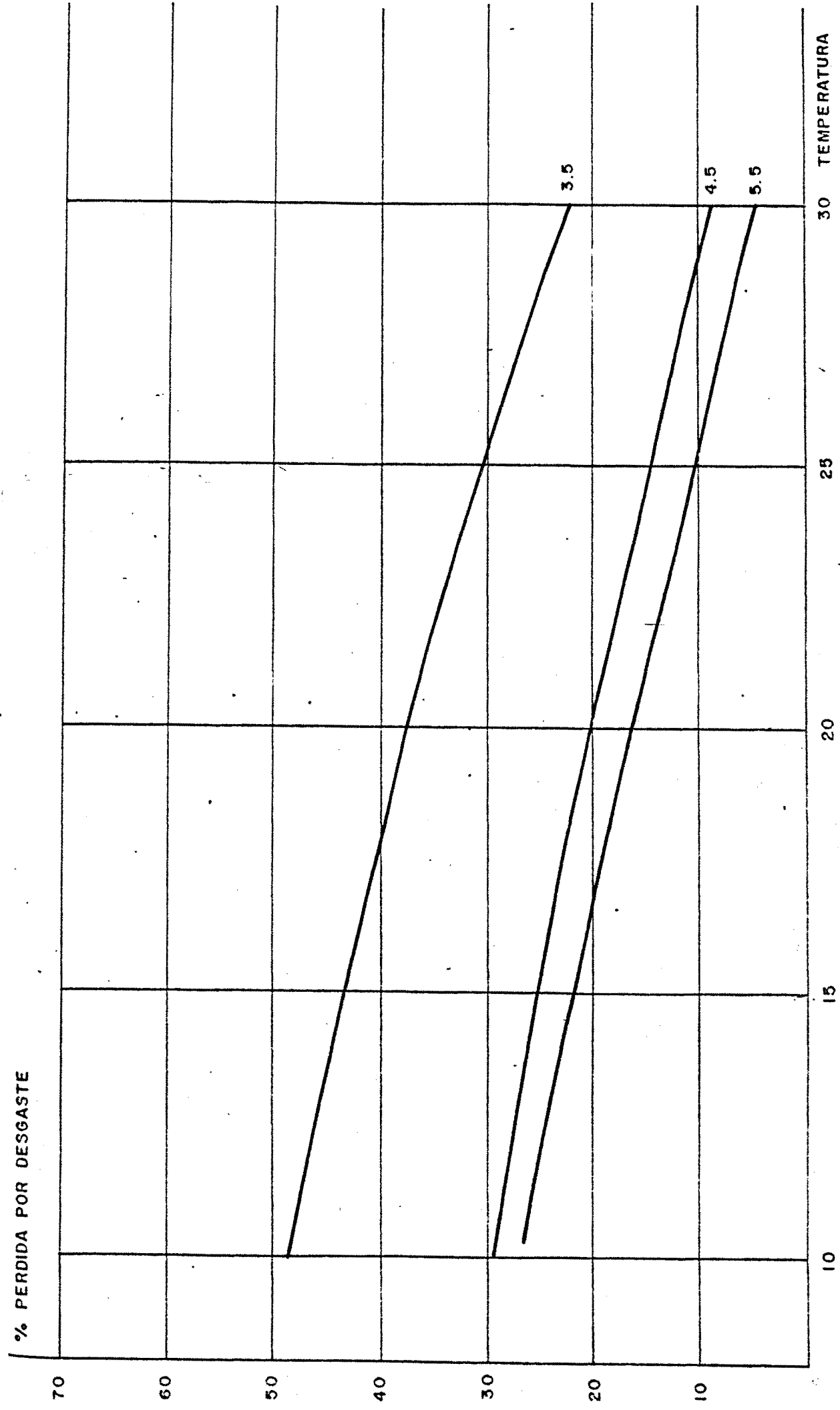


FIG. 5.2 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE CON EL CONTENIDO DE LIGANTE Y LA TEMPERATURA.  
GRANULOMETRIA P-10 (15,4)

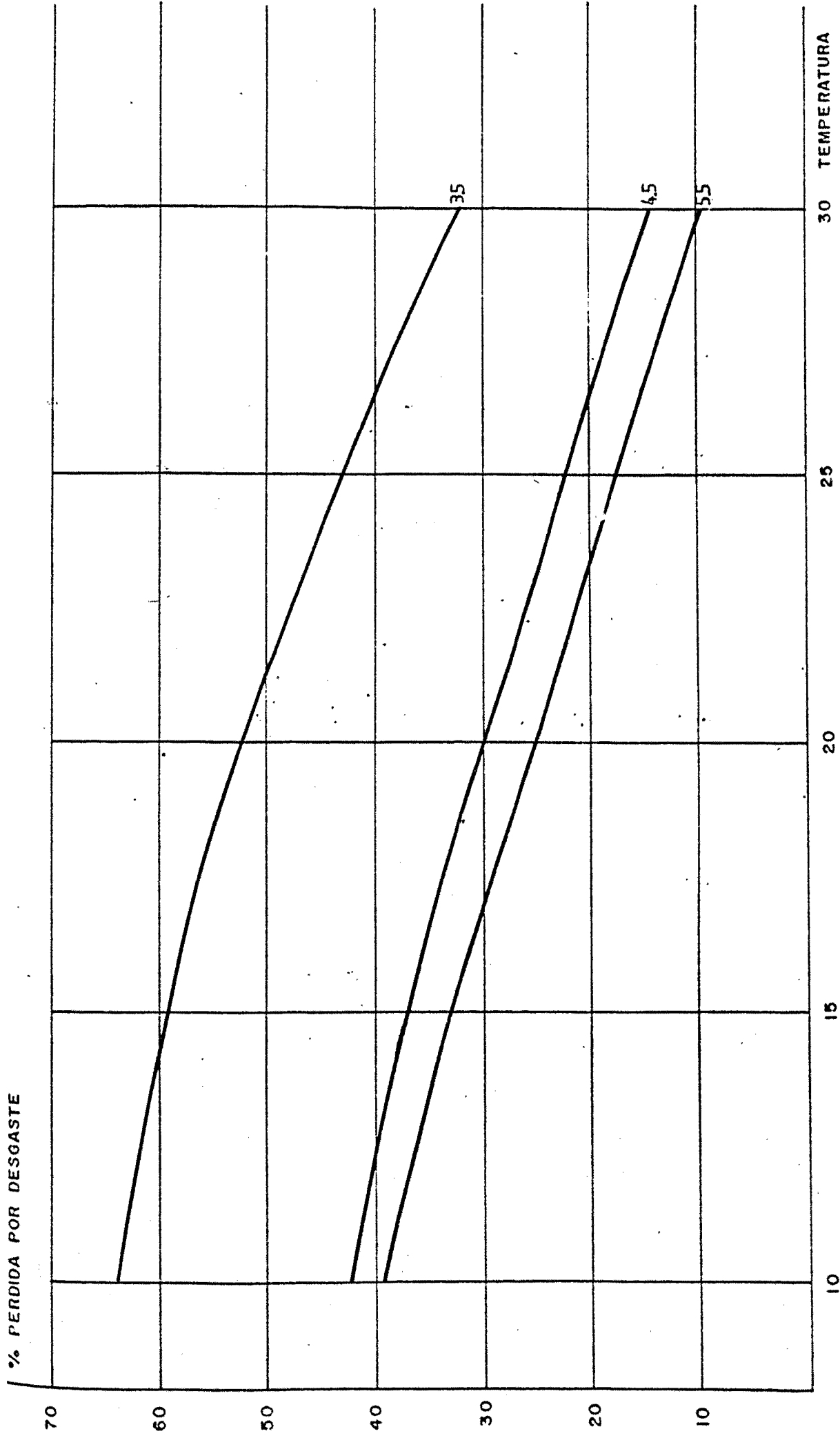


FIG. 5.3 . - VARIACION DE LA PÉRDIDA POR DESGASTE CON EL CONTENIDO DE LIGANTE Y LA TEMPERATURA.  
GRANULOMETRIA P - 10 (10, 4)



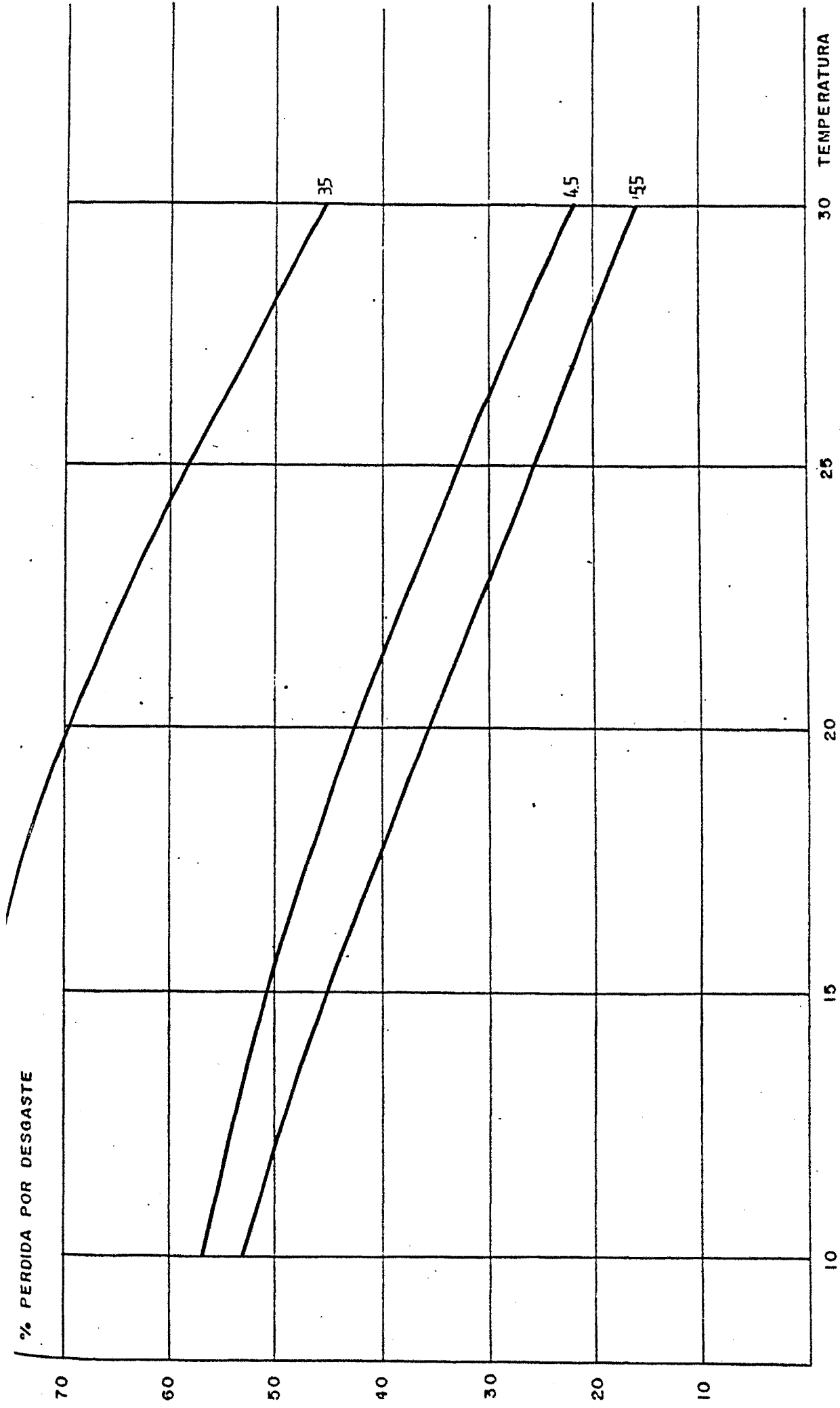


FIG. 5.4 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE CON EL CONTENIDO DE LIGANTE Y LA TEMPERATURA.  
GRANULOMETRIA P-D ( 5,4)

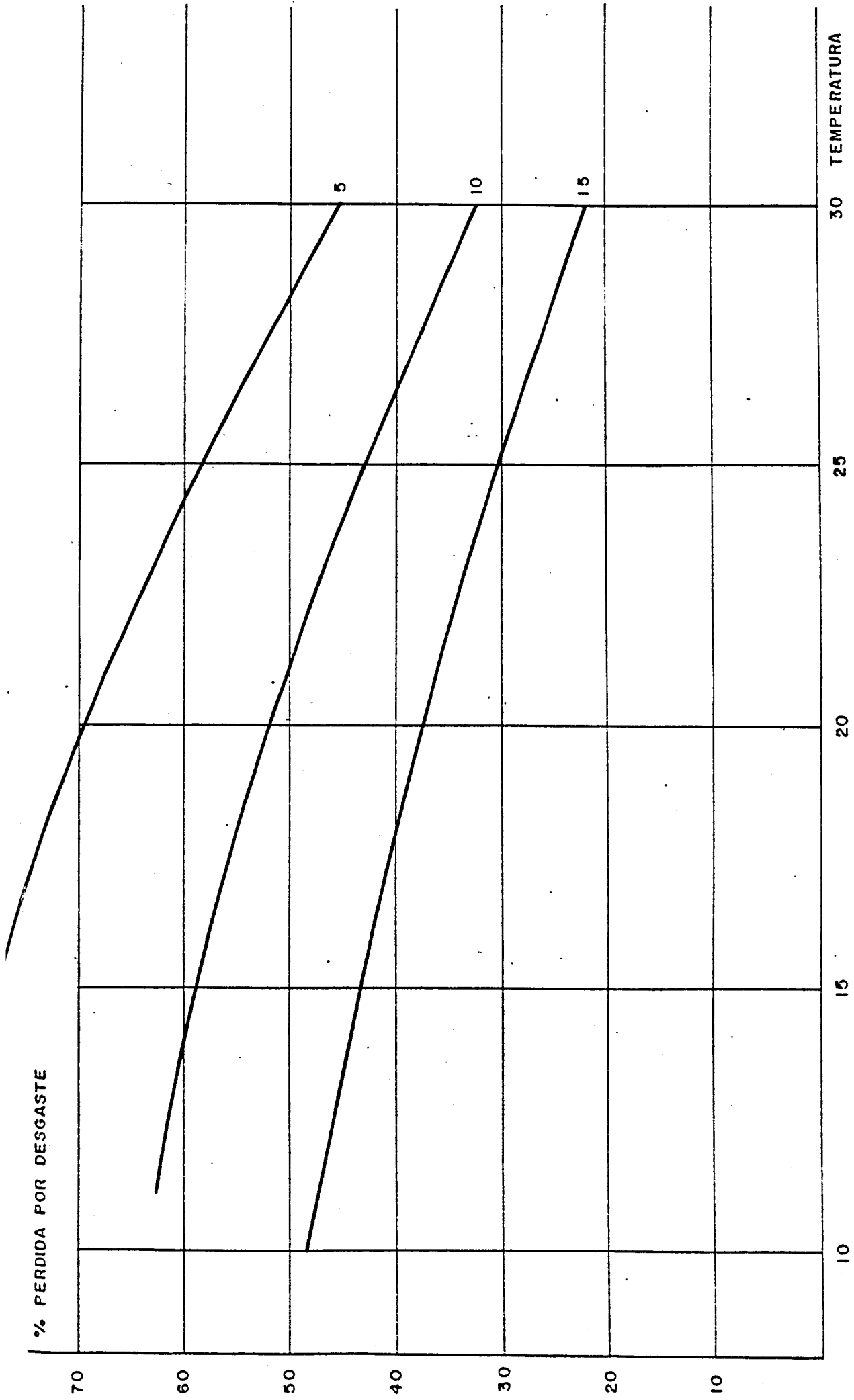


FIG. 5.5 .- VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE CON EL CONTENIDO DE FINOS Y LA TEMPERATURA.  
GRANULOMETRIA P-10(X,4) 3,5% BETUN

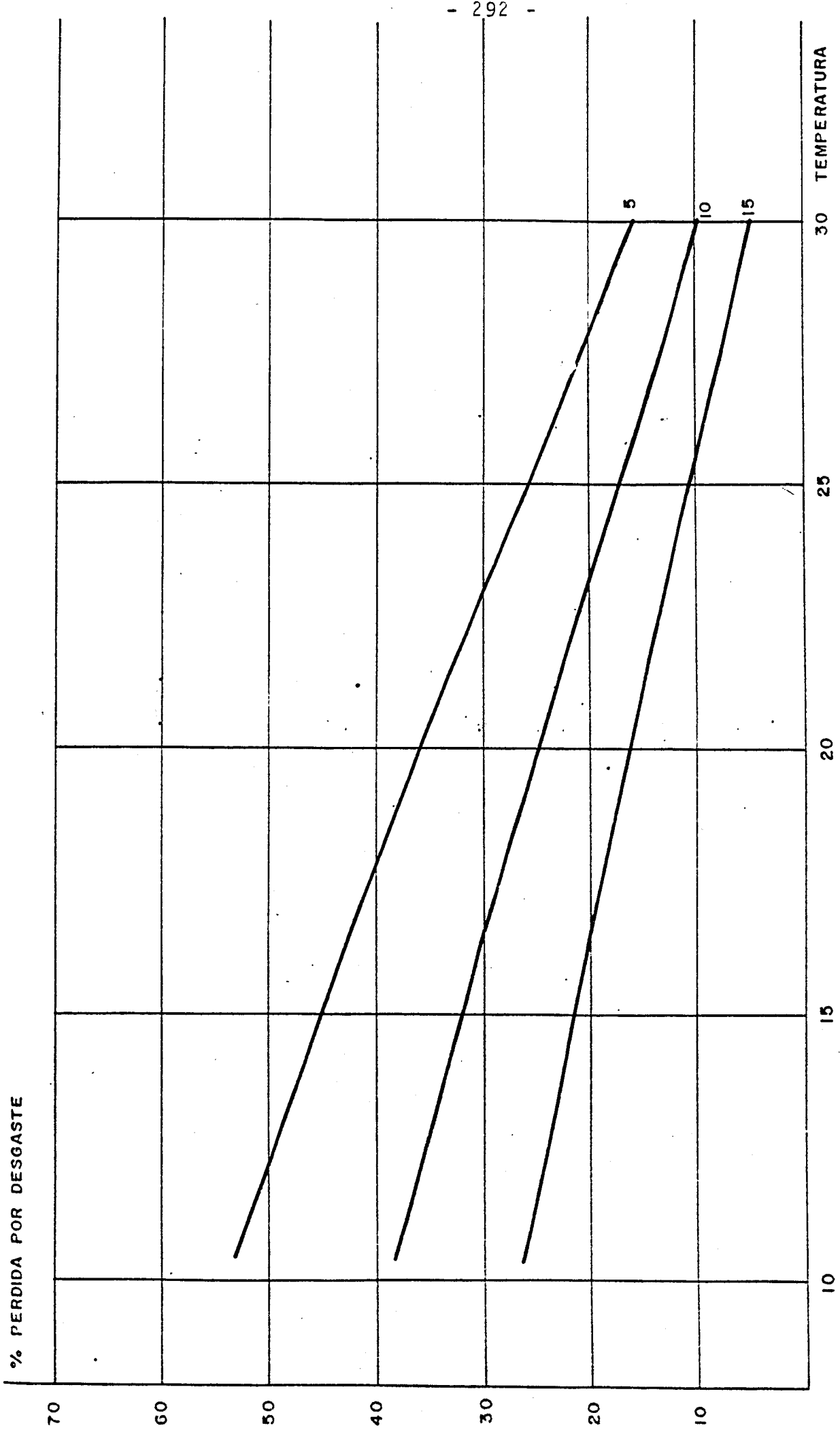


FIG. 5.6 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE CON EL CONTENIDO DE FINOS Y LA TEMPERATURA.  
 GRANULOMETRIA P-10 (X, 4) 5,5 % BETUN

5.1.2. CORRECCION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DE LA TEMPERATURA

Dado el efecto que la temperatura tiene en los valores obtenidos en el ensayo de perdida por desgaste, el primer paso obligado fue fijar una temperatura de ensayo. Esta ha sido fijada en 18°C.

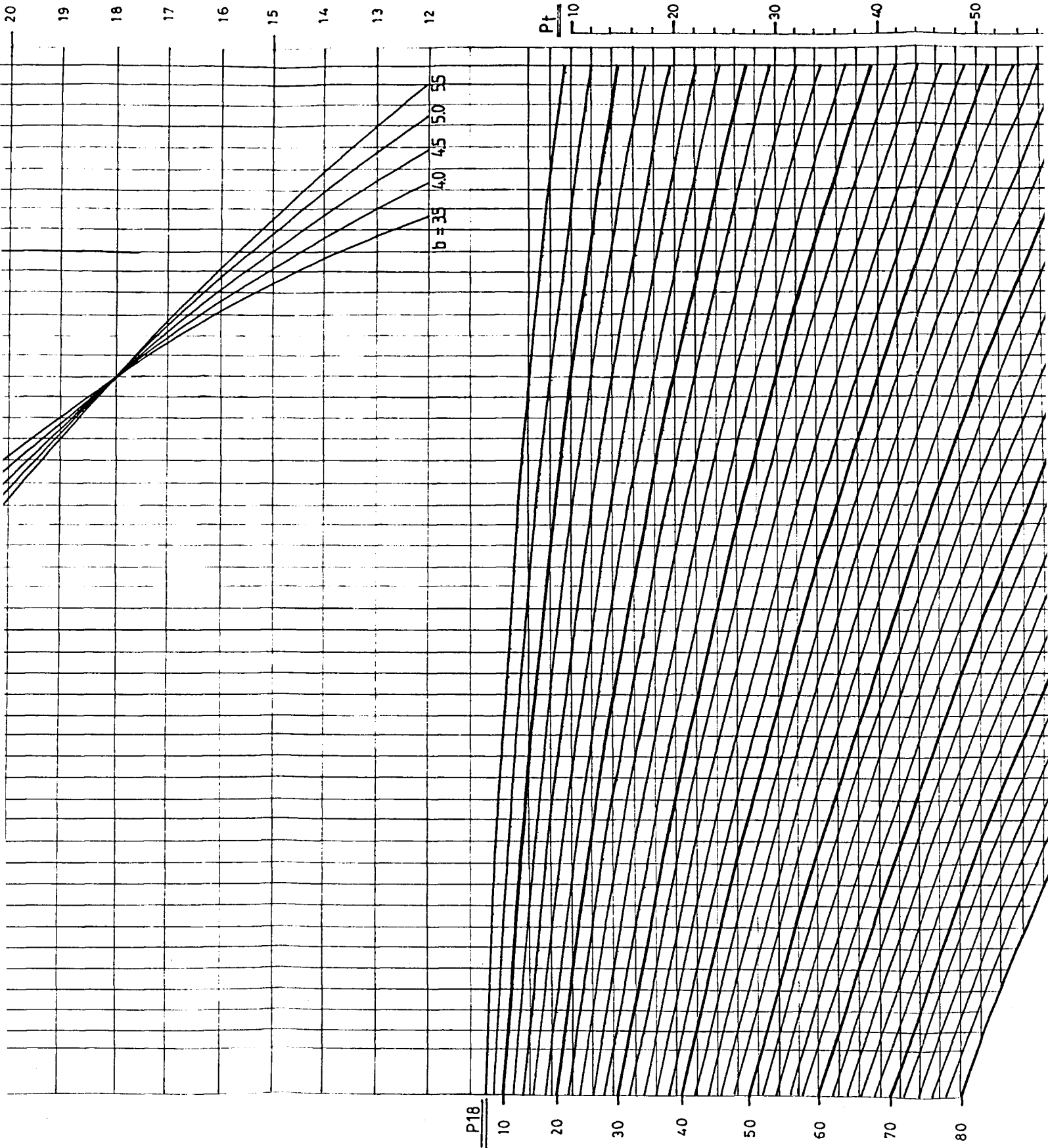
Los resultados obtenidos en el estudio anterior se han tomado de base para definir un factor de corrección por temperatura que permite referir a la temperatura de 18°C, ensayos realizados a otra temperatura.

A partir de la correlación anteriormente ajustada se ha obtenido la siguiente expresión entre la perdida por desgaste a la temperatura de 18°C,  $\sqrt[3]{P}$ , y la perdida a cualquier otra temperatura de ensayo,  $\sqrt[3]{P_t}$ .

$$\sqrt[3]{P} = \sqrt[3]{P_t} + (18-t)(0.0284-0.00143t-0.01054b)$$

En esta relación es importante hacer notar que no aparece el contenido de finos, por lo que el factor de corrección será independiente del tipo de granulometría, dentro del rango de granulometrias ensayadas (5% a 15% finos).

Para facilitar la operación de corrección del valor de la perdida por desgaste, se ha construido un abaco, figura 5.7,



de triple entrada. Para utilizar este abaco, se parte de los valores de la temperatura, contenido de ligante y valor de la pérdida por desgaste a la temperatura de ensayo, y se obtiene como resultado el valor de la pérdida por desgaste a 18°C.

En la figura 5.8 se indica cual es el procedimiento a seguir para que partiendo de unas pérdidas de desgaste del 57% a 23°C, fabricadas con un 4% de ligante, obtengamos la pérdida del 68%, que corresponde a la temperatura de 18°C.

## 5.2. INFLUENCIA DE LA PENETRACION DEL BETUN EN LA PERDIDA POR DESGASTE

Con objeto de contrastar los resultados obtenidos en el estudio de la influencia de la temperatura se ha procedido a ensayar mezclas fabricadas con la misma granulometría y betunes de distinta penetración.

Los estudios realizados sobre la influencia de la temperatura de ensayo sobre el valor obtenido para la pérdida por desgaste pone en evidencia que un aumento a la penetración del betún empleado supone un aumento en la resistencia a la disgregación de la mezcla.

En un principio, el empleo de betunes más duros más viscosos, parece que debería mejorar la resistencia a la disgregación, pero esto lo que realmente supone es un aumento de la

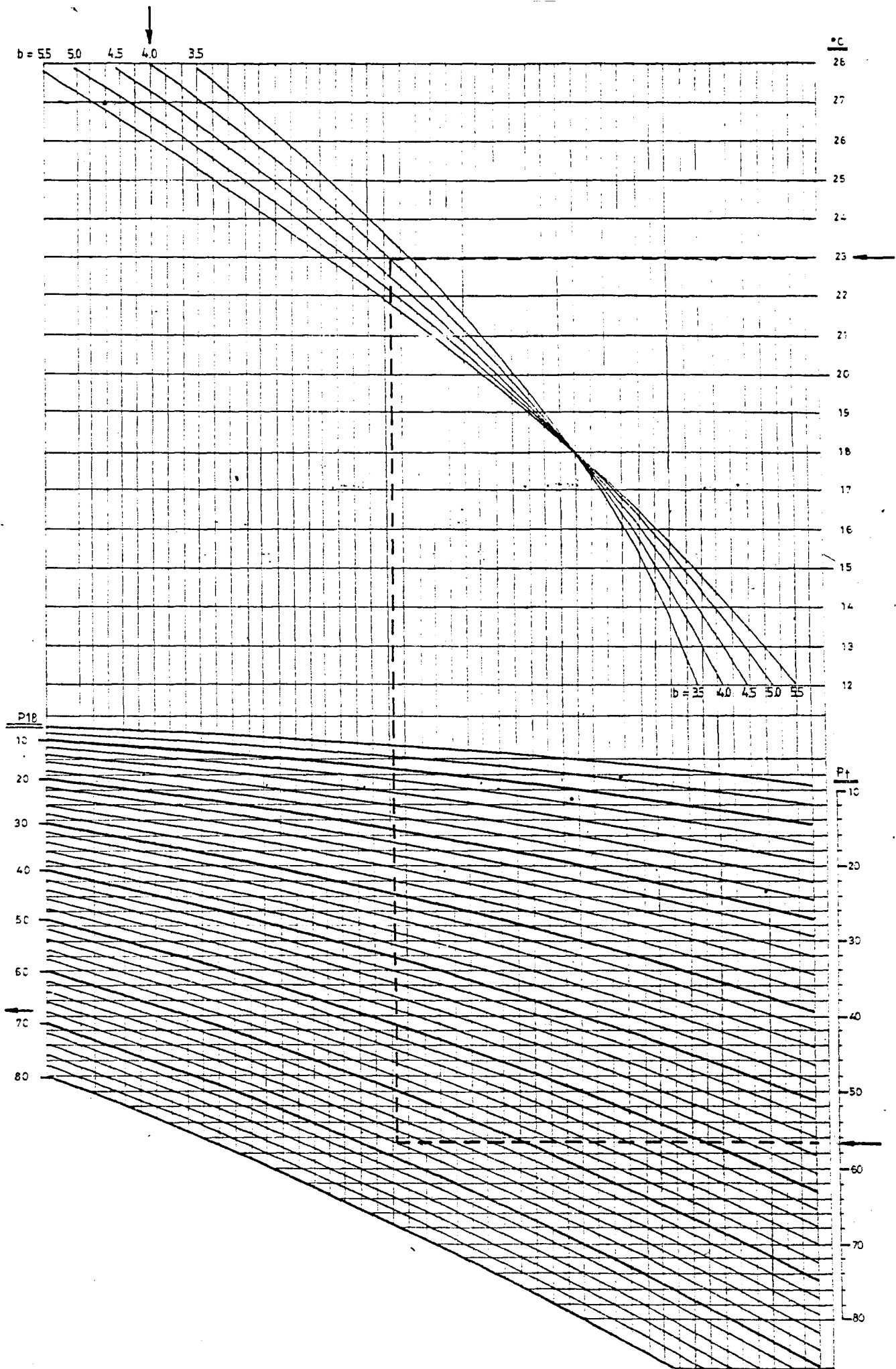


FIG. 5. 8.- ABACO PARA LA CORRECCION POR TEMPERATURA DE ENSAYO.  
MODO DE EMPLEO

fragilidad del ligante y una menor resistencia de la disgregación de la mezcla por impacto y desgaste.

Esto se puede observar en las tablas 5.9 y 5.10 y en la figura 5.9, donde se presenta para la mezcla P-10(15,4) su pérdida por desgaste para los betunes B-40/50, B-60/70, B-80/100 y B-150/200. Como se puede observar en la figura 5.10 donde se representa la variación de huecos con el porcentaje de betún, para los distintos tipos de ligantes empleados, apenas existe diferencia en el grado de compactación alcanzada, existe muy poca. Sin embargo, sí es notable la diferencia en cuanto a su resistencia a la disgregación.

Con el betún B-40/50 es con el que peor resultados se obtiene habiendo una diferencia de más de 15 puntos entre la pérdida por desgaste de las probetas fabricadas con betún B-40/50 y las fabricadas con el betún B-150/200, en la que se obtienen los mejores resultados.

La experiencia que sobre el comportamiento de estos tramos se tiene avala de los resultados obtenidos en laboratorio. Las peores respuestas que con estas mezclas se han obtenido corresponden a tramos fabricados en Francia con betún B-40/50, mientras que con betunes, B-60/70 y B-80/100, el comportamiento es adecuado.



% BETUN	PENETRACION DEL BETUN			
	40/50	60/70	80/100	150/200
3,5	41,9	41,8	26,5	23,9
4,5	30,3	28,6	15,4	14,8
5,5	25,6	24,9	12,9	11,2

TABLA 5.9. INFLUENCIA DE LA PENETRACION DEL BETUN EN LA PERDIDA POR DESGASTE DE UNA MEZCLA P.10(15,4).

% BETUN	PENETRACION DEL BETUN			
	40/50	60/70	80/100	150/200
3,5	19,0	19,1	20,2	19,6
4,5	16,9	17,1	18,1	17,6
5,5	14,9	15,1	16,3	15,4

TABLA 5.10. INFLUENCIA DE LA PENETRACION DEL BETUN EN EL PORCENTAJE DE HUECOS DE UNA MEZCLA P.10(15,4).

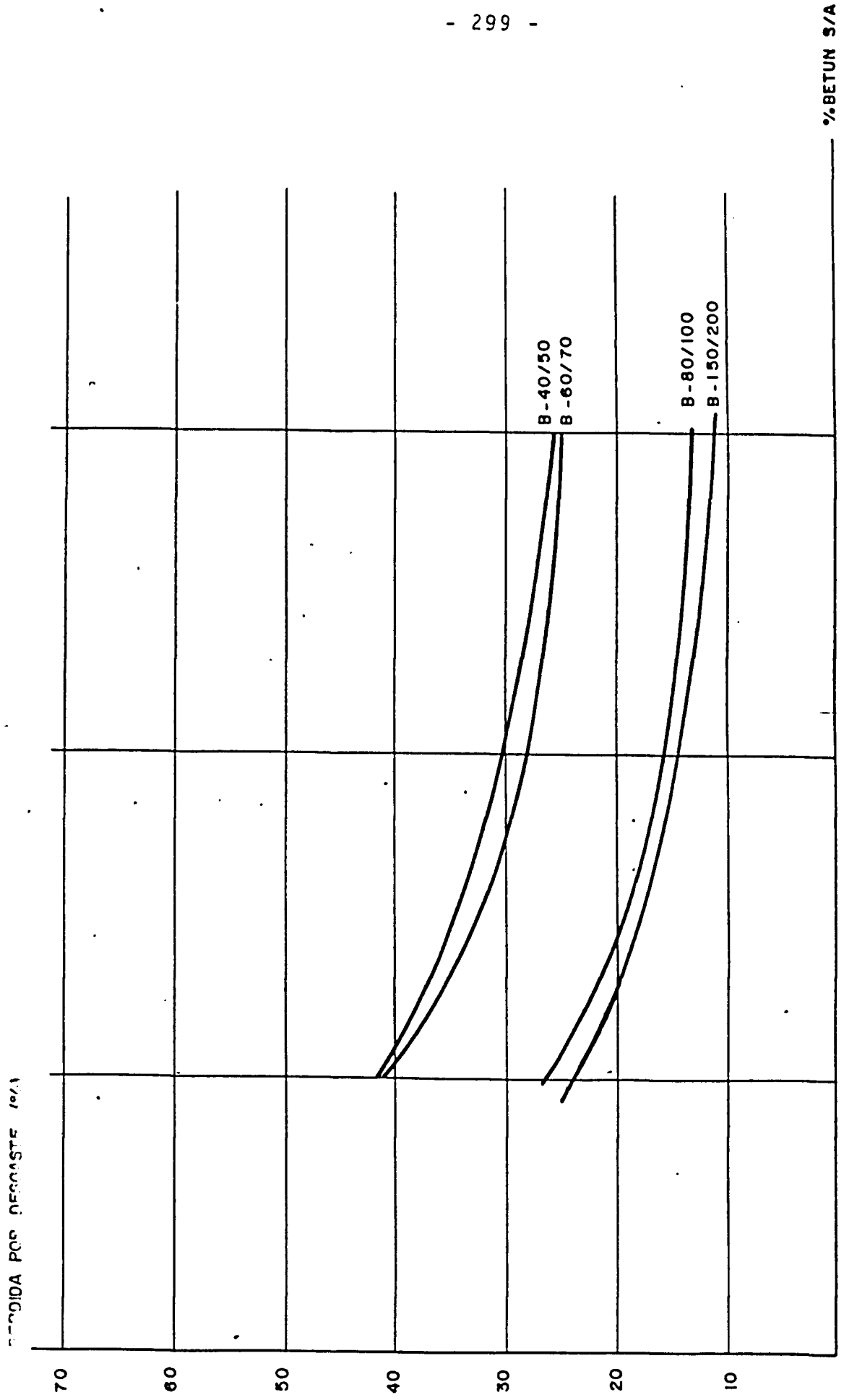


FIG. 5.9. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DE LA PENETRACION Y EL PORCENTAJE DE BETUN . GRANULOMETRIA P - 10 (15,4)

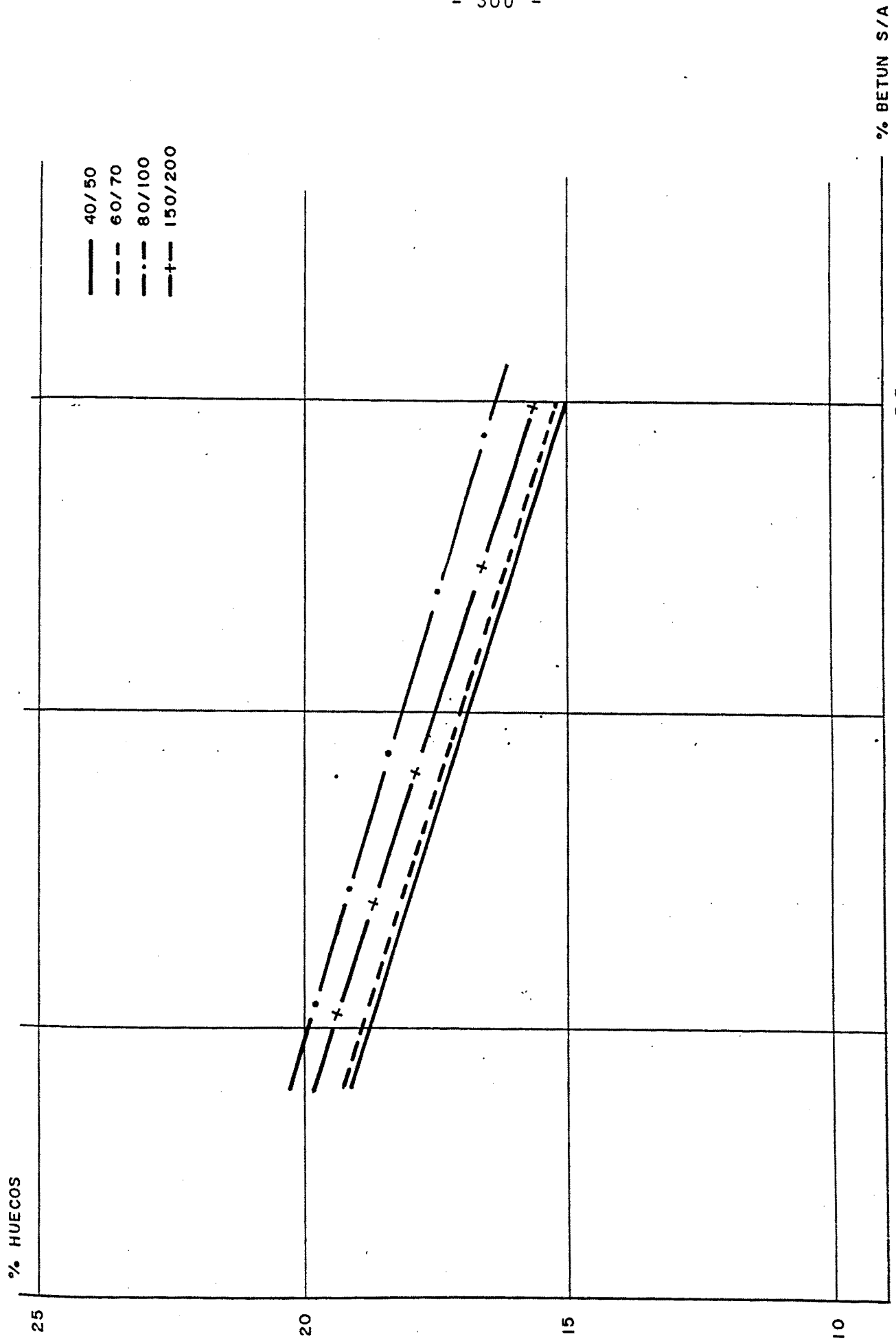


FIG. 5.10.- VARIACION DEL PORCENTAJE DE HUECOS CON LA PENETRACION Y EL PORCENTAJE DE BETUN. GRANULOMETRIA P-10 (15,4)

## CAPITULO 6

APLICACION DEL ENSAYO CANTABRO  
DE PERDIDAS POR DESGASTE A LA  
CARACTERIZACION DE MEZCLAS BI-  
TUMINOSAS POROSAS

6.1. APLICACION DEL ENSAYO CANTABRO DE PERDIDA POR DESGASTE  
A LA CARACTERIZACION DE MEZCLAS BITUMINOSAS POROSAS

El ensayo Cántabro de pérdida por desgaste fué desarrollado, en vista de la carencia y falta de idoneidad de otros tipos de ensayos mecánicos, como un método para la caracterización mecánica de mezclas de granulometría abierta, caso de las mezclas porosas. En este capítulo se recogen y se analizan los resultados obtenidos en su aplicación a la caracterización de este tipo de mezclas.

El fin del estudio consiste en seleccionar aquellas granulometrias que mejor se comportan ante el mecanismo de deterioro por desgaste, valorando la influencia que los componentes de la mezcla tienen en su comportamiento.

Desde un principio la dosificación de mezclas bituminosas porosas se plantea como un equilibrio entre la porosidad y la resistencia a la pérdida por desgaste.

Para conseguir una adecuada porosidad es necesario reducir el porcentaje de finos de la mezcla, pero esto va en detrimento de su cohesión y resistencia a la disgregación por el tráfico. Para conseguir una permeabilidad adecuada comparable al de una arena gruesa ( $K = 10^{-1}$  a  $10^{-3}$  cm/s), es necesario emplear un porcentaje de finos comprendidos entre el 8 y el 18%. Por ello este estudio se realizó sobre mezclas fa-

bricadas con un porcentaje de arido fino de 10 y 15%.

Los porcentajes de filler y de ligante ensayados fueron del 2,4 y 6% y del 3,5; 4,5 y 5,5%, respectivamente, valores que cubren ampliamente el rango de estos componentes en la formulación de mezclas bituminosas porosas.

En este estudio cada una de las mezclas ensayadas ha sido designada por la notación P-A(B,C), donde:

A: tamaño máximo del arido empelado.

B: porcentaje de arido fino (pasa 2,5 UNE).

C: porcentaje de filler (pasa 0,080 UNE).

Estas mezclas son las mismas que hemos empleado en el estudio de la precisión y repetitividad del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste, y sus granulometrías han sido representadas en las figuras 4.6 a 4.8 del capítulo IV. En el mismo capítulo se ha incluido las características del árido ofítico y del betún B-60/70 empleados.

Los resultados de los ensayos de estas mezclas se recogen en la tabla 6.1, donde también se incluye el porcentaje medio de huecos de las mezclas ensayadas.

#### 6.1.1. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE FILLER Y DE BETUN

En el análisis de los resultados se ha estudiado en pri-

MEZCLA	% BETUN	HUECO	PERDI DAS	MEZCLA	% BETUN	HUECO	PER DIDA	MEZCLA	% BETUN	HUECO	PER DIDAS
P.20(10,2)	3,5	21,2	63,7	P.12(10,2)	3,5	21,1	56,4	P.10(10,2)	3,5	24,0	58,2
	4,5	20,1	50,5		4,5	19,0	41,4		4,5	21,6	36,3
	5,5	17,7	42,1		5,5	16,5	30,7		5,5	20,9	34,1
P.20(10,4)	3,5	22,1	43,8	P.12(10,4)	3,5	21,3	42,9	P.10(10,4)	3,5	23,5	45,9
	4,5	19,3	33,8		4,5	19,4	29,9		4,5	21,6	33,1
	5,5	17,3	30,3		5,5	17,1	28,6		5,5	19,6	24,1
P.20(10,6)	3,5	20,4	31,4	P.12(10,6)	3,5	21,4	36,9	P.10(10,6)	3,5	23,2	41,4
	4,5	19,2	29,9		4,5	19,2	27,8		4,5	21,2	28,0
	5,5	16,7	26,9		5,5	16,1	26,2		5,5	19,2	21,3
P.20(15,2)	3,5	20,3	53,2	P.12(15,2)	3,5	20,9	53,6	P.10(15,2)	3,5	22,3	52,9
	4,5	18,4	50,7		4,5	18,5	32,4		4,5	10,8	34,2
	5,5	15,8	40,4		5,5	16,5	29,6		5,5	18,2	28,2
P.20(15,4)	3,5	19,3	53,2	P.12(15,4)	3,5	18,8	39,6	P.10(15,4)	3,5	20,3	39,7
	4,5	15,7	23,4		4,5	15,5	22,7		4,5	17,6	25,9
	5,5	14,0	19,7		5,5	13,0	16,4		5,5	16,0	19,0
P.20(15,6)	3,5	18,5	38,1	P.12(15,6)	3,5	17,2	24,1	P.10(15,6)	3,5	18,8	26,8
	4,5	16,8	22,6		4,5	15,2	17,3		4,5	17,2	21,9
	5,5	13,7	17,4		5,5	12,2	12,7		5,5	13,9	14,5

TABLA 6.1. VALORES MEDIOS DE HUECOS Y PERDIDAS POR DESGASTE DE LAS MEZCLAS ENSAYADAS.

mer lugar la influencia del porcentaje de filler y betún en la pérdida por desgaste de la mezcla. Para ello, se ha representado para las seis familias de granulometrías ensayadas, P-10(10,X), P-10(15,X), P-12(10,X), P-12(15,X), P-20(10,X) y P-20(15,X), la influencia que en su respuesta tiene el porcentaje de filler y ligante empleado, figuras 6.1 a 6.6.

En todas ellas se observa la gran influencia que tiene el porcentaje de ligante y el contenido de filler en la pérdida por desgaste. Con contenidos de filler del 4 y del 6%, la pérdida de desgaste se reduce notablemente. Este aumento del porcentaje de filler mejora sensiblemente la cohesión y trabazón de la mezcla. Este aumento es más espectacular cuando se modifica el porcentaje de filler del 2 al 4%, que cuando se pasa del 4 al 6%. La influencia del betún es también más importante con porcentajes bajos del ligante.

Las pérdidas por desgaste son en todos los casos muy importantes con el contenido más bajo de filler ensayado, 2%, incluso para altos contenidos de ligante, 5,5%, y del arido fino, 15%. Habiéndose únicamente conseguido valores inferiores al 30% con las granulometrías P-10(15,2) y P-12(15,2) con contenidos de betún del 5,5%.

Aunque aun no existe suficiente experiencia sobre el comportamiento de estas mezclas en los tramos en servicio, se ha tomado el valor del 30% como una referencia para comparar los distintos resultados obtenidos. A priori y a la vista de los



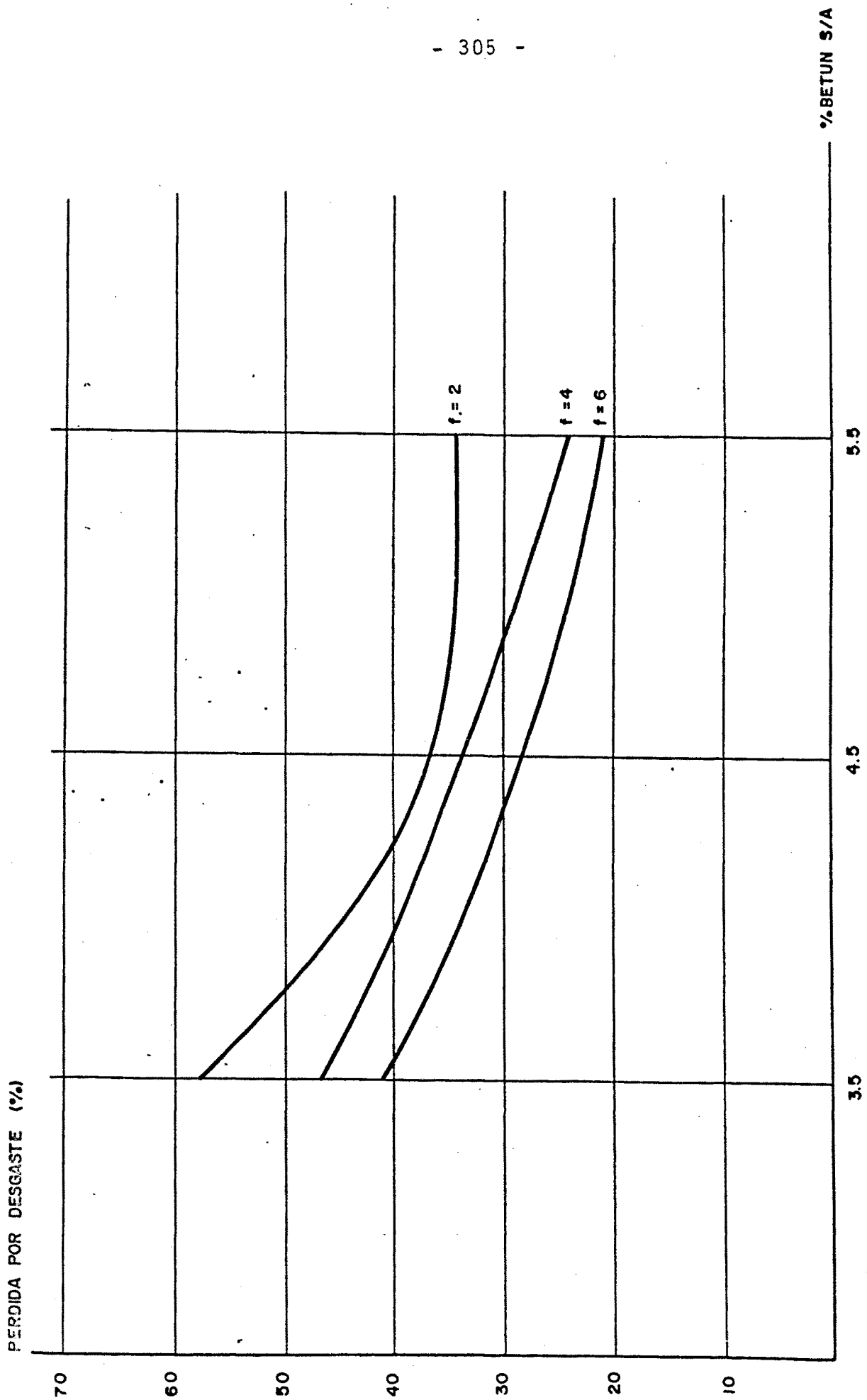


FIG. 6.1 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FILLER Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA P-10 (10, X)



FIG. 6.2 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FILLER Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA P - 10 ( 15, X)

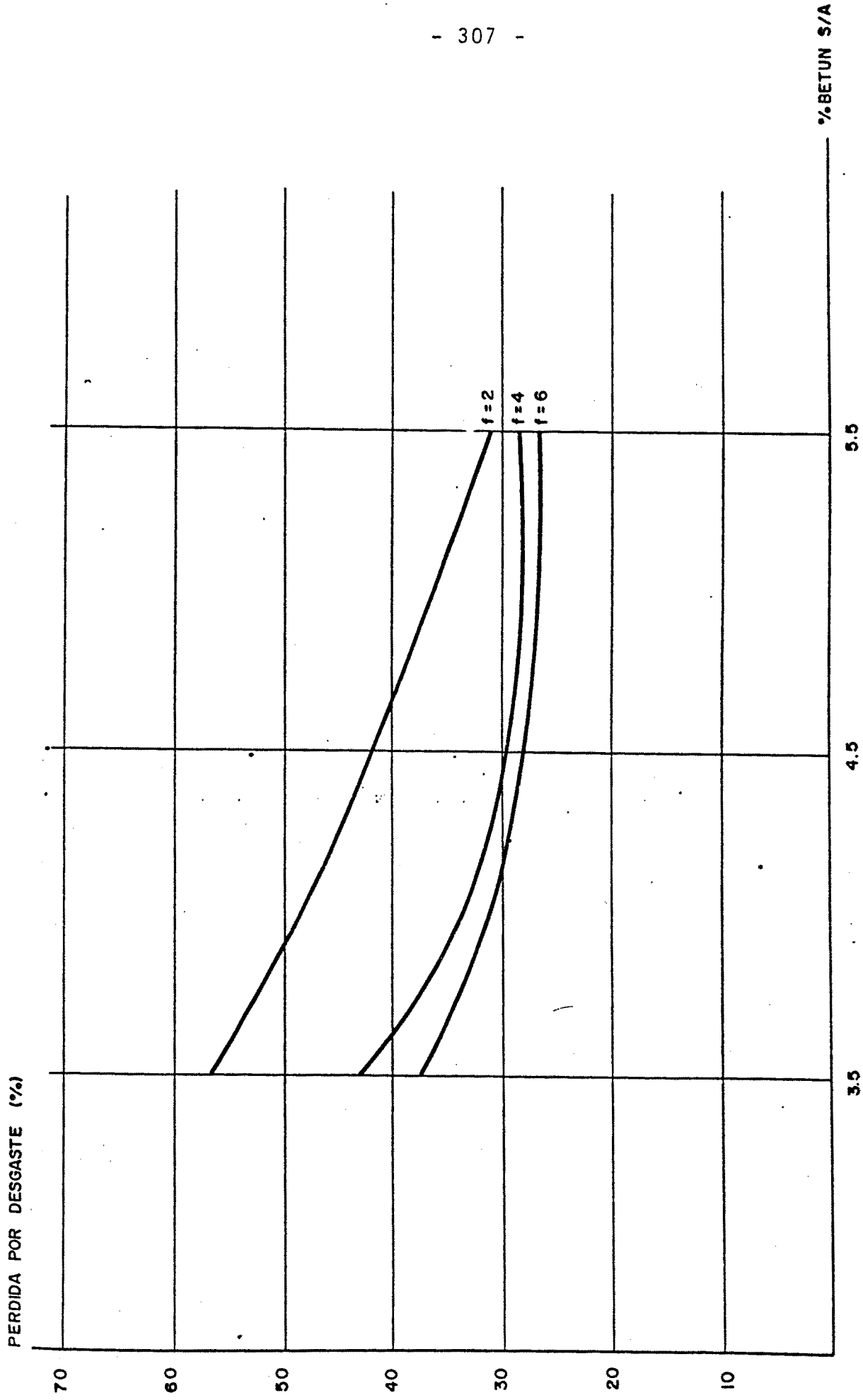


FIG. 6.3. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FILLER Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA P-12,5 (10,X)

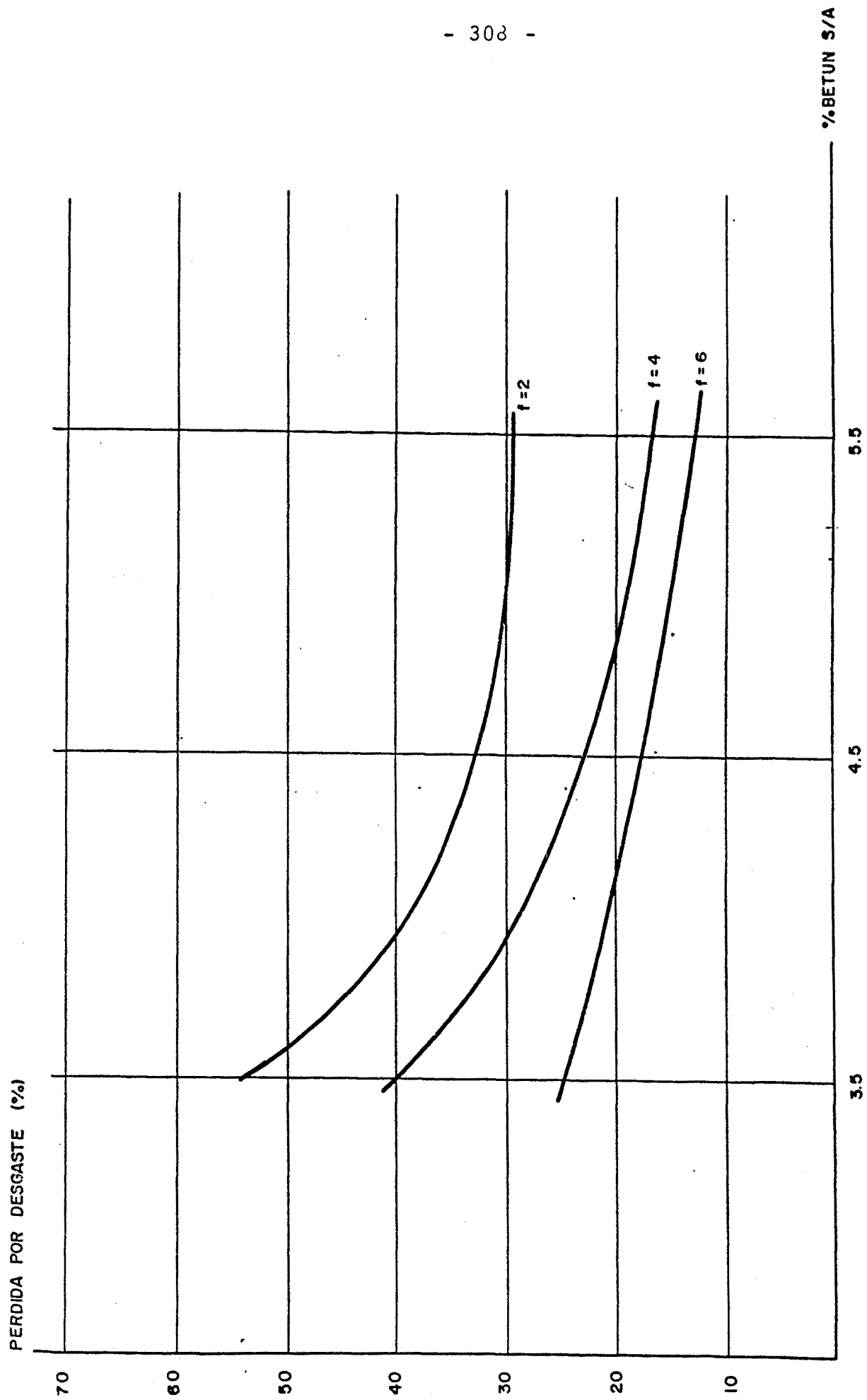


FIG. 6.4 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FILLER Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA P - 12,5 (15,X)

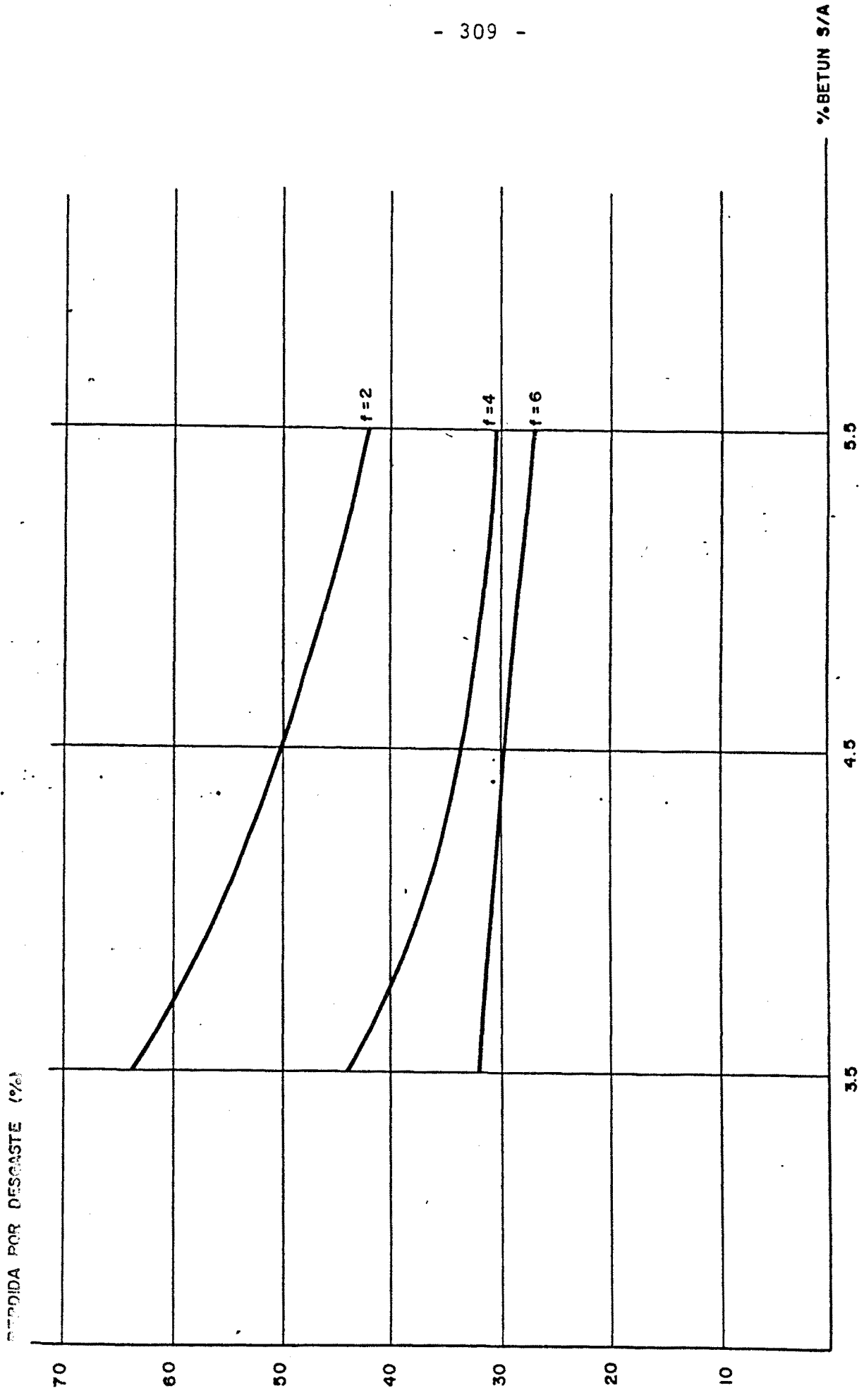


FIG. 6.5 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FILLER Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA P - 20(10,X) .

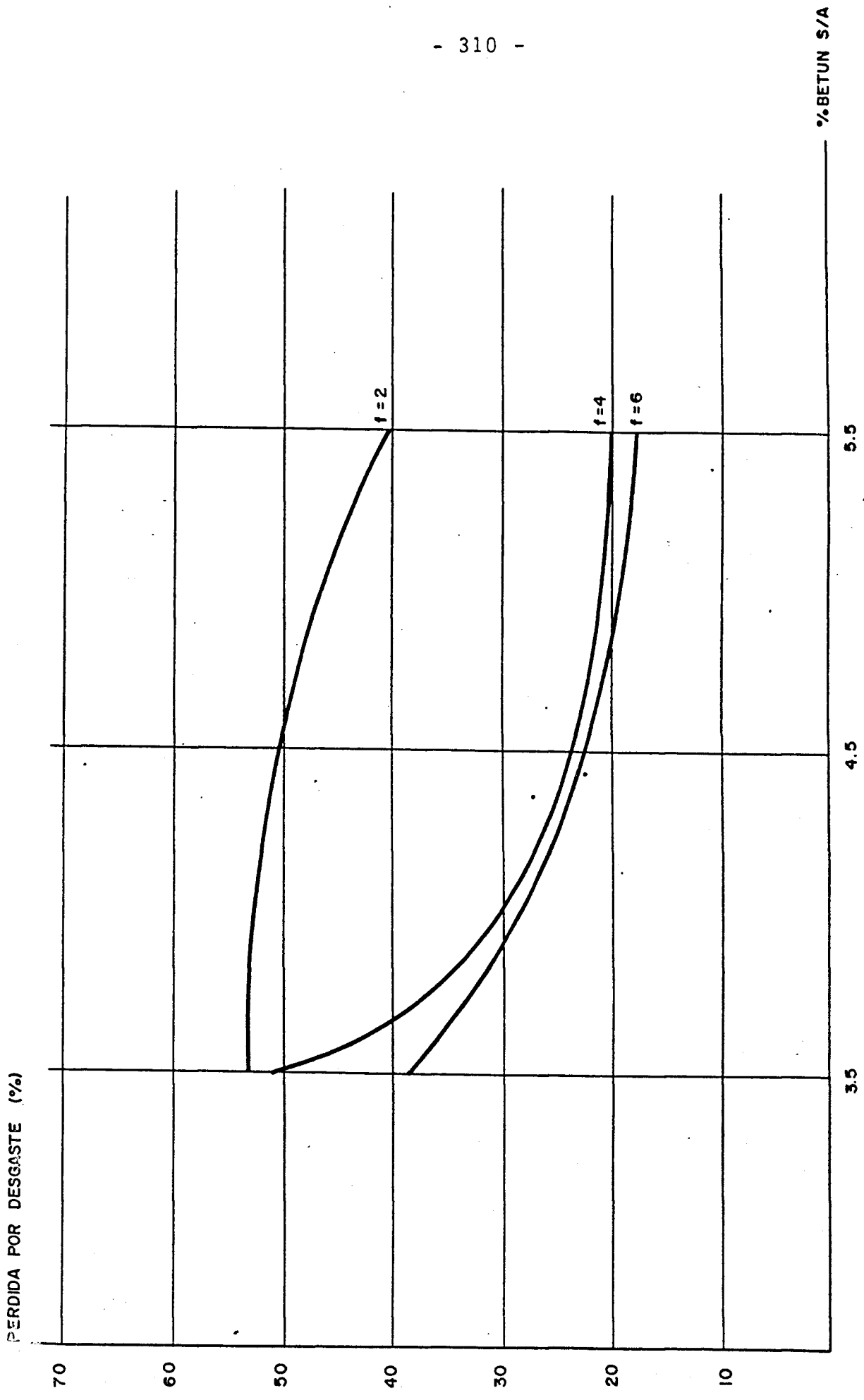


FIG. 6.6 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FILLER Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA P - 20 (15, X)

resultados obtenidos en Laboratorio si parece un valor mínimo a exigir a estas mezclas.

Con los contenidos de filler del 4%, únicamente con las granulometrías P-20 (10,4) y P-10 (10,4) se necesita un contenido de ligante del 5,5% para conseguir valores de la pérdida por desgaste inferiores al 30%. Consiguiéndose alcanzar este valor con contenidos de ligante del 4,5% en el resto de las granulometrías.

Con las granulometrías con un contenido de filler del 6%, se alcanza este umbral en todos los casos con un contenido de ligante del 4,5% e incluso con contenidos de ligante de 3,5% de las granulometrías P-10 (15,6) y P-12 (15,6).

En la tabla 6.2 se resumen estos resultados y se señalan los porcentajes mínimos de ligante a emplear con cada tipo de mezcla para conseguir una pérdida por desgaste menor de un 30%.

El efecto de filler adquiere una mayor importancia si consideramos al mismo tiempo su repercusión sobre la pérdida por desgaste de la mezcla y sobre la porosidad y permeabilidad de ésta.

Esto puede observarse en las figuras 6.7 a 6.12 donde se representa para estas seis mismas familias de granulometrías la variación de la porosidad y la pérdida por desgaste con el contenido de filler y de betón.

% b	P.10(10,2)	P.12(10,2)	P.20(10,2)	P.10(15,2)	P.12(15,2)	P.20(15,2)
3,5						
4,5						
5,5				<30	<30	

% b	P.10(10,4)	P.12(10,4)	P.20(10,4)	P.10(15,4)	P.12(15,4)	P.20(15,4)
3,5						
4,5		<30		<30	<30	<30
5,5	<30	<30	<30	<30	<30	<30

% b	P.10(10,6)	P.12(10,6)	P.20(10,6)	P.10(15,6)	P.12(15,6)	P.10(15,6)
3,5				<30	<30	
4,5	<30	<30	<30	<30	<30	<30
5,5	<30	<30	<30	<30	<30	<30

TABLA 6.2. PORCENTAJES MINIMOS DE FILLER Y BETUN NECESARIO PARA OBTENER UNA PERDIDA MAXIMA POR DESGASTE DEL 30%.



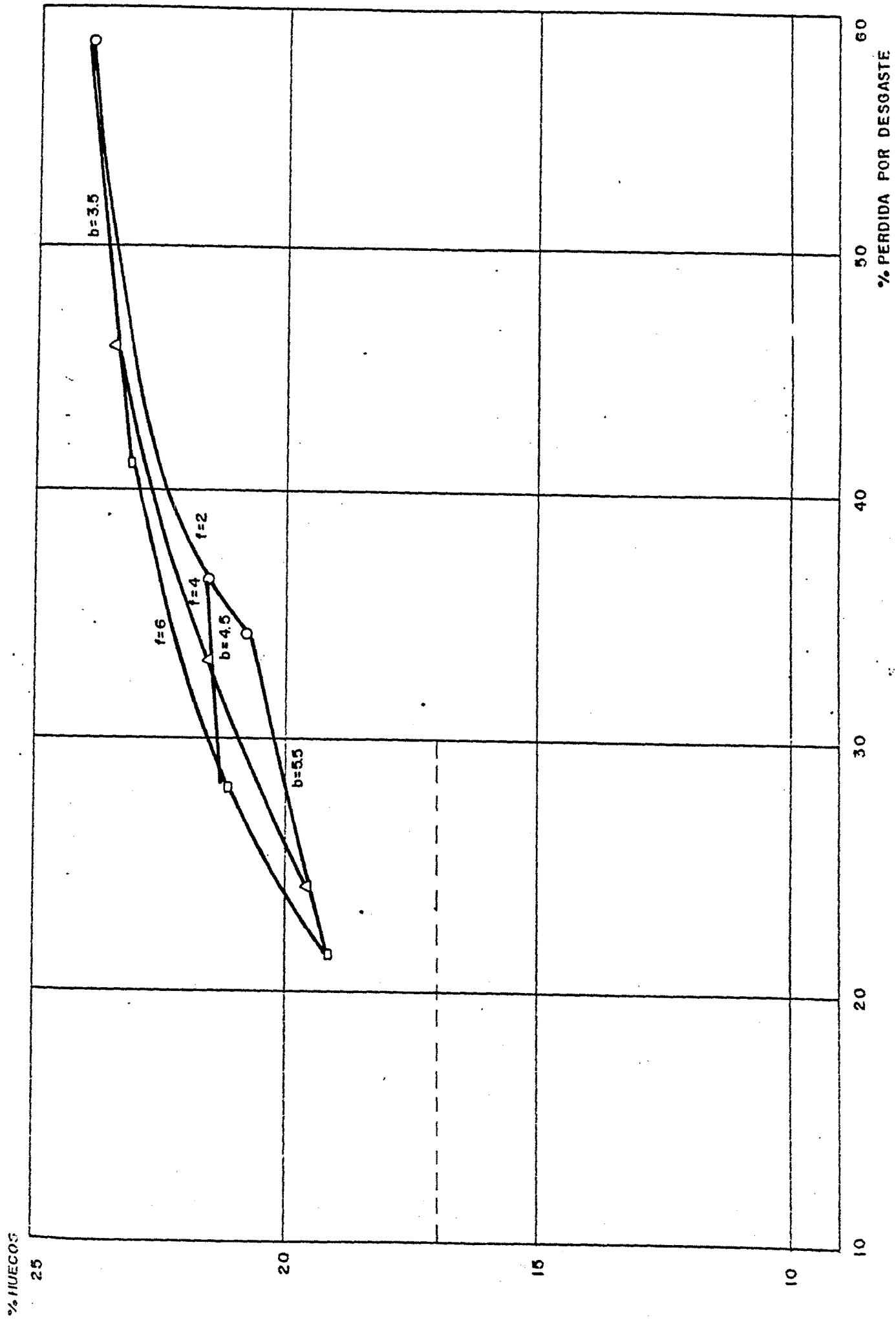


FIG.6.7.- VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE HUECOS, LIGANTE Y FILLER. GRANULOMETRIA P-10(10, X)

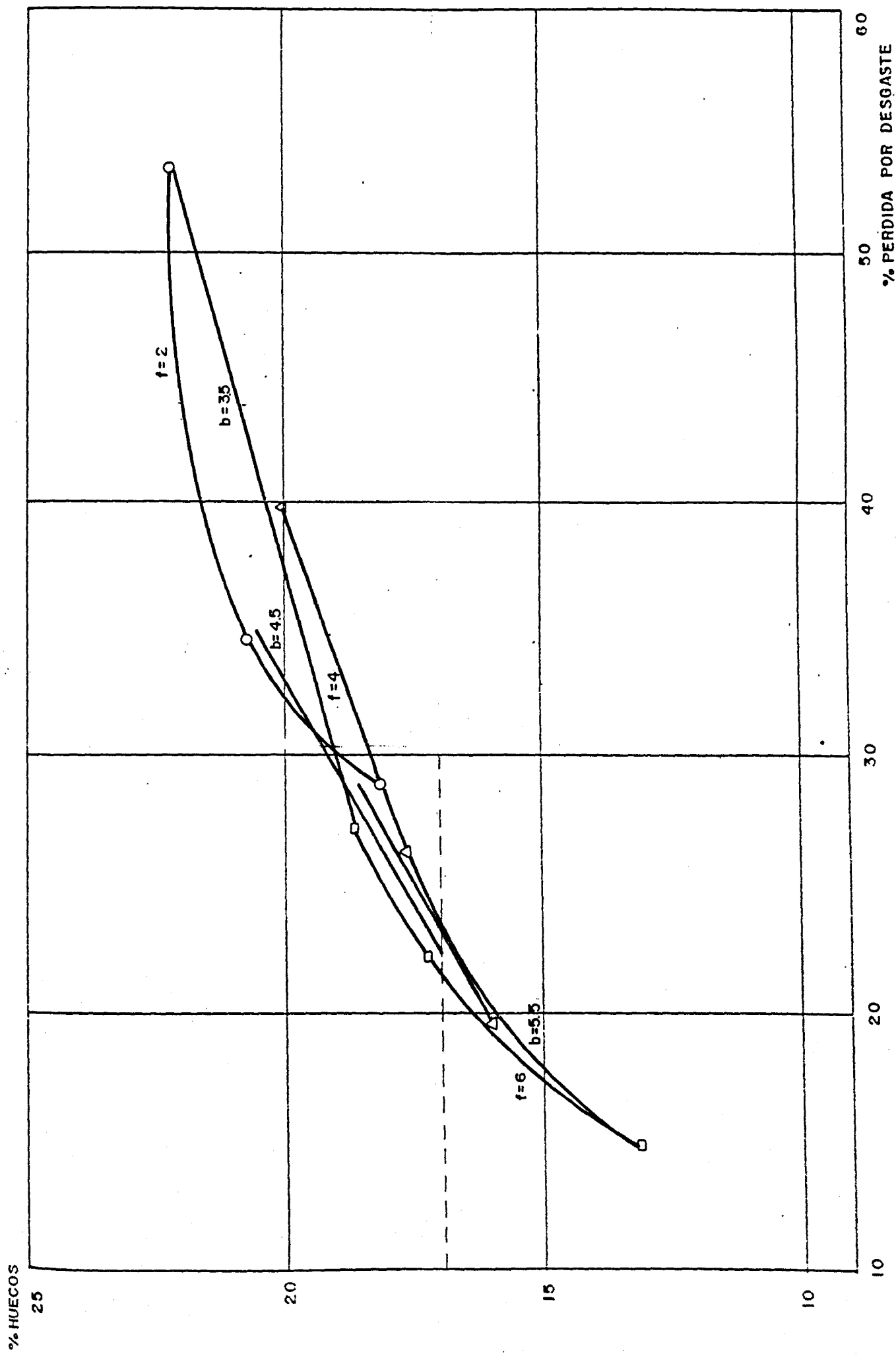


FIG. 6.8. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE HUECOS, LIGANTE Y FILLER. GRANULOMETRIA P-10 (15,X)

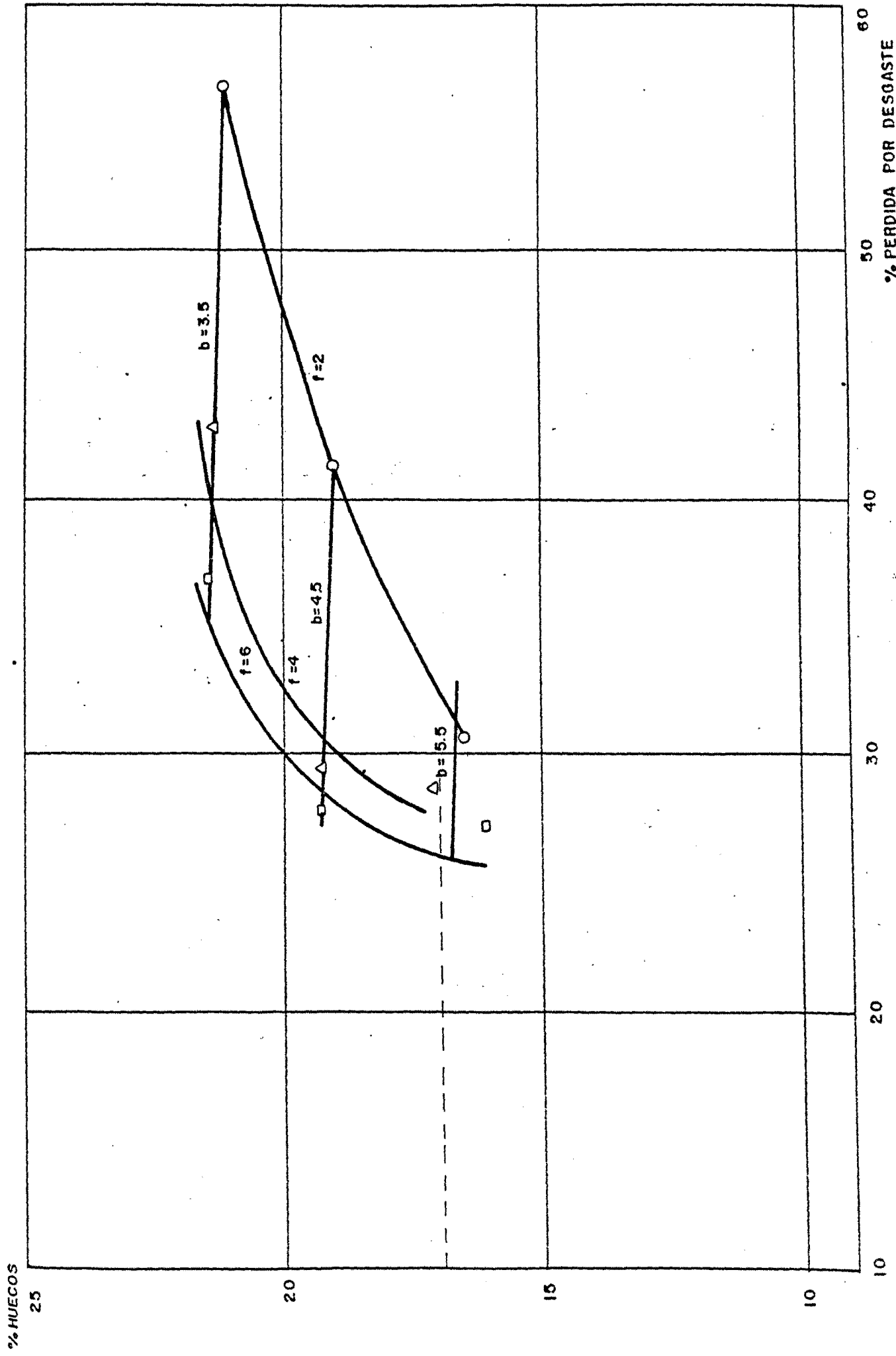


FIG.6.9. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE HUECOS, LIGANTE Y FILLER. GRANULOMETRIA P-12(10,X)

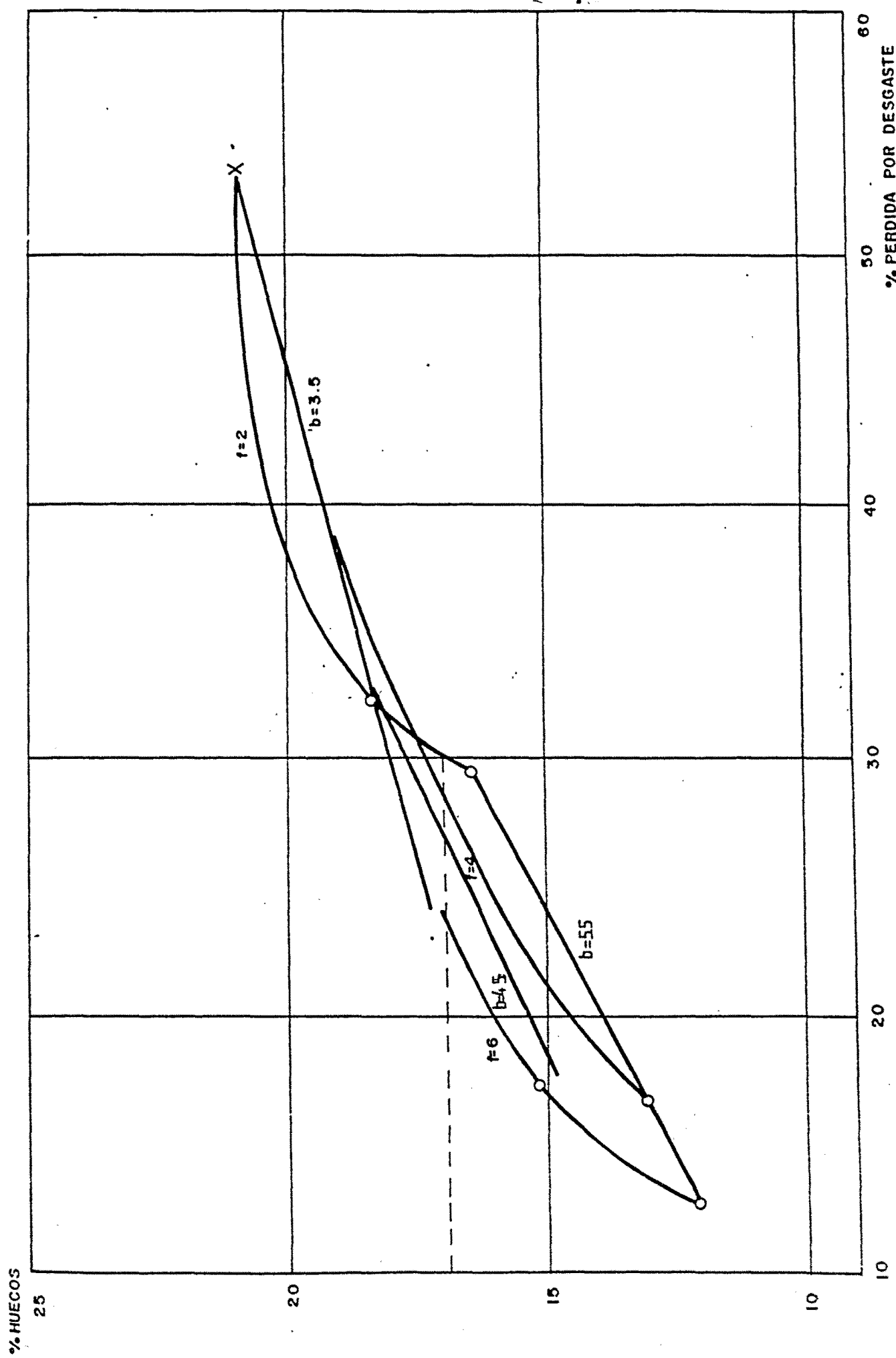


FIG. 6.10. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE HUECOS, LIGANTE Y FILLER. GRANULOMETRÍA P-12,5(15,X)

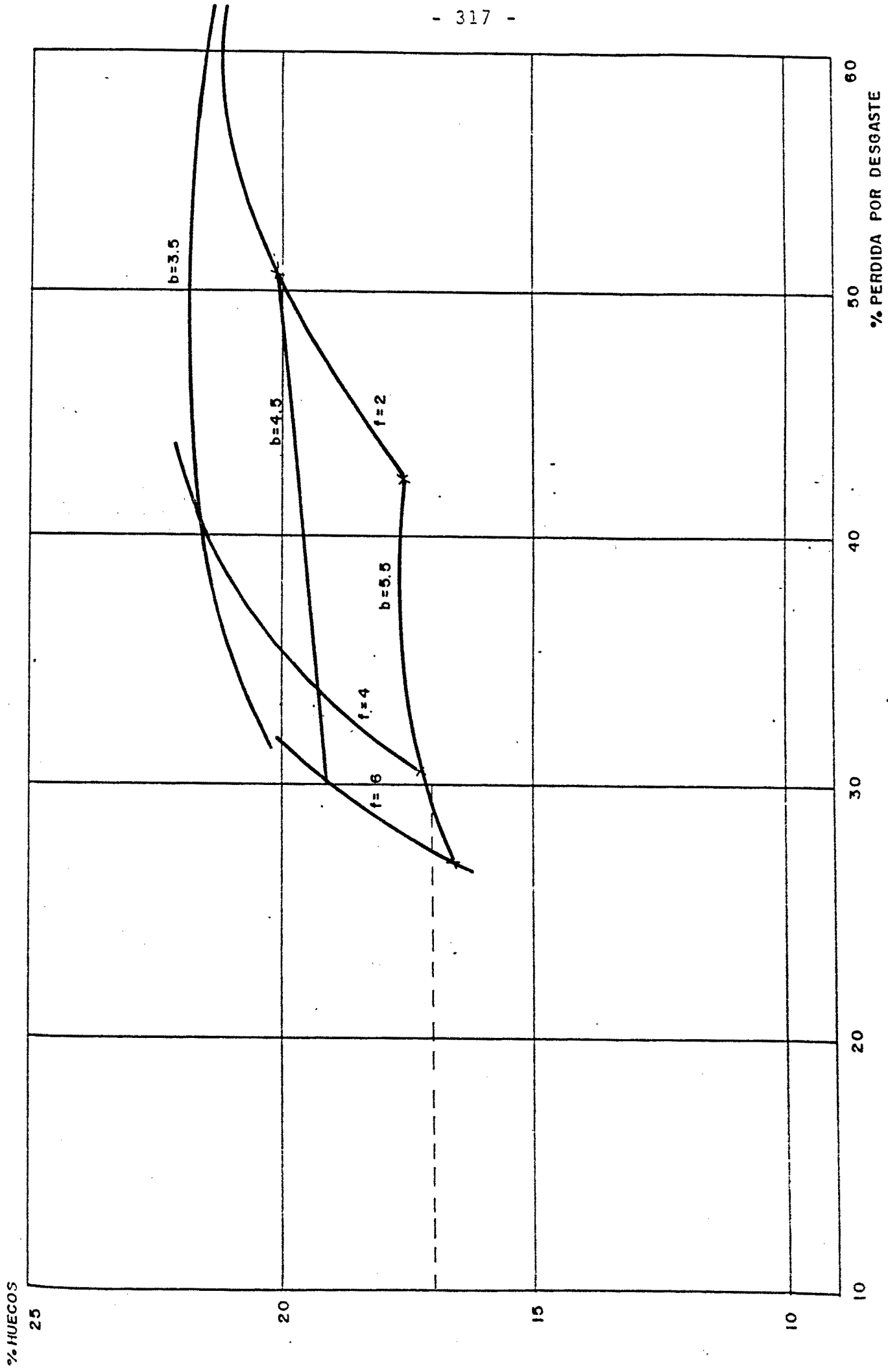


FIG.6.II.- VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE HUECOS, LIGANTE Y FILLER. GRANULOMETRIA P-20 (10,X)

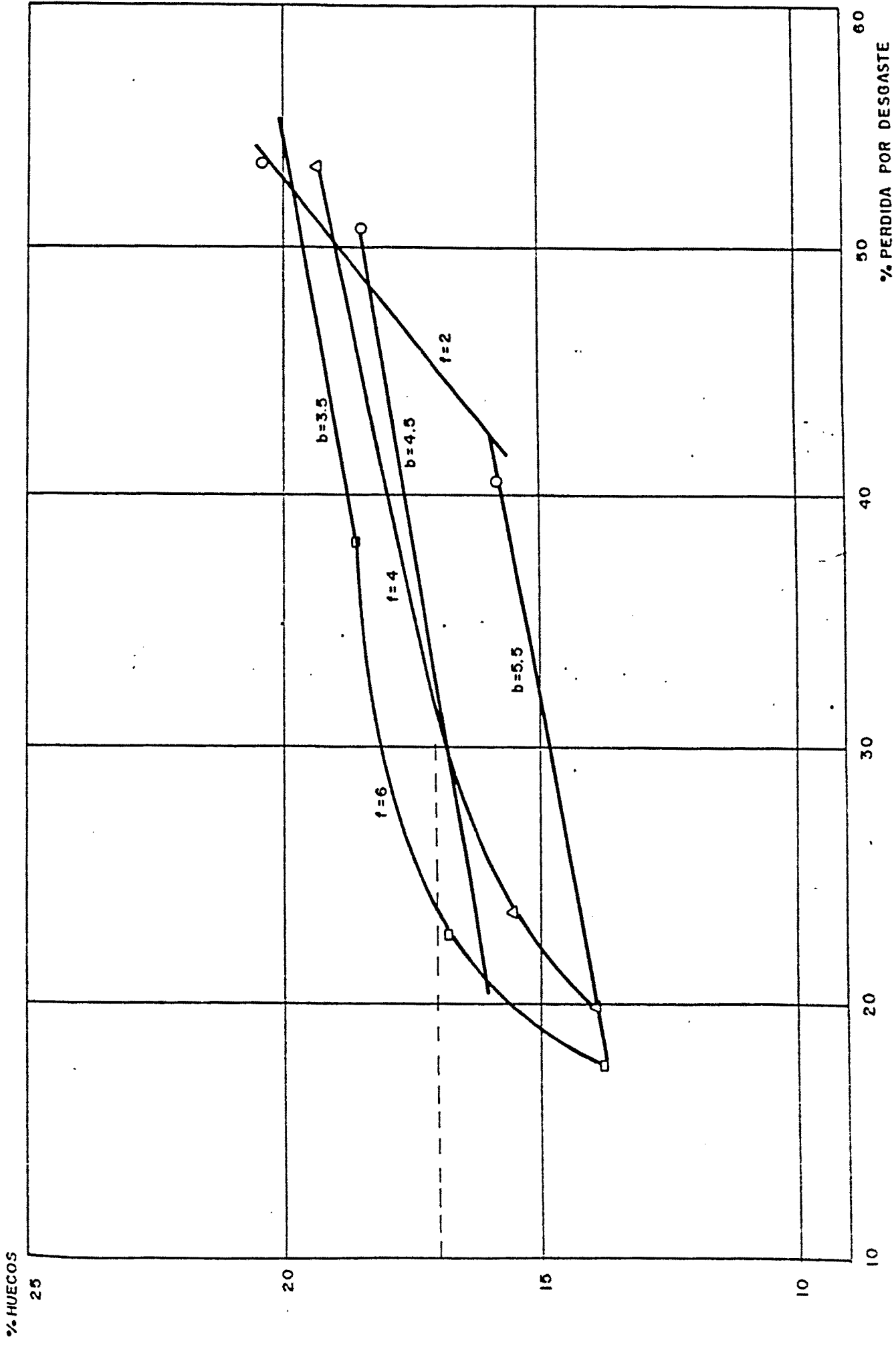


FIG. 6.12. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE HUECOS, LIGANTE Y FILLER. GRANULOMETRIA P-20 (15,X)

A diferencia de los otros componentes de la mezcla, un aumento del contenido de filler puede suponer en muchos casos una mejora de la resistencia al desgaste de la mezcla sin modificar su porosidad. Cosa que no ocurre con la varia ción del ligante y arido fino, ya que un aumento en sus con tenidos supone ciertamente una mejora de resistencia al des gaste, pero disminuyen también sensiblemente su permeabilidad. Así en la mezcla P-12(10-X) con un 3,5% de ligante, un amen to de 2 al 6% de filler, supone mantener la porosidad en un 21%, mientras que la pérdida por desgaste pasa del 56% al 37%. Para esta misma mezcla, P-12(10,X), con un porcentaje de filler del 2%, un aumento del ligante del 3,5 al 5,5% supone disminuir la pérdida por desgaste de 56 al 30%, pero la poro sidad se ve sensiblemente reducida al pasar de un 21% a un 16%. Este efec to se produce principalmente en las granulometrias más abier-  
tas P-10(10,X), P-12(10,X) y P-20(10,X).

Cuando aumenta la compacidad de la mezcla, el efecto pro ducido por el aumento del filler es semejante al del betún, ambos producen un aumento de la resistencia al desgaste, pero también disminuyen la permeabilidad de la mezcla. Así, por ejemplo, en la granulometría P-10(15,X), para un contenido de ligante de 3,5% un aumento del porcentaje de filler del 2 al 6% supone pasar de una pérdida por desgaste del 53% a una pér did a por des gaste del 27% y de una porosidad del 21% al 18%. Para la misma granulometría, con un porcentaje de filler del 2%, un aumento del contenido de betún del 3,5% al 5,5% supone pa-

sar de una pérdida del 53% a una pérdida del 29% y de una porosidad del 22% a una porosidad del 18%.

Este efecto del filler en el aumento de la resistencia a la disgregación de la mezcla es debido como se verá más adelante a una mejora de la resistencia del mastic al aumentar la relación filler/betón.

Referente al contenido de ligante, una observación de los resultados obtenidos al ensayar los diferentes probetas nos indican que, a igualdad de los restantes componentes de la mezcla y dentro del rango de experimentación (3,5% a 5,5% s/a), a un aumento del contenido de ligante siempre le corresponde una disminución de la pérdida por desgaste. Esta disminución de la pérdida puede en algunos casos alcanzar reducciones de hasta 33 puntos cuando aumentamos el contenido de ligante del 3,5% a 5,5% y el contenido de filler de las mezclas es pequeño. Aunque no siempre se alcanzan disminuciones tan espectaculares, podemos decir como norma general que el aumento del contenido de ligante de 3,5% a 5,5%, puede producir por termino medio una disminución de la pérdida que oscila de 15 a 25 puntos.

Asimismo, se observa que la disminución de la pérdida al aumentar el contenido de ligante es porcentualmente menor cuando mas altos son los contenidos de ligante. Es decir, cuando tenemos una mezcla que tiene un contenido bajo de ligante, un aumento supone una disminución muy importante de la perdida, pero cuando el ligante es suficiente para dar a la mezcla una cohesión adecuada, un aumento del contenido de ligante tiene mucha menos influencia. Este efecto se puede observar en las representaciones gráficas de las perdidas por desgaste en función del contenido de ligante, en los que estas parecen tener un codo pundiendo corresponder a un contenido de ligante suficiente para evitar la disgregación de la mezcla.



De una forma general, si consideramos la disminución total de la pérdida por desgaste de una mezcla al aumentar el contenido de ligante de la mezcla del 3,5% al 5,5%, se puede decir que un aumento del 3,5% al 4,5% produce una disminución de las pérdidas que la podemos evaluar en un 75% de la pérdida total, mientras que el aumento del 4,5% al 5,5% supone el 25% restante.

#### 6.1.2. INFLUENCIA DEL PORCENTAJE DE FINOS

El aumento del porcentaje de arido fino produce también un aumento de la resistencia de desgaste, como puede observarse en las figuras 6.13, 6.14 y 6.15, al compararse dos granulometrías con un porcentaje de 10 y 15% y los mismos porcentajes de filler y betún.

La disminución que produce este aumento del arido fino en la resistencia a la pérdida por desgaste no es tan importante como la producida por el filler ó el betún. Un aumento del 10 al 15% en el contenido de árido fino, apenas supone una reducción de 7 a 10 puntos en la pérdida por desgaste, mientras que variaciones de betún de 3,5 a 5,5% y del filler del 2 al 6% suponen a veces disminuir entre 20 y 25 puntos la pérdida por desgaste.

Por otra parte, el porcentaje de arido fino influye de una manera muy significativa en la porosidad de estas mezclas. En los ensayos realizados en laboratorio, estudiando la porosidad de estas mezclas, se obtuvo que es necesaria una

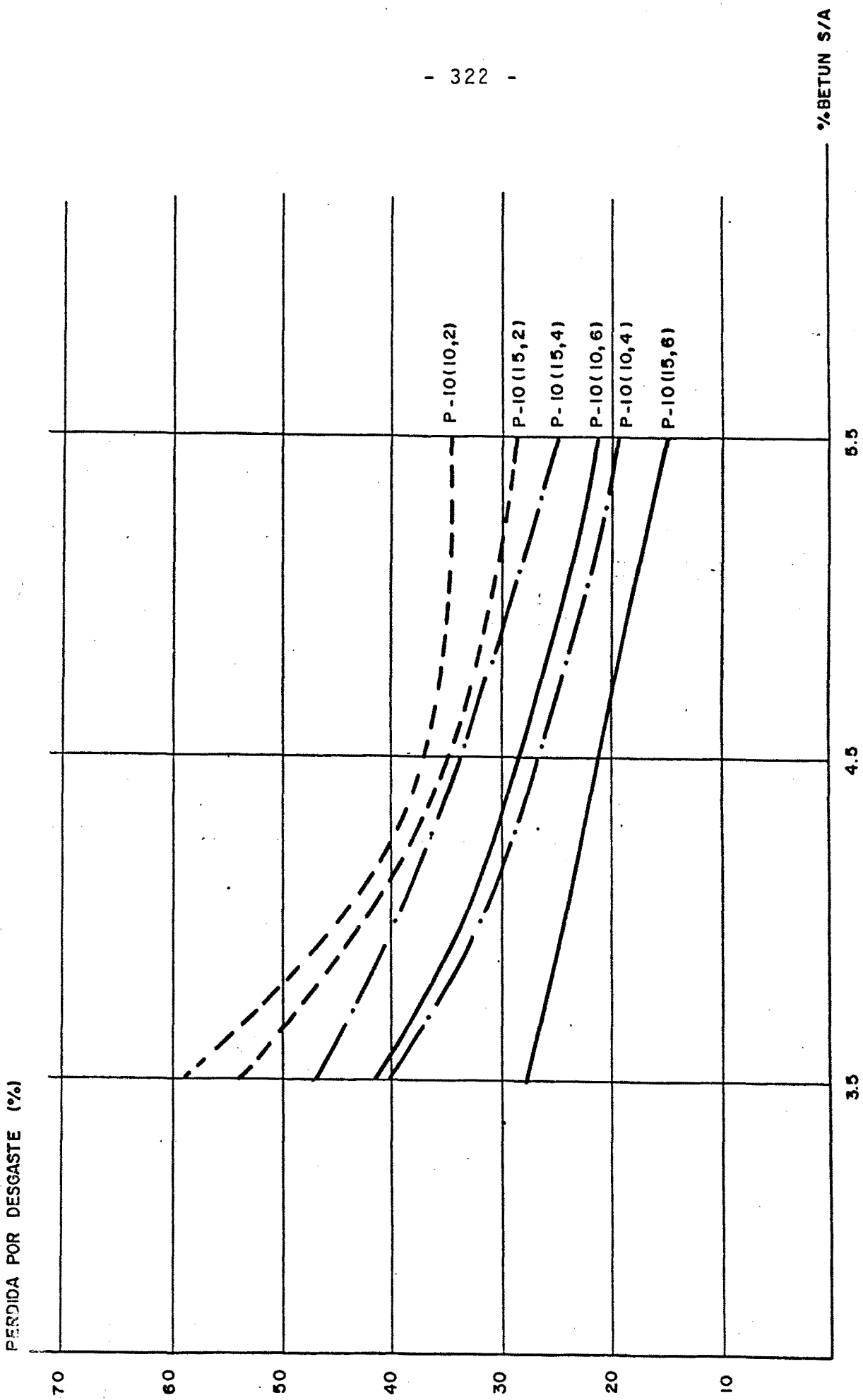


FIG.6.13. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FINOS Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE.

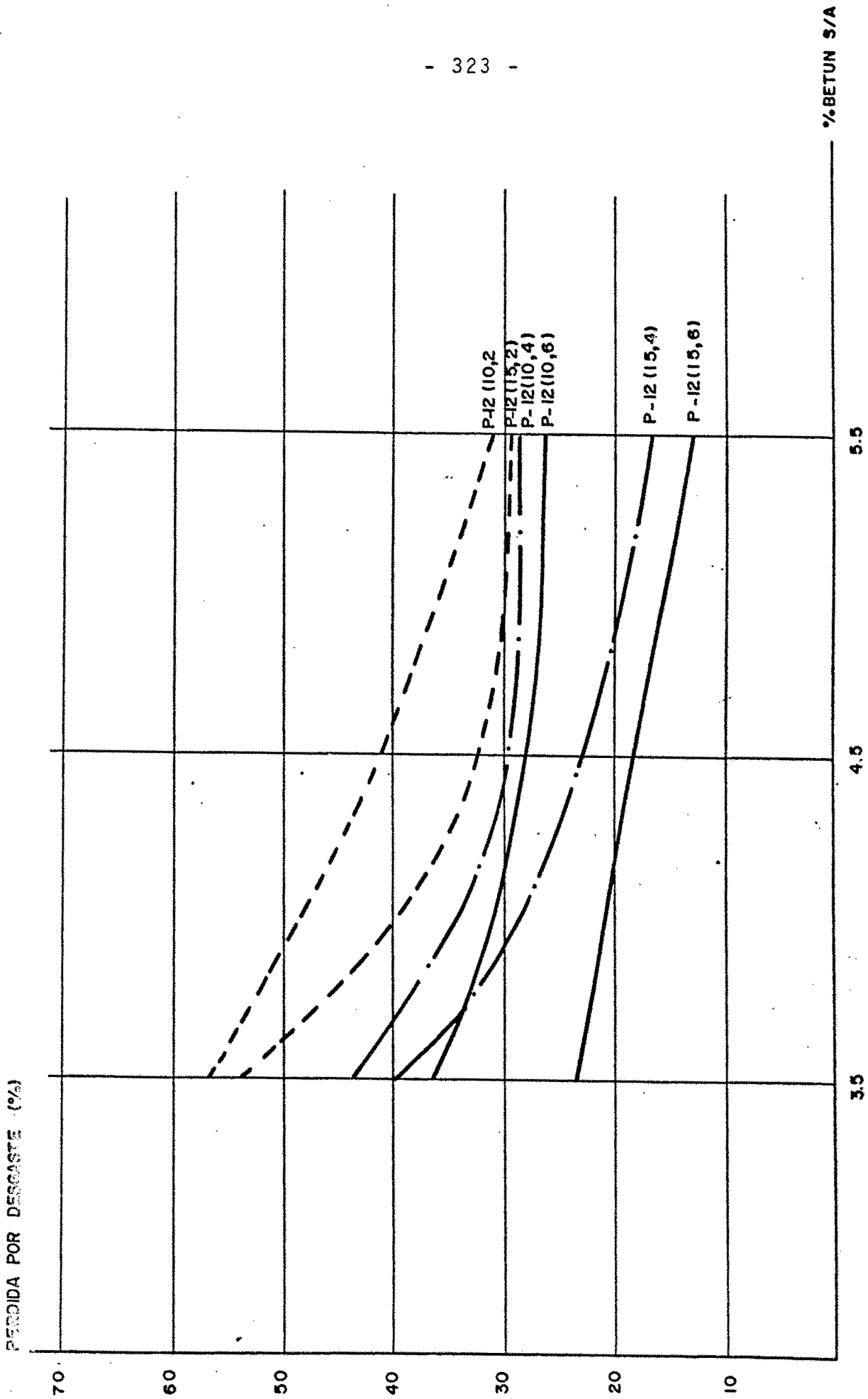


FIG.6.14. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FINOS Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE.

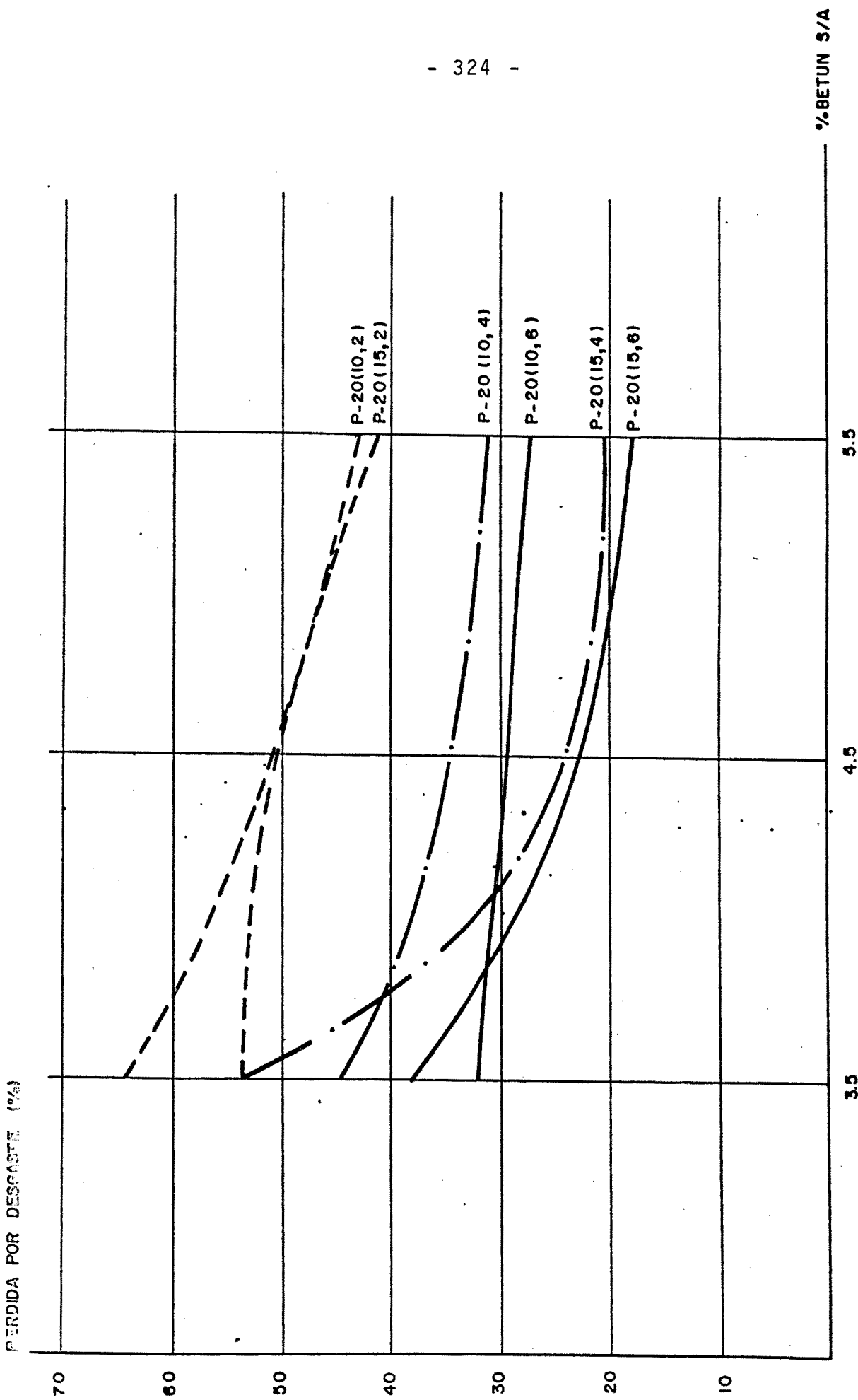


FIG.6.15 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL PORCENTAJE DE FINOS Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE .

% BETUN S/A

porosidad del 17% para obtener una permeabilidad de  $10^{-2}$  cm/s. Si establecemos este valor como porosidad aconsejable a conseguir en estas mezclas, vemos en las figuras 6.7 a 6.12, que con todas las granulometrías con un porcentaje de arido fino del 10% la podemos obtener, independientemente del porcentaje de betún y filler empleados. Es decir, empleando estas granulometrías podemos seleccionar entre diferentes porcentajes de filler y de betún que nos permiten obtener una porosidad y resistencia al desgaste adecuada.

Las granulometrías con un 15% de finos son bastante mas impermeables. Debemos de ser muy estrictos en su composición sin queremos obtener una permeabilidad y resistencia al desgaste adecuada, ya que esto sólo se consigue para unos rangos pequeños del contenido de betún y filler y pequeños aumentos en estos componentes conducen a mezclas de baja permeabilidad.

### 6.1.3. INFLUENCIA DEL TAMAÑO MAXIMO

Referente a la influencia del tamaño máximo, se observa, (figuras 6.16 a 6.22), que las mezclas fabricadas con un tamaño máximo de 20 mm, tienen normalmente una pérdida superior a las fabricadas con un tamaño máximo inferior, P-10 y P-12, haciéndose más ostensible esta diferencia cuando el porcentaje de filler es más bajo.

El obtener mayores valores de la pérdida por desgaste cuando se emplea en las mezclas el tamaño máximo de 20 mm podría ser debido, o bien, a una pérdida de la resistencia a la

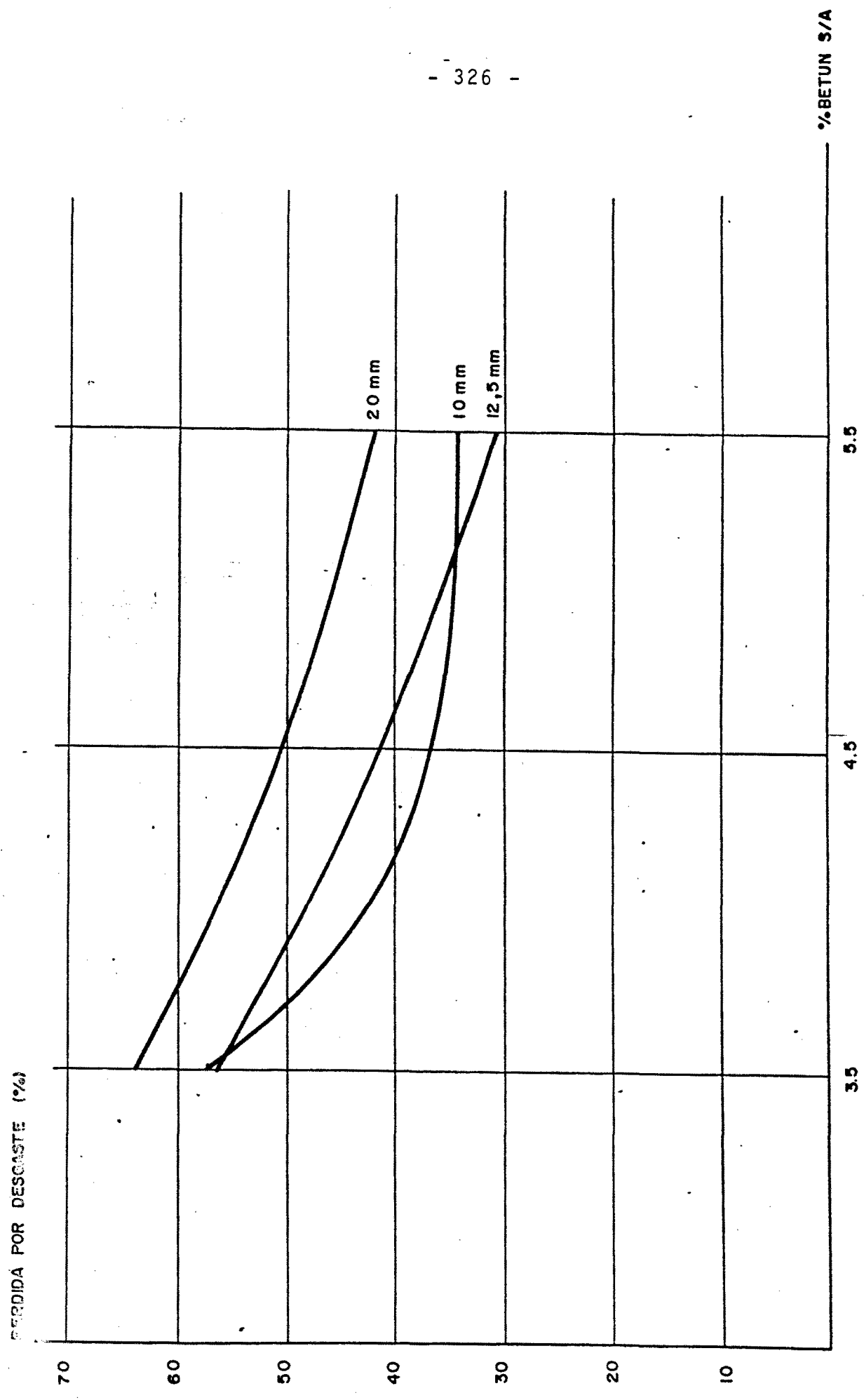


FIG.6.16 . - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL TAMAÑO MAXIMO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE: GRANULOMETRIA PX (10, 2)

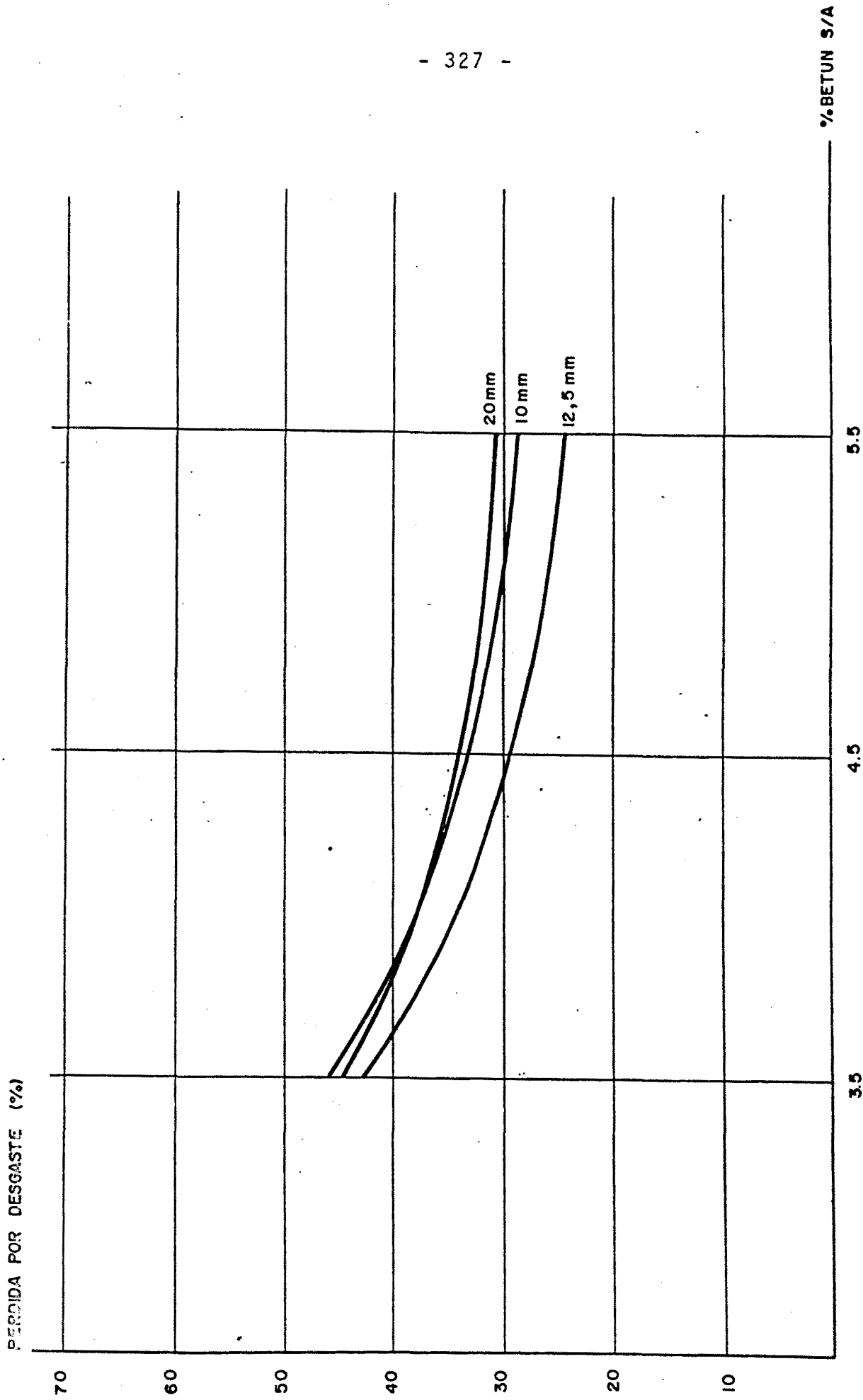


FIG.6.17. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL TAMAÑO MAXIMO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA PX (10,4)

% BETUN S/A

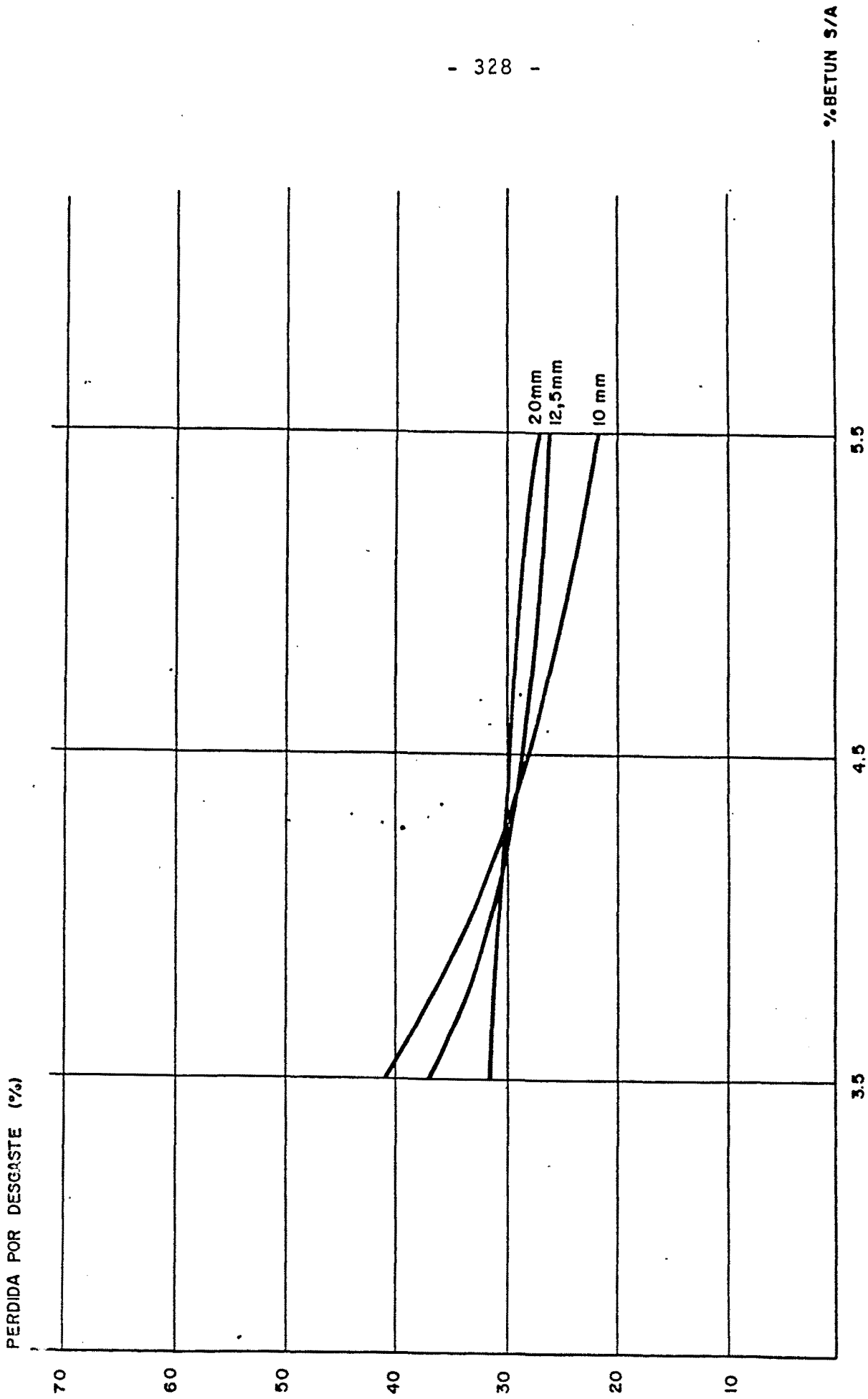


FIG.6.18. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL TAMAÑO MAXIMO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA PX (10,6)



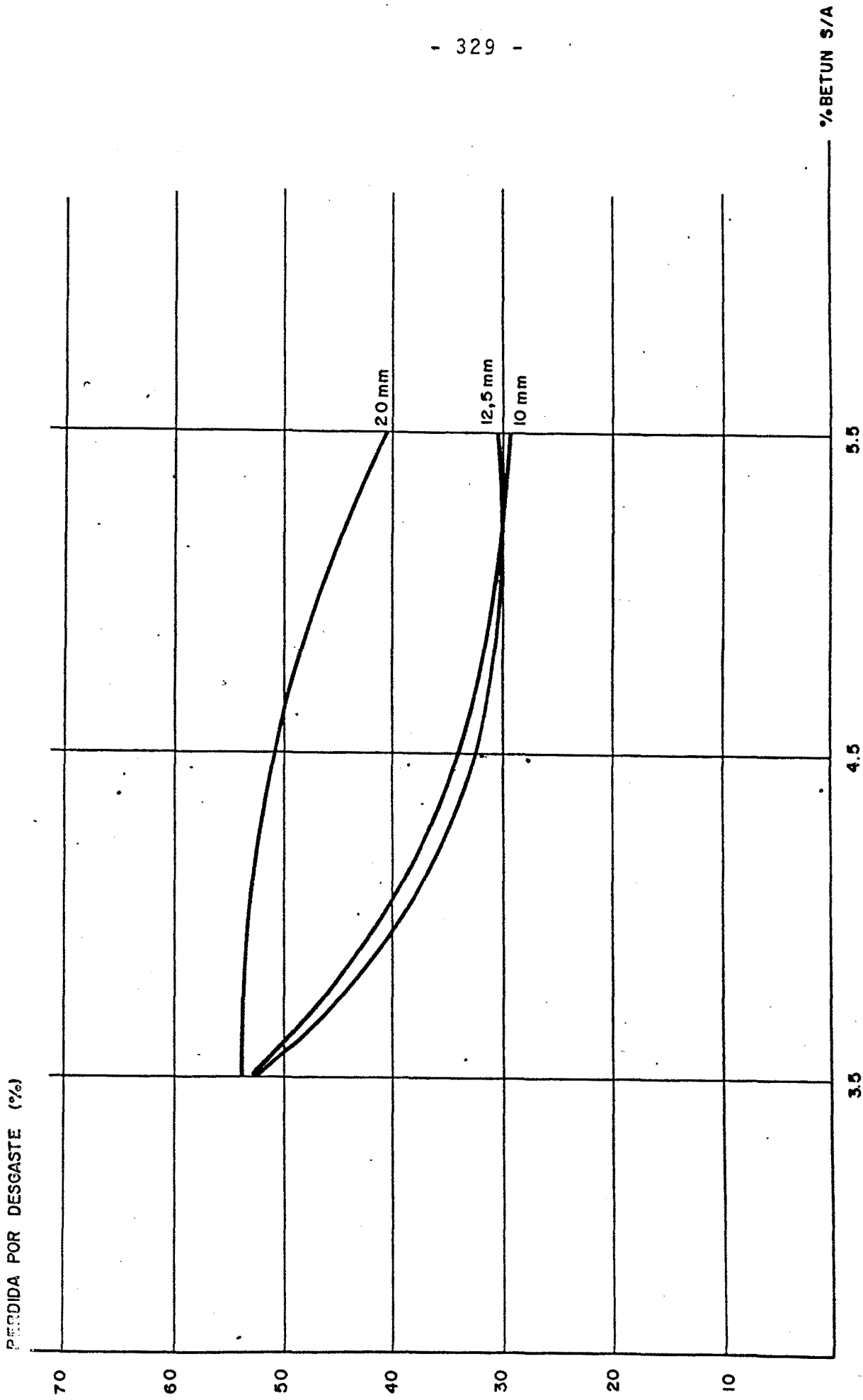


FIG. 6.19. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL TAMAÑO MAXIMO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA PX (15,2)

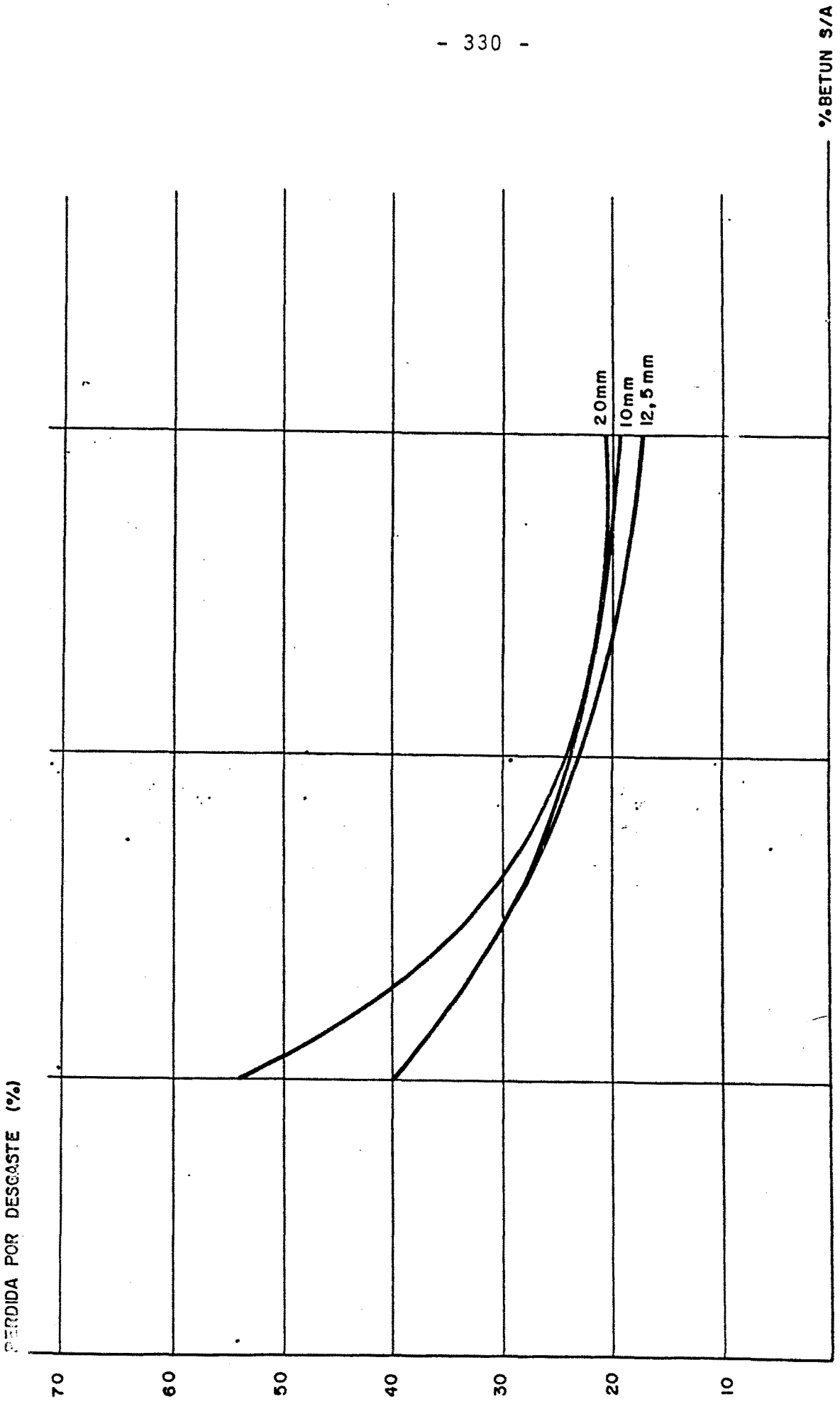


FIG.6.2Q - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL TAMAÑO MAXIMO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA PX (15,4)

%BETUN S/A

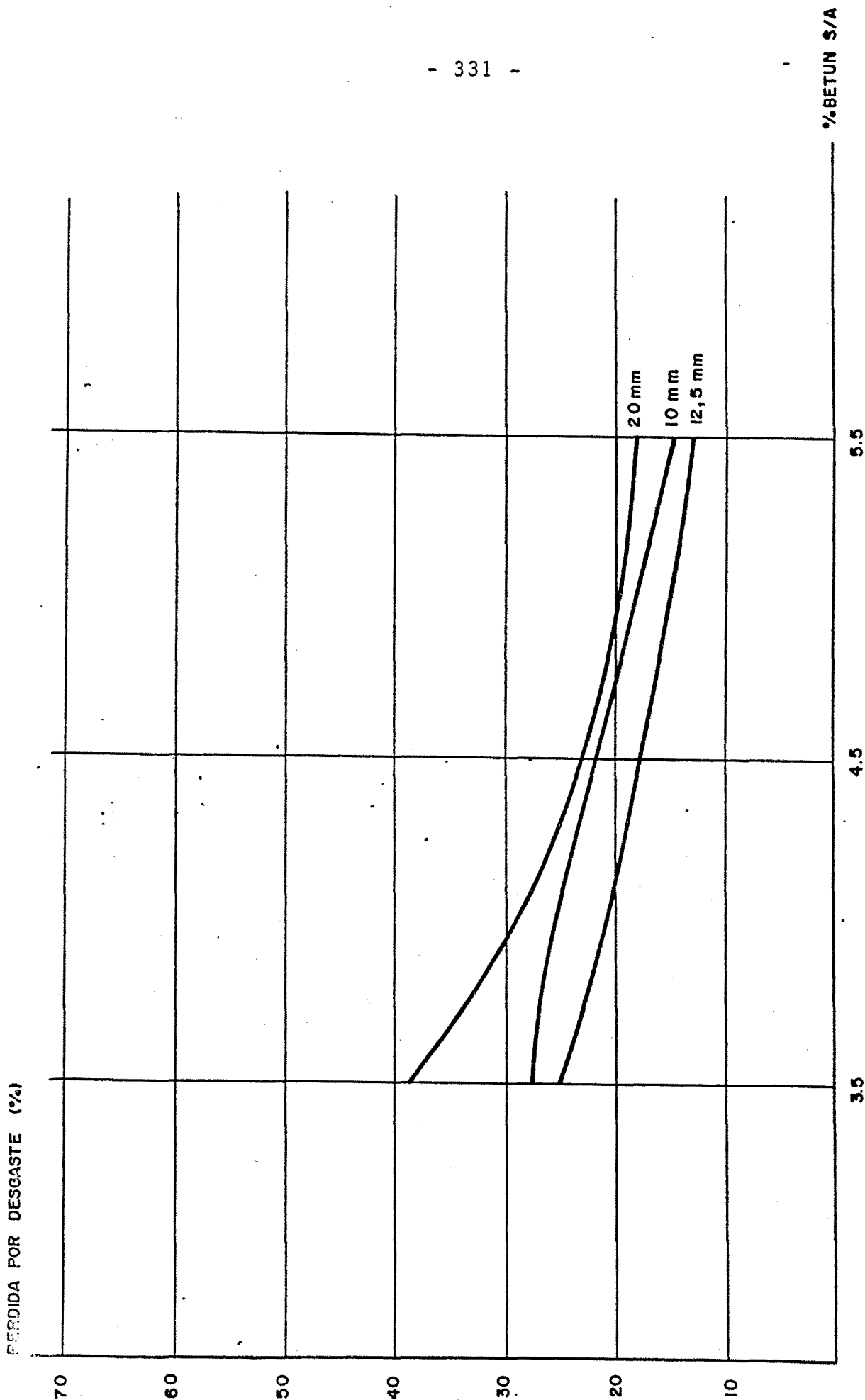


FIG. 6.21. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE EN FUNCION DEL TAMAÑO MAXIMO Y EL PORCENTAJE DE LIGANTE. GRANULOMETRIA PX (15,6)

disgregación de la mezcla al aumentar su tamaño máximo, ó bien, ser una característica propia del ensayo, como consecuencia de que al ser mayor el tamaño del arido desprendido, aumentase también el peso de pérdida por desgaste en mezclas de similar trabazón y cohesión.

A la hora de fijar unas recomendaciones sobre los valores mínimos a exigir en cuanto resistencia al desgaste, podría por tanto ser necesario considerar el tamaño máximo del árido empleado. No obstante, en la dosificación de estas mezclas es normal no utilizar tamaños superiores a los empleados en la fabricación de las mezclas tipo P-12 (100% del arido pasa por el tamiz 20 UNE, tamaño máximo del arido comprendido entre 12 y 20 mm). Para estas mezclas y las tipo P-10 (100% del arido pasa por el tamiz 12 UNE) practicamente no existe diferencia entre los resultados.

#### 6.1.4. INFLUENCIA DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN LA PERDIDA POR DESGASTE

Otro aspecto que se tuvo en cuenta a la hora de analizar el ensayo de pérdida por desgaste fue la energía de compactación de las probetas, midiendo esta energía mediante el número de golpes de compactadora Marshall que recibe la probeta en cada una de sus caras.

Para realizar este estudio, se procedió a ensayar las granulometrías P-10 (10,4) y P10 (15,4), fabricando 5 probetas por contenido de ligante: 3,5, 4,5 y 5,5 s/a, granulometría y energía de compactación. Las energías de compactación sobre las que se ha realizado el estudio han sido: 25, 50 y 75 golpes. En to-

tal el estudio se ha realizado sobre 90 probetas. Los resultados obtenidos al realizar la media de 5 probetas se recogen en las tablas 6.3 a 6.6.

En las figuras 6.22 y 6.23 se han representado la variación de la pérdida por desgaste en función de la energía de compactación, para las granulometrias P-10(10,4) y P-10(15,4).

Una primera observación de los gráficos nos indica que a todo aumento de energía de compactación le corresponde una disminución de la pérdida por desgaste. También se observa que al aumentar la energía de compactación de 25 a 50 golpes, porcentualmente, se produce una disminución de la pérdida mayor que la obtenemos al aumentar la energía de 50 a 75 golpes.

Lo mismo ocurre con la relación huecos en mezcla y energía de compactación, figuras 6.24 y 6.25. Para la mezcla P-10(10,4), aumentar la energía de 25 a 50 golpes supone una disminución del porcentaje de huecos de 4 puntos, mientras que el aumento de la energía de 50 a 75 golpes supone únicamente una reducción del porcentaje de huecos de 0,5 puntos. Para la mezcla P-10(15,4) un aumento de la energía de 25 a 50 golpes supone una disminución de 4 puntos, mientras que un aumento de 50 a 75 golpes supone una disminución de 1.5 puntos.

## 6.2. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA RELACION FILLER/BETUN EN LA RESISTENCIA A LA PERDIDA POR DESGASTE

Los resultados obtenidos en la evaluación del comportamiento de las mezclas porosas ante el ensayo Cántabro de pérdida por desgaste, ponen de manifiesto la notable influencia que tanto el filler como el betún tienen en el comportamiento de estas mezclas.

% BETUN	ENERGIA DE COMPACTACION		
	25	50	75
3.5	56,5	48,1	38,2
4.5	47,4	32,4	23,5
5.5	35,8	27,4	20,5

TABLA 6.3. INFLUENCIA DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN LA PERDIDA POR DESGASTE DE UNA MEZCLA P.10(10,4).

% BETUN	ENERGIA DE COMPACTACION		
	25	50	75
3.5	25,4	22,1	21,9
4.5	24,3	20,1	19,8
5.5	22,4	18,0	17,5

TABLA 6.4. INFLUENCIA DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN LA PERDIDA POR DESGASTE DE UNA MEZCLA P-10(10,4)

% BETUN	ENERGIA DE COMPACTACION		
	25	50	75
3.5	56,4	41,8	34,2
4.5	41,1	28,6	23,2
5.5	37,9	24,9	18,6

TABLA 6.5. INFLUENCIA DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN LA PERDIDA POR DESGASTE DE UNA MEZCLA P.10(15,4).

% BETUN	ENERGIA DE COMPACTACION		
	25	50	75
3.5	23.4	19.1	17.9
4.5	21,2	17,1	15,2
5.5	20,6	15,1	12,8

TABLA 6.6 .- INFLUENCIA DE LA ENERGIA DE COMPACTACION EN LA PERDIDA POR DESGASTE DE UNA MEZCLA P10(15,4).

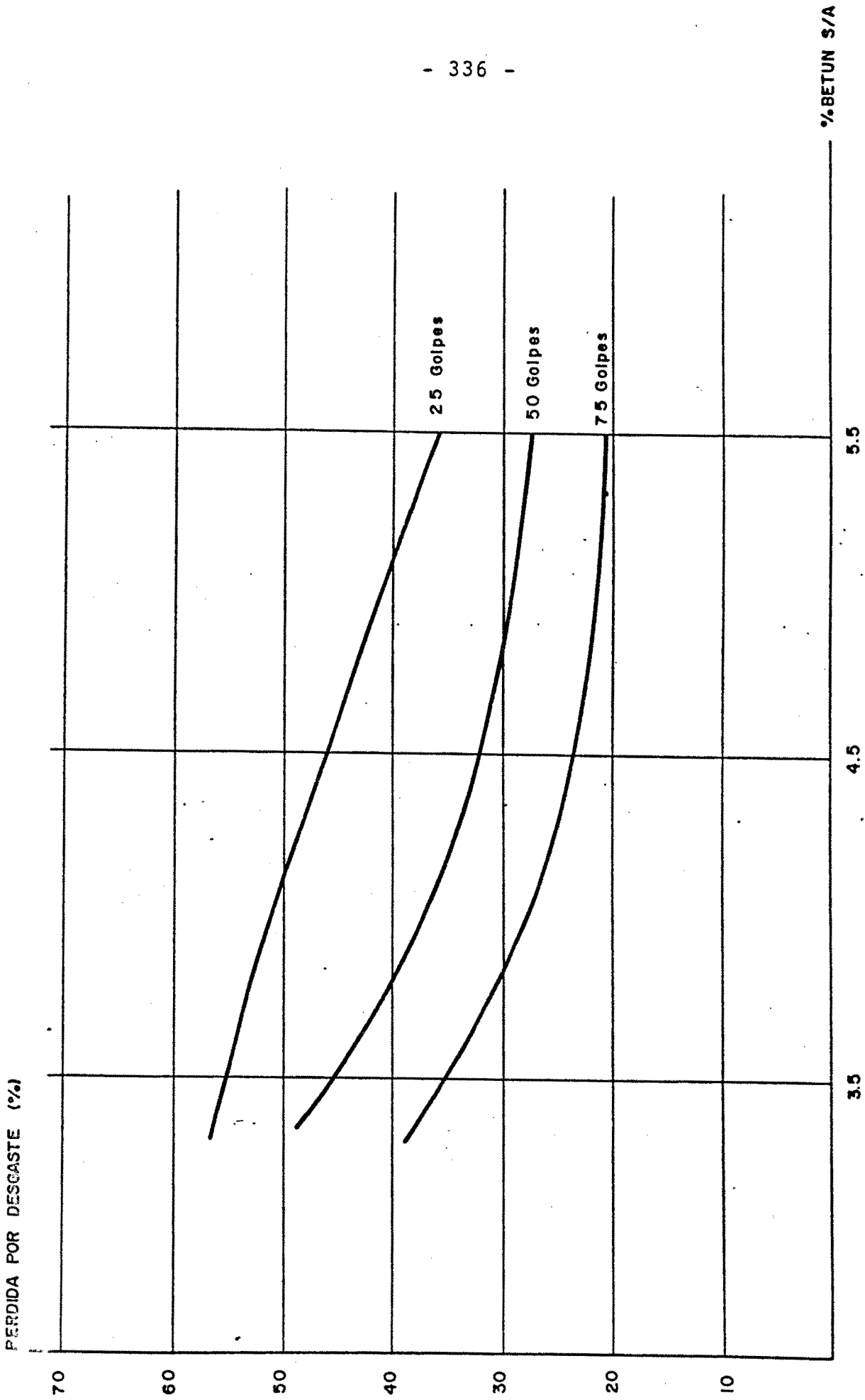


FIG. 6.22. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE DE LA ENERGIA DE COMPACTACION Y EL PORCENTAJE DE BETUN : GRANULOMETRIA P-10(10,4)



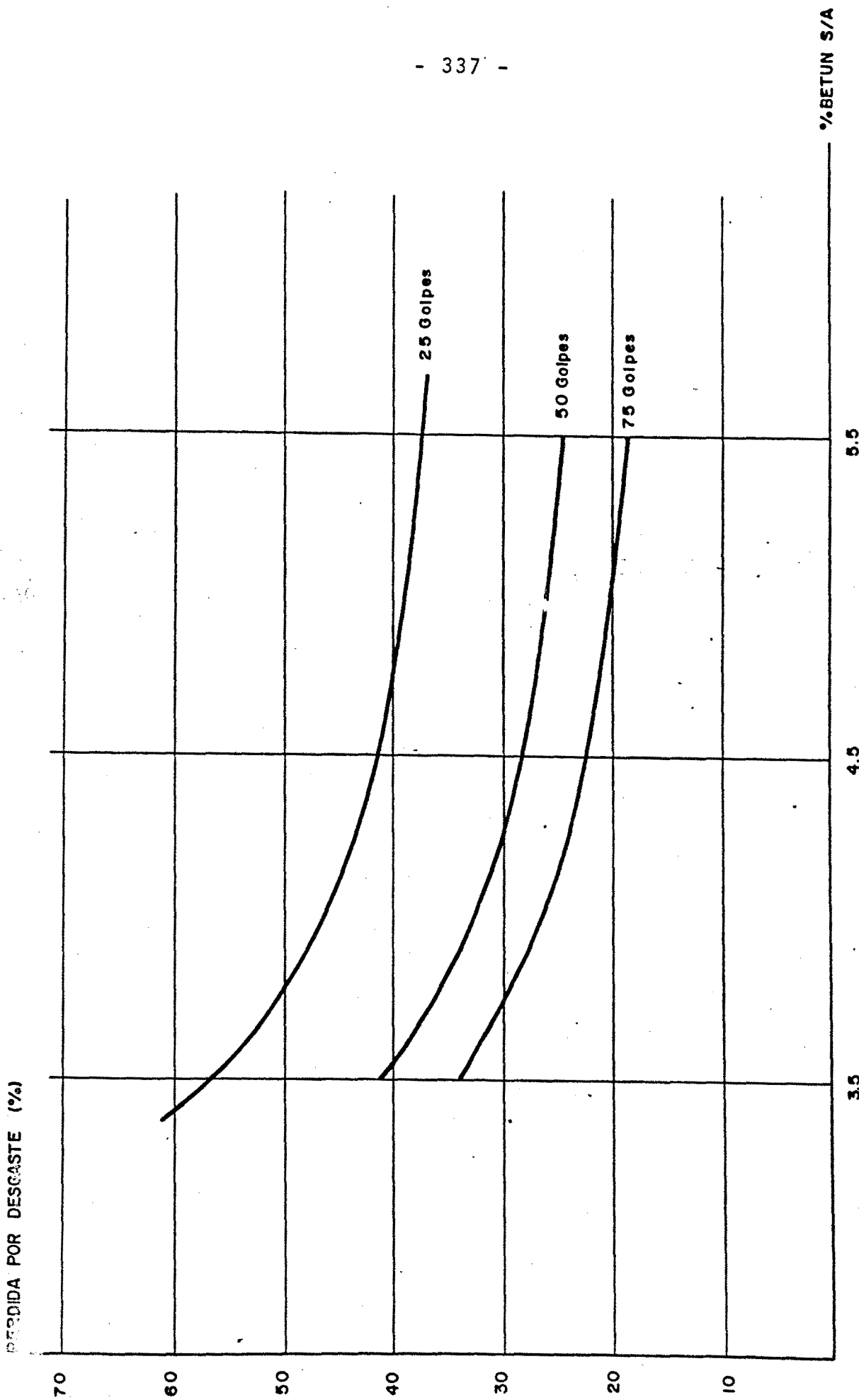


FIG.6.23. - VARIACION DE LA PERDIDA POR DESGASTE DE LA ENERGIA DE COMPACTACION Y EL PORCENTAJE DE BETUN . GRANULOMETRIA P-10 (15, 4)

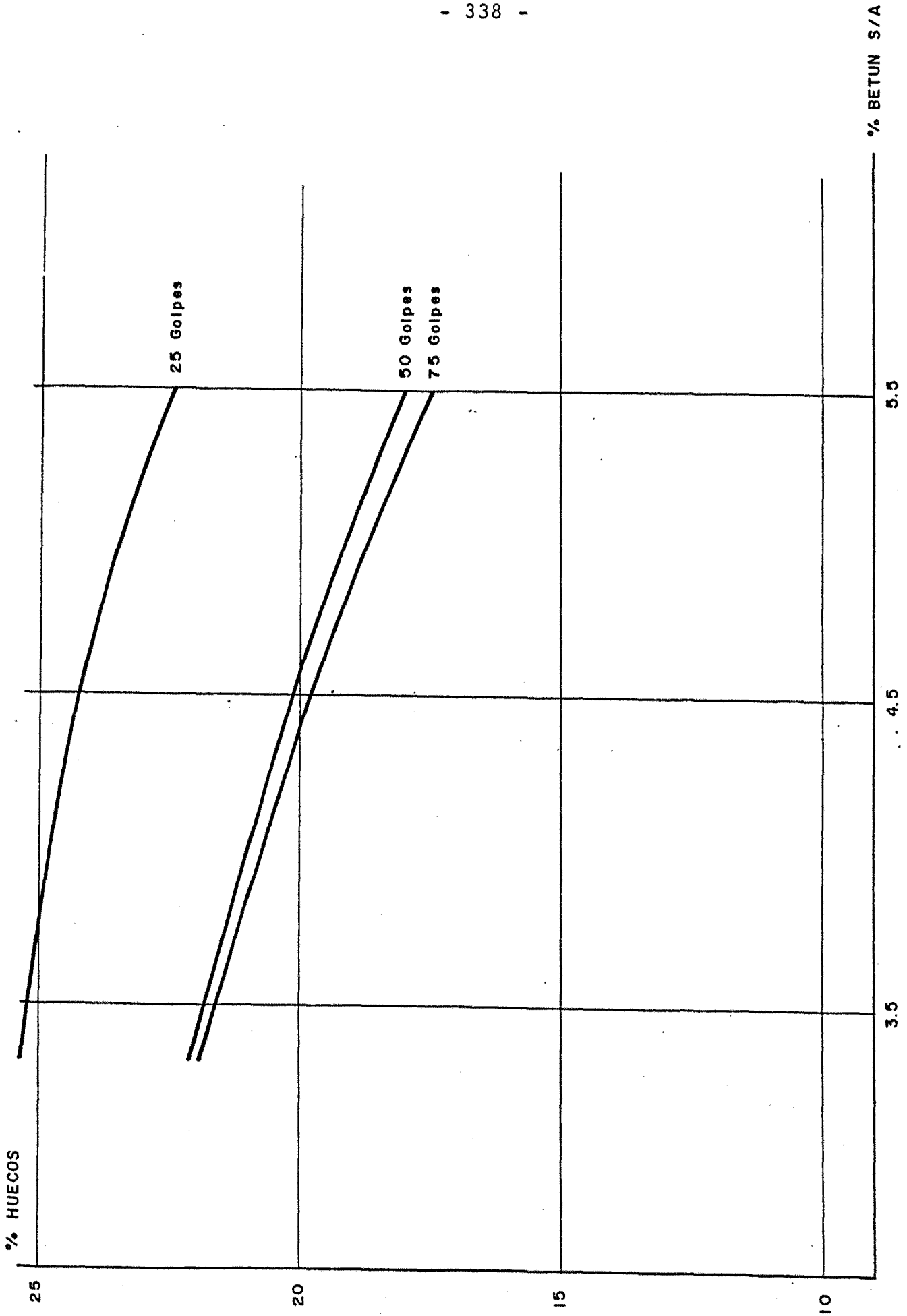


FIG. 6.24. - VARIACION DEL PORCENTAJE DE HUECOS CON LA ENERGIA DE COMPACTACION.  
GRANULOMETRIA P - 10 (10,4)

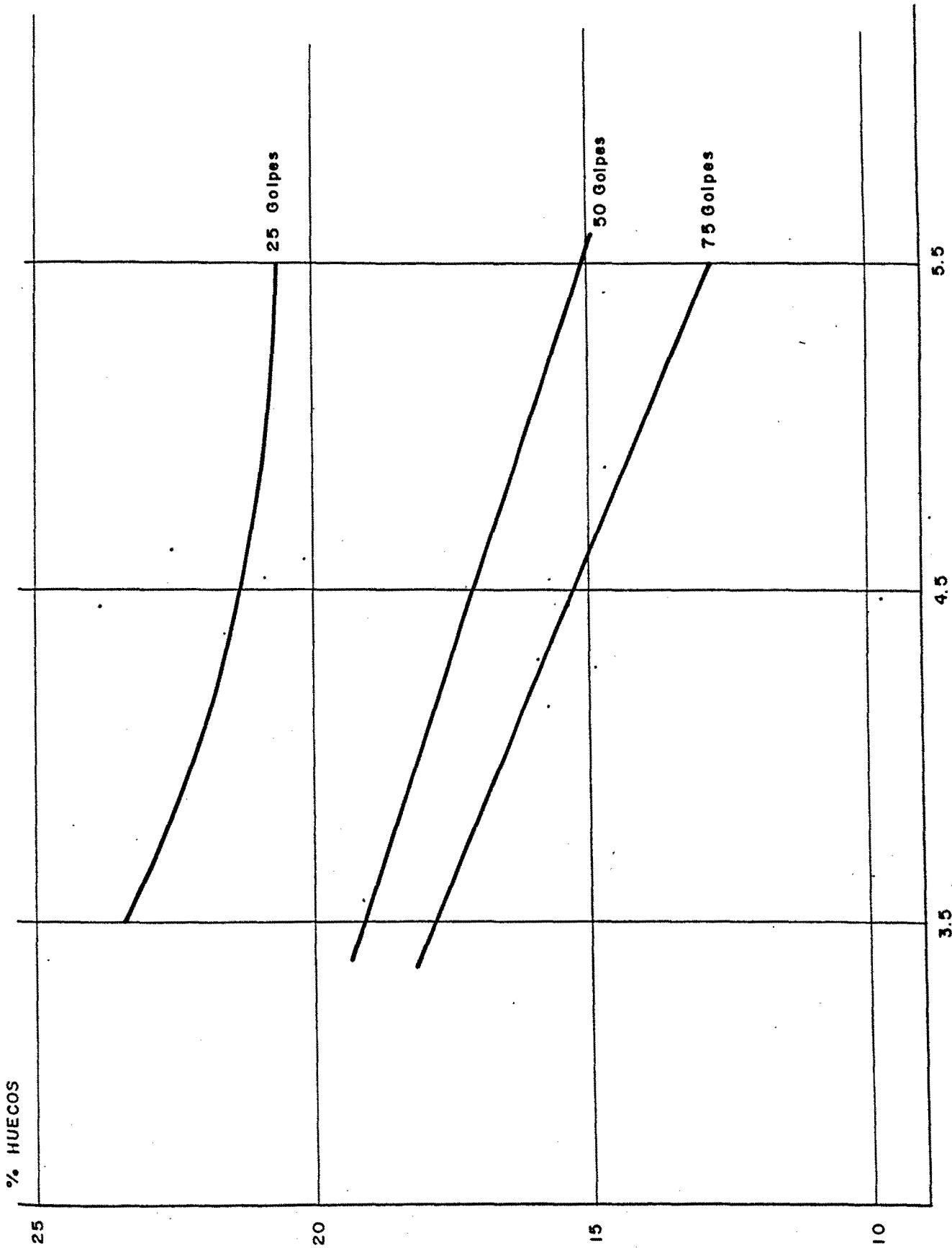


FIG.6.25. - VARIACION DEL PORCENTAJE DE HUECOS CON LA ENERGIA DE COMPACTACION.  
GRANULOMETRIA P - 10 (15, 4)

En el apartado anterior hemos analizado la influencia de cada uno de estos dos componentes por separado. Conviene realizarlo conjuntamente, ya que son principalmente las propiedades del mastic bituminoso, las que proporcionan a la mezcla su resistencia a la deformación y a la disgregación.

El filler se adiciona a las mezclas bituminosas con el fin de aumentar su estabilidad y resistencia. Al mezclarse el filler con el betún, se ven modificadas las propiedades de éste, aumentando notablemente su viscosidad.

Este aumento en la viscosidad del betún supone una mayor resistencia a la deformación de la mezcla. Ahora bien, si continuamos aumentando la relación filler/betún, el mastic va perdiendo su ductilidad, su resistencia a la deformación, se vuelve más agrio y rompe fragilmente.

Esto puede observarse en las figuras 6.26 y 6.27 donde se representa la variación de la viscosidad de un ligante y de su resistencia a la deformación al modificar la relación filler/betún.

El óptimo en la relación filler/betún va a depender de las características del filler y del ligante y también, naturalmente, de la propiedad que queramos optimizar. No es lo mismo optimizar la ductilidad ( $f/b=0$ ), que aumentar su viscosidad ( $f/b=3$ ), figura 6.26, para el filler calizo. En nuestro caso vamos buscando un aumento de la viscosidad y resistencia a la deformación del ligante, pero sin que esto suponga un aumento de su fragilidad.

Los resultados obtenidos muestran que este óptimo en la relación filler/betún depende del porcentaje de betún empleado y de las características de la mezcla, pero que en todos los casos existe una relación filler/betún a que se consigue una resistencia óptima al

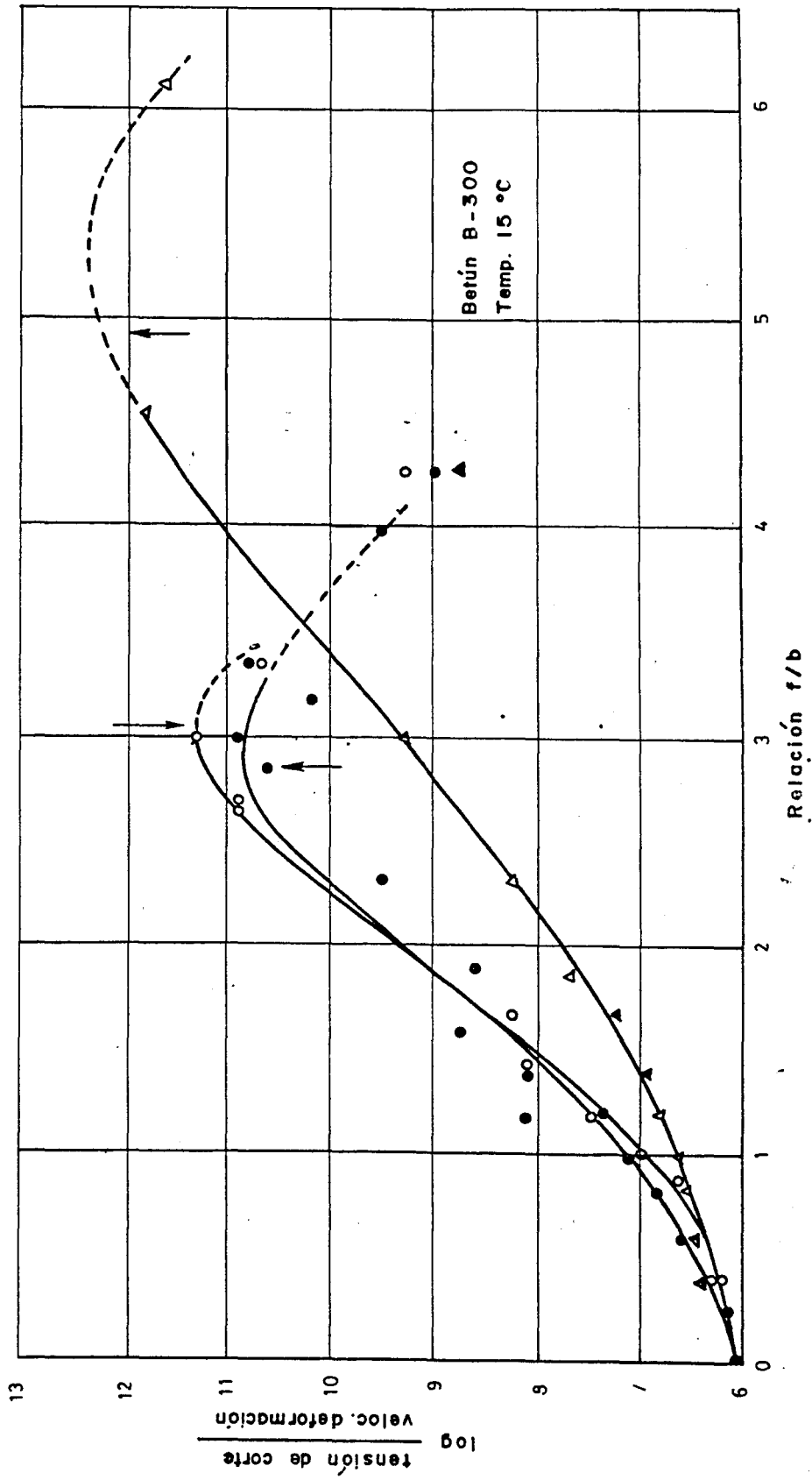


FIG. 6.26. - EFECTO DE LA CONCENTRACION DE FILLER SOBRE LA VISCOSIDAD DE UN BETUN (RIGDEN)

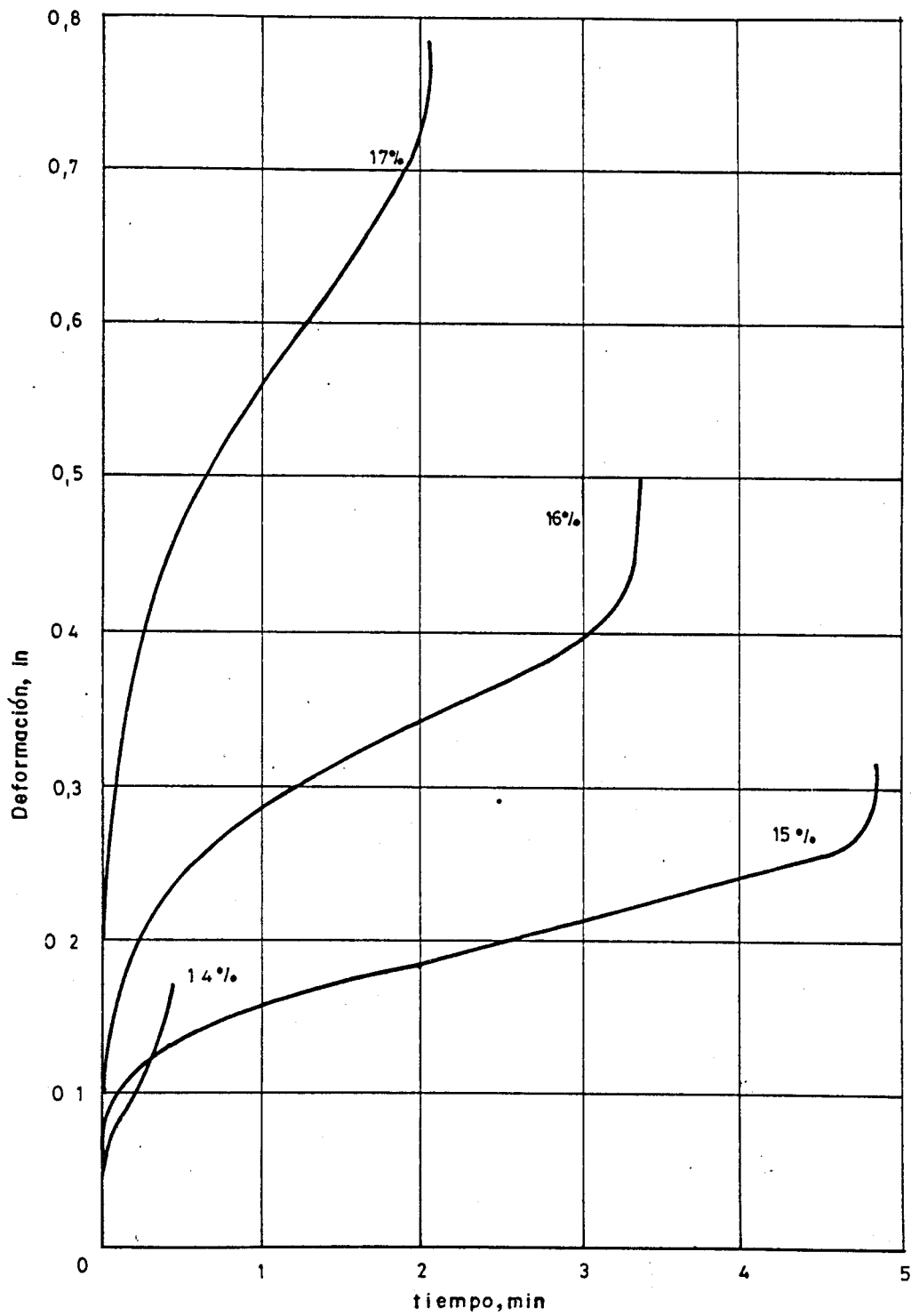


FIG. 6.27.- CURVAS DE FLUENCIA MOSTRANDO EL EFECTO DEL PORCENTAJE DE FILLER EN LA MEZCLA (RIGDEN)

desgaste.

Este estudio ha sido realizado con una granulometría tipo P-10(15,X) de la que se han fabricado tres series distintas de probetas, en las que se han mantenido los porcentajes de betún empleados en cada una de ellas, 3,0, 4,25 y 5,5% y en las que se ha modificado la relación filler betún desde 0 hasta 5.

Los áridos empleados son ofíticos, al igual que en el estudio anterior. El ligante es un betún de penetración B-60/70 y se ha empleado cemento PA-350, como filler de aportación.

Los valores obtenidos en el ensayo de estas tres series de mezclas están recogidos en las tablas 6.7 y 6.8 han sido representados en las figuras 6.28 6.29 y 6.30.

La influencia de la relación filler/betún en la respuesta de la mezcla en el ensayo de desgaste, puede observarse claramente en la figura 6.28, donde se representa la variación de la pérdida de desgaste con el incremento en la relación filler/betún, para los tres porcentajes de betún ensayos, 3,0, 4,25 y 5.5.

En los tres casos se observa que manteniendo el porcentaje de betún, la pérdida por desgaste disminuye al aumentar la relación filler/betún, hasta alcanzar un valor, que claramente se observa en la curva del 3,5 de ligante, en que la mezcla se hace menos resistente y aumenta rápidamente las pérdidas

RELACION FILLER/BETUN											
SERIE	% BETUN	0	0,6	1,0	1,4	2,2	2,6	3,0	3,5	4	5
1	3	71,3	66,3	52,7	50,4	32,1	26,5	29,1	42,9	54,4	72,8
2	4,25	42,2	34,6	24,4	21,4	14,5	11,7	12,6	10	-	-
3	5,5	33,2	19,7	14	12,4	10,1	10,3	10,8*	-	-	-

\* 5% Betún

TABLA 6.7. ESTUDIO DE LA RELACION FILLER/BETUN. VALORES MEDIOS DE LA PERDIDA POR DESGASTE.



RELACION FILLER/BETUN												
SERIE	% BETUN	0	0,6	1,0	1,4	2,2	2,6	3,0	3,5	4,0	5,0	
1	3	25,2	24,7	23,6	23,9	21,9	21,4	21,6	21,2	21,2	20,1	
2	4,25	22,4	21,1	20,3	20,4	17,9	17,4	17,3	16,0	-	-	
3	5,5	21,2	19,1	18,3	16,7	15,0	14,6	17,8*	-	-	-	

\* 5% Betún

TABLA 6.8. ESTUDIO DE LA RELACION FILLER/BETUN. VALORES MEDIOS DE LA POROSIDAD.

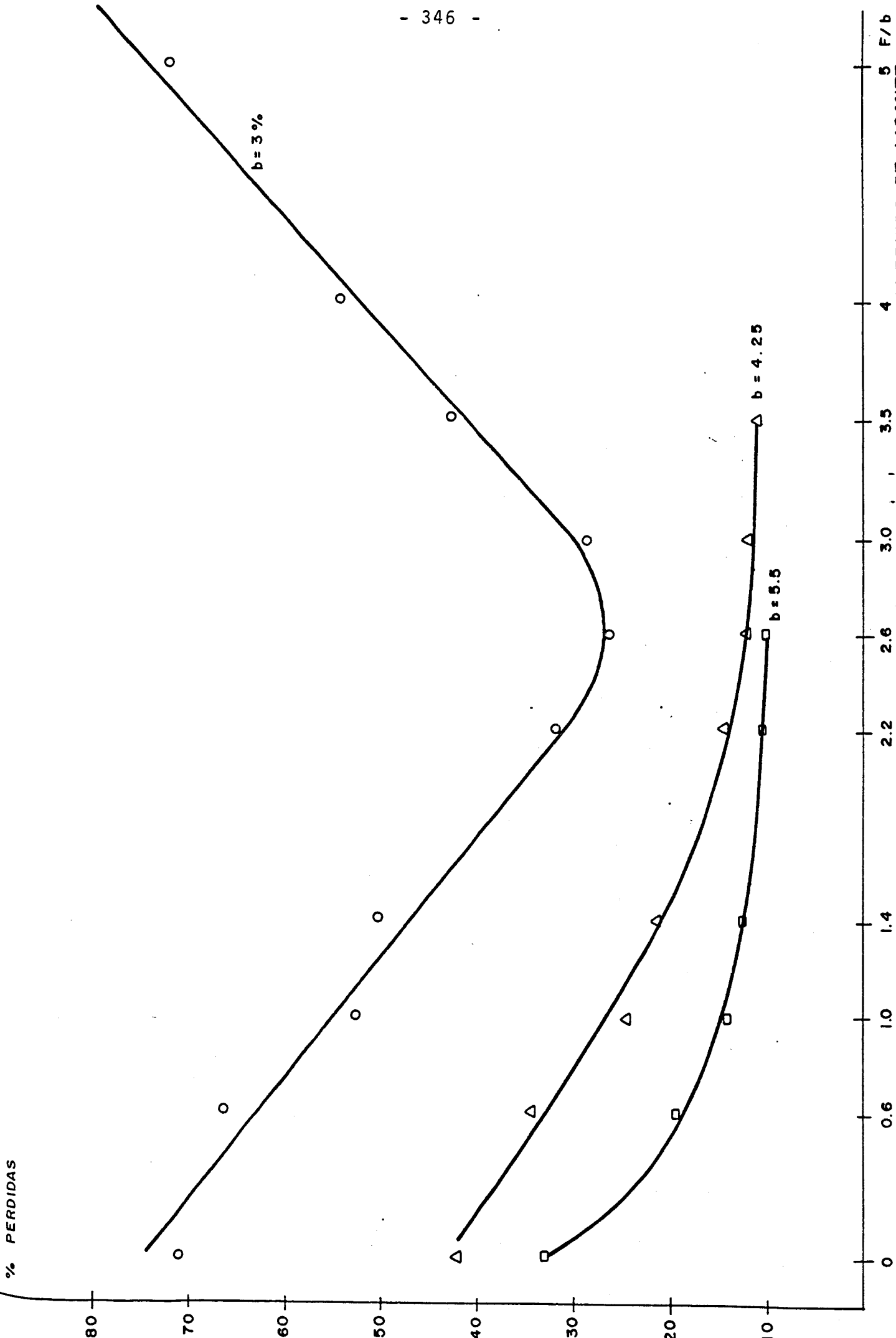


FIG. 6.28.-VARIACION DE LA PERDIDA DE DESGASTE CON LA RELACION FILLER/ BETUN Y EL CONTENIDO DE LIGANTE

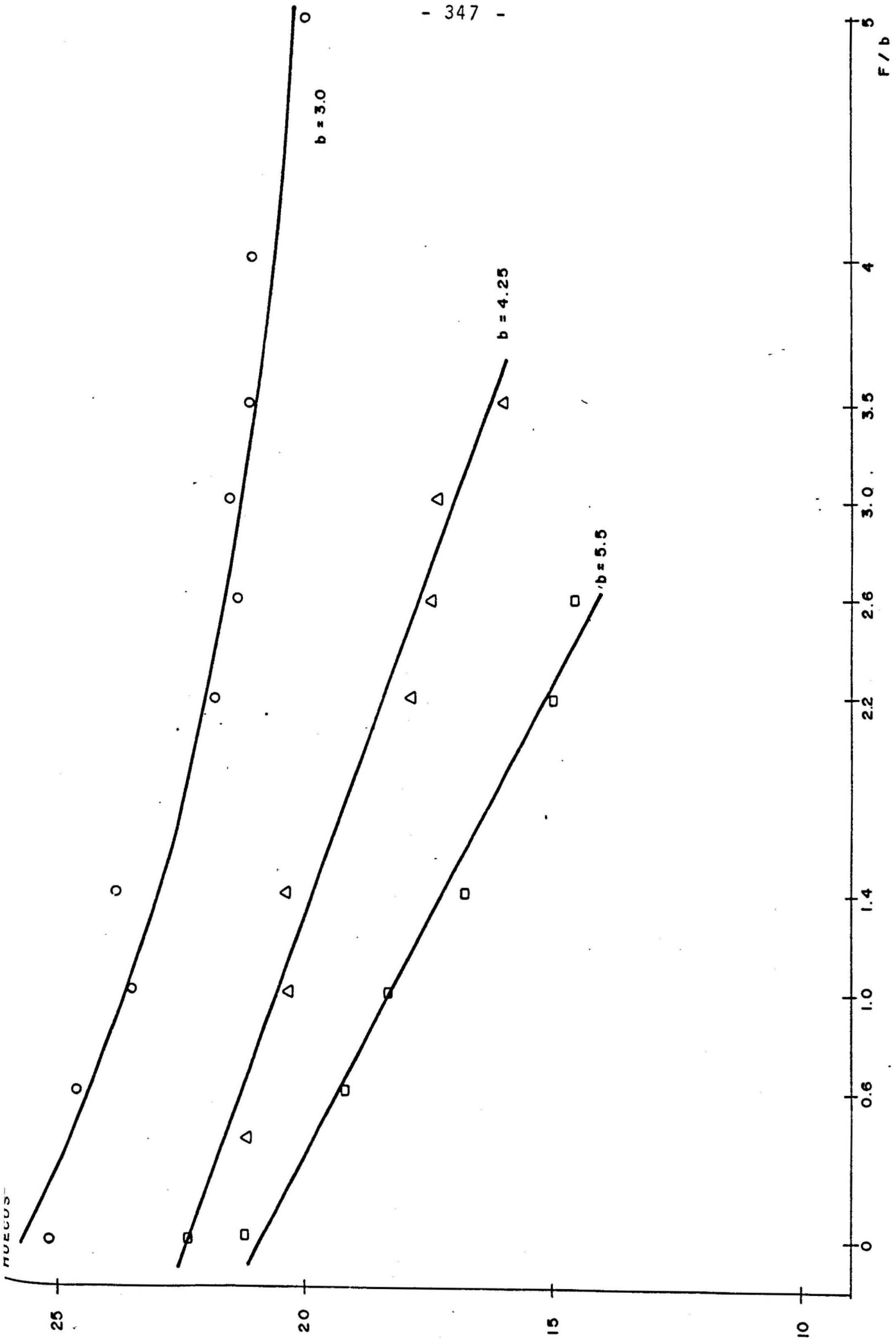


FIG. 6.29.- VARIACION DEL PORCENTAJE DE HUECOS

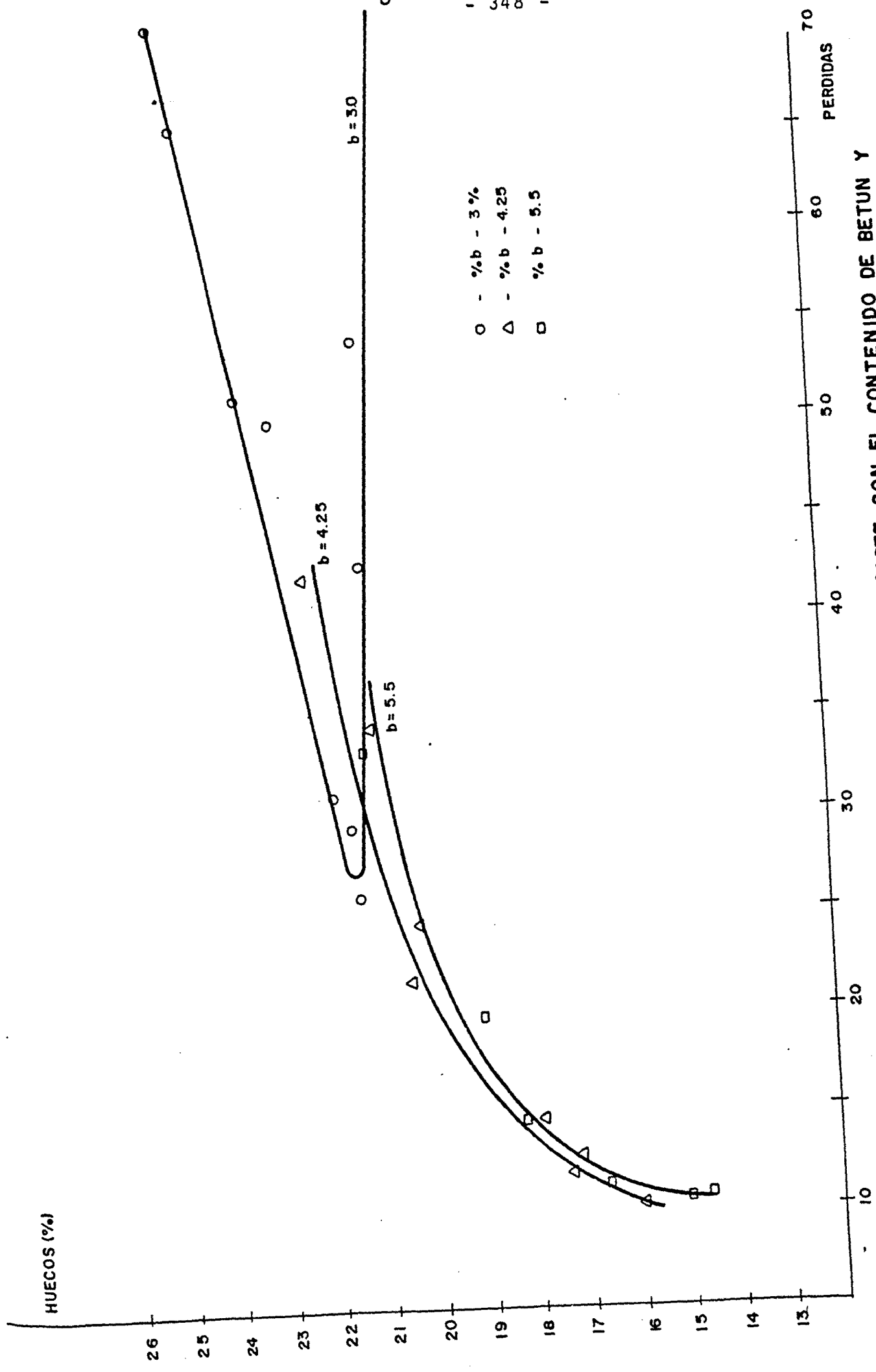


FIG. 6.30.- VARIACION DE LA RELACION HUECOS PERDIDA POR DESGASTE CON EL CONTENIDO DE BETUN Y LA RELACION FILLER / BETUN

por desgaste. Este aumento de la pérdida por desgaste ha de estar relacionado con la modificación de las propiedades del mastic, ya que la mezcla continua cerrando huecos y aumentando su compacidad, como puede observarse en la figura 6.29. Esto puede observarse también en la figura 6.30, donde se representa la variación de huecos-pérdidas para la mezcla ensayada.

## CAPITULO 7

CONCLUSIONES

## 7. CONCLUSIONES

Se recogen aquí los resultados obtenidos al aplicar el ensayo Cántabro de pérdida por desgaste en la caracterización de mezclas bituminosas de granulometría abierta, fabricadas en caliente, empleadas como capa especial de rodadura, mezclas bituminosas porosas.

1. Las capas de mezcla bituminosa porosa, constituyen un tipo especial de pavimento, adecuado para mejorar las condiciones de seguridad y comodidad del tráfico rodado, particularmente, a altas velocidades y/o en presencia de lluvia.
2. El fallo de este tipo de pavimentos se produce como consecuencia de la disgregación de la mezcla por el efecto de los esfuerzos tangenciales del tráfico, con la consiguiente aparición de baches, peladuras, pérdida de la regularidad longitudinal y transversal, etc.
3. Los ensayos mecánicos empleados en la dosificación y caracterización de mezclas bituminosas no resultan satisfactorios cuando son aplicados al proyecto de mezclas bituminosas de granulometría abierta, que van a ser empleadas como capa de rodadura.

En general, esto es debido, o bien a la falta de sensibilidad que presenta el ensayo ante la variación de la composición de la mezcla, o bien por estar relacionado con otras propiedades de la mezcla distintas de la resistencia a la disgregación.

3.1. Ensayo Marshall. Los resultados obtenidos al aplicar el ensayo Marshall ponen de manifiesto la poca sensibilidad de este ensayo a las variaciones del contenido de ligante, a la vez que, muestra una notable dispersión en los resultados. Los coeficientes de variación oscilan de 0.07 a 0.1 para la estabilidad Marshall y de 0.15 a 0.27 para la deformación Marshall.

Por otra parte, el contenido óptimo de ligante determinado con este ensayo, 2-2,5%, correspondiente a la máxima estabilidad Marshall, no coincide con los porcentajes de ligante más adecuados para emplear con estas mezclas, comprendidos entre 4 y 5%.

3.2. Ensayo de tracción indirecta. Los resultados obtenidos al aplicar este método, nos indican que tanto para las diferentes velocidades de rotura empleadas (0.4-4 y 40 mm/min.) como para las distintas temperaturas de ensayo (15 y 30°C) las dispersiones son elevadas en la determinación de la tensión y deformación de rotura. Por otra parte, para los porcentajes empleados habitualmente en este tipo de mezclas, el ensayo no muestra susceptibilidad a las variaciones del ligante.

Lo mismo ocurre con los valores obtenidos en la determinación del módulo de rigidez instantáneo de la mezcla, que muestran a parte de una gran variabilidad y dispersión de resultados, una falta de sensibilidad a la variación de los componentes de la mezcla.



- 3.3. Ensayo de cohesiómetro Hveem. La aplicación de éste ensayo a 25°C ha mostrado una notable dispersión de resultados, con coeficientes de variación que oscilan de 0.08 a 0.17. Este efecto junto con el aumento del valor de la cohesión, que se produce al disminuir el contenido de ligante y de finos, comportamiento diferente al que se produce en la práctica, hacen que este método no parezca adecuado para la dosificación de mezclas bituminosas cuando se emplean en capa de rodadura.
- 3.4. Ensayo en pista de laboratorio. Los resultados de este ensayo muestran sensibilidad a los contenidos de ligante y de filler. Pero tienen el inconveniente de corresponder a un modo de deterioro que no es frecuente en este tipo de mezclas, deformaciones plásticas en zona de rodadura. También se observa que la resistencia a la deformación disminuye al aumentar el contenido de ligante, mientras que en las mezclas bituminosas porosas un aumento del contenido de ligante se muestra beneficioso, ya que impide que se desprendan los áridos que componen la mezcla.
- 3.5. Ensayo en máquina giratoria. La aplicación de este ensayo muestra su poca idoneidad cuando se aplica a la dosificación de mezclas abiertas. El ángulo giratorio permanece constante e independiente del contenido de ligante y granulometría empleada así como del número de vueltas a que se somete a la mezcla. También se observa este mis

respuesta para la estabilidad giratoria.

4. Frente a la falta de idoneidad de los ensayos mecánicos analizados en la caracterización de mezclas de granulometría abierta, el ensayo cántabro de pérdida por desgaste permite valorar de una manera cómoda y precisa la resistencia a la disgregación de estas mezclas.
  - 4.1. Para una mezcla dada, la pérdida por desgaste disminuye a medida que aumenta su contenido de betún, pero esta disminución, que es rápida cuando los contenidos de betún son bajos, llega a ser moderada cuando el porcentaje de betún ha llegado a dar suficiente trabazón y cohesión a la mezcla. Es decir, que se observa generalmente un cierto cambio de pendiente en las curvas % pérdida por desgaste - % de betún, que podría corresponder a un contenido de ligante suficiente para evitar la disgregación de la mezcla.
  - 4.2. El ensayo repite con facilidad, la dispersión de los resultados es pequeña a la vez que muestra una gran sensibilidad a la variación de los componentes de la mezcla.
  - 4.3. La precisión del ensayo, varianza asociada al proceso de medida de la  $\sqrt[3]{P}$ , siendo P la pérdida por desgaste en tanto por uno, es de  $S^2 = 5.43 \times 10^{-4}$ . Esta varianza se puede su-

poner constante e independiente de las características de las mezclas ensayadas.

- 4.4. El coeficiente de variación del ensayo esta comprendido, para las mezclas y granulometrías estudiadas entre 0.028 y 0.046. Es decir, la desviación típica del ensayo es inferior en todos los casos al 5% del valor medido.
- 4.5. Un indicador de la sensibilidad del ensayo a los componentes de la mezcla es el alto coeficiente de correlación obtenido  $r = 0.97$ , para el ajuste establecido entre  $\sqrt[3]{P}$  ( $P =$  pérdida por desgaste en tanto por uno) y las características de la mezcla: contenido de betún, árido fino y filler.
5. El valor de la pérdida por desgaste de una mezcla es sensible a las variaciones de la temperatura. Observándose una disminución de la pérdida por desgaste al aumentar la temperatura.
  - 5.1. El efecto de la temperatura es tanto mayor cuanto menor es el porcentaje de finos de la mezcla y mayor sea el porcentaje de betún. Obteniéndose por término medio variaciones de la pérdida de 5 a 10 puntos cuando se modifica en  $5^{\circ}\text{C}$  la temperatura de ensayo.
  - 5.2. A partir de los resultados obtenidos en el estudio de la temperatura, se ha determinado un factor de corrección,

que permite expresar el valor de la pérdida por desgaste a la temperatura de 18°C, temperatura normalizada para el ensayo, en el caso de que este hubiera realizado a otra temperatura.

6. En la aplicación del ensayo de desgaste cántabro a la caracterización de mezclas porosas, se han obtenido las siguientes conclusiones:

- 6.1. Las pérdidas por desgaste disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de ligante, de filler y el contenido de finos, siendo especialmente sensible a la variación de los dos primeros.
- 6.2. Para las mezclas ensayadas los valores obtenidos para la pérdida por desgaste varían entre un 71%, para la mezcla P-20(10,2) con el 3,5% de betún, y el 13%, para la mezcla P-12(15,6) con un 5,5% de betún.
- 6.3. Influencia del contenido de betún. Dentro del rango de estudio (3,5% a 5,5%), a todo aumento del contenido de ligante le corresponde una disminución de la pérdida. Siendo este efecto más ostensible cuanto mas bajo sea el porcentaje de ligante o el contenido de finos de la mezcla. Esta disminución de la pérdida puede alcanzar valores de 33 puntos cuando se aumenta el contenido de ligante de 3.5 a 5.5%, siendo normales disminuciones de 15 a 25 puntos.
- 6.4. Influencia del filler. Al igual que sucede con el contenido de ligante, a todo aumento del contenido de filler le corres

ponde una disminución de la pérdida, que es porcentualmente menor cuanto mayor sea el porcentaje de filler. Además el aumento de contenido de filler tiene la ventaja de disminuir las pérdidas de la mezcla sin reducir sensiblemente la porosidad de la misma.

- 6.5. Influencia de los finos. El aumento del contenido de finos produce también una disminución importante de la pérdida, aunque no llega a reducciones tan espectaculares como las obtenidas al aumentar los porcentajes de filler y de betún. Un aumento del 10 al 15% en el contenido de árido fino, apenas supone una reducción de 7 a 10 puntos en la pérdida por desgaste, mientras que variaciones de betún del 3,5% al 5,5% y del filler de 2 al 6% suponen a veces disminuir la pérdida entre 20 y 25 puntos.
- 6.6. Influencia del tamaño máximo. De los resultados obtenidos en el ensayo de mezclas fabricadas con diferentes tamaños máximos, se observa que las mezclas con un tamaño máximo de 20 mm, generalmente, tienen una pérdida por desgaste superior a las fabricadas con un tamaño máximo de 12,5 mm y 10 mm. El obtener estos resultados puede ser debido a una pérdida de la resistencia a la disgregación al aumentar el tamaño máximo, o bien, ser consecuencia del ensayo, debido al mayor tamaño de las partículas de árido desprendidos.

- 6.7. Influencia de la relación filler/betún. Para un porcentaje de ligante , la pérdida por desgaste disminuye a medida que se aumenta la relación filler betún, hasta alcanzar un valor a partir del cual la mezcla se hace menos resistente y aumenta rápidamente las pérdidas. Cuando los porcentajes de filler son bajos, aumentar su contenido produce un aumento de la viscosidad del betún, con la consiguiente disminución de las pérdidas. Pero si se continúa aumentando la relación filler/betún, el mastic pierde ductilidad, haciéndose más agrio y rompe frágilmente.
- 6.8. Para las mezclas ensayadas la máxima resistencia al desgaste se ha obtenido para las relaciones de filler/betún del 2.6 para un contenido de ligante de 3.0%. Con contenidos de ligante de 4.25 y 5.5 se observa que la pérdida por desgaste no disminuye para las relaciones filler/betún superiores a 2.6.
7. El ensayo de pérdida por desgaste se presenta como un procedimiento adecuado para su empleo en laboratorio en la caracterización de estas mezclas ante los efectos de disgregación del tráfico. Labor importante es ahora determinar una relación entre los valores obtenidos en laboratorio, y el comportamiento bajo el tráfico de estas mezclas. A nuestro entender, este debe ser una de las principales vias de investigación que debe seguirse para completar la labor iniciada.

Otro campo muy importante sería el estudio de su aplicación a la caracterización de mezclas abiertas en frío.

## BIBLIOGRAFIA



AJOUR, A.M.

Problem of bond between bituminous binders and aggregates .  
Tecnical Committee RILEM 17 BM. LCPC. París, 1979.

ARQUIE, G.

Compactación en carreteras y aeropuertos  
Editores técnicos asociados. Barcelona, 1972.

BALAGUER, E. y ELVIRA, J.L.

~~Curso de reciclado y conservación de carreteras~~  
E.T.S. de Ing. de Caminos de Madrid, 1979.

BALAGUER, E; ELVIRA, J.L.; FERNANDEZ del CAMPO, J.

Firmes de Carreteras Tomos I y II  
E.T.S. de Ing. de Caminos de Madrid, 1979.

BALAGUER, E.; KRAEMER, C.

Elementos de ingeniería de tráfico  
E.T.S. de Ing. de Caminos de Madrid, 1974.

BARBE, B.; LINDER, R.

Nouvelle metologie d'etude des enrobés  
Boll. Liason Laboratoire Ponts et Chaussees N°116.  
París 1982.

BORRAJO, J.

Caracterización de la resistencia a las deformaciones plásticas de las mezclas bituminosas mediante el ensayo en pista de laboratorio.

Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

BOX, G.E.P. and CAX, D.R.

An analysis of transformations

J. Roy Stat. Series B, 16, 211.

BRILLET

Bruit de contact pneumatique/chaussee

Groupe AC4 sur l'optimization des caracteristiques des Revetements Routiers. Paris, 1983.

BRILLET

L'Adherence

Groupe AC4 sur l'optimization des caracteristiques des revetements routiers. Paris, 1983.

BRILLET

L'Uni.

Groupe AC4 sur l'optimizacion des caracteristiques des revetements routiers. Paris, 1983.

CARROLL

Caracteristiques de surface des enrobés drainants

XVII Congres Mondial de la Route: Comite Technique des  
caracteristiques de surface. Sydney, 1983.

CASTILLO, E.; LUCEÑO A.  
Curso de Bioestadística.  
Universidad de Santander.

CRONEY, D.

The desing and performance of road pavements  
Department of the Environment-Department of Transport-  
Transport and Road Research Laboratory. Londres, 1977.

DANIEL, C and WOOD, F.S.

Fitting Equations to data. J. Wiley & Sons , 1980.

DAVIS, G.A.

Recherches relatives a la macro et a la microrugosite  
Comite technique des caracteristiques de surface. Viena, 1979.

DOUBRERE, J.

Amenagement et exploitation de routes

Eyrolles. Paris 1974.

ELVIRA, J.L.

Estudio en Laboratorio del comportamiento de las mezclas  
bituminosas del huso A-12

E.T.S. de Ing. de Caminos de Madrid, 1977.

ELVIRA, J.L.

Reconocimiento y evaluación de pavimentos existentes.  
Análisis de los fallos de pavimentos  
Universidad Católica de Chile. Santiago de Chile, 1981.

ESCARIO, J.L.; BALAGUER, V.

Caminos. Tomos I y II.  
E.T.S. de Ing. de Caminos de Madrid, 1967.

FERNANDEZ del CAMPO, J.A.

Pavimentos Bituminosos en Frío  
Editores Técnicos Asociados. Barcelona, 1983.

GALLAWAY, B.

Porous pavements laboratory and field observations.  
International Symposium on porous asphalt. Arnhem. 1977.

GERARDU, J.A.

'Construction and Evaluation of the porous asphalt experi-  
mental sections .  
International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

FONSECA, J.M.

Características y mejoras de las mezclas bituminosas finas  
para pavimentos urbanos  
Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 1975.

GOMEZ, J.

Base de datos de calidad y su aplicación al seguimiento geotécnico de los terraplenes de la autopista Campomanes-León. Cuadernos E.P.T.I.S.A. 4, 1983.

GORDILLO, J.

Pavimentos especiales  
Revista de Carreteras N<sup>o</sup>4, 1983.

GREBY, E.

Drainage Asphalt in Denmark.  
International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

HATHERLY, L.W.

Friction course trails with modified binders  
International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

HUET, J.

Essai de rupture in compression diametrale  
La Technique Routiere, Vol. III (n<sup>o</sup>1), 1967.

HUSCHEK, S.

Interrelation between skid resistance road surface texture and water film.  
International Symposium on porous asphalt, Arnhem, 1977.

HUTSON, R.M.

"Development of open textured bitumen macadam friction course for airports in Great Britain".

International Symposium porous Asphalt. Arnhem, 1977.

JEUFFROY, G.

Proyecto y construcción de carreteras. Tomos I y II.

Editores Técnicos Asociados, S.A. Barcelona, 1973.

KAMPLADE

L'Adherence

Groupe AC4 de l'optimization des caracteristiques des revetements routiers. O.C.D.E. Paris, 1983.

KRAEMER HEILPERNO, C.

Corrección de firmes deslizantes. Evaluación. Técnicas.

Instituto Agustín de Bethencourt.

E.T.S. de Ing. de Caminos de Madrid.

KRAEMER, C. y FERNANDEZ, R.

Proyecto, construcción y materiales de firmes rígidos

Asoc. Fabricantes de Cemento de España, 1977.

KRAEMER, C. y MARTINEZ ARAGON, A.

Análisis de tensiones y deformaciones y estudio de la fatiga de las secciones estructurales de los firmes flexibles de la 6.3 I.C.

M.O.P.U. D.G.C. Madrid, 1977.

KRAEMER, C.; PEREZ, F.

Estudio de la dosificación, características y comportamiento de las mezclas bituminosas porosas para capas de rodadura drenante.

Memorias I, II y III.

Universidad de Santander, 1980.

LACLETA MUÑOZ, A.

Técnicas generales de conservación de firmes flexibles.

Reparaciones localizadas. Bacheos. Reperfilados. Renovación o sustitución de capas superficiales.

Cursos de reciclado. Instituto Agustín de Bethencourt. Madrid.

LAMURE

Bruit de contact pneumatique-chaussee

XVII Congres Mondial de la Route-Comite Technique des caracteristiques de surface. Sydney, 1983.

LEYDER, J.P.

Nouveaux types de revetements antiderapants

XVI<sup>e</sup> Congrès Mondial de la Route. Comite Technique des caracteristiques de surface. Viena, 1979.

LUCENO, A.

Utilización práctica de los métodos de regresión.

Un paquete de programas.

Publicaciones de la E.T.S. de Ingenieros de Caminos. Santander.

MALLOWS, C.L.

Choosing variables in a linear regression: Institute of Mathematical Statistics.

Manhatan. Kansas (EEUU), 1964.

MOORE, F.

Prediction of skid-resistance gradient and drainage characteristics for pavements.

MURRAY, R. SPIEGEL

Estadística

McGraw-Hill. Madrid, 1975.

NAKAJIMA, A.

Some problems on porous asphalt in Japan.

International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

NYSTRUP, P.

Drainage Surfacing

International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

O'FLAHERTY.

Highways

Edward Arnold. London, 1977.

PEREZ JIMENEZ, F.E.

Estudio de la influencia de los factores ambientales en el dimensionamiento de firmes flexibles.

Tesis Doctoral. Universidad Politécnica. Madrid, 1977.

PEREZ JIMENEZ, F.E.; KRAEMER, C. LACLETA, A.

Mezclas bituminosas porosas

M.O.P.U. D.G.C. Madrid, 1982.



PEREZ JIMENEZ, F.E.

Jornadas sobre el empleo de mezcla bituminosas porosas  
en capas de rodadura  
Santander, 1981.

PEREZ, M.

Recherche et optimization des caracteristiques de surface  
Groupe AC4 sur l'optimization des caracteristiques des  
revetements routiers. OCDE. Paris, 1983.

PRITHVI, KANDHAL, RAYMOND, J.

Design, Construction and performance of asphalt friction  
courses  
Bureau of Materials, Testing and Research. Pennsylvania.

REINTJES, R.C.

Laboratory research into porous asphalt. Arnhem, 1977.

RIGDEN, P.I.

The use of fillers in bituminous road. A study of filler-  
binder systems in relation to filler characteristics  
Journal of the Society of chemical Industry. n°66, 1947.

SALT, G.F.

Etude du bruit resultant de l'interaction des pneumatiques  
et la route  
XVI<sup>e</sup> Congres Mondial de la Route. Comite Technique des  
caracteristiques de surface. Viena, 1979.

SARTEEL, F.

Les propriétés réfléchissantes des chaussées  
XVI<sup>e</sup> Congrès Mondial de la Route-Comitue Technique des  
caracteristiques de surface. Viena, 1979.

SCHREUDER

Proprietes optiques des revetements routiers  
Groupe AC4 sur l'optimization des caracteristiques des  
revetements routiers. OCDE. Paris, 1983.

SERRES.

Le vision de la chaussee et de son environnement pour  
l'usage de la route.

XVII Congrès Mondial de la Route. Comite Technique des  
caracteristiques de surface. Sydney. 1983.

SMITGH, R.W.

Examination of Factors related of the development and  
performance of Open Graded Asphalt Friction Course  
International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

SZATKOWSKI, S. and BROWN, J.R.

The design and performance of pervious surfacings for  
roads in Britain, 1967-76  
International Symposium of porous asphalt. Arnhem, 1977.

TANIFUJI, SHOZO

Standard bituminous mixtures for skidresistant pavement  
in Japan

International Symposium of porous asphalt. Arnhem, 1977.

VAN DER PLAAS, J.J.

Fidelite des essais

XVII Congres Mondial de la Route-Sydenay, 1983.

VAN DER PLAAS, J.J.

From Philosophy to Reality

International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

VIGUERAS, J.F.

Estudio del comportamiento reológico de mezclas bituminosas  
mediante la máquina giratoria de ensayo

Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, 1976.

WELLEMAN, T.

Porous asphalt against water nuisance

International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

WHITE, T.D.

Construction and evaluation of airfield PFC in the  
United States

International Symposium on porous asphalt. Arnhem, 1977.

WISSER, W. and HOFSTRA, A.

Performance of porous asphalt mixes in a laboratory test  
track

International Symposium on porous. Asphalt. Arnhem, 1977.

WOODS, K.B.

Highways engineering handbook  
Mc-Graw-Hill. New York, 1960.

YODER, E.J.; WITCZAK, M.W.

Principles of Pavement Design  
John Wiley. New York, 1975.

AASHO Interim Guide for Design of Pavement Structures 1972

American Association of State Highway Officials.  
Washington D.C. 1972.

ACCI Manual of Concrete Practice, Part 1. 1974

American Concrete Institute. Detroit, Michigan.

A Guide to the Structural Design of Flexible and Rigid  
Pavements for New Roads

Road Note 29. H.M.S.O. London, 1970.

American Standard Practice for Street and Highway Lighting

Illuminating Engineering Society. New York, 1964.

Asphalt in Pavement Maintenance

Manual Series No. 16

The Asphalt Institute

College Park. Maryland, 1967.

Asphalt Technology and Construction Instructor's Guide

The Asphalt Institute

College Park. Maryland, 1971.

Book of ASTM Standards

American Society for Testing and Materials.  
Philadelphia. USA.

British Standards

British Standards Institution. London.

Catalogue of road surface deficiencies

OCDE París, 1978.

Conference on noise a abatement polices

Organisation for Economic Cooperation and Development  
OCDE. París, 1980.

Diccionario técnico de carreteras

AEPC. Madrid, 1963.

Essais Mecaniques

Commission Technique RILEM 17 BM "Bitumes et materiaux  
bitumineux  
RILEM Bruxelles, 1977.

Estudio de las características de generación de ruido de  
tráfico de los pavimentos de hormigón hidráulico de las  
autopistas del Mediterráneo y Sevilla-Cádiz y su correla-  
ción con la resistencia al deslizamiento de los mismos.

Instituto Eduardo Torroja. Madrid, 1982.

Firmes de carreteras y autopistas

Editores Técnicos Asociados

Barcelona, 1970.

Guía técnica para la conservación

SETRA

París, 1976

Instrucción de Carreteras

D.G.C. y Caminos Vecinales

Ministerio de Obras Públicas. Madrid.

Instrucción para el proyecto y ejecución de obras de  
hormigón en masa o armado EH-80

M.O.P. Servicio de publicaciones. Madrid.

International Conference on Concrete Pavement Design

Proceedings. Purdue University

West Lafayette. Indiana, 1977.

Jornadas técnicas sobre tecnología en frío para carreteras

Asociación Española de la Carretera. Madrid, 1981.

International Conferences on the Structural Design of  
Asphalt Pavements

The University of Michigan. Ann Arbor

1st (1962), 2nd (1967), 3rd (1972), 4 th (1977).

Manual de control de fabricación y puesta en obra de  
mezclas bituminosas

D.G.C. M.O.P. Madrid, 1977.

Materiales bituminosos en la construcción de carreteras

Road Research Laboratory

Serv. de Publicaciones. M.O.P. Madrid, 1965.

Méthode de calcul des chaussées souples

Shell. París, 1963.

Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix  
Types

Manual Series No. 2

The Asphalt Institute. College Park

Maryland, 1969.

Mix design method for open-graded asphalt friction courses

The Asphalt Institute. Maryland 1978.

Normas de ensayo

Laboratorio del Transporte y Mecánica del Suelo

"José Luis Escario"

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Madrid.

Normas UNE

Instituto Nacional de Racionalización y Normalización.

Normas VSS

Union Suisse des professionnels de la route. 7 vols. 1977

Open-Graded friction courses for higgways

National reserch council. Transportation Research Board  
Washington, D.C. 1978.

Pliego de prescripciones técnicas generales para obras de  
carreteras y puentes

D.G.C. M.O.P. Madrid, 1975.

Predicting moisture-induced damage to Asphaltic concrete.

Transportation Research Board.  
Washington, D.C. 1978.

Ruido de tráfico urbano e interurbano

Centro de Estudios de Ordenación del Territorio y  
Medio Ambiente  
M.O.P.U. Madrid, 1983.

The AASHO Road test

Special Reports 61 and 73  
Highway Research Board  
Washington D.C., 1962.



ANEJOS

# 1. ESTUDIO DE LA PRECISION DE LA REPETITIVIDAD.

TANTEO PRELIMINAR

VARIABLE	MEDIA (PESADA)	MINIMO	MAXIMO	RANGO	MAX/MIN
1	.10000	01	.10000	01	.00000 00
2	.14265	02	.10000	02	.10000 02
3	.12479	00	.15000	00	.50000-01
4	.39832	01	.60000	01	.40000-01
5	.44916	01	.35000	01	.55000-01
6	.57832	01	.61200	01	.10700 01
7	.34429	00	.10300	00	.84500 00

PARAMETROS DE BOX-COX: LANDAI= .3333 LANDAZ= .00000 00

PESOS CARRIER 1 CARRIER 2 CARRIER 3 CARRIER 4 CARRIER 5 CARRIER 6 RESPUESTA  
 VARIABLE 1 VARIABLE 2 VARIABLE 3 VARIABLE 4 VARIABLE 5 VARIABLE 6

TRANSFORMACIONES	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM	IDEM	BOX-COX
------------------	------	------	------	------	------	------	---------

CORRELACIONES ENTRE LAS CARRIERS Y LA RESPUESTA PONDERADAS

1.000	.004	-.087	.004	-.138	.230
1.000	.030	.031	-.518	-.297	
1.000	-.025	-.399	-.594		
1.000	-.093	-.587			
1.000	.468				

RIDGE REGRESSION

K=	0	.05	.1	.15	.2	.3	.4	.5	.6	.7	.8	.9	1	FACIOR
20405	.19870	.19285	.18688	.18095	.16961	.15920	.14976	.14123	.13353	.12657	.12025	.11450	.30272	25960-01
-.19772	-.18260	-.17102	-.16180	-.15422	-.14234	-.13323	-.12586	-.11965	-.11428	-.10953	-.10527	-.10141	.50923	33390 01
-.53473	-.50370	-.47734	-.45444	-.43421	-.39981	-.37133	-.34717	-.32631	-.30803	-.29186	-.27741	-.26441	.77155	1740 01
-.58325	-.55383	-.52751	-.50376	-.48218	-.44437	-.41224	-.38456	-.36044	-.33922	-.32040	-.30358	-.28846	.19625	1640 02
.12663	.14174	.15179	.15849	.16286	.16712	.16777	.16640	.16387	.16069	.15715	.15344	.14967	.76888	36530 00

ELECCION DE K EN RIDGE REGRESSION

.00216	.00239	.00263	.00286	.00310	.00360	.00412	.00468	.00526	.00586	.00650	.00717	.00786
--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

TOTAL	SSQ=	.244580050	02	(	.192854630	01)	DF=118	(117)
REGRESION	SSQ=	.241202900	02	(	.159083070	01)	DF= 6	( 5)
RESIDUAL	SSQ=	.337715560	00				DF=112	
MEOTA	SSQ=	(	.225294590	02)			DF= 1	
VALOR -F	=	1333.21	(	105.52)				

CORR. MULT. (R2)= .986192 ( .824886)  
 LOS VALORES ENTRE () CORRESPONDEN A QUITAR EL EFECTO DE LA MEDIA DE LA RESPUESTA. ESTO TIENE VALIDEZ SI  
 EN LA MATRIZ DE DISEÑO EXISTE UNA COLUMNA DE 1'S (1=VALIDO, 0=NO VALIDO), ES=1

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS COEFICIENTES

1.000	-.285	-.626	-.512	-.214	-.987
1.000	1.000	.120	.180	.024	.223
	1.000	.243	.039	.561	.474
	1.000	.077	.474		
	1.000	.116			
	1.000				

COEFICIENTE 1 = -.38694970 00 VALOR-T = -1.43 DESV.TIP = .271496110 00 SSQ REGRESION = .20035650 02  
 COEFICIENTE 2 = .61770450 02 VALOR-T = 5.01 DESV.TIP = .123256950 02 SSQ REGRESION = -.44720020 01  
 COEFICIENTE 3 = -.10068380 01 VALOR-T = -4.14 DESV.TIP = .243396720 00 SSQ REGRESION = .66187890 01  
 COEFICIENTE 4 = -.41257140 01 VALOR-T = -11.85 DESV.TIP = .348052220 00 SSQ REGRESION = .91218920 01  
 COEFICIENTE 5 = -.91134510 01 VALOR-T = -14.64 DESV.TIP = .622534070 01 SSQ REGRESION = .21854980 02  
 COEFICIENTE 6 = .97358150 01 VALOR-T = 2.37 DESV.TIP = .410330790 01 SSQ REGRESION = -.29039010 02

PESOS	ESTIMACIONES	RESIDUOS (PESADO)	STUDENT.RES	STUD.JACK.RES	VAR-RATIO	WSSD (SIN PESO)	INCR.BETAJAC	TRAZA	DIRECCION
1.00	-.25026870 00	-.35439080 01	-.6650882	-.66342381	.06	5.56	.296260 02	.222120 01	.35820 02
1.00	-.25221590 00	.63101970 02	.1183652	.11784301	.06	5.56	.955720 04	.226230 01	.37120 02
1.00	-.33945610 00	.46334420 01	.8645903	.86360865	.05	2.86	.129350 02	.573870 00	.11500 02
1.00	-.34335040 00	.56905650 01	1.0601220	1.06071396	.05	2.85	.163340 02	.482000 00	.10370 02
1.00	-.34237680 00	.71207560 01	1.3269814	1.33155304	.05	2.85	.264200 02	.497580 00	.10550 02
1.00	-.43935280 00	.87154710 01	1.6324950	1.64487853	.06	5.66	.164790 01	.205070 01	.35400 02
1.00	-.43837920 00	1.3394680 00	2.5092848	2.57138306	.06	5.65	.395230 01	.208170 01	.35770 02
1.00	-.43643210 00	-.17684410 02	-.0331435	-.03299535	.06	5.65	.715200 05	.215920 01	.36520 02
1.00	-.33959810 00	.87480440 01	1.6327113	1.64510172	.05	3.34	.154070 01	.191680 01	.38080 02
1.00	-.34446600 00	.65347260 01	1.2182919	1.22095798	.05	3.37	.838120 02	.187270 01	.38980 02
1.00	-.44436270 00	-.13252360 00	-2.4562577	-2.51391455	.04	.74	.164550 02	.904520 01	.25240 01
1.00	-.44436270 00	-.52742750 01	-.9775597	-.97736433	.04	.74	.260640 03	.904520 01	.25240 01
1.00	-.53257650 00	-.49747060 01	-.92269717	-.92638469	.05	3.50	.437730 02	.168940 01	.35970 02
1.00	-.53355010 00	-.52899370 01	-.9858121	-.98568699	.05	3.51	.482680 02	.164720 01	.34910 02
1.00	-.42405950 00	.94683380 01	1.7860418	1.80392550	.07	5.65	.282210 01	.293400 01	.40230 02
1.00	-.43282180 00	-.83541090 02	-.1569300	-.15624500	.06	5.71	.175950 03	.236950 01	.37020 02
1.00	-.52103550 00	-.29685670 01	-.5548334	-.55311152	.05	2.97	.109080 02	.117510 01	.22030 02
1.00	-.52298270 00	-.18951490 01	-.3539162	-.35252986	.05	2.99	.377820 03	.100030 01	.19190 02
1.00	-.61801150 00	.17497210 01	.3287697	.32745673	.06	5.83	.886460 03	.271980 01	.42110 02
1.00	-.61801150 00	-.16883670 01	-.3172413	-.31596387	.06	5.83	.825390 03	.271980 01	.42110 02
1.00	-.17948160 00	.10309350 00	1.9356102	1.96022092	.06	5.73	.187990 01	.166370 01	.26340 02
1.00	-.19603250 00	-.2769490 01	-.5186294	-.51692602	.06	5.57	.226670 02	.279490 01	.45910 02
1.00	-.19409530 00	-.27096740 01	.5078701	.50618092	.06	5.58	.200970 02	.258400 01	.43600 02
1.00	-.28521990 00	.24801260 03	.0046159	.00459514	.04	2.87	.383900 07	.597580 00	.13450 02
1.00	-.28035190 00	-.62762580 01	-1.1676794	-1.16959588	.04	2.90	.150970 02	.367220 00	.84020 01
1.00	-.27937840 00	.53047220 01	.9870325	.98691800	.04	2.91	.986290 03	.335740 00	.76430 01
1.00	-.37530380 00	.26503980 01	.4969241	.49474753	.06	5.67	.159460 02	.214600 01	.37110 02
1.00	-.37051290 00	-.42639480 01	-.7990167	-.79771855	.06	5.71	.411310 02	.213660 01	.36330 02
1.00	-.37927510 00	.89872750 01	1.6844962	1.69861453	.06	5.65	.192170 01	.224600 01	.37880 02
1.00	-.27465250 00	-.51945700 02	-.0966347	-.09640545	.05	3.37	.443010 04	.156680 01	.32750 02
1.00	-.28049400 00	-.11331850 00	-2.1112414	-2.14490963	.05	3.34	.235900 01	.175520 01	.37610 02
1.00	-.36676060 00	-.21660420 01	-.4013903	-.39988204	.04	.65	.718860 04	.147970 00	.41770 01
1.00	-.37746990 00	-.84031480 01	-1.5573010	-1.56739585	.04	.62	.184150 02	.251820 00	.70730 01
1.00	-.46957800 00	-.56499210 01	-1.0542093	-1.05473850	.05	3.43	.633560 02	.189060 01	.37970 02
1.00	-.36301820 00	-.548662290 01	-1.0316073	-1.03190579	.07	5.63	.707950 02	.220620 01	.33360 02

Table with multiple columns containing numerical data, likely representing values for different categories or items. The table is densely packed with numbers across many rows and columns.

1.00	-2977330	00	-6879710	00	1.2487891	5.72	5.20	13270-01	-281360	01	42600	02
1.00	-2965960	00	32558140	-01	5874125	5.20	5.18	237600-02	228360	01	46460	02
1.00	-39357260	00	-25247050	-01	6070060	0.05	5.18	270700-02	243650	01	50660	02
1.00	-38870470	00	-68661170	-01	-4675676	0.03	2.48	453170-03	687450	00	20110	02
1.00	-48081280	00	56121250	-02	-1.2710053	0.03	2.47	271410-02	557190	00	16760	02
1.00	-48860140	00	30205080	-01	1045222	0.05	5.27	697210-04	211650	01	46100	02
1.00	-39371460	00	31423910	-01	5631610	0.05	5.29	202300-02	211540	01	43900	02
1.00	-39760890	00	16287420	-01	5822942	0.04	3.01	212920-02	208250	01	58870	02
1.00	-48582270	00	11282910	-01	3024262	0.04	3.05	642550-03	232990	01	58330	02
1.00	-49653210	00	-98297210	-01	-2076123	0.02	3.1	168710-04	129810	00	61960	01
1.00	-59058730	00	-33519400	-01	-1.8219709	0.04	4.4	598280-02	597710	00	16630	02
1.00	-58669300	00	54506320	-01	-6260809	0.05	3.29	208790-02	176650	01	33900	02
1.00	-48401750	00	-10243190	00	-1.0142064	0.04	3.23	500260-02	161290	01	36670	02
1.00	-48499110	00	-20038140	-01	-2329533	0.04	5.34	343450-03	209890	01	47130	02
1.00	-57709920	00	-45490640	-01	-1.9085895	0.05	5.39	235030-01	213980	01	45670	02
1.00	-58196710	00	-95943220	-01	-3735243	0.05	5.40	909870-03	216280	01	45300	02
1.00	-57223130	00	13830790	-01	-84112428	0.03	2.71	613120-03	286650	00	85360	01
1.00	-67407520	00	-34997870	-01	-1.7812033	0.04	2.78	282350-02	295140	00	75140	01
1.00	-67991670	00	-63420290	-01	2557353	0.03	2.64	784810-04	397970	00	12680	02
1.00	-67018080	00	32146650	-01	-6538053	0.05	5.60	217480-02	168730	01	32250	02
1.00	-23651890	00	-38249870	-01	-1.1907651	0.06	5.72	712400-02	166620	01	26450	02
1.00	-25209620	00	40190100	-01	59751872	0.05	5.54	195090-02	180180	01	37720	02
1.00	-34030990	00	-48928510	-01	-7128879	0.05	5.23	430090-02	280660	01	59200	02
1.00	-34128350	00	-38694050	-01	75795137	0.08	5.18	926350-02	532730	01	69600	02
1.00	-42073500	00	-15890950	-01	3219795	0.05	2.47	668850-03	213280	01	42310	02
1.00	-43533880	00	-14001630	-01	-9141930	0.05	2.47	573090-02	227410	01	43190	02
1.00	-32584820	00	10763550	-01	-7209799	0.05	5.30	369830-02	235950	01	50350	02
1.00	-33071610	00	-2468620	-01	-2993787	0.07	5.27	973450-03	360190	01	51290	02
1.00	-32584820	00	-58217910	-01	-2591067	0.03	2.96	402440-03	198800	01	60770	02
1.00	-41699270	00	-48287850	-01	-1.9986408	0.04	2.95	290800-03	241970	01	64800	02
1.00	-41141200	00	-42871220	-02	-4568374	0.03	2.96	125100-02	198800	01	60970	02
1.00	-42185060	00	66703990	-01	-1.07106437	0.02	2.6	722670-03	209190	01	10870	02
1.00	-51590590	00	-48287850	-01	-89674527	0.02	2.9	223730-03	941820	-01	50130	01
1.00	-40544170	00	-54420730	-01	-1.00232841	0.02	2.5	132030-02	435850	00	19090	02
1.00	-41283200	00	51278640	-01	95129039	0.04	3.05	548970-02	201010	01	52050	02
1.00	-51507430	00	-47871220	-02	-0887159	0.04	3.05	456980-04	192560	01	54110	02
1.00	-51294510	00	72881100	-01	1.2379776	0.04	3.05	928920-02	201010	01	52050	02
1.00	-51590590	00	-41517760	00	1.3666752	0.04	5.25	117070-01	210940	01	47030	02
1.00	-40544170	00	15926160	-02	0296572	0.05	5.27	526760-05	198620	01	43550	02
1.00	-41283200	00	-28898800	-01	-5376504	0.04	5.25	174280-02	199940	01	45760	02
1.00	-51507430	00	44131960	-01	8195125	0.04	2.58	139530-02	689000	00	17320	02
1.00	-51020640	00	85901890	-02	1590956	0.03	2.55	413840-04	542230	00	15810	02
1.00	-60425160	00	10490650	00	1.9584068	0.05	5.36	261260-01	225910	01	44440	02
1.00	-60718240	00	99863240	-01	1.8673400	0.05	5.38	238180-01	226530	01	41710	02
1.00	-30619770	00	54773590	-01	1.02651558	0.06	5.40	737340-02	232170	01	39650	02
1.00	-29646190	00	12225050	-01	2303516	0.07	5.48	366010-03	228760	01	32420	02
1.00	-39343790	00	-45752370	-01	-8531928	0.05	2.71	143880-02	655520	00	13490	02
1.00	-38954360	00	-12465570	-01	-2331303	0.05	2.75	139120-03	812300	00	14870	02
1.00	-48554600	00	28714440	-01	5390214	0.06	5.51	224590-02	256360	01	40990	02
1.00	-48845670	00	39264830	-01	7358271	0.06	5.49	389730-02	238710	01	40490	02
1.00	-39844780	00	11810740	-01	2194284	0.04	3.15	265760-03	183050	01	44870	02
1.00	-39442140	00	44718380	-01	8307118	0.04	3.15	382950-02	184040	01	45390	02
1.00	-49055590	00	31126800	-01	5744720	0.03	4.5	181670-03	182570	00	67430	01
1.00	-49250300	00	-62040340	-01	-1.1447074	0.03	4.5	554920-03	140450	00	52930	01
1.00	-58363760	00	-12605450	-01	-2341152	0.04	3.25	311310-03	188370	01	46970	02
1.00	-58266400	00	-93526750	-02	-1737387	0.04	3.25	176770-03	194220	01	47920	02
1.00	-48972430	00	66131420	-01	1.2346569	0.05	5.48	975810-02	212290	01	41610	02
1.00	-48375070	00	34462920	-01	6434924	0.05	5.48	267810-02	214490	01	41830	02
1.00	-58377960	00	76460410	-01	1.4181646	0.04	2.80	279230-02	460450	00	12340	02

1.00	-6780840 00	-61252530-02	1143909	1138571	814350-04	206390 01	18700 02
1.00	-67598760 00	-21755560-01	4062619	40474248	113200-02	227610 01	44210 02
1.00	-23151630 00	-21550290-01	4048599	40334368	798060-03	161630 01	25160 07
1.00	-23346340 00	-17960590-01	3369481	33561067	568330-03	166017 01	27110 02
1.00	-32751870 00	-84695440-01	15773689	153804973	219660-02	292790 00	63820 01
1.00	-33043440 00	-58876480-01	10949591	109594161	117810-02	325380 00	75950 01
1.00	-41475890 00	-39528950-01	7443988	74290825	429330-02	256950 01	37060 02
1.00	-41573240 00	-27311060-01	5138584	51216335	200010-02	251200 01	37250 02
1.00	-41820380 00	-11300900 00	27773667	286537334	965530 00	415110 02	50550 02
1.00	-31889840 00	-16071760-01	3008476	29962256	415990-03	152420 01	28250 02
1.00	-41490090 00	-34301020-01	6356323	63393274	326470-03	267980 00	75580 01
1.00	-4129370 00	-11386710-02	10211341	102103962	487600-06	362040 00	93460 01
1.00	-50311460 00	-60091430-02	1126208	11212326	110870-03	289890 01	49030 02
1.00	-51090330 00	-48790900-01	9086648	90795212	560720-02	225220 01	49130 02
1.00	-40238630 00	-50198200-01	9515061	95110078	798160-02	292370 01	34990 02
1.00	-40725420 00	-42409490-01	7991023	79780442	476590-02	247520 01	35080 02
1.00	-49936230 00	-15525340-01	2910489	28985629	410890-03	160870 01	26950 02
1.00	-50130950 00	-25038120-01	4084017	40676336	929010-03	140430 01	25400 02
1.00	-59925900 00	-44715660-01	8391770	83806119	697650-02	329550 01	53000 02
1.00	-58562890 00	-14108730-01	2689322	26781537	116180-02	532740 01	55740 02

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS COEFICIENTES BASADA EN EL JACKKNIFE

1.000	-.577	-.905	-.804	-.542	-.998
1.000		.591	.533	.306	.661
1.000			.686	.446	.891
1.000				.359	.800
1.000					.512

COEFICIENTE 1 =	-.38694970 00	VALOR-T =	-.56	DESV-TIP =	.693793670 00
COEFICIENTE 2 =	.61770450-02	VALOR-T =	3.62	DESV-TIP =	.170807990-02
COEFICIENTE 3 =	-.10068380 01	VALOR-T =	-2.625	DESV-TIP =	.448036230 00
COEFICIENTE 4 =	-.41257140 01	VALOR-T =	-8.16	DESV-TIP =	.505409100 00
COEFICIENTE 5 =	-.91134510-01	VALOR-T =	-12.91	DESV-TIP =	.728923470 00
COEFICIENTE 6 =	.97358150-01	VALOR-T =	.95	DESV-TIP =	.102369540 00



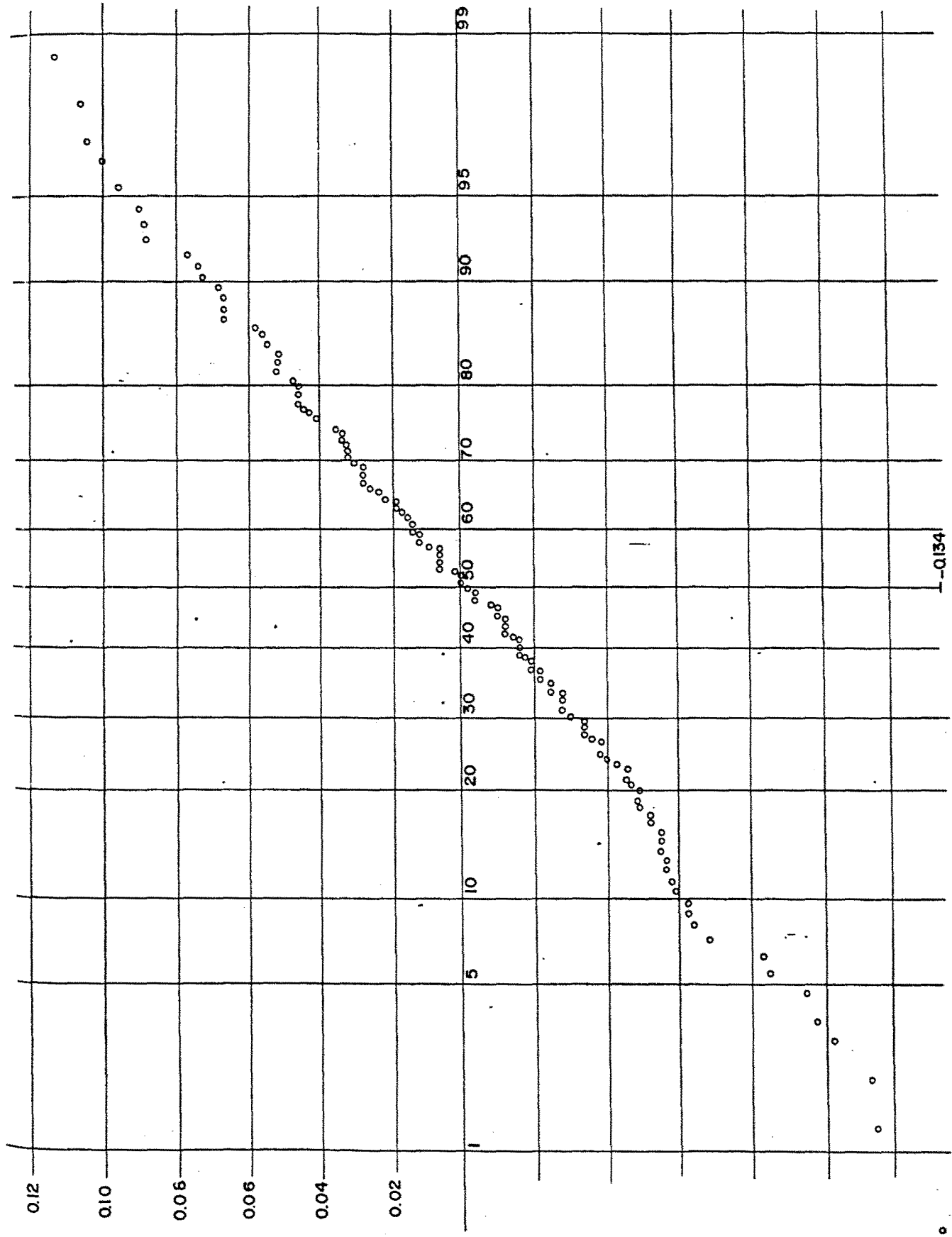


FIGURA 1.- AJUSTE PRELIMINAR - REPRESENTACION EN PAPEL PROBABILISTICO NORMAL DE LOS RESIDUOS

ABSCISAS : TM - 14.265  
ORDENADAS : RESIDUOS

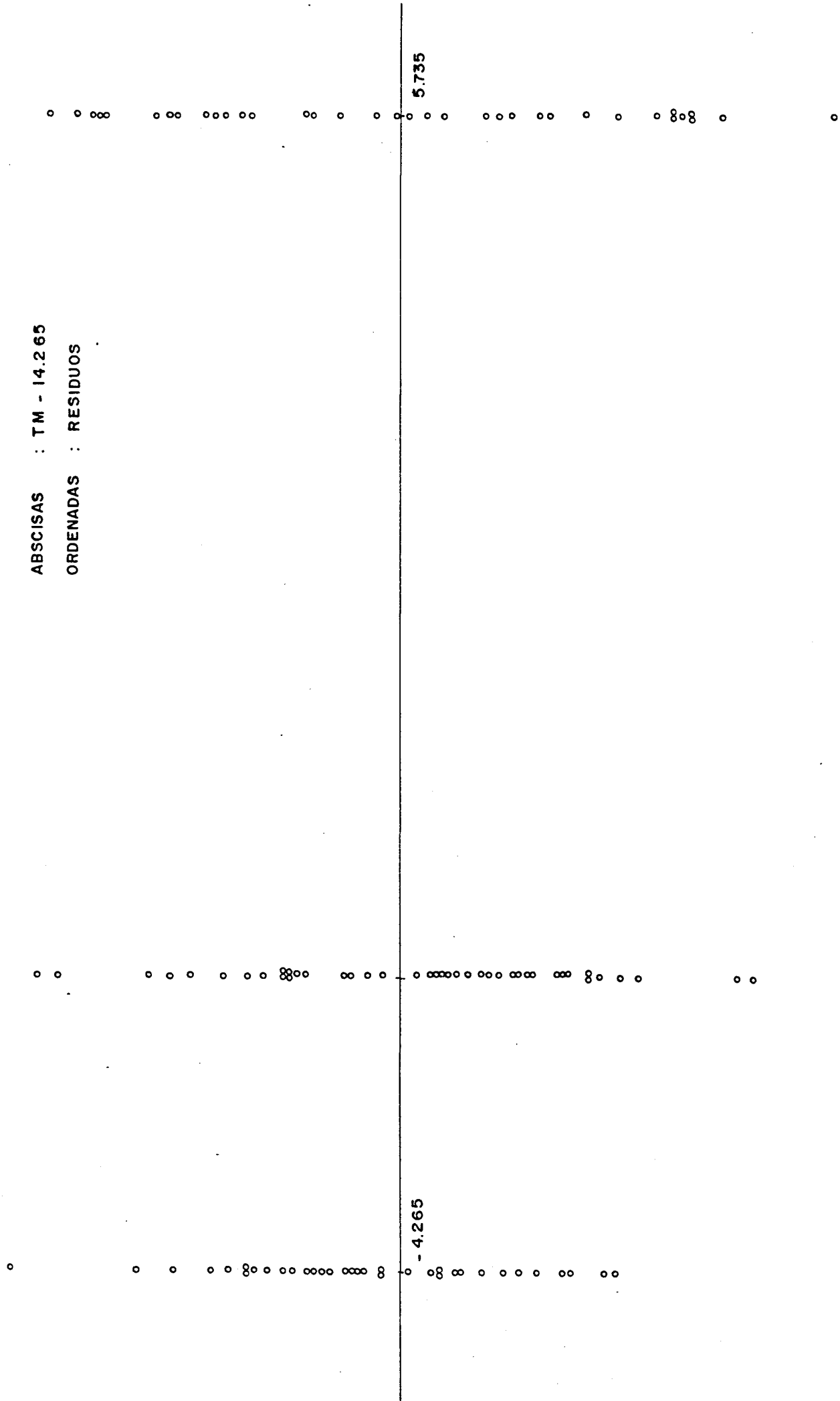


FIGURA 2 .- AJUSTE PRELIMINAR - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : TAMAÑO MAXIMO - RESIDUO

ABSCISAS : A - 0.1279

ORDENADAS : RESIDUOS

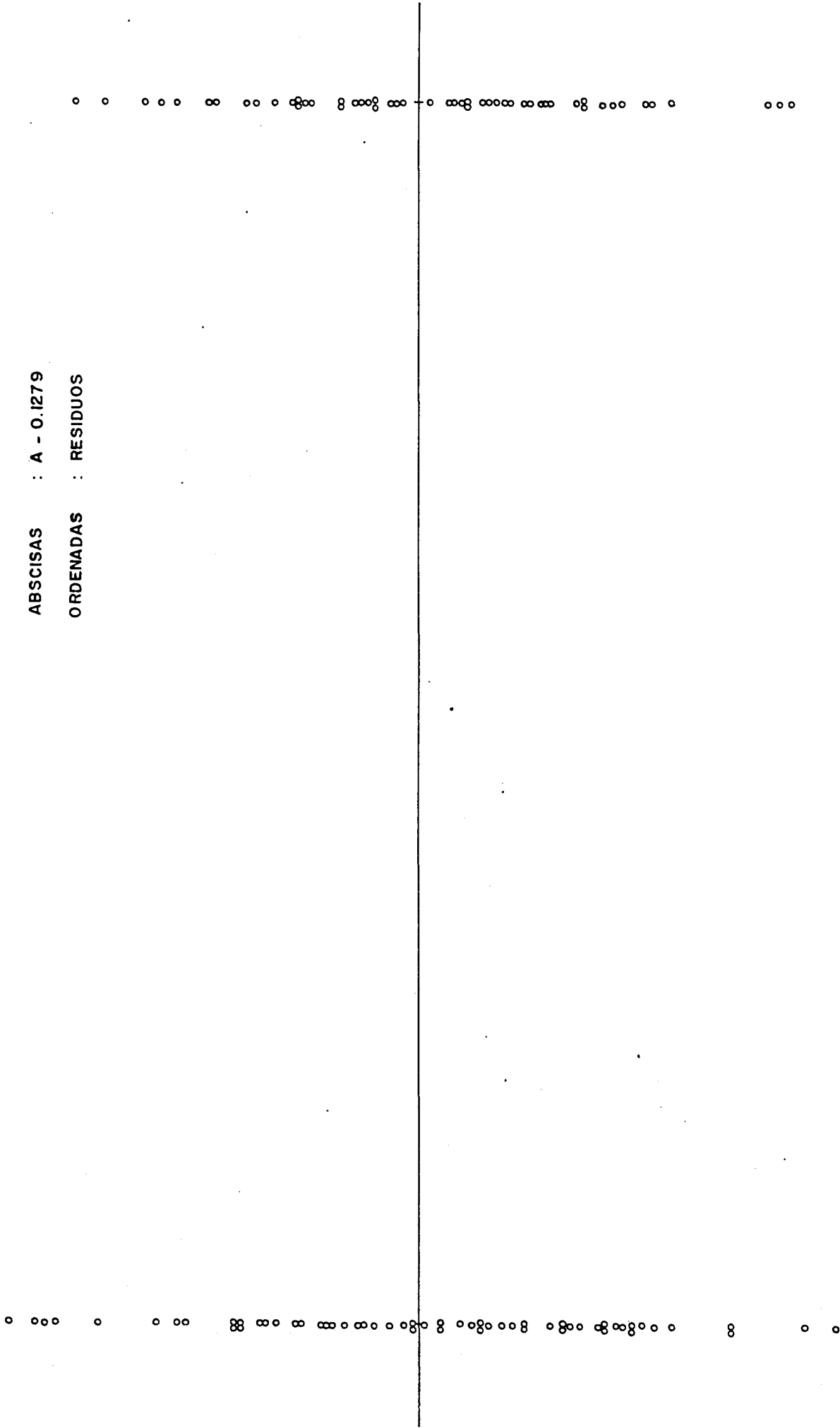


FIGURA 3 .- AJUSTE PRELIMINAR - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION: PORCENTAJE FINOS - RESIDUOS

ABSCISAS :  $t - 0.039832$   
ORDENADAS : RESIDUOS

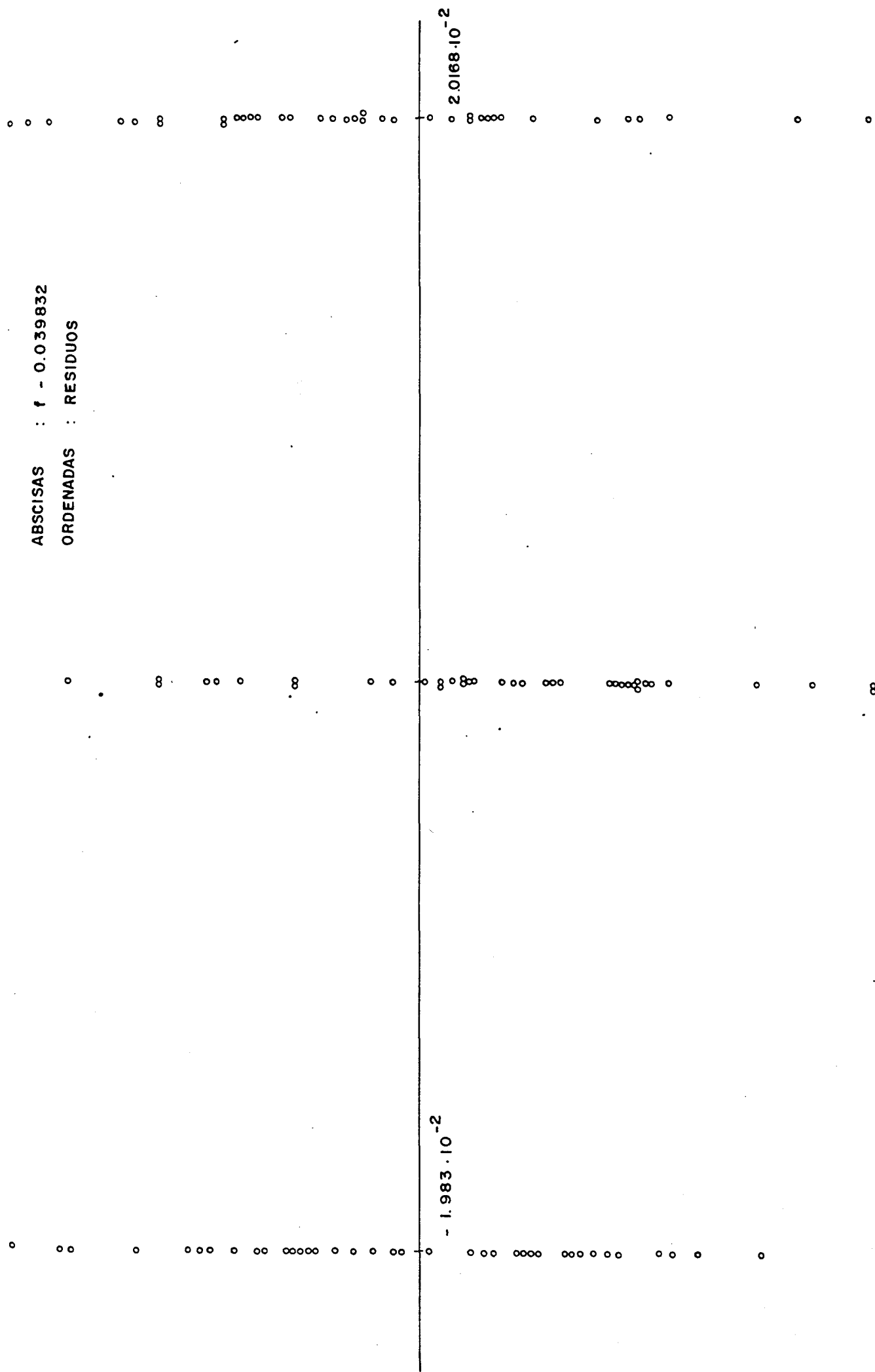


FIGURA 4 .- AJUSTE PRELIMINAR - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE FILLER - RESIDUOS

ABSCISAS : b - 0.044916  
ORDENADAS : RESIDUOS

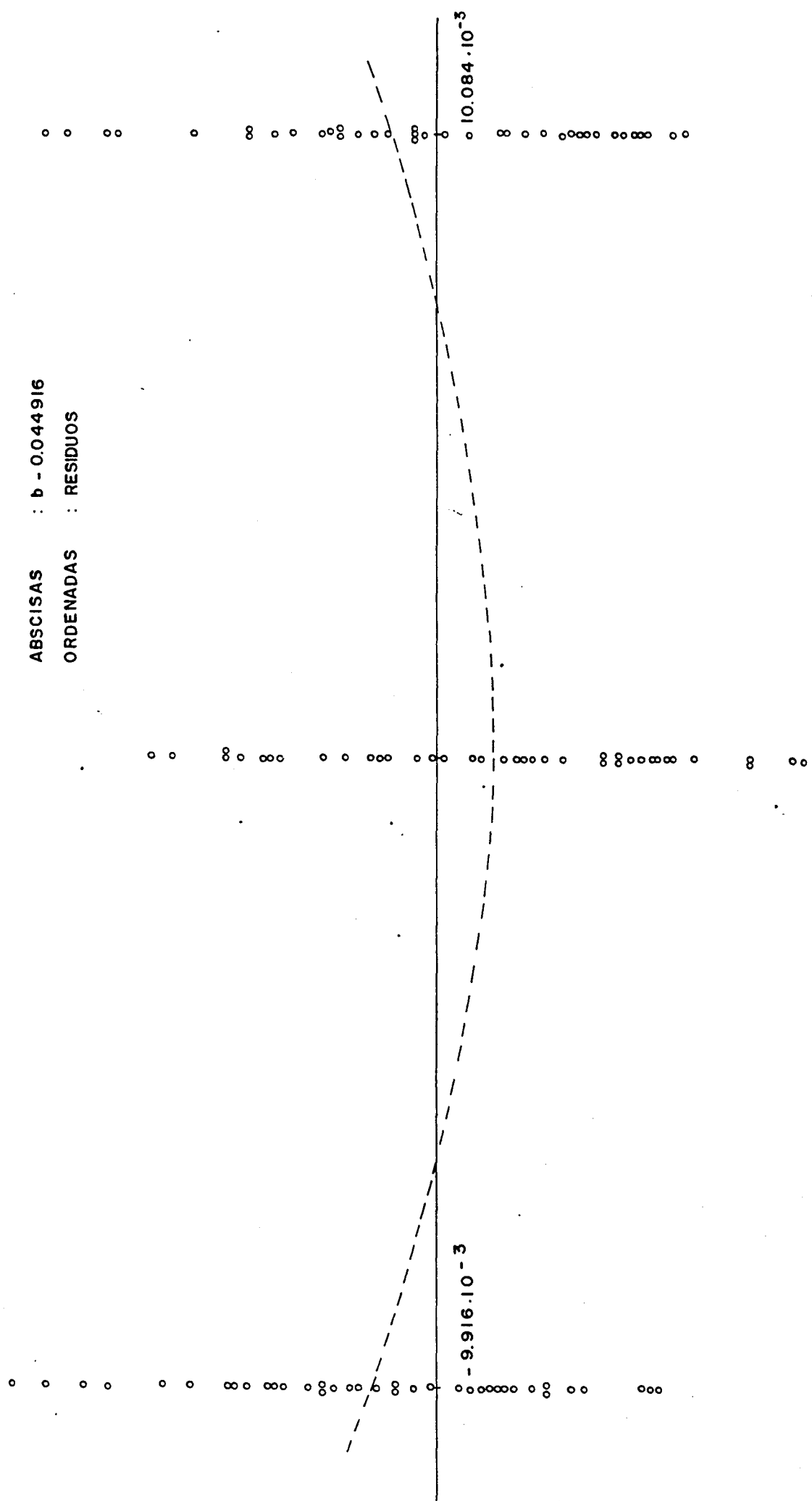


FIGURA 5 .- AJUSTE PRELIMINAR - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : BETUN - RESIDUOS

ABSCISAS : h - 5.7632  
ORDENADAS : RESIDUOS

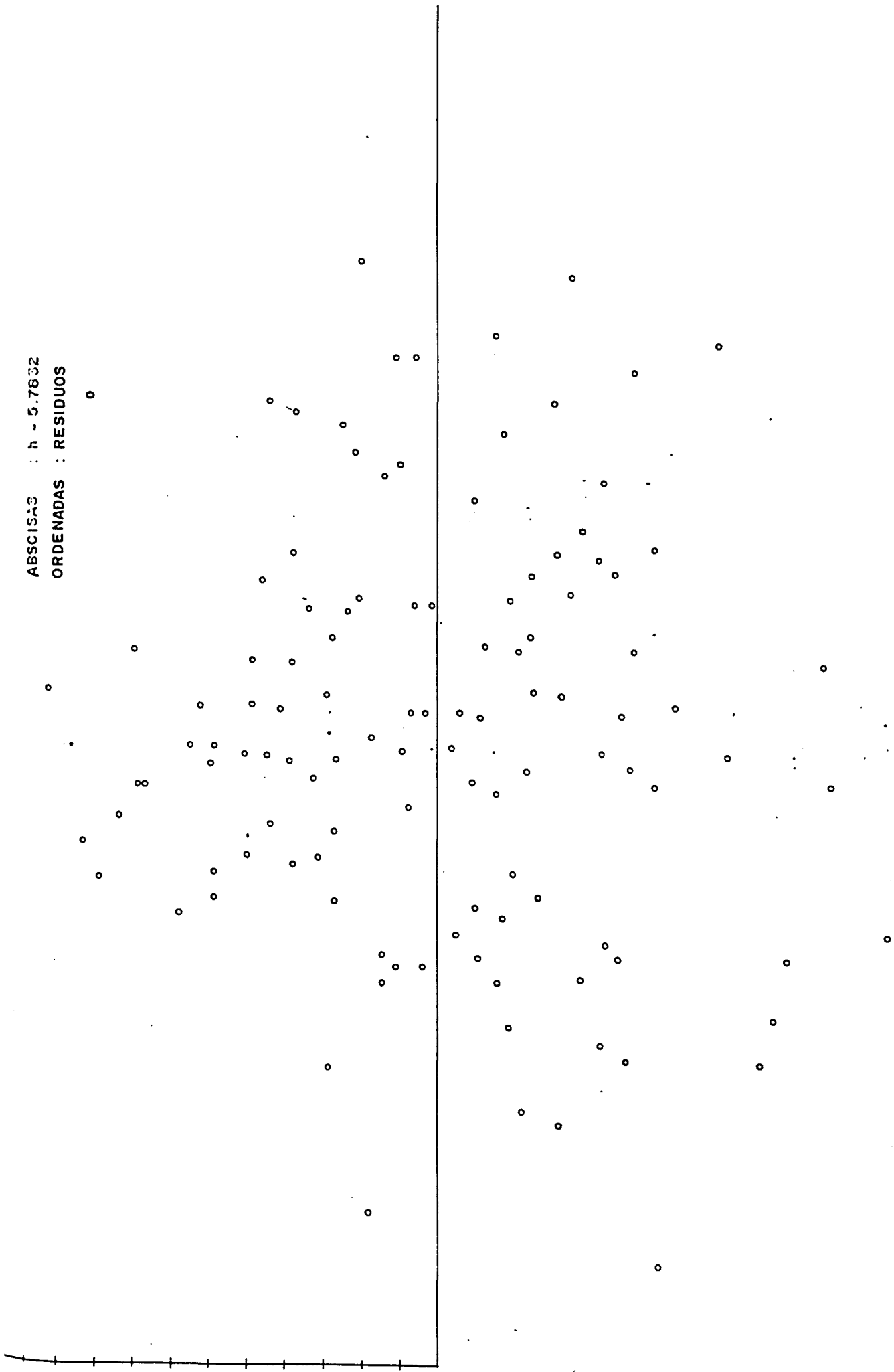


FIGURA 6 .- AJUSTE PRELIMINAR — REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : ALTURA PROBETA - RESIDUO

SOLUCION 1

NUMERO DE CARRIERS PARA CADA VARIABLE  
 1 0 1 2 2 2 0 0 1

VARIABLE	MEDIA(PESADA)	MINIMO	MAXIMO	RANGO	MAX/MIN
1	.10000	01	-1.0000	01	.000000 00
2	.113610	02	.125000	02	.250000 01
3	.124680	00	.150000	00	.500000-01
4	.410130	-01	.200000	-01	.400000-01
5	.448730	-01	.550000	-01	.200000-01
6	.186430	00	.117000	00	.125000 00
7	.947170	00	.363600	00	.135070 01
8	.578770	01	.505000	01	.107000 01
9	.318620	00	.103000	00	.511000 00

PESOS CARRIER 1 CARRIER 2 CARRIER 3 CARRIER 4 CARRIER 5 CARRIER 6 CARRIER 7 CARRIER 8 CARRIER 9 CARRIER 10 CARRIER 11  
 CARRIER 12 CARRIER 13 RESPUESTA  
 VARIABLE 1 VARIABLE 2 VARIABLE 3 VARIABLE 4 VARIABLE 5 VARIABLE 6 VARIABLE 7 VARIABLE 8 VARIABLE 9 VARIABLE 10 VARIABLE 11 VARIABLE 12 VARIABLE 13  
 VAR 4VAR 5 VAR 5VAR 6

TRANSFORMACIONES

IDEM	ID-MEDIA	CUAD-ORT	ID-MEDIA	CUAD-ORT	ID-MEDIA	CUAD-ORT
9 3 9	9 3 9	RAIZ CUB				

CARRIERS QUE SON POLINOMIOS ORTOGONALES. LA CARRIER 9 ES LA RESPUESTA (X 9=Y)

CARRIER 2 = X 3 + .12468350 00  
 CARRIER 3 = X 4 + -.41012660-01  
 CARRIER 4 = (X 4 + -.40263930-01)\*\*2 + -.26282630-03  
 CARRIER 5 = X 5 + -.44873620-01  
 CARRIER 6 = (X 5 + -.44968940-01)\*\*2 + -.67081710-04  
 CARRIER 7 = X 6 + -.18643040 00  
 CARRIER 8 = (X 6 + -.18241600 00)\*\*2 + -.89058790-03

CORRELACIONES ENTRE LAS CARRIERS Y LA RESPUESTA PONDERADAS.

1.000	.032	.070	.015	-.009	-.528	-.008	.115	-.112	.014	.018	-.051	-.365
	1.000	.009	-.018	.010	-.306	.080	.133	-.147	-.016	-.006	-.055	-.342
		1.000	-.010	.006	-.003	.060	.076	.089	-.010	-.012	.005	.049
			1.000	.000	-.620	-.058	-.137	.140	.005	.007	.010	-.663
				1.000	.034	.255	.078	.081	-.010	-.012	-.478	.131
					1.000	-.000	-.059	.094	-.063	-.050	.111	.833
						1.000	-.084	-.008	.386	.366	-.807	-.052
							1.000	-.013	-.123	-.158	.156	-.123
								1.000	-.151	-.179	.206	.067
									1.000	.063	-.447	.057
										1.000	.386	.033
											1.000	-.005

TOTAL SSQ= .363031410 02 ( .563365660 00) DF= 79 ( 78)  
 REGRESION SSQ= .362750320 02 ( .535256980 00) DF= 13 ( 12)  
 RESIDUAL SSQ= .281086740-01 DF= 66  
 MEDIA SSQ= ( .357397750 02) DF= 1  
 VALOR-F = 6551.91 ( 104.73)



COEF. CORR. MULT. (R2)= .979226 (.950106)  
 LOS VALORES ENTRE ( ) CORRESPONDEN A QUITAR EL EFECTO DE LA MEDIA DE LA RESPUESTA. ESTO TIENE VALIDEZ SI  
 EN LA MATRIZ DE DISEÑO EXISTE UNA COLUMNA DE 1'S (1=VALIDO,0=NO VALIDO).ES=1

SSQ RESIDUAL MEDIA (RMS)= .4258899340-03  
 RALZ SSQ RESIDUAL MEDIA (RRMS)= .2063707812D-01  
 GRADOS DE LIBERTAD RESIDUALES= 66

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS COEFICIENTES

1.000	-.090	-.128	-.023	-.130	.568	-.220	.672	-.271	-.371	.277	.181	.871
1.000	.354	-.080	.537	-.096	.703	-.077	.035	.029	.021	.006	-.105	
1.000	-.012	.381	-.099	.507	.184	-.009	.127	.057	.049	-.147		
1.000	-.024	-.000	-.035	-.074	-.063	-.063	.001	.004	-.037			
1.000	-.145	.787	-.090	.214	.123	.008	-.016	-.151				
1.000	-.207	.350	-.228	-.258	.290	.218	.654					
1.000	-.197	.182	-.019	.005	.001	-.254						
1.000	1.000	-.174	-.361	-.003	-.082	.772						
1.000	1.000	.092	.015	.075	-.249							
1.000	1.000	.036	.106	-.367								
1.000	1.000	.222	.326									
1.000	1.000	.218										

COEFICIENTE 1=	.6626048D 00	VALOR-T=	138.14	DESV. TIP=	.47965785D-02	SSQ	REGRESION=	.3520822D 02
COEFICIENTE 2=	-.6253501D 00	VALOR-T=	-4.68	DESV. TIP=	.13358268D 00	SSQ	REGRESION=	.3808408D-01
COEFICIENTE 3=	-.2155424D 01	VALOR-T=	-12.59	DESV. TIP=	.17120154D 00	SSQ	REGRESION=	.1261654D 00
COEFICIENTE 4=	-.3489540D 02	VALOR-T=	2.81	DESV. TIP=	.12426325D 02	SSQ	REGRESION=	.2179821D-02
COEFICIENTE 5=	-.5361038D 01	VALOR-T=	-11.33	DESV. TIP=	.47333541D 00	SSQ	REGRESION=	.1942194D 00
COEFICIENTE 6=	.2157806D 03	VALOR-T=	3.16	DESV. TIP=	.68298864D 02	SSQ	REGRESION=	.8851136D-02
COEFICIENTE 7=	.8624857D 00	VALOR-T=	5.22	DESV. TIP=	.16521988D 00	SSQ	REGRESION=	.1418073D 00
COEFICIENTE 8=	-.2581034D 02	VALOR-T=	-5.81	DESV. TIP=	.44456272D 01	SSQ	REGRESION=	.9197970D-02
COEFICIENTE 9=	-.6313399D-01	VALOR-T=	-2.78	DESV. TIP=	.22746732D-01	SSQ	REGRESION=	.3667318D-01
COEFICIENTE 10=	.6090236D-01	VALOR-T=	2.52	DESV. TIP=	.24198211D-01	SSQ	REGRESION=	.4399614D-01
COEFICIENTE 11=	.9462846D 00	VALOR-T=	3.47	DESV. TIP=	.27299440D 00	SSQ	REGRESION=	.3611194D-02
COEFICIENTE 12=	.6062283D 02	VALOR-T=	3.00	DESV. TIP=	.20234145D 02	SSQ	REGRESION=	-.5978342D-02
COEFICIENTE 13=	-.6866972D 02	VALOR-T=	-2.60	DESV. TIP=	.26446381D 02	SSQ	REGRESION=	.5485751D 00

PESOS ESTIMACIONES RESIDUOS(PESADO) STUDENT.RES. STUD.JACK.RES VAR-RATIO WSSD WSSOISIN PESO) INCR.BETAJAC TRAZA DIRECCION

1.00	.7988304D 00	.1448827D-01	.7573315	.75485929	.16	14.18	14.18	.11345D 02	.46445D 05	.2837D 06
1.00	.7974848D 00	.1381326D-01	.7222967	.71965385	.10	13.64	13.64	.21510D 02	.56808D 05	.5885D 06
1.00	.7020926D 00	-.1412946D-02	-.0717416	-.07119883	.10	7.47	7.47	.63132D 00	.28801D 06	.2960D 07
1.00	.7043312D 00	-.3119966D-01	-1.5854258	-1.60421345	.10	7.42	7.42	.32449D 03	.30312D 06	.3039D 07
1.00	.6636157D 00	-.3230283D-02	-.1697909	-.16853647	.18	14.51	14.51	.71843D 00	.58514D 05	.3313D 06
1.00	.6550867D 00	.1730834D-01	.9086391	.90742279	.17	14.73	14.73	.22143D 02	.62972D 05	.3625D 06
1.00	.7226158D 00	.1846373D-01	.9440130	.94322363	.11	8.73	8.73	.26242D 02	.69144D 05	.6103D 06
1.00	.7042193D 00	.2325935D-01	1.2239641	1.22868074	.10	9.50	9.50	.38824D 03	.60851D 06	.3393D 07
1.00	.6216228D 00	.2310781D-01	1.1675578	1.17083341	.09	2.88	2.88	.98781D 02	.17015D 06	.1950D 07
1.00	.5734312D 00	.1458547D-02	.0785298	.07793629	.23	5.21	5.21	.32186D 00	.12255D 06	.5224D 06
1.00	.5337708D 00	.2019498D-01	1.0853271	1.08681566	.23	25.09	25.09	.16957D 02	.33801D 05	.1469D 06
1.00	.5540615D 00	-.1731130D-01	-.6406177	-.63773179	.15	18.57	18.57	.45841D 01	.26228D 05	.1713D 06
1.00	.6576564D 00	-.9734058D-02	-.5123778	-.50949568	.18	13.73	13.73	.50399D 02	.45076D 06	.2504D 07
1.00	.5808786D 00	-.8325673D-16	-.0000000	-.0000000	*****	23.27	23.27	.50399D 02	.45076D 06	.2504D 07
1.00	.637909D 00	.1676763D-02	.0941750	.09346509	.34	14.36	14.36	.55180D 01	.14609D 07	.4253D 07
1.00	.5698544D 00	-.1480352D-01	-.7485390	-.74602003	.09	7.15	7.15	.18928D 02	.79321D 05	.8921D 06
1.00	.5342890D 00	-.2277529D-01	-1.2058044	-1.21003734	.19	9.61	9.61	.64255D 02	.10377D 06	.5355D 06
1.00	.5828482D 00	.1807635D-01	.9109185	.90972802	.08	6.76	6.76	.50417D 02	.14267D 06	.1750D 07

1.00	51362500	00	-1720720-01	-92450504	41.99	41.99	-280670	02	666200	05	21880	06
1.00	82455390	00	30587160-01	1.6059867	30.34	30.34	263500	02	215500	05	13650	06
1.00	82410290	00	-22924520-01	-1.2038328	16.89	16.89	175470	02	284300	05	16300	06
1.00	73052720	00	24452920-01	1.3638957	13.71	13.71	321970	03	406350	06	12510	07
1.00	73415790	00	29610010-01	1.5128878	7.15	7.15	197480	03	202600	06	18130	07
1.00	69207200	00	-13033120-01	-0.674468	7.43	7.43	380140	02	194690	06	12910	07
1.00	68879620	00	-20415020-01	-1.0923369	14.52	14.52	441560	02	868910	05	39620	06
1.00	75915920	00	-11279320-01	-0.6068080	14.61	14.61	123760	02	739170	05	3320	06
1.00	76043190	00	-20417460-02	-1.051392	10.48	10.48	297930	00	632440	05	48930	06
1.00	68057430	00	-44793030-02	-2300584	8.73	8.73	484030	00	214730	05	17400	06
1.00	68262590	00	-11093210-01	-5694753	8.80	8.80	305380	01	221100	05	18070	06
1.00	68242400	00	-22240450-01	-1.1213603	2.41	2.41	131900	03	246460	06	29810	07
1.00	67955150	00	-10766990-01	-5433118	2.46	2.46	316960	02	252120	06	29860	07
1.00	64194970	00	-19931250-01	-1.0110271	2.67	2.67	110420	03	253640	06	26460	07
1.00	65395490	00	18215770-01	802890	9.43	9.43	480140	02	127520	06	94500	06
1.00	71917530	00	-18880260-01	-8744580	9.44	9.44	470550	02	116350	06	86510	06
1.00	71885490	00	25011220-01	1.2946105	9.44	9.44	157860	03	221160	06	15680	07
1.00	71820520	00	36193590-01	1.9031477	12.95	12.95	229700	03	149080	06	8370	06
1.00	64194970	00	-74762100-02	-3959193	13.63	13.63	148770	02	222440	06	11460	07
1.00	62338850	00	-32792800-01	-1.7178041	12.65	12.65	113160	03	900640	05	5330	06
1.00	61990640	00	-21479000-01	1.0973481	6.59	6.59	134670	03	262600	06	23530	07
1.00	31864400	00	-44287970-03	-0.2245441	6.59	6.59	572560	01	262600	06	23530	07
1.00	66575300	00	1624230-01	89428579	13.65	13.65	691900	02	202520	06	91450	06
1.00	66575300	00	17574660-01	8331457	13.96	13.96	565320	02	152440	06	73460	06
1.00	64647250	00	16691670-02	0884015	17.04	17.04	320430	00	962760	05	49480	06
1.00	75143630	00	-22890270-01	-1.2111166	16.30	16.30	705840	02	112990	06	58770	06
1.00	74952460	00	21050780-01	1.08784122	7.75	7.75	320580	02	697540	05	51980	06
1.00	63748130	00	64407370-02	3333546	7.12	7.12	119850	02	253240	06	17980	07
1.00	58467470	00	-14002190-01	-74276970	14.68	14.68	130090	02	549890	05	26610	06
1.00	69483950	00	32493590-01	1.7295606	14.68	14.68	700560	02	549890	05	26610	06
1.00	59734400	00	-27756570-01	-1.4476751	8.72	8.72	128790	03	144290	06	91020	06
1.00	60690520	00	-3023270-02	-1.580385	8.72	8.72	243280	01	228710	06	13900	07
1.00	59855640	00	34175710-01	1.7351340	2.86	2.86	391410	03	305260	06	31210	07
1.00	52824290	00	-33800210-01	-1.7160696	2.86	2.86	382860	03	305260	06	31210	07
1.00	52824290	00	-10795400-01	-5653507	9.84	9.84	188470	02	138450	06	82400	06
1.00	82907810	00	-77792220-02	-4071696	9.84	9.84	977580	01	138450	06	82400	06
1.00	83636730	00	24287810-02	1296724	13.36	13.36	337460	01	471220	06	22020	07
1.00	72926180	00	-22012630-01	-1.1708847	13.36	13.36	219410	03	375780	06	18330	07
1.00	73379000	00	30525880-01	1.5833273	6.63	6.63	379560	03	366500	06	31160	07
1.00	77186330	00	-30815240-01	-1.5639420	6.63	6.63	288050	03	276520	06	28510	07
1.00	76951550	00	-89935260-02	-47484904	19.01	19.01	141000	02	145110	06	72060	06
1.00	67570600	00	42644660-02	2264924	19.01	19.01	317030	01	145110	06	72060	06
1.00	67298910	00	20864270-01	1.1214638	32.42	32.42	372190	02	694970	05	30150	06
1.00	62761480	00	-16054090-01	-8453872	26.54	26.54	224970	02	739140	05	40840	06
1.00	63153430	00	-23861360-01	-1.2290651	8.36	8.36	636500	02	989360	05	76140	06
1.00	73444980	00	-12024770-01	-6120837	7.54	7.54	188140	02	117910	06	11390	07
1.00	72922540	00	10136200-01	59065106	15.66	15.66	229650	03	153040	07	33230	07
1.00	64714320	00	-19428900-15	-0.0000000	24.57	24.57	173690	01	151460	05	10670	06
1.00	61568370	00	10021210-01	5189019	17.84	17.84	148400	01	160320	05	10200	06
1.00	61175210	00	-89249980-02	-4653314	19.55	19.55	183170	01	155120	06	13970	07
1.00	61175210	00	32601210-02	1.665109	3.00	3.00	152480	03	139550	06	10650	07
1.00	61175210	00	31068980-01	1.6011717	3.49	3.49	152480	03	139550	06	10650	07
1.00	61175210	00	17115770-01	91911281	9.97	9.97	282740	03	784020	06	33940	07
1.00	61175210	00	-31534290-01	-1.6612204	9.75	9.75	407920	03	356330	06	23560	07
1.00	61175210	00	13882620-01	73241978	19.05	19.05	217880	02	946990	05	47180	06
1.00	61175210	00	10028770-01	5428125	22.73	22.73	151440	02	120680	06	48730	06
1.00	61175210	00	70700950-02	3640307	6.64	6.64	117700	02	198400	06	15340	07
1.00	61175210	00	97836580-02	5002929	6.29	6.29	248300	07	232930	06	20500	07
1.00	61175210	00	12002620-01	-6408324	13.74	13.74	511750	02	292600	06	13670	07
1.00	61175210	00	-20203910-01	-1.1297825	13.98	13.98	517350	03	951700	06	28690	07

1.000	-0.74	-0.140	-0.141	0.54	0.526	-0.135	0.617	-0.455	-0.653	0.237	0.393	0.444
1.000	0.408	-0.234	0.600	-0.210	0.751	-0.077	-0.141	0.080	0.101	-0.040	-0.082	
1.000	-0.095	0.387	-0.132	0.520	0.196	-0.072	0.260	0.085	-0.044	-0.161		
1.000	-0.197	-0.021	-0.173	-0.090	-0.206	-0.054	-0.168	-0.089	-0.189			
1.000	-0.049	0.797	0.065	0.441	-0.364	0.082	-0.054	0.060				
1.000	0.108	0.360	-0.410	-0.501	0.230	0.328	0.641					
1.000	0.158	0.363	-0.116	0.019	-0.086	-0.145						
1.000	-0.225	-0.637	-0.017	0.086	0.758							
1.000	0.287	-0.246	0.112	-0.646								
1.000	0.206	1.000	0.431	0.310								
1.000	0.447	1.000	1.000	1.000								
1.000												

COEFICIENTE 1=	.6626068D 00	VALOR-T=	141.66	DESV.TIP=	.46774023D-02
COEFICIENTE 2=	-.6253501D 00	VALOR-T=	-4.13	DESV.TIP=	.15129341D 00
COEFICIENTE 3=	-.2155624D 01	VALOR-T=	-11.66	DESV.TIP=	.18483316D 00
COEFICIENTE 4=	.3489940D 02	VALOR-T=	2.62	DESV.TIP=	.13331825D 02
COEFICIENTE 5=	-.5361038D 01	VALOR-T=	-10.53	DESV.TIP=	.50911966D 00
COEFICIENTE 6=	.2157806D 03	VALOR-T=	2.93	DESV.TIP=	.73553270D 02
COEFICIENTE 7=	.8624857D 00	VALOR-T=	5.02	DESV.TIP=	.17173915D 00
COEFICIENTE 8=	-.2581034D 02	VALOR-T=	-5.66	DESV.TIP=	.45609608D 01
COEFICIENTE 9=	-.6313399D-01	VALOR-T=	-7.55	DESV.TIP=	.83667294D-02
COEFICIENTE 10=	.6090236D-01	VALOR-T=	4.58	DESV.TIP=	.13286183D-01
COEFICIENTE 11=	.9462846D 00	VALOR-T=	3.47	DESV.TIP=	.27299749D 00
COEFICIENTE 12=	.6062283D 02	VALOR-T=	2.70	DESV.TIP=	.22488397D 02
COEFICIENTE 13=	-.6866972D 02	VALOR-T=	-2.68	DESV.TIP=	.25590518D 02

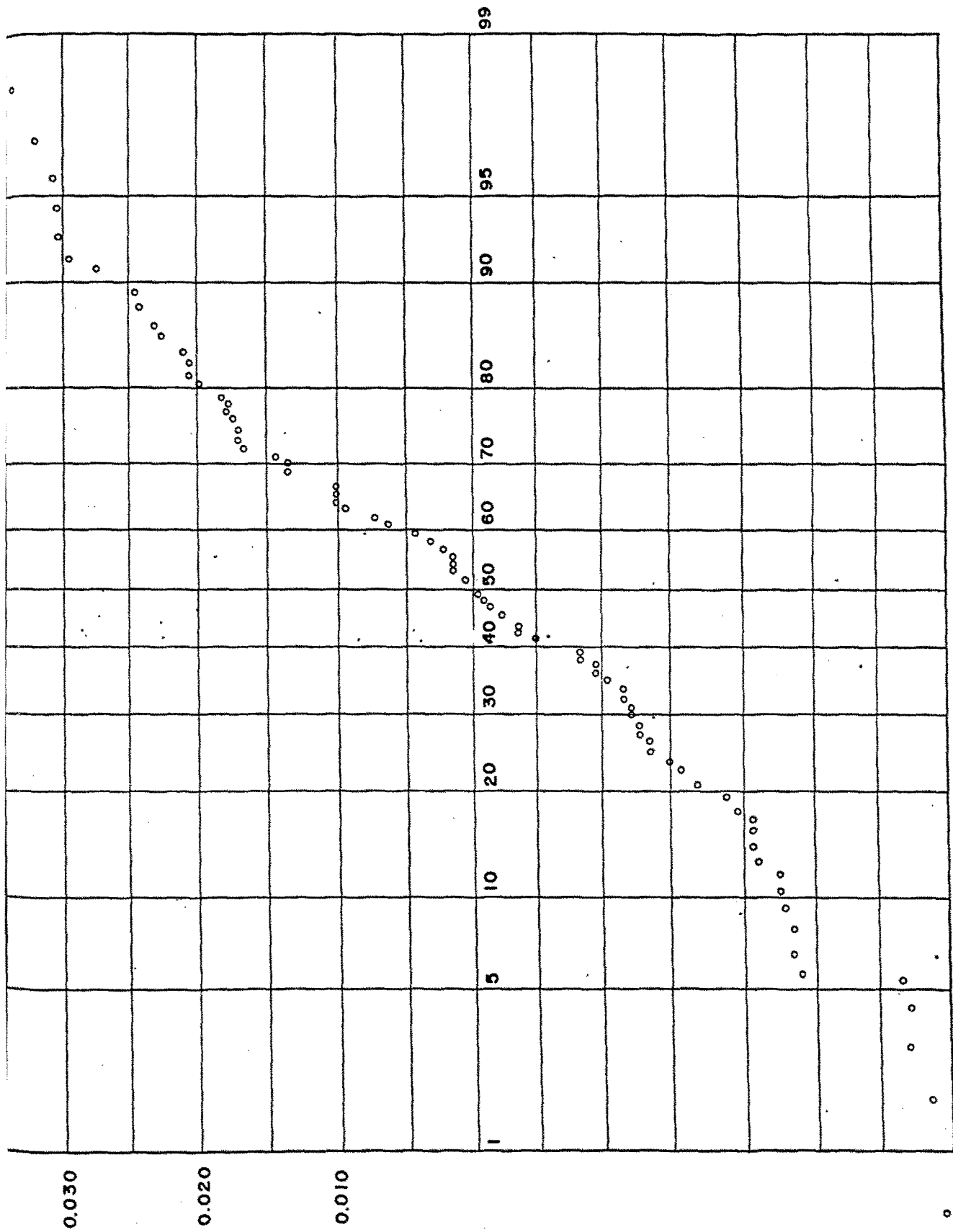


FIG. 7 .- SOLUCION I - REPRESENTACION EN PAPEL PROBABILISTICO NORMAL DE LOS RESIDUOS

ABSCISAS : A - 0.1247

ORDENADAS : RESIDUOS

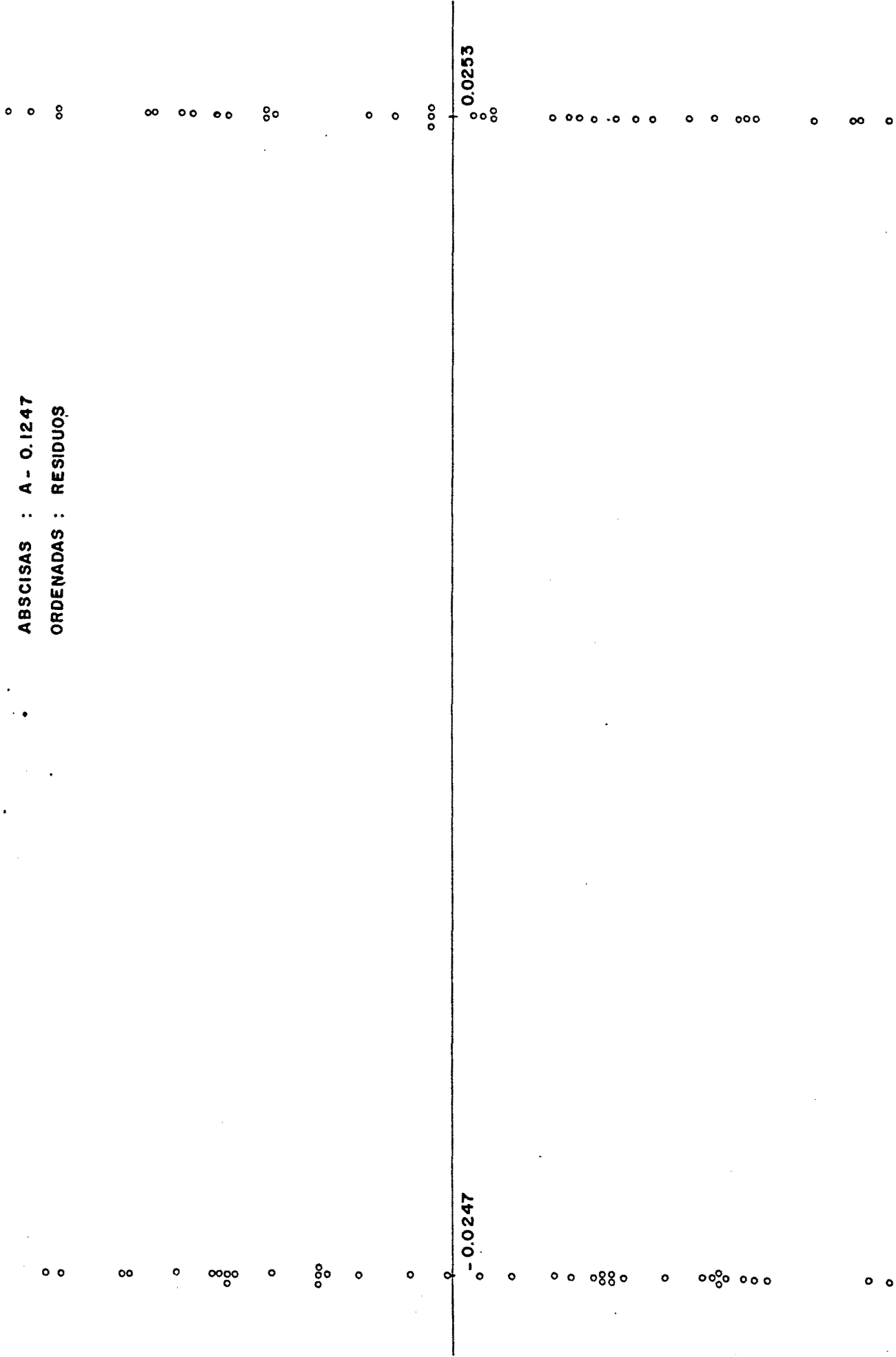


FIG. 8 .- SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE ARENA - RESIDUO

ABSCISAS :  $r - 0.04101$   
ORDENADAS : RESIDUOS

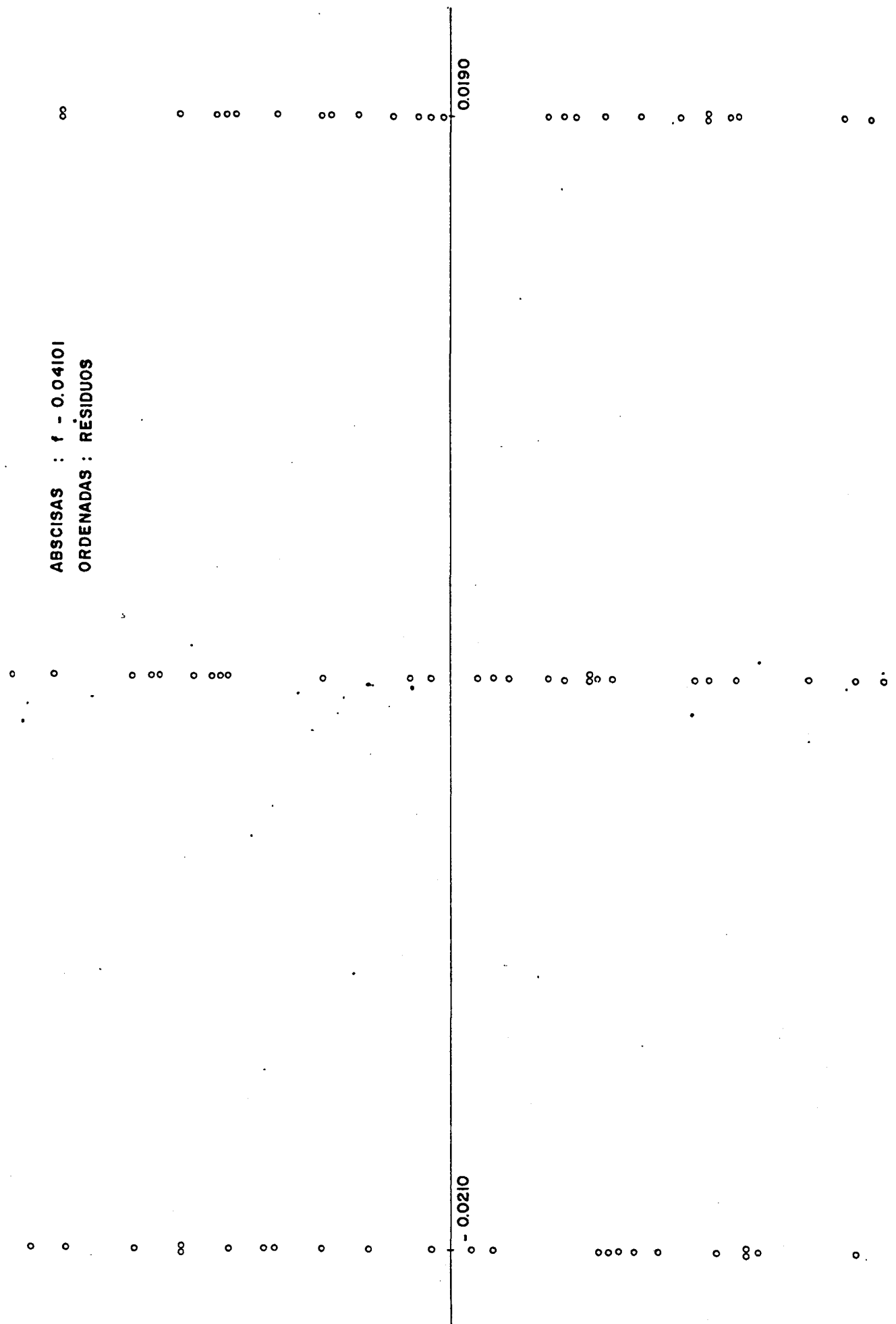


FIG. 9 .- SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE FILLER - RESIDUO

ABSCISAS :  $(1 - 0.04026)^2 - 0.000263$

ORDENADAS: RESIDUOS

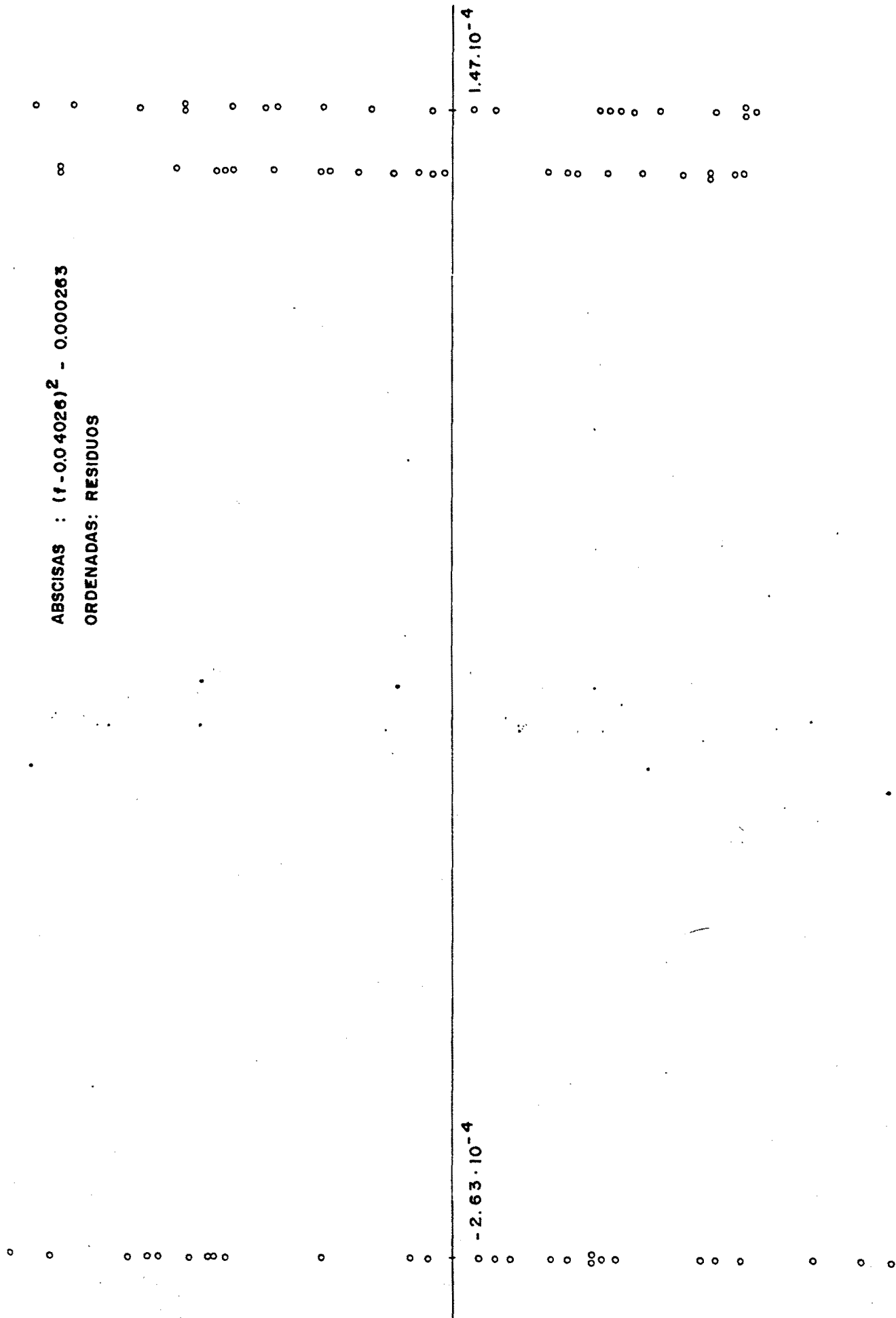


FIG. 10.- SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE FILLER<sup>2</sup> - RESIDUO

ABSCISAS : b - 0.04487  
 ORDENADAS : RESIDUOS

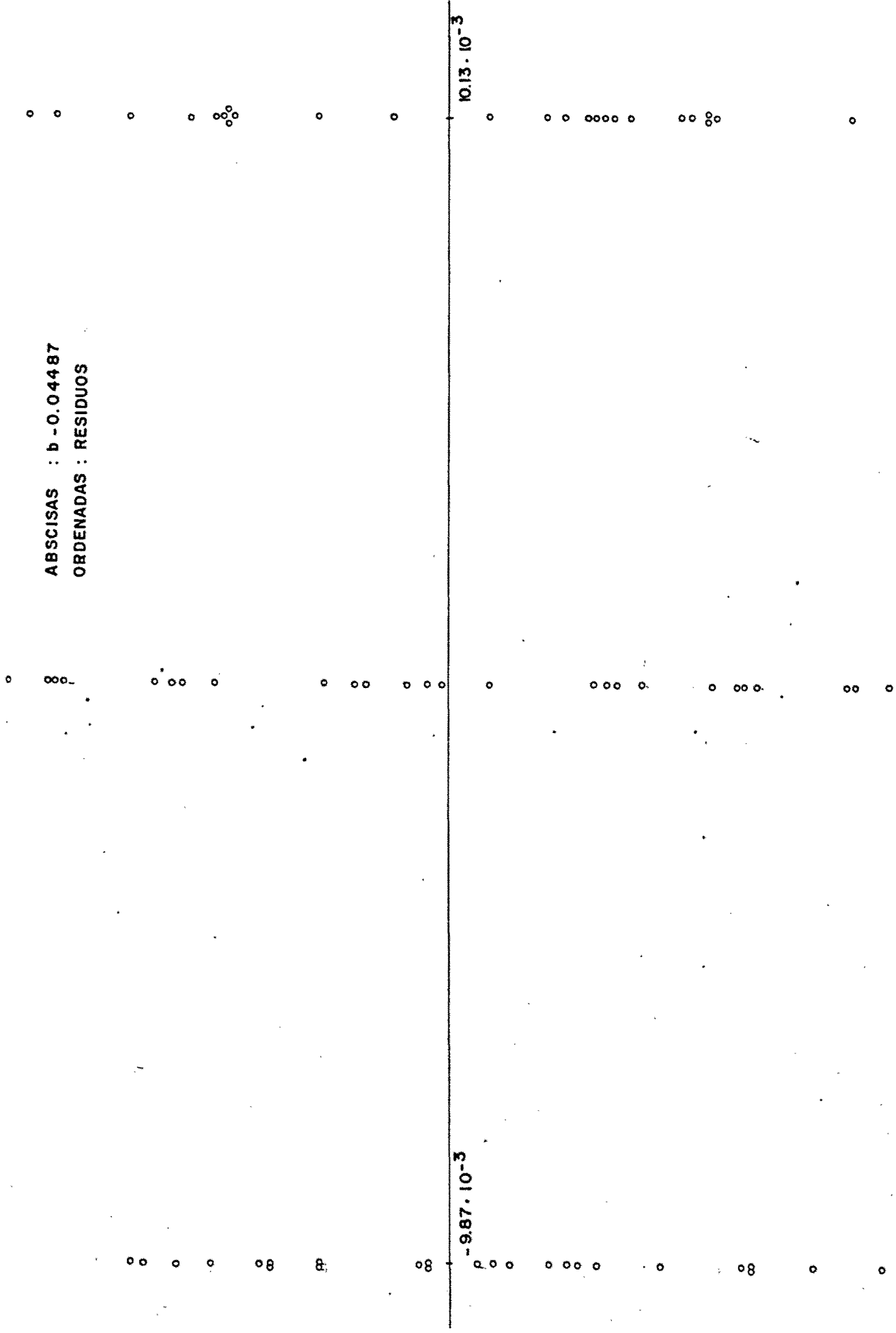


FIG. 11 .- SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE BETUN - RESIDUO



ABSCISAS :  $(b - 0.04497)^2 - 0.000067$   
ORDENADAS: RESIDUOS

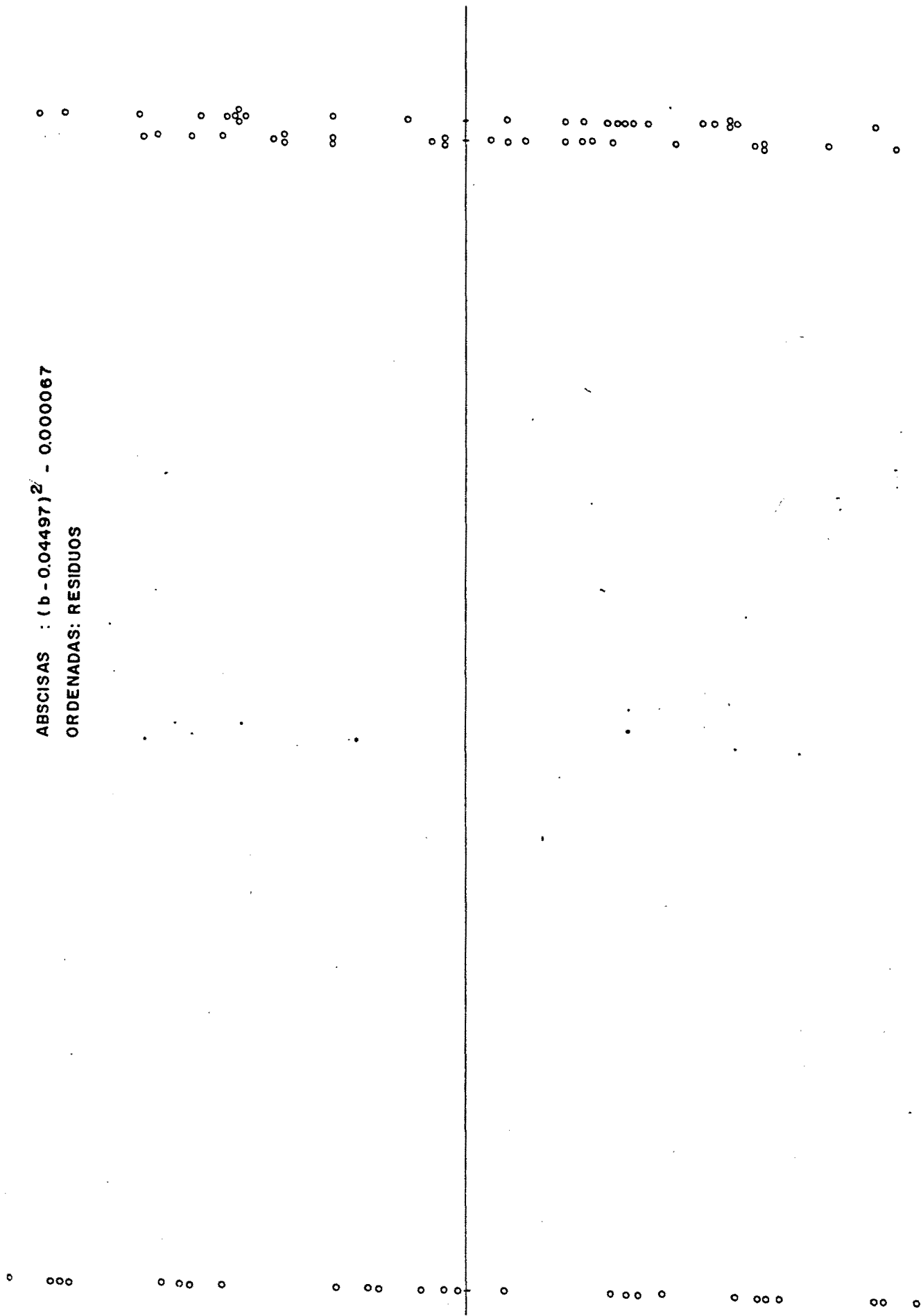


FIG. 12.- SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION: PORCENTAJE BETUN<sup>2</sup> - RESIDUO

ABSCISAS : H - 0.1864  
ORDENADAS : RESIDUOS

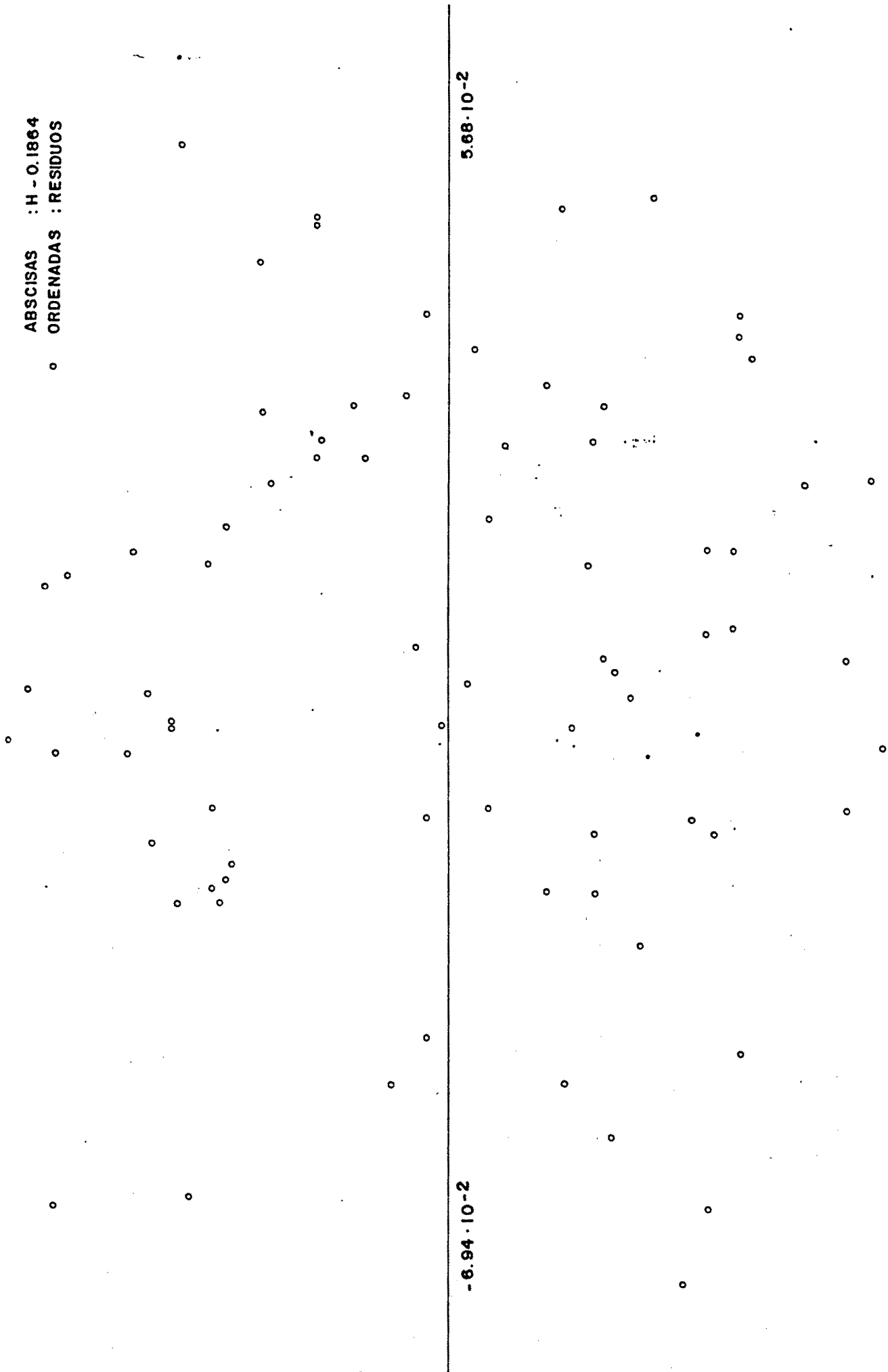


FIG.13 .-. SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : HUECOS -- RESIDUO

ABSCISAS :  $(H - 0.1824)^2 - 0.00089$   
 ORDENADAS : RESIDUOS

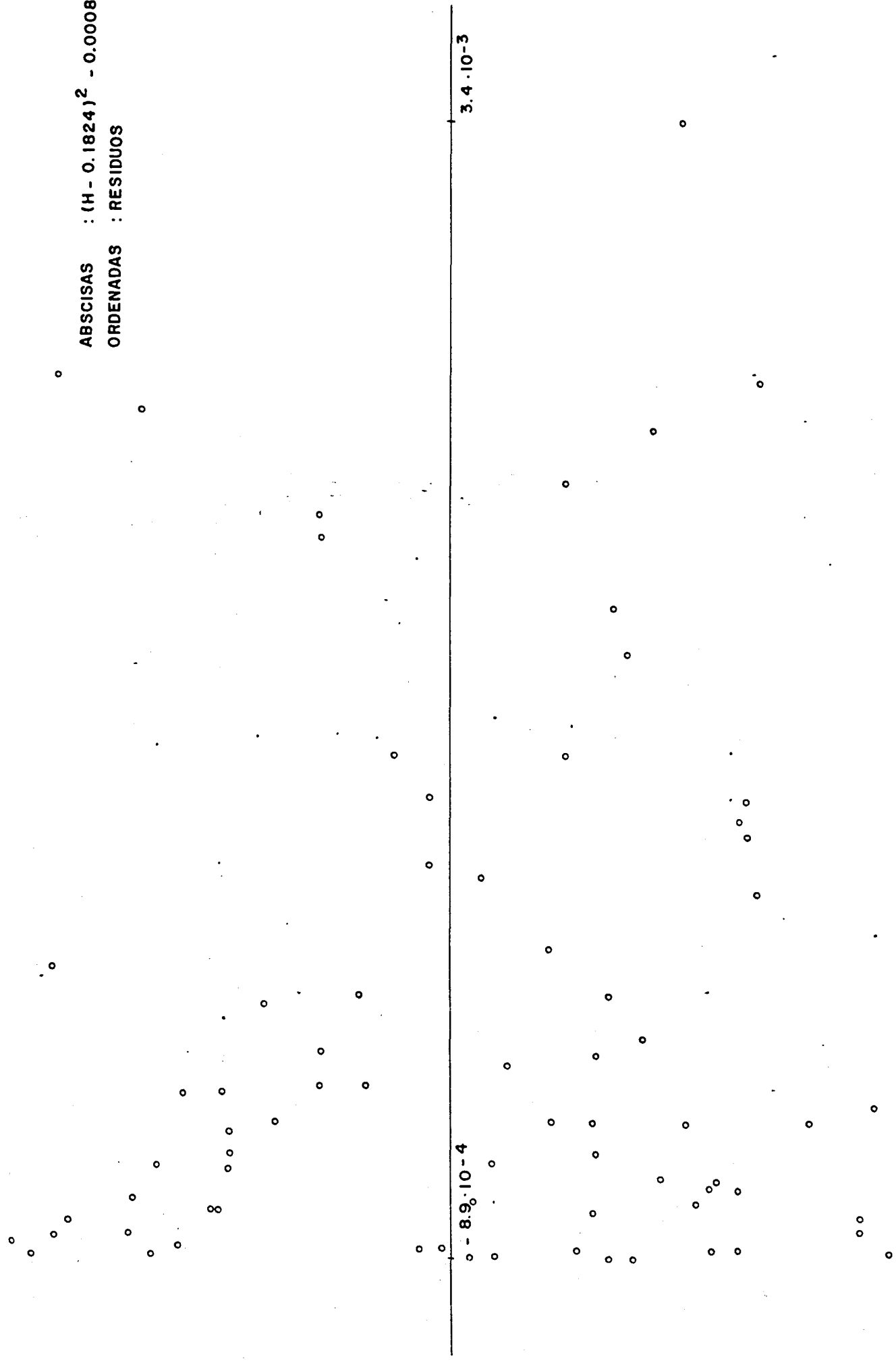


FIG. 14 .- SOLUCION 1 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : HUECOS<sup>2</sup>- RESIDUO

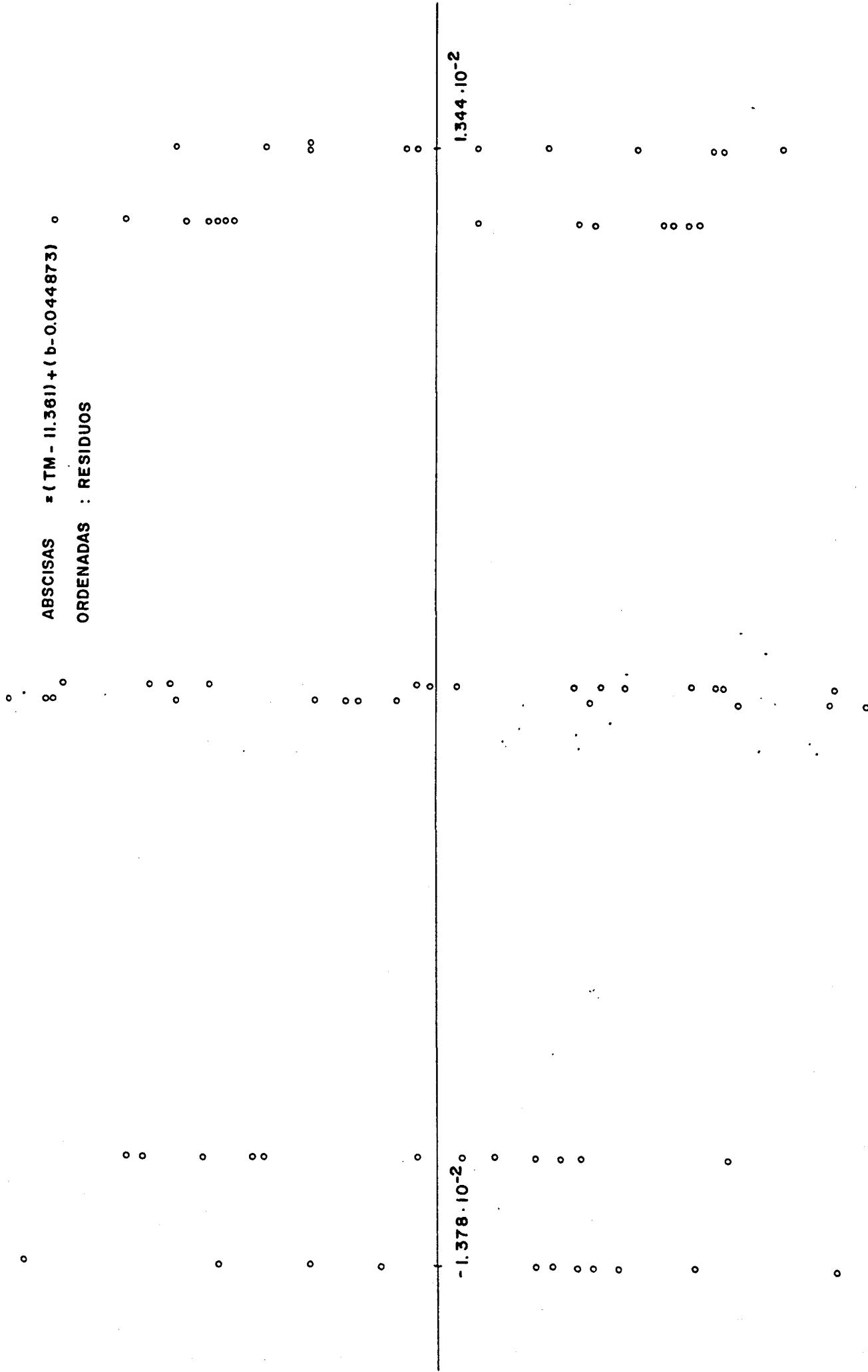


FIG.15 .- SOLUCION 1 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : BETUN x TAMAÑO MAXIMO - RESIDUO

ABSCISAS : ( b - 0.044873 ) + ( f - 0.0401026 )  
 ORDENADAS : RESIDUOS

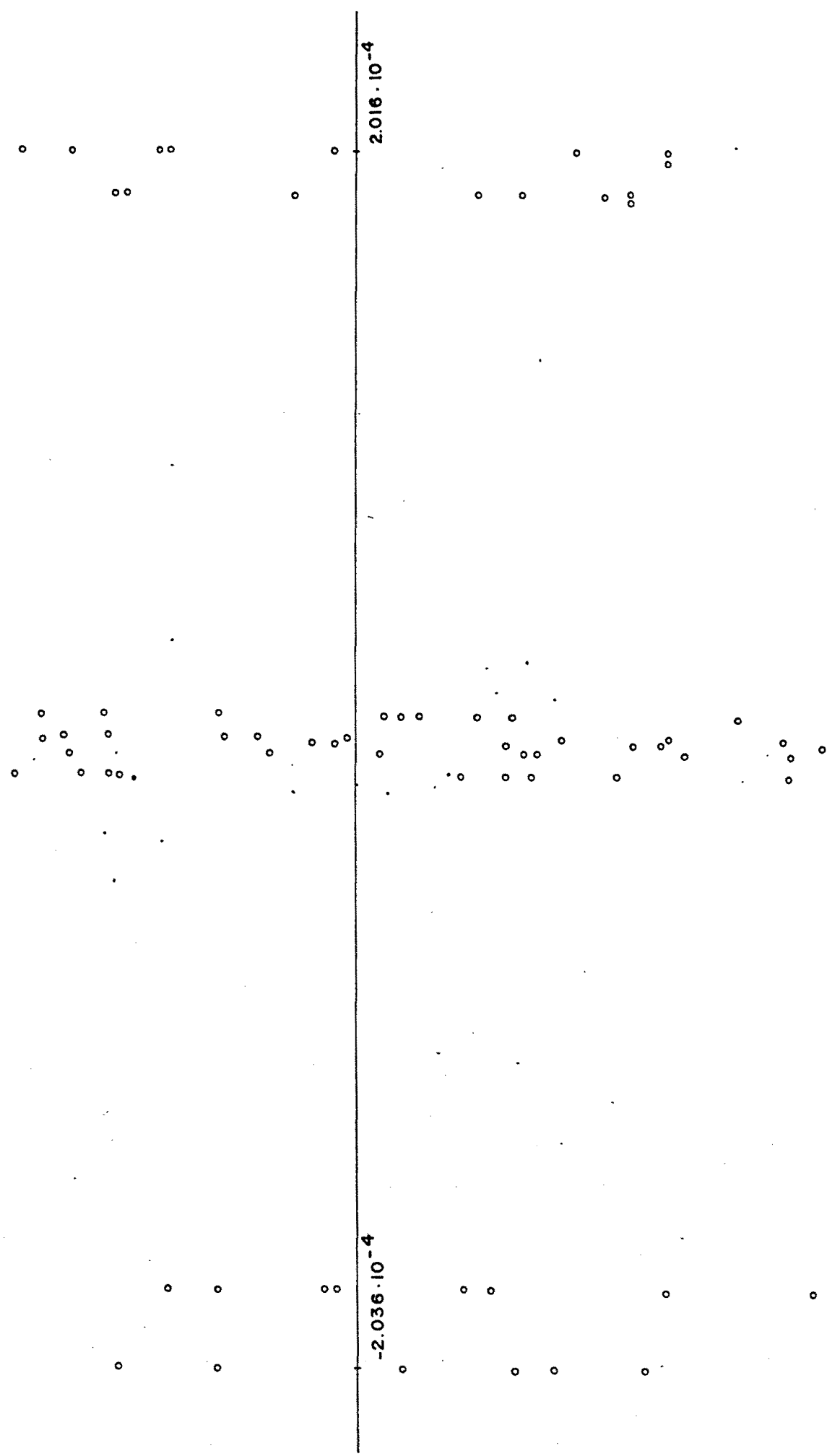


FIG. 16 - SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : BETUN x FILLER - RESIDUO

ABSCISAS : ( b - 0.04497 ) ( H - 0.1864 )  
 ORDENADAS : RESIDUOS

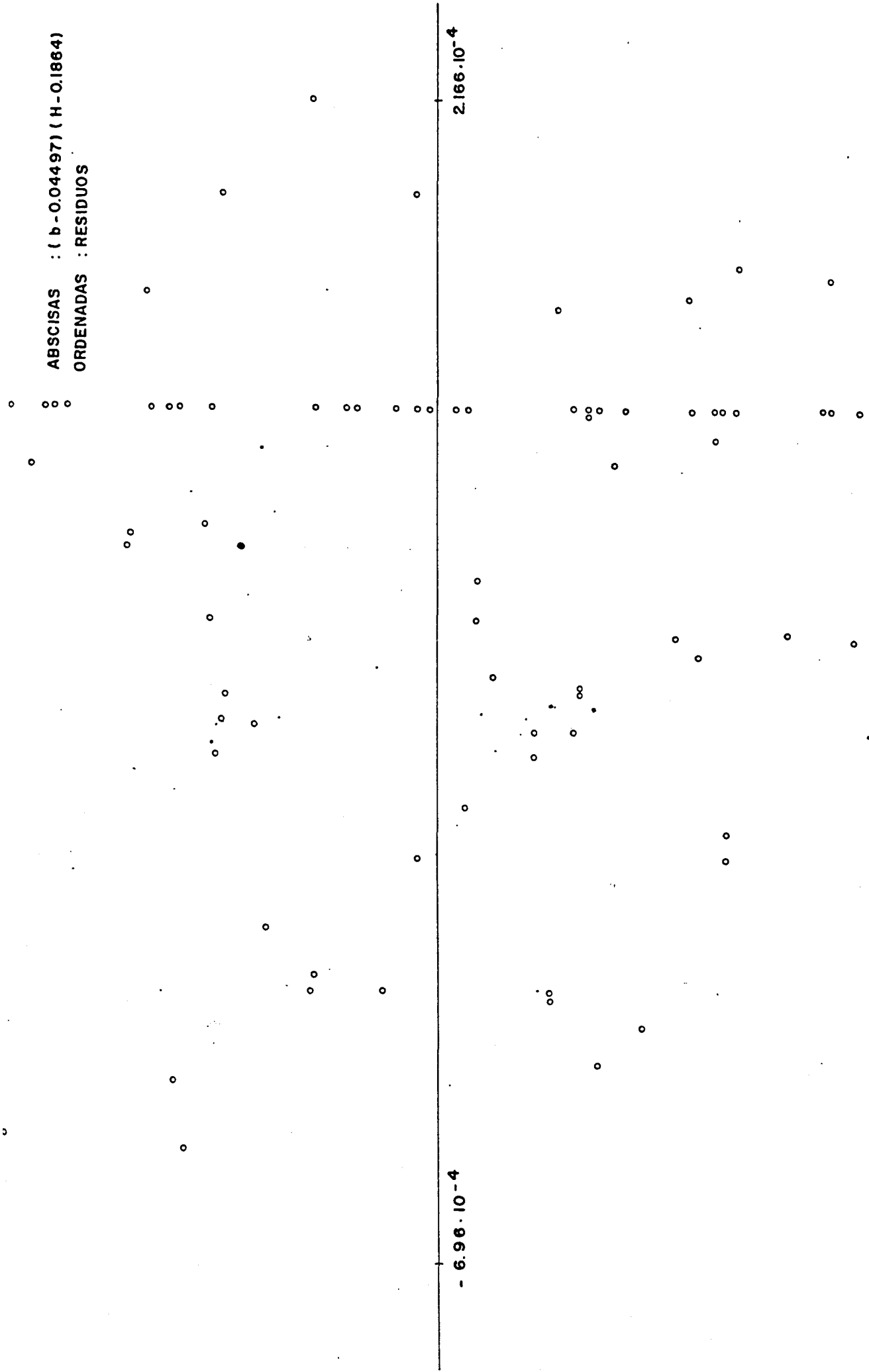


FIG.17.- SOLUCION I - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : BETUN x HUECOS - RESIDUO

SOLUCION 2

NO. COLUMNAS=15 NPO PUNTOS=79 VARIANZA=.53432856910-03 COTA CP= 1.02 NPO COLUMNAS FUNDAMENTALES= 9

COLUMNAS	CP	COLUMNAS	CP	COLUMNAS	CP	COLUMNAS	CP
011111100110	12.469	0111111000111	13.977	0111111001110	12.654	0111111001111	13.746
011111101010	14.124	0111111010111	15.146	0111111011110	13.922	0111111011111	15.061
011111100110	13.327	0111111001110	14.262	0111111011110	13.028	0111111011111	14.086
011111101010	14.571	0111111011110	14.276	0111111000110	12.814	0111111000111	13.134
011111100110	12.560	0111111001111	13.679	0111111010110	13.967	0111111010111	14.093
011111101010	13.697	0111111010111	14.861	0111111001110	13.175	0111111001111	14.112
011111101010	12.893	0111111010111	13.864	0111111010110	14.304	0111111010111	15.245
011111101110	13.935	0111111011111	15.000				

MINIMO CP= 12.460

NUMERO DE VARIABLES= 8 NUMERO DE PUNTOS= 79

NUMERO DE CARRIERS PARA CADA VARIABLE

1 1 2 2 0 0 0 1

VARIABLE	MEGIA(PUNTO)	MINIMO	MAXIMO	PUNTO	MAX/MIN
1	100000 01	100000 01	100000 01	000000 00	1.00
2	113610 02	100000 02	125000 02	250000 01	1.25
3	124680 00	100000 00	150000 00	500000-01	1.50
4	410150-01	200000-01	600000-01	400000-01	3.00
5	448730-01	350000-01	550000-01	200000-01	1.57
6	136630 00	117000 00	223000 00	126000 00	2.08
7	247170 00	363000 00	171430 01	135000 01	4.71
8	578770 01	505000 01	612000 01	107000 01	1.21
9	318620 00	123000 00	614000 00	511000 00	5.96

OPENDS CARRIER 1 CARRIER 2 CARRIER 3 CARRIER 4 CARRIER 5 CARRIER 6 CARRIER 7 CARRIER 8 CARRIER 9 CARRIER 10 CARRIER 11  
 CARRIER 12 RESPUESTA  
 VARIABLE 1 VARIABLE 2 VARIABLE 3 VARIABLE 4 VARIABLE 5 VARIABLE 6 VARIABLE 7 VARIABLE 8 VARIABLE 9 VARIABLE 10 VARIABLE 11 VARIABLE 12 VARIABLE 13 VARIABLE 14 VARIABLE 15 VARIABLE 16 VARIABLE 17 VARIABLE 18 VARIABLE 19 VARIABLE 20

TRANSFORMACIONES ID-MEDIA ID-MEDIA ID-MEDIA ID-MEDIA CUAD-ORT ID-MEDIA CUAD-ORT

9 3 9 PAIZ CUR

CARRIERS QUE SON POLINOMIOS ORTOGONALES. LA CARRIER 13 ES LA RESPUESTA (X 3=Y)

CARRIER 2 = X 2 + -11350760 02  
 CARRIER 3 = X 3 + -12468350 03  
 CARRIER 4 = X 4 + -41012660-01  
 CARRIER 5 = (X 5 + -40263930-01)\*\*2 + -262927630-03  
 CARRIER 6 = X 5 + -4487320-01  
 CARRIER 7 = (X 5 + -44968340-01)\*\*2 + -67091710-04

CORRELACIONES ENTRE LAS CARRIERS Y LA RESPUESTA PONDERADAS

1.000	-.012	-.057	-.019	-.016	.009	.104	-.124	.003	.050	.013	-.091
	1.000	.032	.070	.015	-.009	.115	.014	.014	.000	.000	-.355
		1.000	.000	-.018	.010	.133	-.133	-.015	.082	.019	-.342
			1.000	-.010	.006	.076	-.076	-.010	.017	.011	.343
				1.000	-.010	.006	.076	-.076	-.010	.017	.343



1.000 .000 -.137 .002 .005 .018 -.006 -.663  
 1.000 .078 -.162 -.010 -.010 -.010 .131  
 1.000 -.013 -.123 .131 -.140 -.123  
 1.000 -.000 .131 .000 -.047  
 1.000 .017 -.017 .057  
 1.000 -.018 -.183  
 1.000 -.073

TOTAL SSQ= .363031410 02 ( .563365660 00) DF= 79 ( 78)  
 REGRESION SSQ= .362667820 02 ( .52706730 00) DF= 12 ( 11)  
 RESIDUAL SSQ= .363389220-01 DF= 67  
 MEDIA ( .357397750 02) DF= 1  
 VALOR-F = 5569.18 ( 8829)

COEF. CORR. MULT. (P?) = .98898 ( .93561)  
 LOS VALORES ENTRE ( ) CORRESPONDEN A QUITAR EL EFECTO DE LA MEDIA DE LA RESPUESTA. ESTO TIENE VALIDEZ SI  
 EN LA MATRIZ DE DISEÑO EXISTE UNA COLUMNA DE 1'S (I=VALIDO=NO VAL. 100). ES=1

SSQ RESIDUAL MEDIA (RMS) = .54267048360-03  
 RAZO SSQ RESIDUAL MEDIA (RMS) = .2329528870-01  
 GRADOS DE LIBERTAD RESIDUALES = 67

$$\sqrt{\text{Var}(N_i)} = 6$$

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS COEFICIENTES

1.000 -.003 .026 .032 .017 -.017 -.010 -.120 -.118 -.002 -.001 -.033  
 1.000 .009 -.061 .016 -.000 .022 -.095 .132 -.015 -.032 -.028  
 1.000 .003 -.034 .001 -.122 -.111 -.031 .032 -.018  
 1.000 .021 -.000 -.023 -.126 -.141 -.001 -.010 -.037  
 1.000 .001 -.012 -.073 .071 .001 .001 .022  
 1.000 .011 -.144 .007 .015 -.039 .027  
 1.000 .075 .162 .001 .001 .021  
 1.000 .042 .133 -.135 .153  
 1.000 .009 -.135 .004  
 1.000 -.036 .036  
 1.000 .002  
 1.000

COEFICIENTE 1 = .67325170 00 VALOR-T = 253.17 DESV.TIP = .265926240-02 SSC REGRESION = .35773950 02  
 COEFICIENTE 2 = -.30983980-02 VALOR-T = -1.45 DESV.TIP = .213978220-02 SSC REGRESION = .23342130-02  
 COEFICIENTE 3 = -.11525480 01 VALOR-T = -10.81 DESV.TIP = .105596870 00 SSC REGRESION = .70190690-01  
 COEFICIENTE 4 = -.27732680 01 VALOR-T = -16.77 DESV.TIP = .165323770 00 SSC REGRESION = .16233020 00  
 COEFICIENTE 5 = .30664090 02 VALOR-T = 2.20 DESV.TIP = .139386970 02 SSC REGRESION = .19155020-02  
 COEFICIENTE 6 = -.70115010 01 VALOR-T = -21.67 DESV.TIP = .323612210 00 SSC REGRESION = .25401230 00  
 COEFICIENTE 7 = .28186610 03 VALOR-T = 4.97 DESV.TIP = .567397550 02 SSC REGRESION = .11561910-01  
 COEFICIENTE 8 = -.79133540-01 VALOR-T = -3.16 DESV.TIP = .250123540-01 SSC REGRESION = .45766930-01  
 COEFICIENTE 9 = .72394010-01 VALOR-T = 2.74 DESV.TIP = .246374130-01 SSC REGRESION = .46146130-01  
 COEFICIENTE 10 = .38989910 00 VALOR-T = 1.50 DESV.TIP = .259647540 00 SSC REGRESION = .14878260-02  
 COEFICIENTE 11 = -.30174700 02 VALOR-T = -4.57 DESV.TIP = .660487790 01 SSC REGRESION = .58709650-02  
 COEFICIENTE 12 = -.35206220 02 VALOR-T = -2.72 DESV.TIP = .129666870 02 SSC REGRESION = .23337410-02

ESTIMACIONES PESIMISTAS (PESADO) STUDENT.T RES STUD.JACK.BRES VAR-RATIO FSSQ WSSQ SIN PESO) INCR-REFIAJAC TRAZA DURECCION

1.00 .90214700 00 .11171750-01 .5219750 .51912161 .19 17.55 17.55 .589140 01 .668310 05 .36190 66  
 1.00 .90714700 00 .91510730-02 .4275634 .42494079 .18 17.55 17.55 .663010 01 .668310 05 .36190 66  
 1.00 .69954930 00 .11302350-02 .0516004 .05121499 .13 9.05 9.05 .754400 00 .176090 09 .13562 07  
 1.00 .69454930 00 -.26417780-01 -1.2060395 -1.21021394 .13 9.05 9.05 .139000 03 .176090 05 .13562 07  
 1.00 .65337490 00 .70605210-02 .3297303 .32752626 .19 16.03 16.03 .344300 01 .582350 05 .31800 06

Table with multiple columns of numerical data, organized in rows and columns. The columns contain various numerical values, likely representing financial or statistical data points.

1.00	.77492330 00	-.14312409-01	-.6593270	-.65652144	.15	10.83	10.83	.1314440 07	.559024 05	.36241 06
1.00	.68016130 00	-.11951620-02	-.0534172	-.05341527	.10	2.32	2.32	.293930 00	.187310 06	.18640 07
1.00	.68015130 00	.23896770-01	1.0760536	1.07734304	.10	2.32	2.32	.117510 03	.137010 06	.18640 07
1.00	.6417250 00	.29390650-02	.1352558	.13426099	.15	11.31	11.31	.605950 00	.610760 05	.60765 06
1.00	.6417250 00	-.41792530-01	-1.9239608	-1.96656941	.15	11.31	11.31	.122590 03	.610260 05	.60660 06
1.00	.74627620 00	-.20162990-02	.0939474	.09325518	.18	16.22	16.22	.212220 00	.443940 05	.24950 06
1.00	.74627620 00	-.70220230-02	-.3271999	-.32500667	.18	16.22	16.22	.257400 01	.443040 05	.24950 06
1.00	.55153420 00	-.26790540-02	.1223598	.17145679	.13	7.71	7.71	.163810 01	.201410 06	.15270 07
1.00	.55153420 00	.80260200-02	.3893109	.36651413	.13	7.71	7.71	.149220 02	.201510 06	.15270 07
1.00	.61316540 00	-.94863570-02	-.4931200	-.48044661	.19	16.71	16.71	.561490 01	.576340 05	.28550 06
1.00	.61315540 00	-.21617270-01	-1.0099826	-1.010103614	.19	16.71	16.71	.291690 02	.526440 05	.28550 06

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS COEFICIENTES BASADA EN EL JACKKNIFF

1.000	.233	.106	.095	.065	.207	-.111	-.459	-.247	-.039	.214	.004
1.000	.001	.187	.211	-.034	.003	-.391	.110	.231	.083	.124	
1.000	.217	-.185	.011	-.313	-.237	-.570	.136	.094	.714		
1.000	.037	.024	.033	-.473	-.376	.058	-.057	.051			
1.000	1.000	-.106	.139	-.331	-.113	-.076	.174	.197			
1.000	.163	.296	-.015	.249	.055	-.123					
1.000	1.000	-.008	.416	.001	-.169	-.003					
1.000	.488	.296	-.430	.148							
1.000	1.000	.019	-.536	-.104							
1.000	.062	.010									
1.000	1.000										
1.000	.025										
1.000	1.000										

COEFICIENTE 1=	.67325170 00	VALOR-T=	238.48	DESV.TIP=	.282314340-02
COEFICIENTE 2=	.30983940-02	VALOR-T=	-1.43	DESV.TIP=	.216681740-02
COEFICIENTE 3=	.11525480 01	VALOR-T=	-10.16	DESV.TIP=	.113407870 00
COEFICIENTE 4=	.27732680 01	VALOR-T=	15.80	DESV.TIP=	.175473660 00
COEFICIENTE 5=	.30664090 02	VALOR-T=	2.11	DESV.TIP=	.145539670 02
COEFICIENTE 6=	.70115010 01	VALOR-T=	-21.33	DESV.TIP=	.328719760 00
COEFICIENTE 7=	.28186610 03	VALOR-T=	4.53	DESV.TIP=	.621807830 02
COEFICIENTE 8=	.279133540-01	VALOR-T=	-8.89	DESV.TIP=	.890513130-02
COEFICIENTE 9=	.72394010-01	VALOR-T=	7.97	DESV.TIP=	.907816260-02
COEFICIENTE 10=	.38989910 00	VALOR-T=	1.51	DESV.TIP=	.259244720 00
COEFICIENTE 11=	.30174700 02	VALOR-T=	-4.27	DESV.TIP=	.706370080 01
COEFICIENTE 12=	-.35206220 02	VALOR-T=	-2.71	DESV.TIP=	.129934170 02

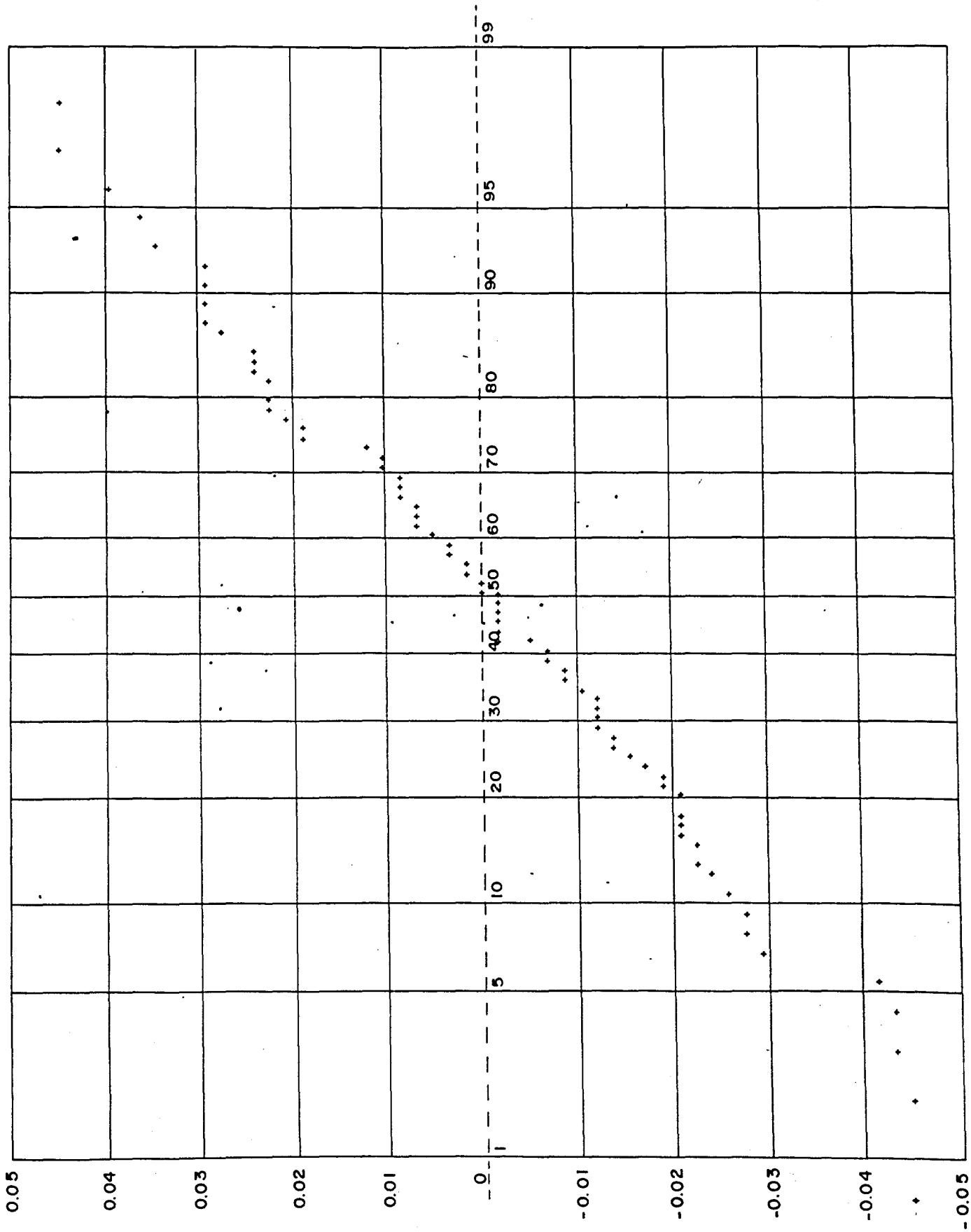


FIGURA. 18.- SOLUCION 2 - REPRESENTACION EN PAPEL PROBABILISTICO NORMAL DE LOS RESIDUOS

ABSCISA : TM - 11.361  
ORDENADA : RESIDUO

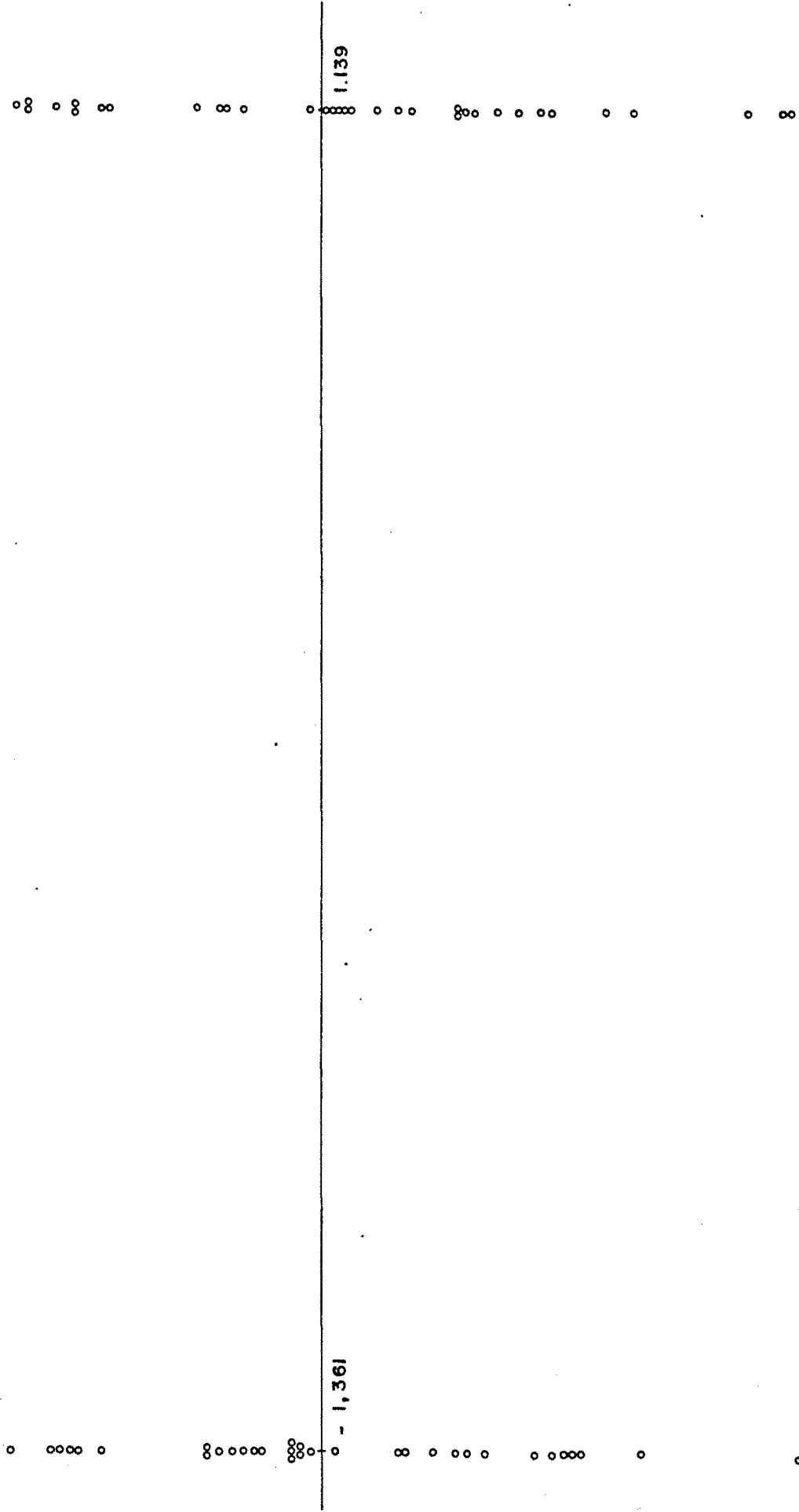


FIGURA 19 .- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : TAMANO MAXIMO - RESIDUO

ABSCISAS : A - 0.12468  
 ORDENADAS : RESIDUO

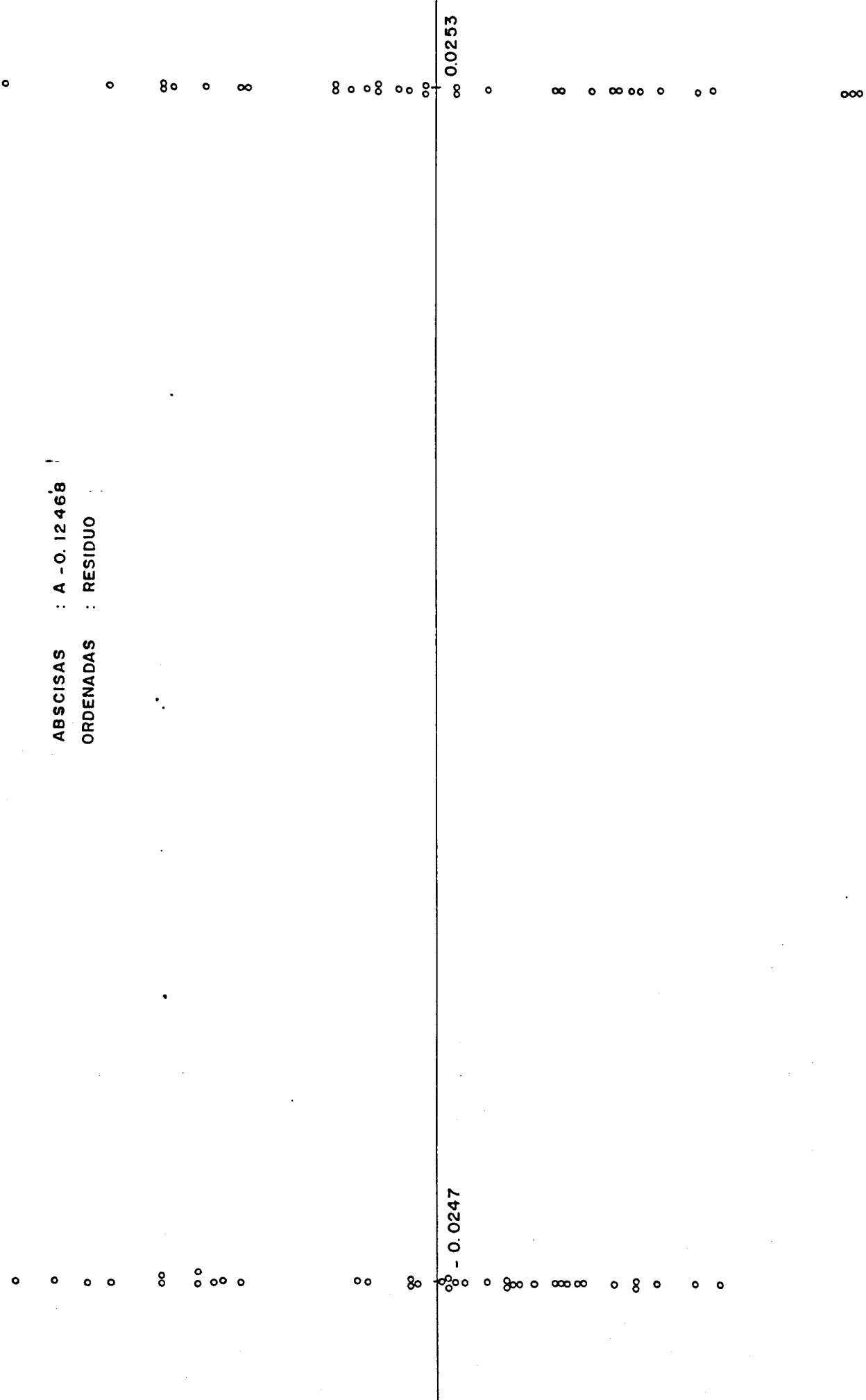


FIGURA 20 .- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE FINOS - RESIDUO

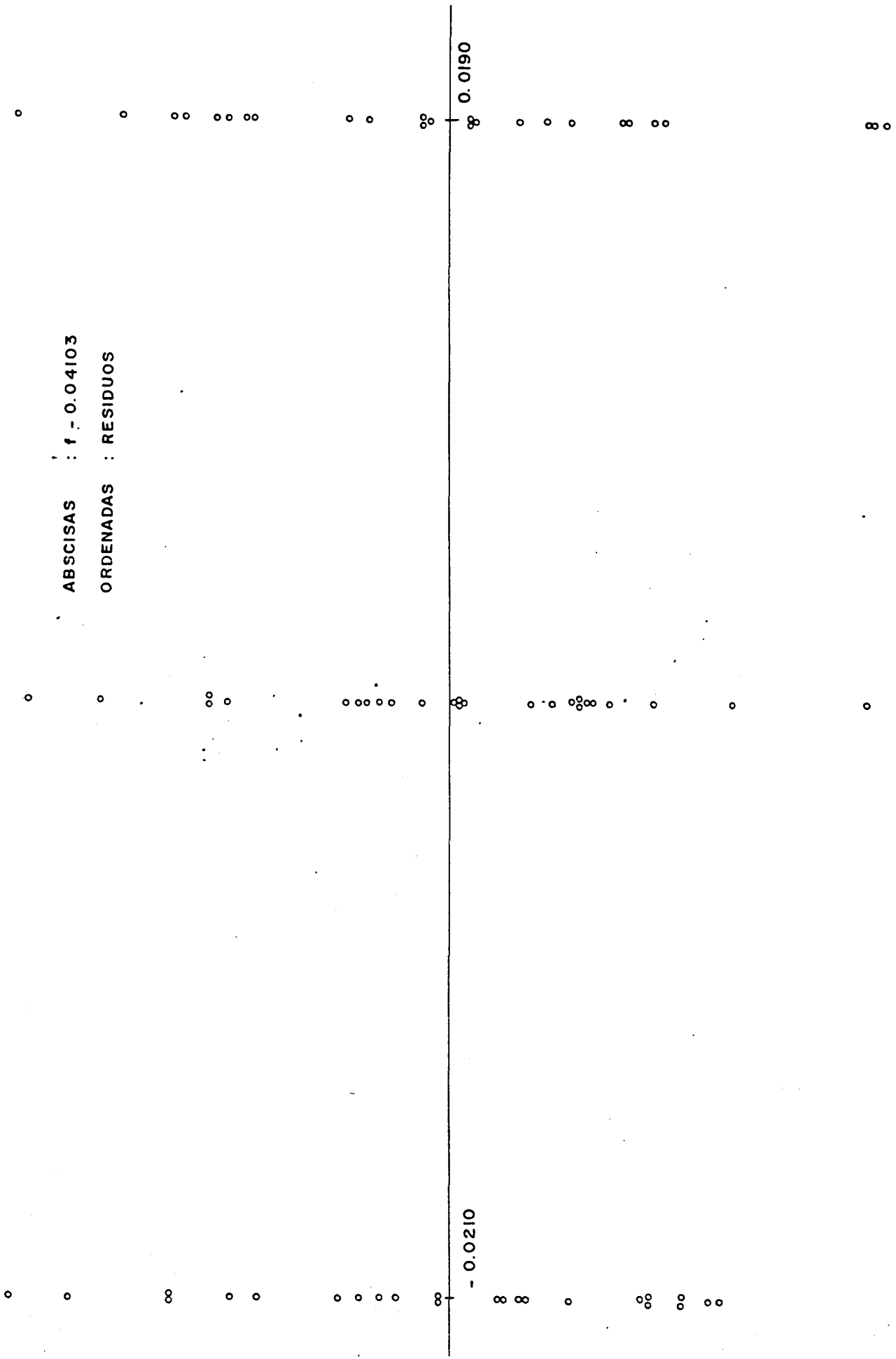


FIGURA 21.- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION: PORCENTAJE FILLER - RESIDUO

ABSCISAS :  $(f - 0.040264)^2 - 0.00268$

ORDENADAS: RESIDUOS

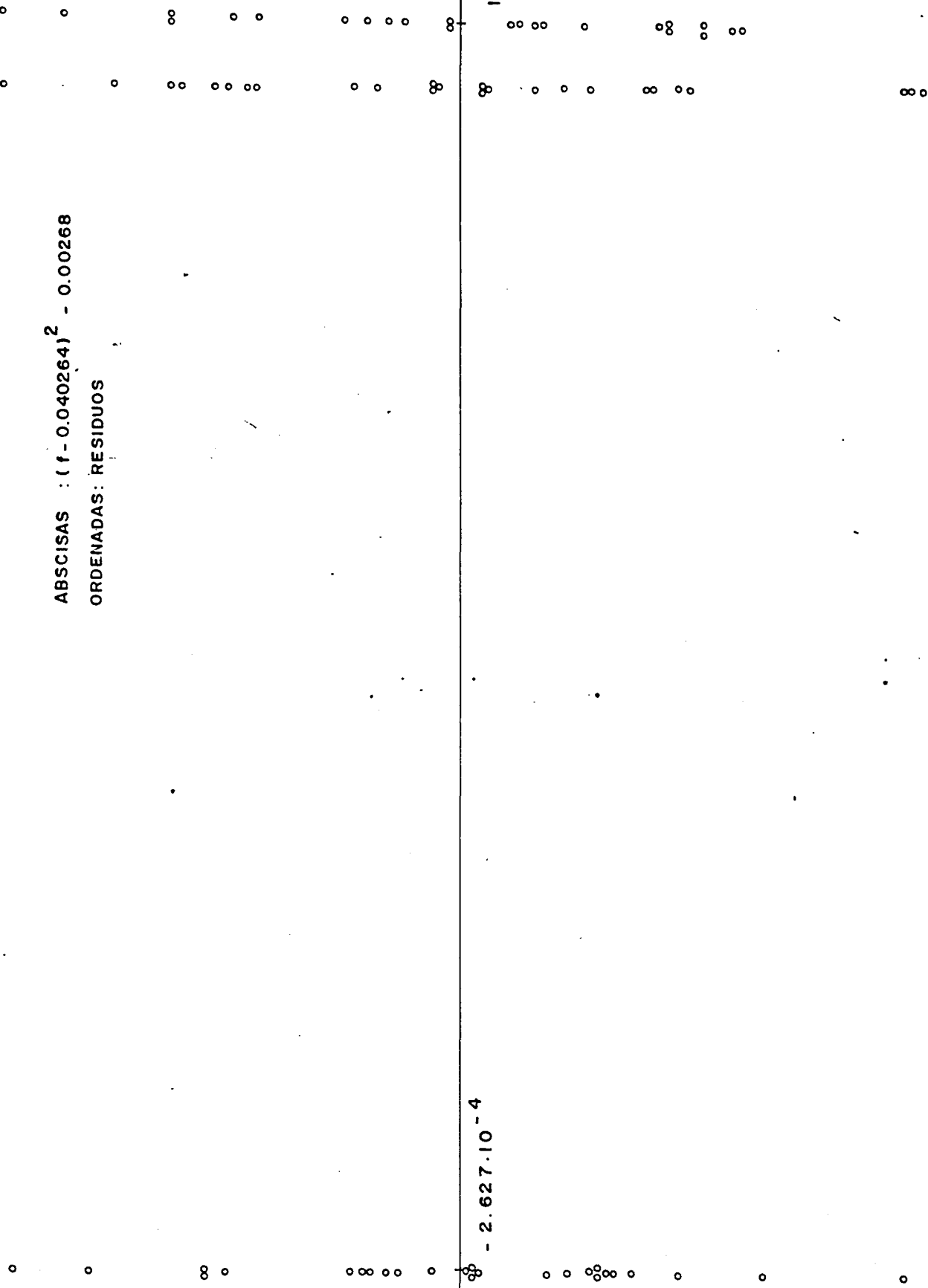


FIGURA 22.- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION: PORCENTAJE FILLER<sup>2</sup> - RESIDUO



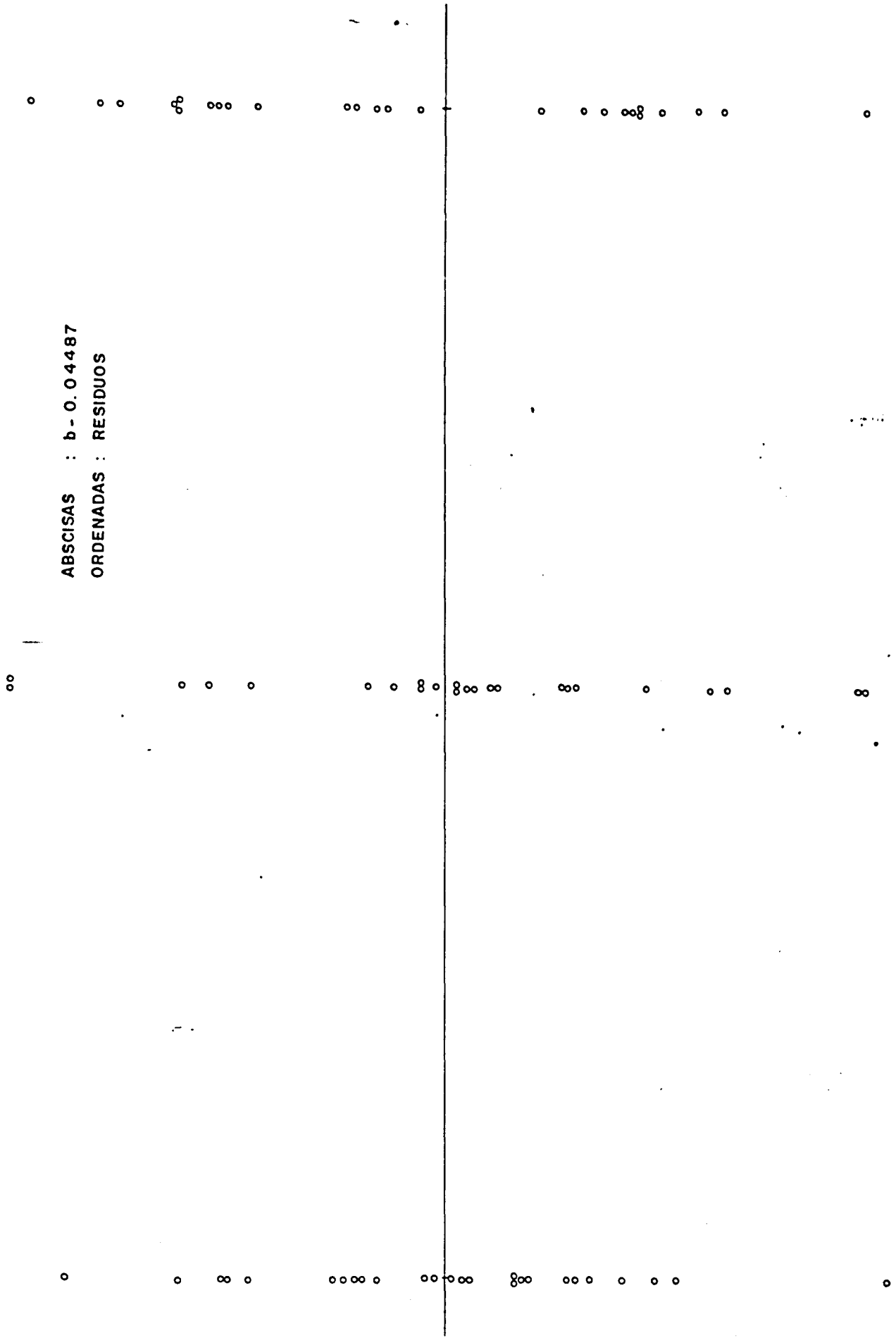


FIGURA 23 .- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE BETUN - RESIDUO

ABSCISAS :  $(b - 0.04497)^2 - 0.00067$

ORDENADAS : RESIDUOS

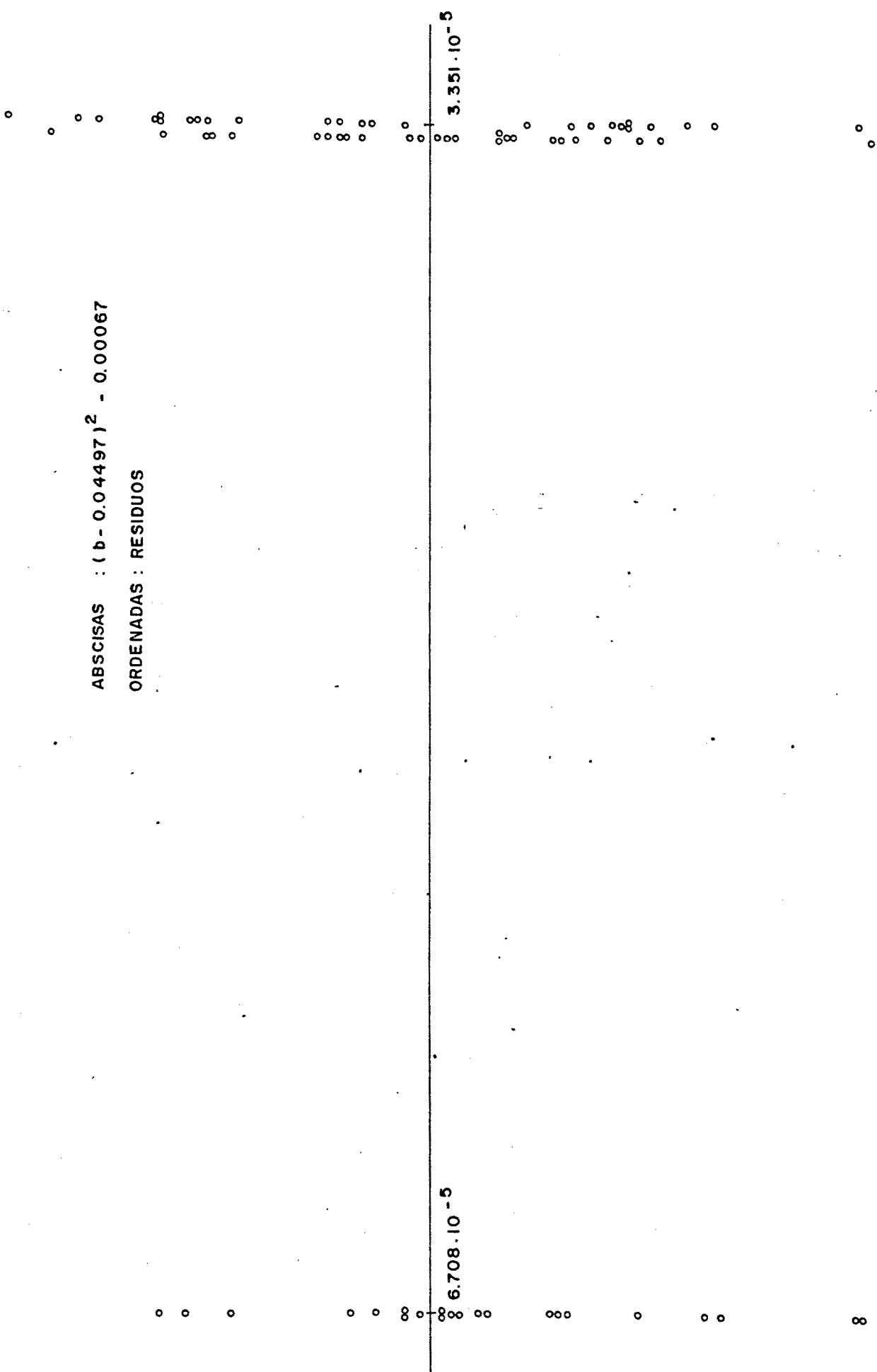


FIGURA 24.- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE BETUN<sup>2</sup> - RESIDUO

ABSCISAS : (T - 11.3507) x (b - 0.04487)

ORDENADAS : RESIDUOS

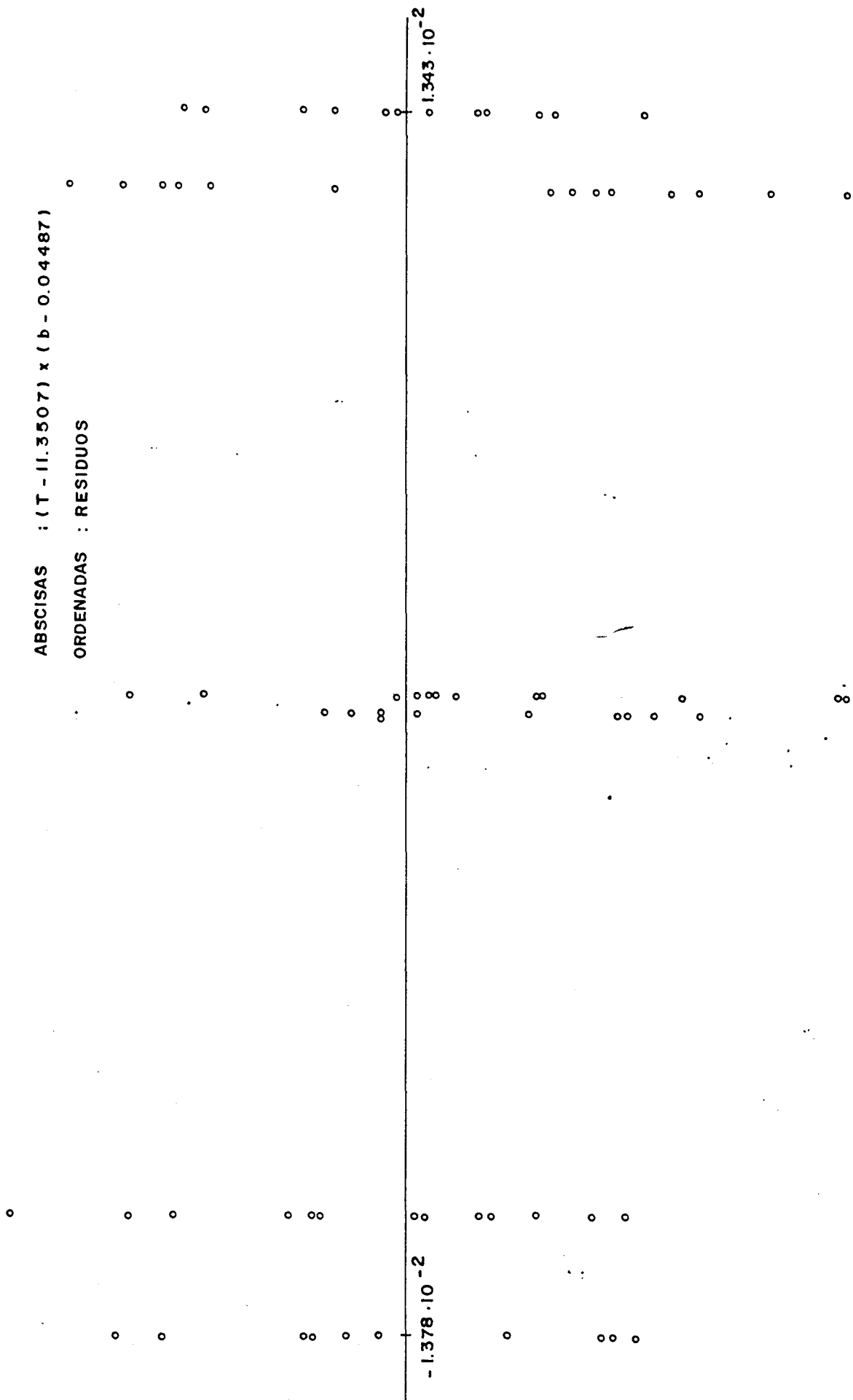


FIGURA 25 .- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : TAMAÑO MAXIMO x BETUN - RESIDUO

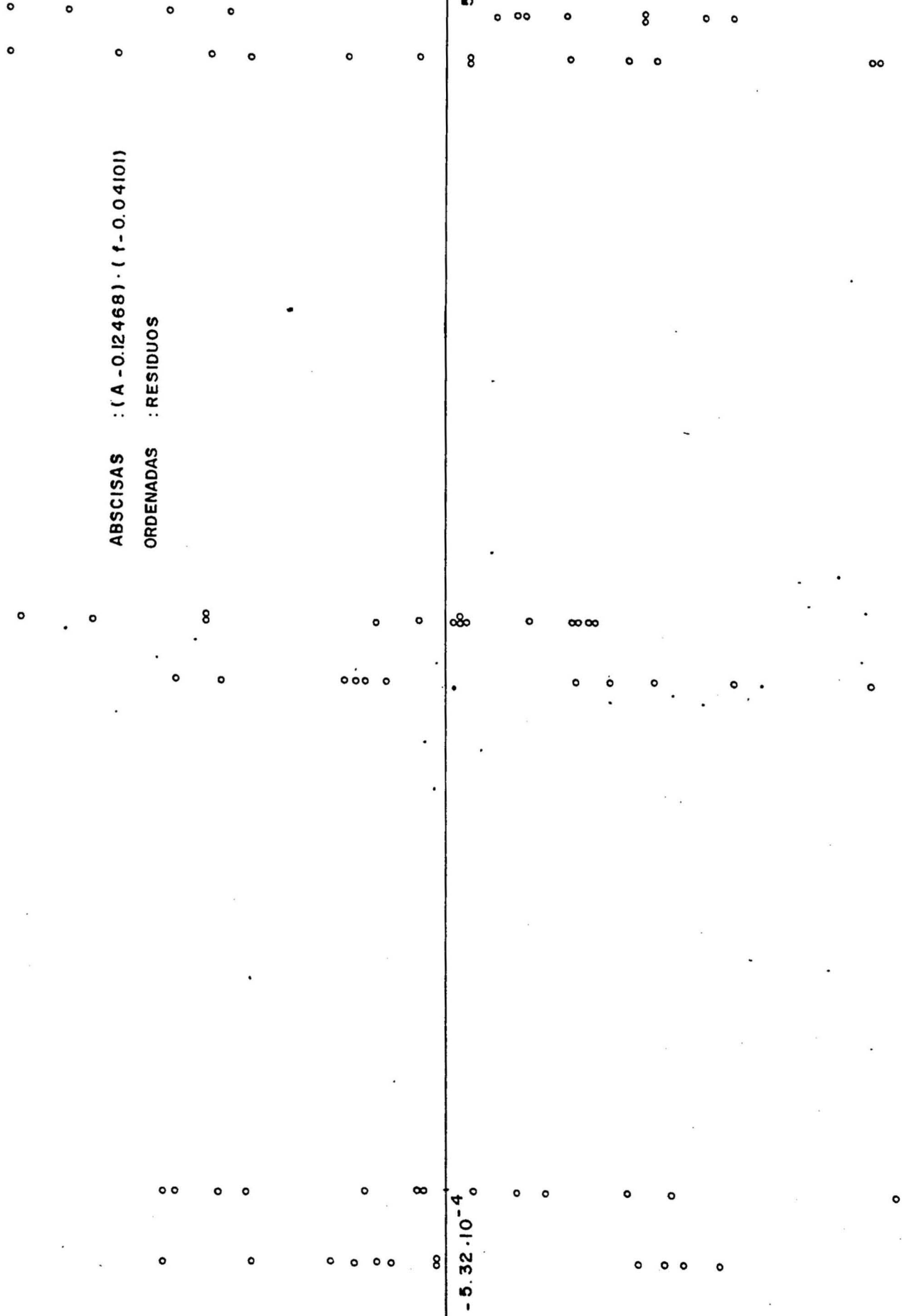


FIGURA 26.- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE FINOS x FILLER - RESIDUO

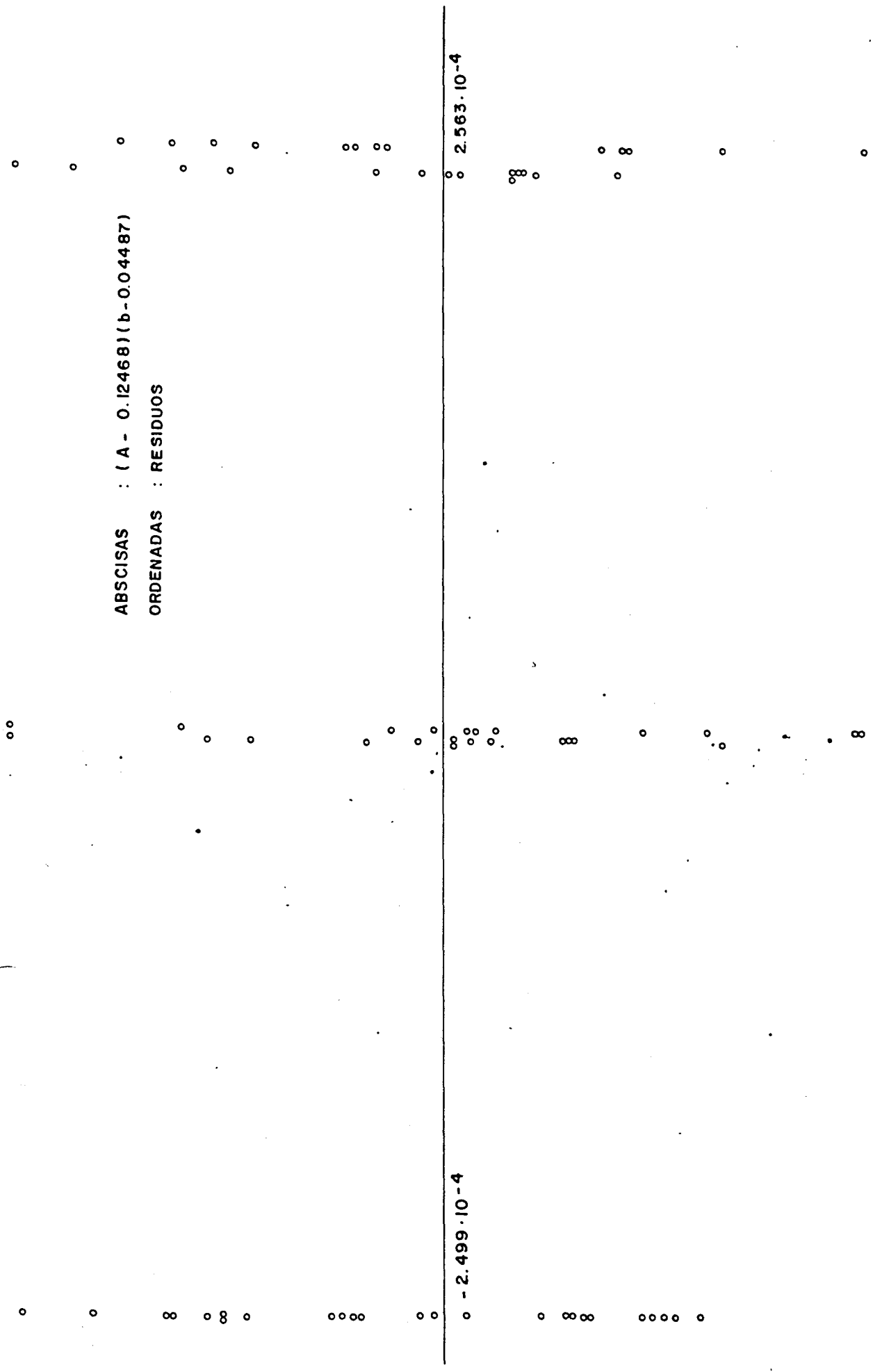


FIGURA 27.- SOLUCION 2 - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION : PORCENTAJE ARENA x BETUN - RESIDUO

## 2. ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

NUMERO DE VARIABLES = 4      NUMERO DE PUNTOS = 80

NUMERO DE COLUMNAS PARA CADA VARIABLE

VARIABLE	MAXI	RANG	MAX/MIN
1	.100000 01	.000000 00	1.00
2	-.100000 01	.200000 01	*****
3	.500000 01	.100000 02	*****
4	-.800000 01	.160000 02	*****
5	.820000-01	.731000 00	9.91

PESOS    COLUMNA 1    COLUMNA 2    COLUMNA 3    COLUMNA 4    COLUMNA 5    COLUMNA 6    COLUMNA 7    COLUMNA 8    COLUMNA 9    COLUMNA10    RESPUESTA  
VARIABLE 1    VARIABLE 2    VARIABLE 2    VARIABLE 2    VARIABLE 3    VARIABLE 4    VARIABLE 4    VARIABLE 4    VARIABLE 4    VARIABLE 4    VAR 3VAR 4    VAR 3VAR 4

TRANSFORMACIONES    ID-MEDIA    CUAD-ORT    ID-MEDIA    CUAD-ORT    ID-MEDIA    CUAD-ORT    ID-MEDIA    CUAD-ORT    ID-MEDIA    CUAD-ORT    RAIZ CUB

COLUMNAS QUE SON POLINOMIOS ORTOGONALES. LA COLUMNA11 ES LA RESPUESTA (X 5-Y)

COLUMNA 2 = X 2 + .00000000 00  
COLUMNA 3 = (X 2 + .00000000 00)\*\*2 + -.33702500 00  
COLUMNA 4 = X 3 + .00000000 00  
COLUMNA 5 = (X 3 + .00000000 00)\*\*2 + -.85000000 01  
COLUMNA 6 = X 4 + .00000000 00  
COLUMNA 7 = (X 4 + .00000000 00)\*\*2 + -.21760000 02

CORRELACIONES ENTRE LAS COLUMNAS Y LA RESPUESTA PONDERADAS  
1.000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    -.546  
1.000    .000    .663    .000    .663    .000    .000    .000    .000    .000    -.145  
1.000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    -.508  
1.000    .000    .000    .000    .661    .000    .000    .000    .000    .000    -.113  
1.000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    -.537  
1.000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    -.048  
1.000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    -.023  
1.000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    -.091  
1.000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .000    .002

LOG10(DETERMINANTE X'X) = 28.7908  
MINIMO ELEMENTO DIAGONAL DE T: COLUMNA= 3 VALOR MINIMO = .36520 01

TOTAL    SSQ = .380326220 02 ( .714494900 00)    DF = 80 ( 79)

REGRESION    SSQ = .379470530 02 ( .628925290 00)    DF = 10 ( 9)

RESIDUAL    SSQ = .855696190-01    DF = 70

MEDIA    SSQ = (.373181270 02)    DF = 1

VALOR-F = 3104.25 ( 57.171)

COEF. CORR. MULT. (R2) = .997750 ( .880238)

LOS VALORES ENTRE ( ) CORRESPONDEN A QUITAR EL EFECTO DE LA MEDIA DE LA RESPUESTA. ESTO TIENE VALIDEZ SI EN LA MATRIZ DE DISEÑO EXISTE UNA COLUMNA DE 1'S (1=VALIDO,0=NO VALIDO).ES=1

SSQ RESIDUAL MEDIA (RMS) = .1222423111D-02  
RAIZ SSQ RESIDUAL MEDIA (RRMS) = .3496316792D-01  
GRADOS DE LIBERTAD RESIDUALES = 70

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS COEFICIENTES

Table with 2 columns: Coefficient label (COEFICIENTE 1 to COEFICIENTE 10) and correlation values (e.g., .000, .000, .000, .000, .000, .000, .000, .000, .000, .000).

Table with 3 columns: Coefficient label (COEFICIENTE 1 to COEFICIENTE 10), variable name (e.g., VALOR-T, VALOR-T), and regression coefficient (e.g., .174, .132, .285, .125, .124, .129, .191, .54, .220, .864).

Main data table with 31 rows and 11 columns: NRC, PESO, ESTIMACION, RESIDUO(PESADO), STUDENT.RES, STUD-JACK.RES, LI, VAR-RAT, WSSO(SINPESD), INCR.BETAJAC, TRAZA, DIRFCCION. Contains numerical data for each row.



32	1.00	67273570	00	-38642970-01	1.1135369	1.12057797	.02	.02	.24	.24	.617260-06	.27280-03	.11280-01
33	1.00	67273570	00	-2402070-01	-6952768	-69258864	.02	.02	.24	.24	.16120-06	.27280-03	.11280-01
34	1.00	61098370	00	-13061440-01	3825666	38022180	.05	.05	2.40	2.40	.239970-06	.13410-02	.29830-01
35	1.00	63415280	00	-75701900-02	-2219882	-22055464	.05	.05	2.34	2.34	.157700-06	.27840-02	.54630-01
36	1.00	62960880	00	-15121740-01	4435913	44103174	.05	.05	2.21	2.21	.325960-06	.13550-02	.26100-01
37	1.00	77381760	00	-2072790-01	-7275252	-72505632	.33	.33	19.40	19.40	.218260-05	.33730-02	.67930-02
38	1.00	67686450	00	-21139980-01	7417125	73936670	.33	.33	19.40	19.40	.226990-05	.33730-02	.67930-02
39	1.00	64139280	00	-25348430-02	0886924	08896155	.33	.33	19.40	19.40	.324360-07	.33730-02	.67930-02
40	1.00	43181250	00	-26356560-02	0922198	09156426	.33	.33	19.40	19.40	.350690-07	.33730-02	.67930-02
41	1.00	77232360	00	-21903750-01	6989845	69640881	.20	.24	5.86	5.86	.423860-05	.70970-02	.29010-01
42	1.00	63250080	00	-19182090-01	5698336	56706545	.07	.08	6.51	6.51	.293110-06	.73940-03	.93750-02
43	1.00	76074170	00	-40741720-01	-12102958	-121439303	.07	.08	6.51	6.51	.132230-05	.73840-03	.93750-02
44	1.00	73732320	00	-28977110-01	8608100	85919889	.07	.08	6.51	6.51	.668850-06	.73840-03	.93750-02
45	1.00	61985610	00	-37991360-01	-11285920	-113083724	.07	.08	6.51	6.51	.114980-05	.73840-03	.93750-02
46	1.00	83136210	00	-1233900-02	0324157	03913355	.20	.25	7.12	7.12	.359210-07	.29450-01	.11870 00
47	1.00	62364610	00	-52415330-01	1674751	168711342	.20	.25	7.12	7.12	.100960-03	.29450-01	.11870 00
48	1.00	73313300	00	-27732620-01	-8849126	-88352482	.20	.24	6.62	6.62	.672790-05	.70280-02	.28730-01
49	1.00	55918510	00	-31421950-01	-10025312	-100266968	.20	.24	6.62	6.62	.863700-05	.70280-02	.28730-01
50	1.00	67235700	00	-10786700-02	-0312231	-03099932	.02	.02	.24	.24	.325130-09	.27280-03	.11280-01
51	1.00	67235700	00	-29976390-01	8676357	86608562	.02	.02	.24	.24	.251060-06	.27280-03	.11280-01
52	1.00	67235700	00	-67230790-01	-19460232	-198655653	.02	.02	.24	.24	.126300-05	.27280-03	.11280-01
53	1.00	67235700	00	-27204210-01	-7874370	-79527794	.02	.02	.24	.24	.206790-06	.27280-03	.11280-01
54	1.00	67235700	00	-35126010-01	-10456824	-104639120	.02	.02	.24	.24	.364680-06	.27280-03	.11280-01
55	1.00	67235700	00	-35304580-01	-0217056	-107223379	.02	.02	.24	.24	.348260-06	.27280-03	.11280-01
56	1.00	73035430	00	-21433010-01	6384831	63576006	.07	.08	6.51	6.51	.367990-06	.73840-03	.93750-02
57	1.00	63909290	00	-52364670-01	-15550328	-157126341	.07	.08	6.51	6.51	.218260-05	.73840-03	.93750-02
58	1.00	64153490	00	-45200750-01	-13724646	-138135893	.07	.08	6.51	6.51	.170300-05	.73840-03	.93750-02
59	1.00	53455540	00	-16631130-01	-4955388	-49235163	.07	.08	6.51	6.51	.221660-06	.73840-03	.93750-02
60	1.00	60778510	00	-22801560-02	-0727564	-07223803	.20	.24	5.86	5.86	.459230-07	.70970-02	.29010-01
61	1.00	77232360	00	-14975980-01	4778612	47521135	.20	.24	5.86	5.86	.198100-05	.70970-02	.29010-01
62	1.00	83250080	00	-31330250-01	-3500241	-34935392	.07	.08	6.51	6.51	.814710-05	.73840-03	.93750-02
63	1.00	74074170	00	-95034380-02	-2323143	-23055074	.07	.08	6.51	6.51	.719450-07	.73840-03	.93750-02
64	1.00	73733230	00	-40750340-01	-12105519	-121465555	.07	.08	6.51	6.51	.132280-05	.73840-03	.93750-02
65	1.00	61985610	00	-41630030-02	1238467	12297234	.07	.08	6.51	6.51	.138450-07	.73840-03	.93750-02
66	1.00	83136210	00	-39748360-02	-1770040	-12610809	.20	.25	7.12	7.12	.586590-06	.29450-01	.11870 00
67	1.00	63364610	00	-34969570-01	-11173490	-111576517	.20	.25	7.12	7.12	.649380-04	.29450-01	.11870 00
68	1.00	73313300	00	-75624910-01	24130943	250212622	.20	.24	6.62	6.62	.500300-04	.70280-02	.28730-01
69	1.00	55918510	00	-22016530-01	-7025192	-69995506	.20	.24	6.62	6.62	.624030-05	.70280-02	.28730-01
70	1.00	67235700	00	-20343390-01	593241	5975668	.02	.02	.24	.24	.116220-05	.27280-03	.11280-01
71	1.00	67235700	00	-27204210-01	-7974370	-79527794	.02	.02	.24	.24	.206790-06	.27280-03	.11280-01
72	1.00	67235700	00	-20857290-01	-6040125	-60125148	.02	.02	.24	.24	.121670-06	.27280-03	.11280-01
73	1.00	67235700	00	-14651250-01	-4240865	-42158836	.02	.02	.24	.24	.599810-07	.27280-03	.11280-01
74	1.00	67235700	00	-69527520-02	2012503	19986546	.02	.02	.24	.24	.135980-07	.27280-03	.11280-01
75	1.00	67235700	00	-64515490-01	-13674275	-139202399	.02	.02	.24	.24	.116300-05	.27280-03	.11280-01
76	1.00	73035430	00	-11937120-01	3546107	35236595	.07	.08	6.51	6.51	.113510-06	.73840-03	.93750-02
77	1.00	63909290	00	-56376720-02	1674758	16630452	.07	.08	6.51	6.51	.253180-07	.73840-03	.93750-02
78	1.00	64153490	00	-39965520-02	-1187238	-11789456	.07	.08	6.51	6.51	.127240-07	.73840-03	.93750-02
79	1.00	53455540	00	-78031930-01	-23196444	-239697134	.07	.08	6.51	6.51	.485670-05	.73840-03	.93750-02
80	1.00	63778510	00	-25920260-01	-8271948	-82519548	.20	.24	5.86	5.86	.593430-05	.70970-02	.29010-01

REGRESION SSQ= .379447950 02 ( .626589540 00) DF= 7 ( 6)  
 RESIDUAL SSQ= .876226350 01 DF= 73  
 MEDIA SSQ= .37318127 02 DF= 1  
 VALOR-F 4505.60 ( 36.61)  
 CIEF. CORR. MULT. (R2)= .997691 ( .877079)  
 LOS VALORES ENTRE () CORRESPONDEN A QUITAR EL EFECTO DE LA MEDIA DE LA RESPUESTA. ESTO TIENE VALIDEZ SI  
 EN LA MATRIZ DE DISEÑO EXISTE UNA COLUMNA DE 1'S (1=VALIDACION VALID).CS=1

SSQ RESIDUAL MEDIA (RMS)= .12031000760 02  
 RAZS SSQ RESIDUAL MEDIA (RMS)= .34695743310 01  
 GRADOS DE LIBERTAD RESIDUALES= 73

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS COEFICIENTES

1.000	.000	-.000	.000	.000	.000	.000	.000
1.000	1.000	.000	.000	.000	.000	.000	.000
1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000	.000
1.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000	.000
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000	.000
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.000	.000
1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	.000

COEFICIENTE 1= .68290000 VALOR-T= 176.12 DESV. TIP= .38779800 02 SSQ REGRESION= .37318130 02  
 COEFICIENTE 2= -.8895070 01 VALOR-T= -13.30 DESV. TIP= .66797600 02 SSQ REGRESION= .21283520 00  
 COEFICIENTE 3= .4664690 01 VALOR-T= 3.68 DESV. TIP= .12579790 01 SSQ REGRESION= .20944990 01  
 COEFICIENTE 4= -.16453850 01 VALOR-T= -17.37 DESV. TIP= .13013750 02 SSQ REGRESION= .13409500 00  
 COEFICIENTE 5= -.1037170 01 VALOR-T= -13.07 DESV. TIP= .83123500 03 SSQ REGRESION= .20575370 00  
 COEFICIENTE 6= -.3076120 03 VALOR-T= -1.55 DESV. TIP= .19605630 03 SSQ REGRESION= -.27501400 02  
 COEFICIENTE 7= -.22702250 02 VALOR-T= -2.22 DESV. TIP= .10217950 02 SSQ REGRESION= .59369830 02

NPO	PESO	ESTIMACION	RESIDUO (PESADO)	STUDENT. RES	STUD. JACK. RES	LI	VAR-RAT	MSQ	MSQD (SIMPESO)	INL.R. 3ETAJAC	TRAZA	DIRECCION
1	1.00	.94087340 00	-.90333330 02	-.2964862	-.29642596	.22	.28	19.69	19.69	.347120 06	.32920 02	.11770 01
2	1.00	.63285500 00	.17575810 01	.4100191	.40757375	.22	.28	19.69	19.69	.563370 05	.32920 02	.11770 01
3	1.00	.79486900 00	-.14344480 01	-.4676584	-.46517889	.22	.28	19.69	19.69	.563780 06	.32920 02	.11770 01
4	1.00	.5921540 00	.50657430 01	1.6519000	1.67219077	.22	.28	19.69	19.69	.107770 04	.32920 02	.11770 01
5	1.00	.72331650 00	.35317440 02	1.037098	1.0330357	.04	.04	2.27	2.27	.535810 08	.41410 03	.11070 01
6	1.00	.74263550 00	.22536950 01	.6636752	.66111122	.04	.04	2.32	2.32	.902580 06	.17030 02	.39310 01
7	1.00	.71904390 00	.13393100 02	.0423392	.04210827	.04	.04	2.47	2.47	.531790 08	.24590 02	.55360 01
8	1.00	.67395490 00	.46528370 01	1.3570053	1.35570621	.02	.02	.24	.24	.860810 06	.38950 03	.16630 01
9	1.00	.67395490 00	.93222040 02	.2719839	.27015217	.02	.02	.24	.24	.565550 07	.38950 03	.16630 01
10	1.00	.67395490 00	.86074790 02	.4510234	.44842114	.02	.02	.24	.24	.429490 07	.38950 03	.16630 01
11	1.00	.67395490 00	-.53936520 01	-1.1372829	-1.13940732	.02	.02	.24	.24	.604520 06	.36350 03	.16630 01
12	1.00	.67395490 00	-.67699140 02	-.1871834	-.19398033	.02	.02	.24	.24	.181750 07	.38850 03	.16630 01
13	1.00	.67395490 00	.85074740 02	.2510336	.24942114	.02	.02	.24	.24	.494590 07	.38950 03	.16630 01
14	1.00	.61467510 00	.68020200 01	2.0209754	2.06597934	.04	.04	2.47	2.47	.120310 06	.24590 02	.55860 01
15	1.00	.61778310 00	.17208100 01	.5067497	.50415433	.04	.04	2.32	2.32	.226210 06	.17030 02	.39310 01
16	1.00	.62459300 00	.12016290 01	.3528552	.35072926	.04	.04	2.27	2.27	.620260 07	.41410 03	.11070 01
17	1.00	.77634090 00	.14705120 01	.4794542	.47671039	.22	.28	19.69	19.69	.927760 06	.32920 02	.11770 01
18	1.00	.63271650 00	-.54134440 02	-.1765174	-.17514357	.22	.28	19.69	19.69	.123040 05	.32320 02	.11770 01
19	1.00	.63271650 00	-.41430440 02	-.1320278	-.13436557	.22	.28	19.69	19.69	.723060 07	.41410 03	.11070 01
20	1.00	.42657690 00	.77975710 01	2.5423051	2.64668897	.22	.28	19.69	19.69	.255240 04	.32920 02	.11770 01
21	1.00	.94087340 00	-.76921700 02	-.22484977	-.24490547	.22	.28	19.69	19.69	.239940 06	.32920 02	.11770 01
22	1.00	.31225000 00	.31657600 01	1.03251813	1.03255036	.22	.28	19.69	19.69	.430710 05	.32920 02	.11770 01
23	1.00	.79486900 00	.45322600 02	.1513795	.15045346	.22	.28	19.69	19.69	.916710 07	.32920 02	.11770 01
24	1.00	.51921540 00	-.61452160 01	-2.00036216	-2.04633022	.22	.28	19.69	19.69	.158530 04	.32920 02	.11770 01
25	1.00	.72331650 00	.68261130 01	2.00044311	2.04747022	.04	.04	2.27	2.27	.230160 05	.41410 03	.11070 01
26	1.00	.72331650 00	.12724100 01	.4777226	.47516159	.04	.04	2.32	2.32	.467560 06	.17030 02	.39310 01

27	1.00	71904390	00	29224651D-01	8616015	.86005404	.04	2.47	2.47	.219510-05	.2459D-02	.5596D-01
28	1.00	67395490	00	64473940-05	0137037	0136750	.02	.24	.24	145250-09	38850-03	10530-01
29	1.00	67395490	00	4372231D-01	1187082	1186831	.02	.24	.24	656730-06	32850-03	10530-01
30	1.00	67395490	00	5655620-01	1872481	1872481	.02	.24	.24	177550-05	3150-03	16330-01
31	1.00	67395490	00	294302D-01	8563325	3567657	.02	.24	.24	344390-06	38850-03	10630-01
32	1.00	67395490	00	374232D-01	10914702	10923216	.02	.24	.24	556895-06	38850-03	10630-01
33	1.00	67395490	00	2523953D-01	7361159	73378505	.02	.24	.24	253300-06	38850-03	16330-01
34	1.00	61467510	00	33500240-02	475437	27236157	.04	2.47	2.47	224250-06	24590-02	55867-01
35	1.00	63778310	00	11230400-01	3298331	32731052	.04	2.32	2.32	222930-06	17030-02	39310-01
36	1.00	62459340	00	20137180-01	5913272	52887064	.04	2.27	2.27	174190-06	4140-03	11070-01
37	1.00	77634990	00	2331605D-01	7802100	75739145	.22	19.69	19.69	228710-05	3420-02	11770-01
38	1.00	63671650	00	1035740-01	6314835	6264631	.22	19.69	19.69	187470-05	32920-02	11770-01
39	1.00	63496840	00	89722500-02	2927647	29092335	.22	19.69	19.69	338460-06	32820-02	11770-01
40	1.00	42467490	00	9771231D-02	3185888	31641935	.22	19.69	19.69	400910-06	32820-02	11770-01
41	1.00	75624200	00	3305110-01	11798093	11323578	.06	5.87	5.87	708410-06	46120-03	72760-02
42	1.00	83065630	00	17333070-01	5215256	5215256	.06	6.61	6.61	226810-06	71010-03	11350-01
43	1.00	73914650	00	3914654D-01	11633704	116623631	.06	6.61	6.61	115630-05	71010-03	11350-01
44	1.00	73966290	00	2764658D-01	8216107	81976784	.06	6.61	6.61	576700-06	71010-03	11350-01
45	1.00	62143650	00	39572730-01	11750768	117911441	.06	6.61	6.61	111350-05	71010-03	11350-01
46	1.00	59950750	00	69117210-02	22179943	221646717	.16	7.40	7.40	106700-05	18680-01	95450-01
47	1.00	63179140	00	4427032D-01	13956273	140470469	.16	7.40	7.40	437720-04	18680-01	95450-01
48	1.00	74121940	00	361900D-01	11280803	113022165	.19	6.63	6.63	198840-04	12990-01	67180-01
49	1.00	55727140	00	3950323D-01	12442830	124903271	.16	6.63	6.63	241910-04	12990-01	67180-01
50	1.00	67395490	00	2297945D-02	9670200	96561143	.02	.24	.24	209770-08	38850-03	16630-01
51	1.00	67395490	00	2875564D-01	8386639	83694154	.02	.24	.24	326790-06	38850-03	16630-01
52	1.00	67395490	00	6845005D-01	19993592	203908155	.02	.24	.24	186300-05	38850-03	16630-01
53	1.00	67395490	00	28423600-01	4240758	4218097	.02	.24	.24	321240-06	38850-03	16630-01
54	1.00	67395490	00	37345260-01	16881829	169089405	.02	.24	.24	545550-06	38850-03	16630-01
55	1.00	67395490	00	3652383D-01	10652248	106622266	.02	.24	.24	530430-06	38850-03	16630-01
56	1.00	73193370	00	1931354D-01	5912003	5914733	.06	6.61	6.61	299210-06	71010-03	11350-01
57	1.00	64042340	00	53677030-01	18551918	18525315	.06	6.61	6.61	217390-05	71010-03	11350-01
58	1.00	63993970	00	4460570-01	14256037	143252327	.06	6.61	6.61	150120-05	71010-03	11350-01
59	1.00	52271240	00	1483711D-01	4480343	43868310	.06	6.61	6.61	166100-06	71010-03	11350-01
60	1.00	59168570	00	1331921D-01	4108428	40849159	.06	5.87	5.87	936650-07	46120-03	72760-02
61	1.00	75622420	00	3107540-01	9258618	92292350	.06	5.87	5.87	473520-06	46120-03	72760-02
62	1.00	83065690	00	3013527D-01	3456092	3443713	.06	6.61	6.61	625250-06	71010-03	11350-01
63	1.00	73914650	00	7908257D-02	22350203	23349340	.06	6.61	6.61	471950-07	71010-03	11350-01
64	1.00	73966290	00	4203098D-01	12505760	125530052	.06	6.61	6.61	133610-05	71010-03	11350-01
65	1.00	62143550	00	25896280-02	5769595	5764572	.06	6.61	6.61	505490-06	71010-03	11350-01
66	1.00	80950750	00	1212015D-01	3420417	37954593	.16	7.40	7.40	328070-05	18560-01	95450-01
67	1.00	63179140	00	4311486D-01	13592111	136728151	.16	7.40	7.40	415170-04	18580-01	95450-01
68	1.00	74121940	00	6753830-01	21270523	218110400	.16	6.63	6.63	706350-04	12990-01	67180-01
69	1.00	55727140	00	30102400-01	7440531	7473251	.15	6.63	6.63	140440-04	12990-01	67180-01
70	1.00	67395490	00	10175140-01	5592466	55639553	.02	.24	.24	166200-06	38850-03	10630-01
71	1.00	67395490	00	28423600-01	9399758	8271697	.02	.24	.24	321240-06	38850-03	16630-01
72	1.00	67395490	00	2203655D-01	6441566	64155727	.02	.24	.24	193770-06	38850-03	16630-01
73	1.00	67395490	00	13370900-01	4424634	4403120	.02	.24	.24	100150-06	38850-03	10630-01
74	1.00	67395490	00	5733430-01	1623170	16550117	.02	.24	.24	110710-07	38850-03	10630-01
75	1.00	67395490	00	6573474D-01	1417168	145391237	.02	.24	.24	111820-05	38850-03	10630-01
76	1.00	73193370	00	10357740-01	2078152	2054819	.06	6.61	6.61	604470-07	71010-03	11350-01
77	1.00	64042340	00	43071390-02	1260010	1271557	.06	6.61	6.61	139970-07	71010-03	11350-01
78	1.00	63493970	00	55417360-02	1651771	1653617	.06	6.61	6.61	235920-07	71010-03	11350-01
79	1.00	52271240	00	7523791D-01	226556645	23363668	.06	6.61	6.61	436540-05	71010-03	11350-01
80	1.00	59168570	00	99299910-02	22919739	229015590	.06	5.87	5.87	475050-07	46120-03	72760-02

NUMERO DE COLUMNAS PARA CADA VARIABLE

1 2 1 2 1

VARIABLE	MEDIA (PESADA)	MINIMO	MAXIMO	RANGO	MAX/MIN
1	.100000 01	-.100000 01	.100000 01	.000000 00	1.00
2	.000000 00	-.100000 01	.100000 01	.200000 01	*****
3	.000000 00	-.500000 01	.500000 01	.100000 02	*****
4	.000000 00	-.800000 01	.800000 01	.160000 02	*****
5	.376890 00	-.820000 01	.813000 00	.731000 00	9.91

PESES COLUMNA 1 COLUMNA 2 COLUMNA 3 COLUMNA 4 COLUMNA 5 COLUMNA 6 COLUMNA 7 RESPUESTA  
 VARIABLE 1 VARIABLE 2 VARIABLE 2 VARIABLE 3 VARIABLE 4 VARIABLE 4 VARIABLE 4 VAR.2VAR 4

TRANSFORMACIONES IDEM. ID-MEDIA CUAD-ORT ID-MEDIA ID-MEDIA CUAD-ORT 1 3 1 RAI/ CUB

COLUMNAS QUE SON POLINOMIOS ORTOGONALES. LA COLUMNA 8 ES LA RESPUESTA (X 5=Y)

COLUMNA 2 = X 2 + .00000000 00  
 COLUMNA 3 = (X 2 + .00000000 00)\*\*2 + -.33702500 00  
 COLUMNA 4 = X 3 + .00000000 00  
 COLUMNA 5 = X 4 + .00000000 00  
 COLUMNA 6 = (X 4 + .00000000 00)\*\*2 + -.21700000 02

CORRELACIONES ENTRE LAS COLUMNAS Y LA RESPUESTA PONDERADAS

1.000 .900 .700 .000 .000 .000 .5487 -.41989  
 1.000 .000 .563 .000 .145  
 1.000 .000 .000 .000 .508  
 1.000 .000 .000 .000 .537  
 1.000 .000 .000 .048  
 1.000 .000 .071

RIDGE REGRESSION	0.1	.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	FACTOR
K= 0	-.54585	-.47623	-.47465	-.45487	-.41989	-.36390	-.34116	-.32109	-.30325	-.28729	-.27202	.16278842D 00
	.20174	.18153	.15277	.14210	.12532	.10262	.09447	.08768	.08191	.07674	.07259	.22146073D 00
	-.50760	-.48343	-.44139	-.42300	-.39046	-.36247	-.33840	-.29859	-.28200	-.26716	-.25380	.32414932D 01
	-.53663	-.48784	-.44663	-.44719	-.41279	-.38331	-.35775	-.31566	-.29813	-.28244	-.26831	.20259320 01
	-.08518	-.06837	-.04586	-.03806	-.01867	-.01301	-.00882	-.00565	-.00322	-.00131	.00014	.36155693D 02
	-.09117	-.08583	-.07928	-.07598	-.07013	-.06078	-.05693	-.05353	-.05065	-.04793	-.04559	.24900745D 01

LOGICODETERMINANTE A\*(X)= 16.0604  
 MINIMO ELEMENTO DIAGONAL DE T: COLUMNA= 3 VALOR MINIMO= .3652D 01

ELECCION DE K EN RIDGE REGRESSION  
 .00137 .00108 .00229 .00251 .00275 .00324 .00376 .00433 .00493 .00557 .00624 .00772

TOTAL SSQ= .39032622D 02 ( .71449490D 00) DF= 80 ( 73)

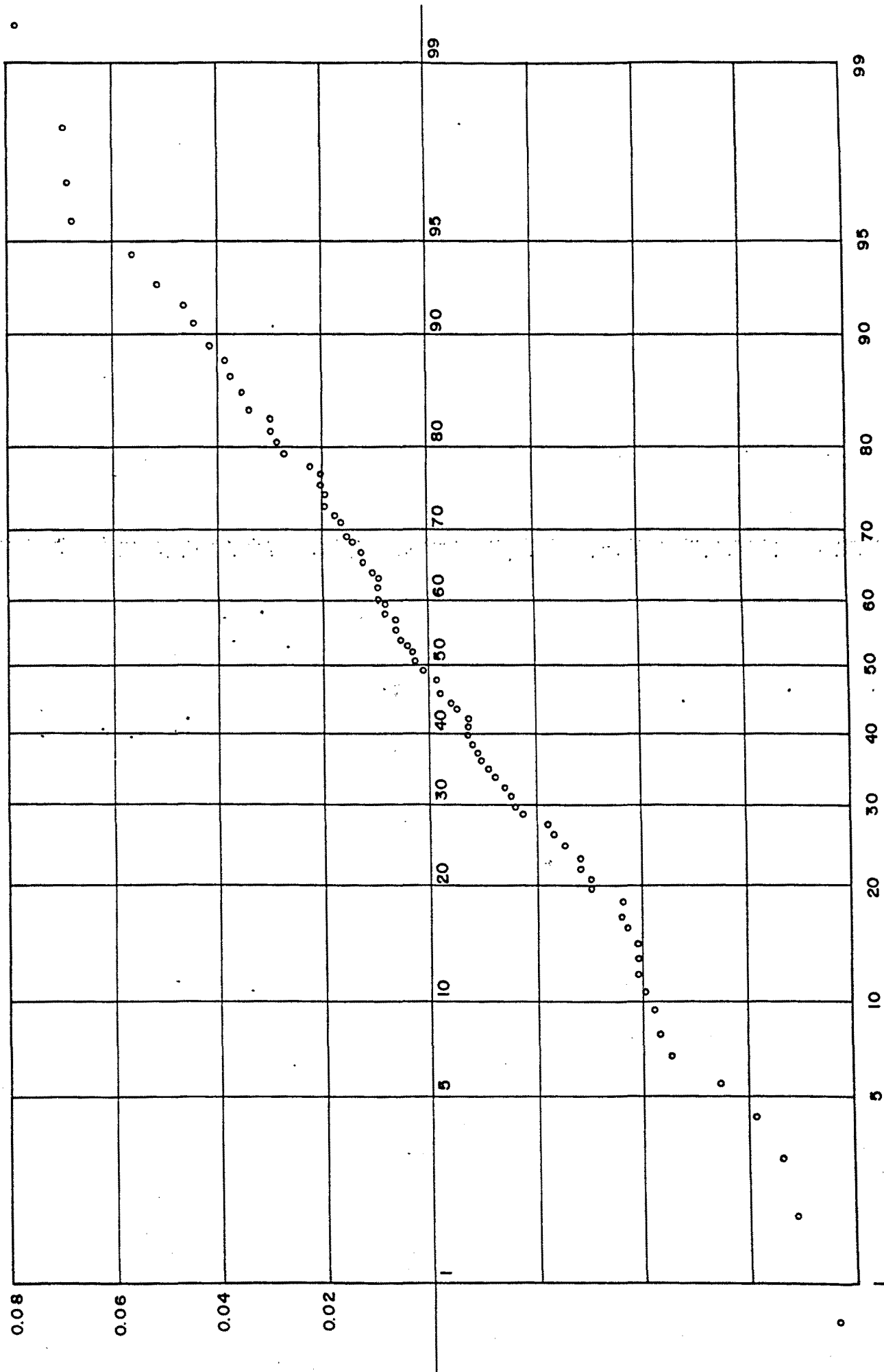


FIG. 28.- REPRESENTACION DE RESIDUOS EN PAPEL PROBABILISTICO NORMAL. INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA

ABSCISAS:  $(T - 20^2) - 21.76$

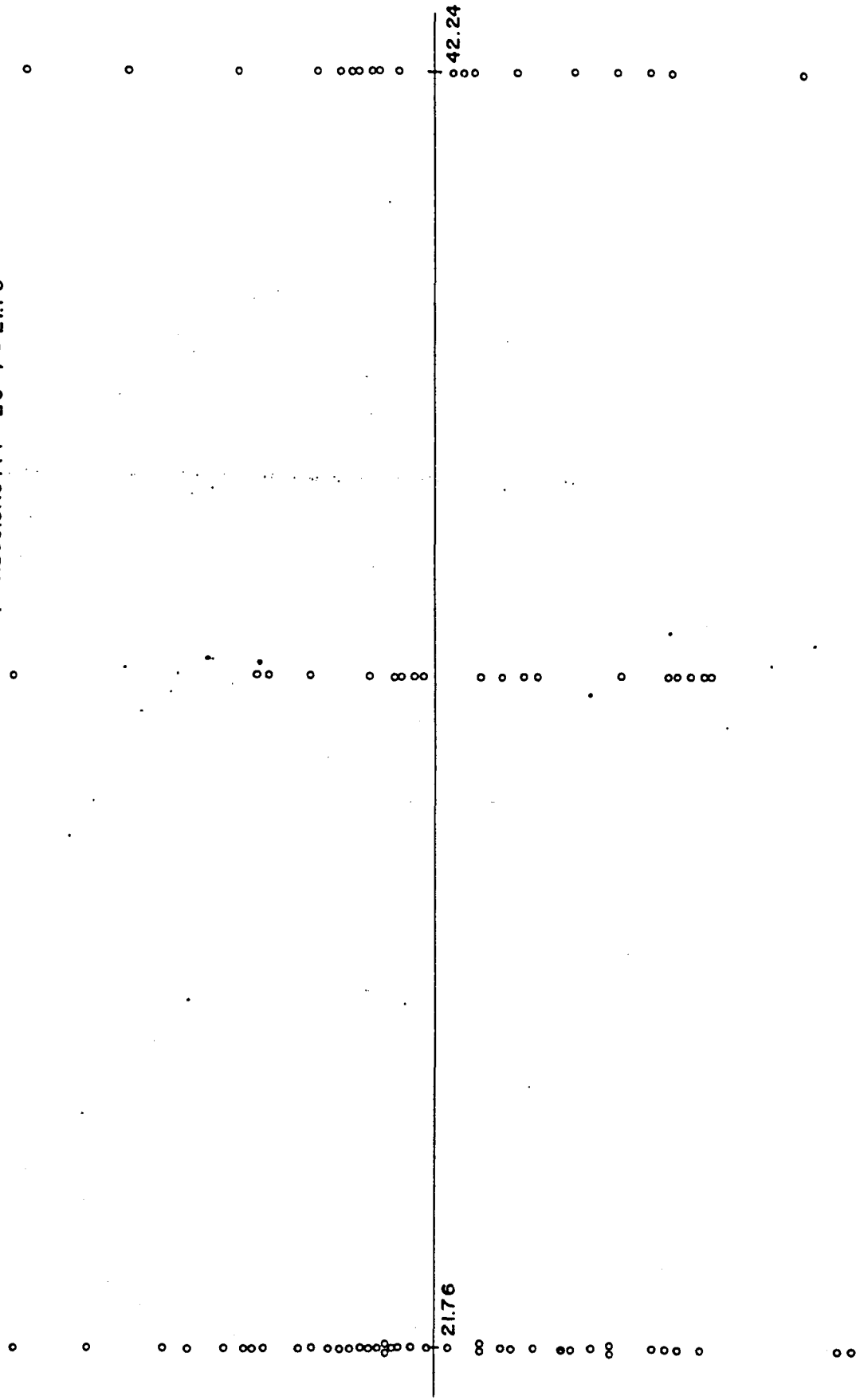


FIG. 29.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION TEMPERATURA<sup>2</sup>/RESIDUO

ABSCISAS : T - 20

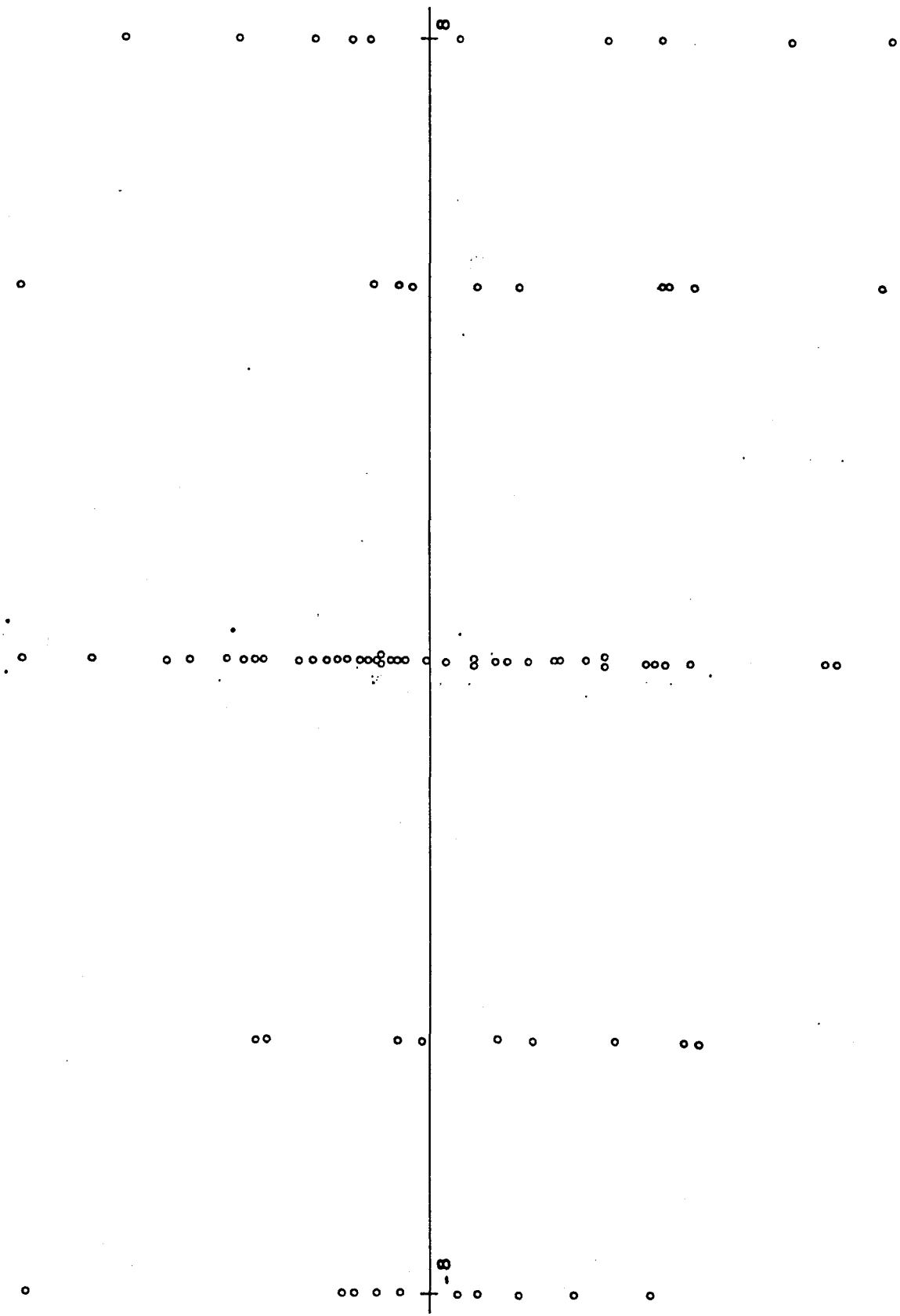


FIG. 30. - INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION TEMPERATURA - RESIDUO

ABSCISAS: b - 4.5  
ORDENADAS: RESIDUOS

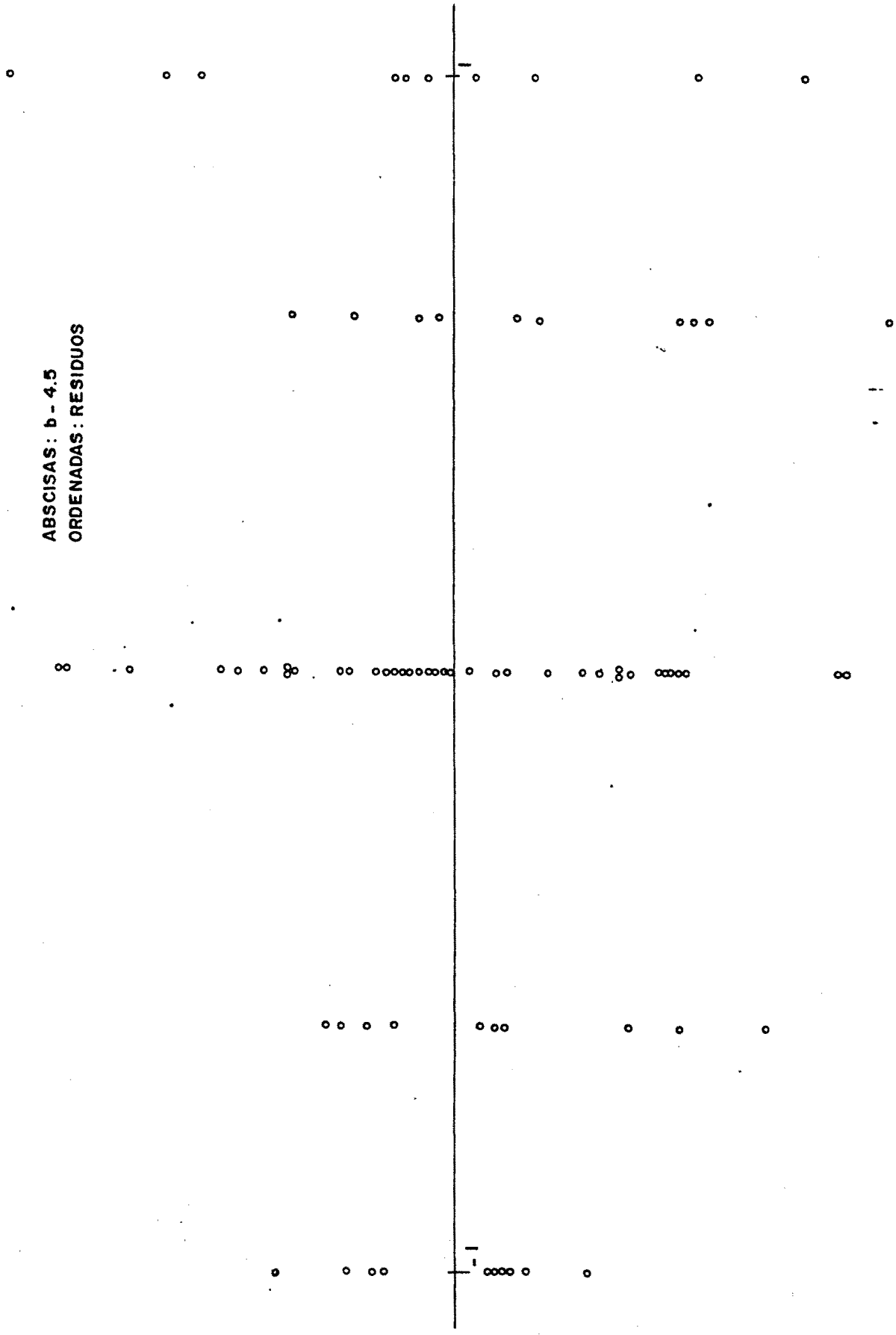


FIG. 31.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION :  
PORCENTAJE DE BETUN - RESIDUO



ABSCISAS: A - 10

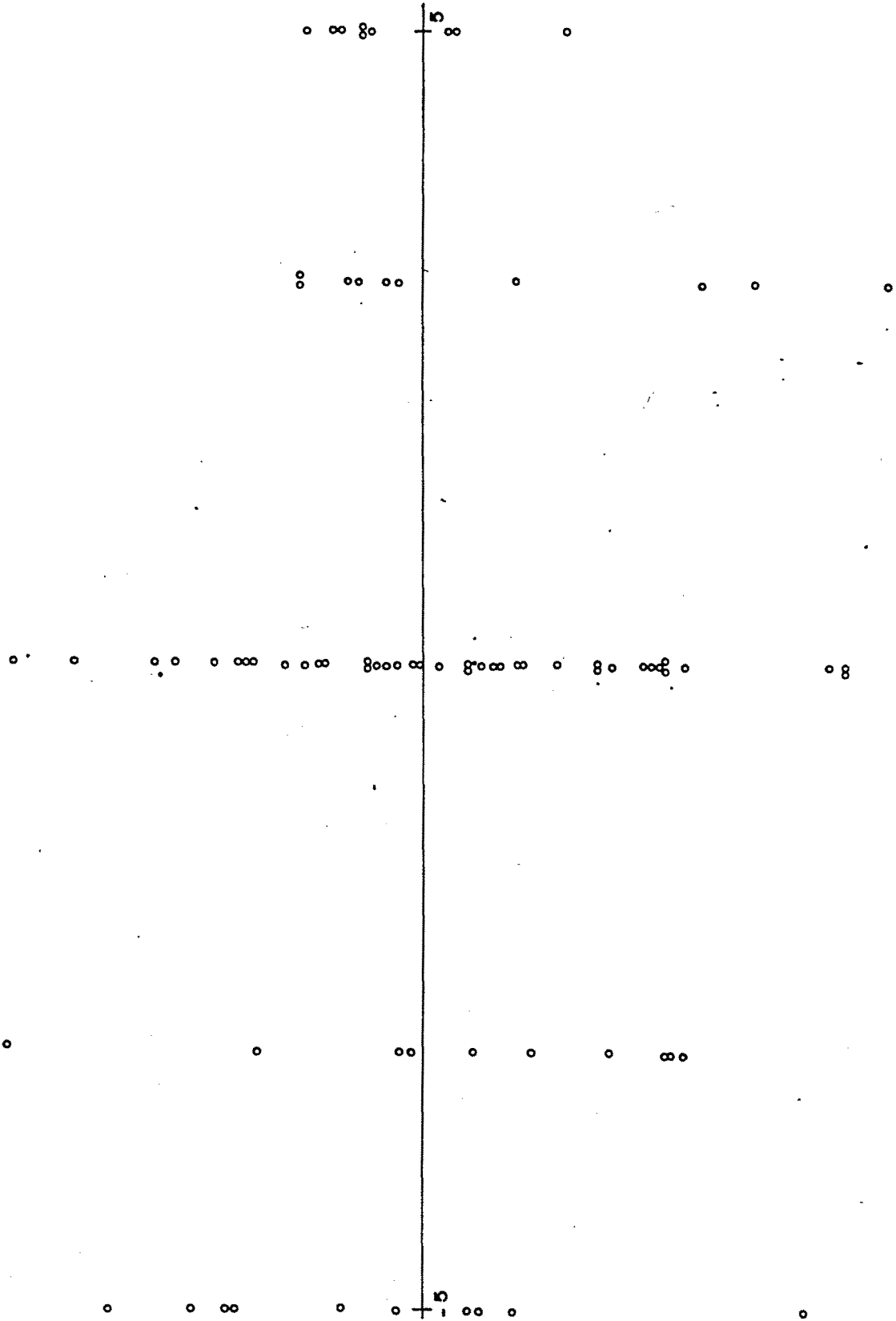


FIG. 32.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA. REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION FINOS - RESIDUO

$$(b-4.5)^2 - 0.333$$

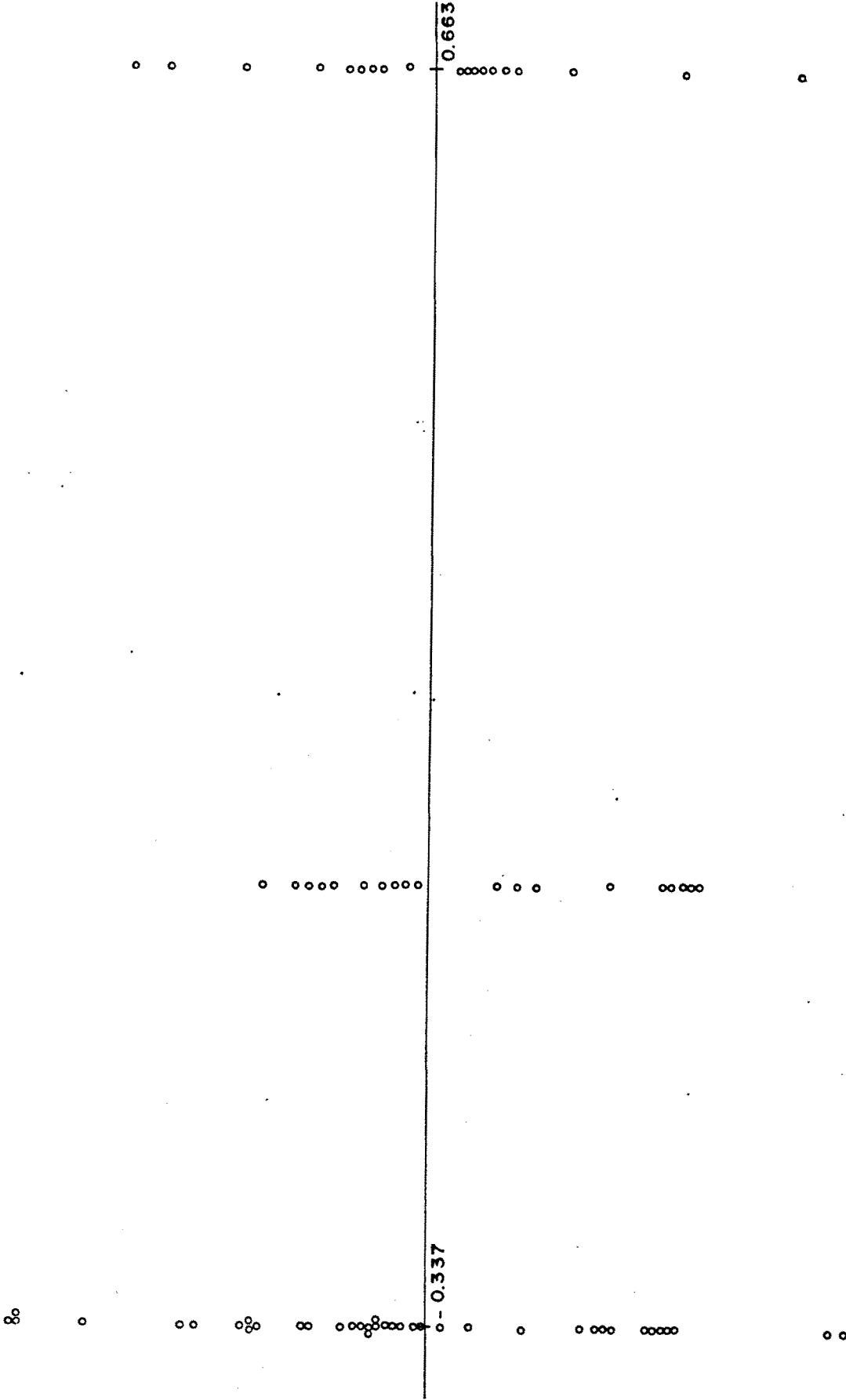


FIG. 33.- INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA - REPRESENTACION GRAFICA DE LA RELACION BETUN / RESIDUO