

# Laboratorio de Hidráulica Aplicada

SALTO GRANDE

LABORATORIO DE HIDRÁULICA



INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNICA HIDRICAS

REGISTRO Y ANALISIS DE PRESIONES  
FLUCTUANTES EN LA OBRA DE  
SALTO GRANDE - JULIO 1983

LHA-045-03-83

INCYTH - LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

REGISTRO Y ANALISIS DE PRESIONES FLUCTUANTES  
EN LA OBRA DE SALTO GRANDE - JULIO 1983

LHA-045-03-83

EZEIZA, agosto de 1983

INCYTH - LABORATORIO DE HIDRAULICA APLICADA

REGISTRO Y ANALISIS DE PRESIONES FLUCTUANTES  
EN LA OBRA DE SALTO GRANDE - JULIO 1983

RESUMEN

Se documentan las mediciones de presiones instantáneas efectuadas detrás de un pilar separador del vertedero de Salto Grande para distintas condiciones de apertura de compuertas y dos niveles de embalse diferentes, analizándose estadísticamente los registros efectuados y dándose una evaluación hidrodinámica de los resultados obtenidos.

DESCRIPTORES

Temáticos: Disipadores de energía, presiones fluctuantes, pilares separadores, cavitación.

Geográficos e institucionales: Salto Grande, río Uruguay.

LHA-045-03-83  
Agosto de 1983

## EQUIPO DE TRABAJO

|  |                      |
|--|----------------------|
| Director del Laboratorio                           | Dr. Alfonso PUJOL    |
| Jefe de Estudios y Modelos<br>de Obras Hidráulicas | Dr. Raúl A. LOPARDO  |
| Investigador Principal                             | Ing. Julio C. DE LIO |
| Ingeniero Electrónico                              | Ing. Gabriel TATONE  |
| Técnico de Tratamiento de Datos                    | Sr. Jorge de ALMEYDA |
| Técnico Fotógrafo                                  | Sr. Norberto MULLE   |

En el procesamiento y análisis de datos ha colaborado el Ing. Ronaldo E. HENNING, como parte de las tareas de su beca de iniciación del CONICET.

## INTRODUCCION

La Comisión Técnica Mixta de Salto Grande ha suscripto un convenio con el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas para que a través del Laboratorio de Hidráulica Aplicada se efectúen hasta ocho campañas de medición de presiones fluctuantes en el cuenco amortiguador del vertedero de la presa de Salto Grande, incluyendo el tratamiento estadístico en computadora de los registros y la evaluación hidrodinámica de los resultados obtenidos.

Los sensores de presión instalados en la obra fueron oportunamente adquiridos por la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, colaborando el Laboratorio de Hidráulica Aplicada en su instalación y calibración. Con anterioridad a la vigencia de este convenio, el Laboratorio efectuó una campaña preliminar con registros y análisis de presiones fluctuantes en esas tomas, como parte de una investigación de interés general, dando origen a una documentación inicial, que fue remitida a la Comisión Técnica Mixta de Salto Grande (1).

Dentro del marco del convenio actualmente en vigencia, se efectuaron registros y análisis de datos en dos campañas previas desarrolladas en junio de 1982 y noviembre de 1982, cuyos resultados integran informes (2) (3) que oportunamente fueron remitidos al comitente.

Debido a las crecidas intensas experimentadas por el río Uruguay durante el mes de julio del corriente año y las anormales condiciones de operación del embalse de Salto Grande, que permitieron atenuar favorablemente las inundaciones en el tramo de aguas abajo de la obra, resultó posible contar con dos diferentes niveles de embalse y aperturas de compuertas muy importantes, llegándose a tener aperturas totales en las zonas de medición.

Durante la presente campaña se ha podido constatar que no existía respuesta alguna de los sensores N° 1, N° 2, N° 4, N° 5 y N° 6, sumándose a la ya expuesta inutilización del sensor N° 7

a la que se hiciera referencia en el informe anterior (3). De acuerdo a lo observado, los deflectores que se encontraban en el vertedero fueron retirados, lo que incrementó fuertemente la solicitación del flujo en la cara posterior de las pilas (según se demostrara previamente con los sensores N° 3 y N° 7) y muy probablemente provocó la rotura de las cañerías de subida de los cables correspondientes. En caso de los sensores N° 1 y N° 2 pudo efectivamente comprobarse que el cable estaba cortado en su tramo de subida.

Es de destacar que el sensor N° 3, único actualmente en condiciones de medición, se encuentra detrás de una pila que mantiene el deflector tipo Sogrèah en la cara correspondiente, aunque también posee a su favor el hecho de que la subida de cables se encuentra mejor protegida que las de los demás sensores, por producirse dentro de una ranura de la pila.

Las mediciones efectuadas se desarrollaron para una cota de embalse baja, del orden de 31,60 m el día 19 de julio de 1983 y para cota de embalse levemente superior a la normal, del orden de 35,25 m, el día 26 de julio de 1983.

Obviamente, los registros corresponden exclusivamente al sensor N° 3, ubicado detrás de la pila octava del aliviadero.

## 1.- DETALLES E INSTRUMENTACION DE OBRA

El vertedero de Salto Grande consta de diecinueve vanos de 15,3 m libres separados por pilares de m de espesor. El cuenco amortiguador es a resalto forzado, plano y horizontal, de 65 m de longitud, con bloques de choque ("baffle piers") sobre la platea y con un diente final vertical de 5 m de altura (Figura N° 1).

La ubicación de los siete sensores originalmente instalados en la obra es la siguiente: los sensores N° 1 y N° 2 fueron colocados en la cara externa e interna respectivamente de la salida de drenaje ubicada aguas abajo de la séptima pila (Figura N° 2), los sensores N° 3 y N° 7 se encuentran en las caras posteriores de las pilas octava y decimoquinta respectivamente (Figura N° 3) y los sensores N° 4, N° 5 y N° 6 se encuentran en las caras lateral y frontal del bloque de choque N° 11, enfrente al sexto vano del vertedero. (Figura N° 4).

Los transductores son del tipo "amplibrige", marca Stat-ham, modelo PA-418-100, con rango de 100 p.s.i.a., frecuencia de resonancia de 10.000 Hz y tensión de alimentación de 24V a 28V en corriente continua a pleno rango.

Para la excitación del sensor se utilizó una fuente de alimentación regulada de corriente continua de 0-25V. Se contó con un amplificador de ganancia variable por pasos, desarrollado y construido en el Laboratorio de Hidráulica Aplicada, a efectos de constituirse en interfase entre transductor y registrador, de modo de lograr una escala apropiada de la fluctuación de la señal.

La señal citada fue grabada en un registrador magnético de instrumentación a cassette, de cuatro canales de frecuencia modulada, de marca Teac, modelo R-61, con banda de respuesta que cubre de corriente continua a 625 Hz y 0,6% de linealidad a plena desviación.

La observación directa "in situ" de la calidad de la señal fue efectuada mediante un osciloscopio Phillips PM 3200.

El instrumental de registro, amplificación y control de las señales forma parte del equipamiento del Laboratorio de Hidráulica Aplicada del INCYTH.

El análisis y tratamiento estadístico de los datos grabados se realiza en el Laboratorio, mediante una computadora de adquisición y control de datos Digital PDP 11/45, con 48 K palabras de memoria, conversor analógico digital ADO-1, dos unidades de disco RK11, cinta magnética compatible TM11, cinta magnética DECTA PE T056, impresoras por máquina de escribir, terminales de video VT100 y VT125, terminal remota CIR-11 y graficador Houston Complot DP3.

## 2.- TRATAMIENTO DE LA INFORMACION REGISTRADA

### 2.1.- Análisis estadístico de datos

Debido a la naturaleza aleatoria del fenómeno de fluctuaciones macroturbulentas inducidas por resalto hidráulico no resulta posible su descripción a partir de una función explícita y analítica del tiempo. Sin embargo, existen adecuadas maneras para caracterizar un proceso aleatorio mediante estructuras cuantitativas a partir del análisis estadístico. Para los fines de la investigación aquí tratada resultaron las más adecuadas el espectro de densidad de potencia y la función densidad de distribución de probabilidad.

El espectro de densidad de potencia determina la forma en que la energía de una señal se encuentra distribuída en frecuencia, pero no especifica unívocamente la señal en sí. La información acerca de la forma de la onda puede obtenerse de la función de probabilidad de amplitudes o de su derivada, la función de densidad de probabilidad.

Las dos funciones mencionadas (de densidad espectral y de densidad de probabilidad) caracterizan la fluctuación de presiones en sus distintos aspectos. Desde un punto de vista matemático, las fluctuaciones de presión en escurrimientos reales pueden ser asimiladas si un proceso estocástico, estacionario y ergódico, sobre el que es posible aplicar las funciones expuestas.

En la actualidad, el Laboratorio lleva a cabo el análisis espectral mediante la utilización de la transformada rápida de Fourier (FFT), que resulta el método más recomendable y moderno. Los programas desarrollados por el Laboratorio de Hidráulica Aplicada admiten una serie casi infinita de datos digitalizados en bloques de 512 valores cada uno, con intervalos de muestreo  $\Delta t$  seleccionables desde la consola del computador, a efectos de cumplir la condición

$$\Delta t < \frac{1}{2 f_{\text{máx}}}$$

donde  $f_{m\acute{a}x}$  es la frecuencia máxima del registro o frecuencia de Nyquist.

Mediante los cálculos del programa resulta posible obtener por plotter los gráficos del espectro y la funci3n densidad de probabilidad, y por impresora los resultados del análisis estadístico necesarios para los diversos prop3sitos técnicos: valor medio cuadrático de amplitudes, semiamplitudes máximas positiva y negativa, semiamplitudes con diverso grado de probabilidad de ocurrencia, varianza, asimetría de distribuci3n, frecuencia dominante, frecuencia media, desviaci3n estándar de frecuencias, medida del ancho espectral, etc.

Un resumen completo del análisis estadístico a partir de la funci3n de distribuci3n fue publicado por Franco (4) , quien efectuara la revisi3n, puesta a punto y actualizaci3n de los programas de computaci3n de tratamiento de señales aleatorias en el Laboratorio de Hidráulica Aplicada.

## 2.2.- Presentaci3n de resultados de presiones fluctuantes

De acuerdo a lo expuesto precedentemente, la medici3n de presiones instantáneas fue efectuada con transductores y registro en banda magnética, siendo éste posteriormente tratado estadísticamente por computadora anal3gico-digital. De ese modo ha sido posible obtener resultados gráficos del histograma de amplitudes y del espectro de densidad de potencia y un listado impreso con los resultados estadísticos de interés (Anexo).

A partir de esos datos de los listados se vuelcan los valores de mayor interés en tablas resúmenes, que incluyen la siguiente informaci3n:

- RMS (igualmente designado en los listados de computadora) es el valor medio cuadrático de la fluctuaci3n, medido en metros de columna de agua :

$$RMS = \frac{1}{\gamma} \sqrt{\bar{P}^2}$$

siendo  $\gamma$  = peso específico.

- Hs (designado como ALTURA SIGNIFICATIVA en los listados) es la amplitud de onda promedio del tercio mayor de amplitudes registradas.
- SAM<sub>ax</sub>(+) (designado como DELTAPMAX en los listados) es la semiamplitud positiva máxima del registro, durante la medición.
- SAM<sub>ax</sub>(-) (designado como DELTAPMIN en los listados) es la semiamplitud negativa máxima del registro, durante la medición.
- SAx% (que aparece en la tabla de probabilidades-amplitudes del listado) es la semiamplitud que tiene x% de probabilidad de ser superada por valores más negativos.
- $\bar{P}/\gamma$  (que no se obtiene en los listados) es la presión media temporal en metros de columna líquida.
- pmín/ $\gamma$  es la presión mínima del registro, calculada como
 
$$P_{mín}/\gamma = \bar{P}/\gamma + SAM_{ax}(-)$$
- pmáx/ $\gamma$  es la presión máxima del registro, calculada como
 
$$P_{máx}/\gamma = \bar{P}/\gamma + SAM_{ax}(+)$$
- (P/ $\gamma$ ) x% es la presión que tiene x% de ser superada por valores más negativos, calculada como
 
$$(P/\gamma)_{x\%} = \bar{P}/\gamma + SA_{x\%}$$
- fz (designada como FREC CRUCE DE CERO en los listados) es la frecuencia de cruce por cero de la señal, inversa del período Tz.
- fp (designada como FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA en los listados) es la habitualmente llamada frecuencia dominante o de pico del espectro.
- $\bar{f}$  (designada como FREC MEDIA en los listados es la frecuencia media obtenida del espectro.
- $\sigma_f$  (designada como DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO en los listados) es el valor medio cuadrático de frecuencias involucradas en el espectro.

- $\epsilon$  (designada como MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL) es una variable adimensional, definida como

$$\epsilon = \sqrt{1 - \frac{M_2^2}{M_0 M_4}}$$

donde  $M_0$ ,  $M_2$  y  $M_4$  son los momentos de orden cero, dos y cuatro respectivamente del espectro.

- $f_1\%$  (designada como FREC CRUCE NIVEL 1% en los listados) es la frecuencia estadística de aparición de una presión tal como  $p/\gamma$  1%.
- $A_d$  (designada como ASIMENTRIA DE LA DISTRIBUCION en los listados) es la asimetría de la función densidad de probabilidad, definida como

$$A_d = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} p'^3 \mathcal{P}(p') dp'}{(\sqrt{\bar{p}'^2})^3} .$$

### 3.- CONDICIONES DE ENSAYO

#### 3.1.- Mediciones en obra del 19 de julio de 1983

Durante la campaña efectuada el 19 de julio de 1983 se efectuaron registros en el sensor N° 3 para diversas aperturas de compuerta con una cota de embalse anormalmente baja (del orden de +31,50 m) debido a las operaciones desarrolladas para regular la crecida del río Uruguay y minimizar en lo posible sus efectos aguas abajo de la presa.

Las cinco diferentes condiciones, denominadas estados E1-1 a E1-5 fueron las siguientes:

3.1.1.- Estado E-1-1: Cota de embalse +31,34 m, cota de restitución +18,42 m y apertura de compuertas en todo el vertedero de 7,75 m. El gasto específico estimado fue de 74,02 m<sup>2</sup>/s, suponiéndose una velocidad de ingreso al resalto de 21,42 m/s y un tirante de ingreso en la platea de 3,45 m. El número de Froude incidente resultó entonces  $F_1 = 3,68$ .

3.1.2.- Estado E1-2: Cota de embalse +31,48 m, cota de restitución +18,30 m y paertura de compuertas 7,75 m en todo el vertedero. Este estado es prácticamente una reiteración del anterior, con gasto específico  $q = 74,52$  m<sup>2</sup>/s, velocidad  $U_1 = 21,47$  m/s, tirante de ingreso  $h_1 = 3,47$  m y número de Froude incidente  $F_1 = 3,68$ .

3.1.3.- Estado E1-3: Cota de embalse +31,48 m, cota de restitución +18,30 m, apertura de compuerta del vano N° 7 8,5 m y las restantes manteniendo 7,75 m. El gasto específico del vano N° 7 se estima en  $q = 81.08 \text{ m}^2/\text{s}$ , la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = 21,34 \text{ m/s}$ , tirante de ingreso  $h_1 = 3.80 \text{ m}$ , y número de Froude incidente  $F_1 = 3,5$ .

3.1.4.- Estado E1-4: Cota de embalse +31,50 m, cota de restitución +18,32 m, apertura de compuerta del vano N° 7 de 10,5 m y las restantes manteniendo 7,75 m. El gasto específico del vano N° 7 se estima en  $q = 99,23 \text{ m}^2/\text{s}$ , la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = 21,01 \text{ m/s}$ , el tirante de ingreso  $h_1 = 4,72 \text{ m}$  y el número de Froude incidente  $F_1 = 3,09$ .

3.1.5.- Estado E1-5: Cota de embalse +31,50 m, cota de restitución +18,32 m, apertura de compuerta del vano N° 7 total y las restantes con apertura de 7,75 m. El gasto específico del vano N° 7 se estima en  $q = 108,22 \text{ m}^2/\text{s}$ , la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = 20,83 \text{ m/s}$ , el tirante de ingreso  $h_1 = 5,20 \text{ m}$  y el número de Froude incidente  $F_1 = 2,92$ .

3.2.- Mediciones en obra del 26 de julio de 1983

Con el sensor N° 3 se reiteraron experiencias una semana más tarde, cuando ya el nivel de embalse se encontraba con cota levemente superior a la normal, en promedio del orden de +35,24m. Los registros E2-1, E2-2, E2-3 y E2-5 corresponden a estados per

manentes con diversas aperturas de compuertas, mientras que el registro E2-4 fue realizado durante el proceso de apertura de la compuerta, que por su condición de fenómeno transitorio, no puede ser analizado estadísticamente con la metodología desarrollada en este trabajo.

3.2.1.- Estado E2-1: Cota de embalse +35,26 m, cota de restitución +18,14 m y apertura de compuertas en todo el vertedero de 6,30 m. El gasto específico se estima en  $q = 70,87 \text{ m}^2/\text{s}$ , la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = 22,96 \text{ m/s}$ , el tirante de ingreso  $h_1 = 3,09 \text{ m}$  y el número de Froude incidente  $F_1 = 4,17$ .

3.2.2.- Estado E2-2: Cota de embalse +35,24 m, cota de restitución +18,16 m, apertura de compuertas de los vanos N° 7 y N° 8 de 9 m y las restantes manteniendo 6,30 m de apertura. El gasto específico en los dos vanos señalados se estima en  $100,88 \text{ m}^2/\text{s}$ , la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = 22,46 \text{ m/s}$ , el tirante de ingreso  $h_1 = 4,49 \text{ m}$  y el número de Froude incidente  $F_1 = 3,38$ .

3.2.3.- Estado E2-3: Cota de embalse +35,24 m, cota de restitución +18,16 m, apertura de compuertas de los vanos N° 7 y N° 8 de 12 m y las restantes manteniendo 6,30 m de apertura. El gasto específico en los dos vanos señalados se estima en  $133,80 \text{ m}^2/\text{s}$ , la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = 21,89 \text{ m/s}$ , el tirante de ingreso  $h_1 = 6,12 \text{ m}$  y el número de Froude incidente  $F_1 = 2,83$ .

3.2.4.- Estado E2-4: Cota de embalse +35,23 m, cota de restitución +18,18 m y apertura de las compuertas de los vanos N° 7 y N° 8 variable desde 12 m hasta apertura total.

3.2.5.- Estado E2-5: Cota de embalse +35,22 m, cota de restitución +18,22 m, y apertura total de compuertas en los vanos N° 7 y N° 8, manteniéndose las restantes en 6,30 m de apertura. El gasto específico en esos vanos totalmente libres se estima en 155,54 m<sup>2</sup>/s, la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = 21,46$  m/s, el tirante de ingreso  $h_1 = 7,25$  m y el número de Froude incidente  $F_1 = 2,54$ .

### 3.3.- Resumen de estados de operación

En la Tabla N° 1 se resumen los estados de operación para los que se efectuó el registro de presiones instantáneas en el sensor N° 3 en condiciones de permanencia del flujo en su conjunto, siguiendo la nomenclatura antes planteada.

Para cada estado se ha indicado la cota de embalse, la cota de restitución, la apertura de la compuerta del vano N° 7, el gasto específico estimado  $q$ , el tirante de ingreso al resalto  $h_1$  calculado mediante una expresión sencilla (5):

$$h_1 = \frac{q}{0,9\sqrt{2g(\Delta Z - h_1)}}$$

donde  $\Delta Z$  es el tirante entre cota de embalse y nivel de la platea de disipación, la velocidad de ingreso al resalto  $U_1 = q/h_1$  y el número de Froude incidente obtenido como

$$F_1 = \frac{U_1}{\sqrt{g h_1}}$$

#### 4.- RESULTADOS OBTENIDOS

##### 4.1.- Salidas de computadora

Mediante el análisis estadístico computacional efectuado, a partir de la función densidad de probabilidad y del espectro de densidad de potencia aplicadas a la señal continua registrada, resultó posible obtener los parámetros de interés de las presiones fluctuantes.

Para dicho análisis se digitalizaron los registros analógicos con un intervalo de muestreo de 50 milisegundos,  $\Delta t = 0,05$  seg., y se tomaron en total 10.240 datos en cada toma, distribuidos en veinte bloques de 512 datos cada uno. Para la confección del espectro se consideró entonces una frecuencia límite, dada por la expresión ya señalada de Nyquist  $f_{\text{máx}} = 10$  Hz, encontrándose la energía de la señal ampliamente cubierta en ese rango.

Los listados que se incluyen como Anexo en este informe indican en su rótulo la identificación del estado considerado, del modo siguiente:

- S.G. - 19-7-83 E1 C2      corresponde al estado E1-1
- S.G. - 19-7-83 E2 C2      corresponde al estado E1-2
- S.G. - 19-7-83 E3 C2      corresponde al estado E1-3
- S.G. - 19-7-83 E4 C2      corresponde al estado E1-4
- S.G. - 19-7-83 E5 C1      corresponde al estado E1-5
- S.G. - 26-7-83 E1 C1      corresponde al estado E2-1
- S.G. - 26-7-83 E2 C1      corresponde al estado E2-2
- S.G. - 26-7-83 E3 C1      corresponde al estado E2-3
- S.G. - 26-7-83 E5 C1      corresponde al estado E2-5

Los valores de semiamplitudes de presión vienen allí dados en metros de columna de agua, los tiempos en segundos y las frecuencias en Herz.

Los gráficos que complementan el citado Anexo permiten apreciar la distribución del espectro, con concentración de energía en muy bajas frecuencias y la curva de la función densidad

de probabilidad de amplitudes.

#### 4.2.- Tablas de resúmenes

Con la información obtenida de acuerdo a lo expuesto en el párrafo precedente se han construido las Tablas N° 2 y N° 3 que resumen los aspectos de mayor interés de los registros efectuados. En la Tabla N° 2 han incluido: el valor medio cuadrático de amplitudes de fluctuación (RMS), las semiamplitudes máxima negativa y máxima positiva, las semiamplitudes con probabilidad de ocurrencia 0,1%, 1%, 5%, 95%, 99% y 99,9% de ser superadas con un valor más negativo, la asimetría de distribución, la frecuencia dominante, la frecuencia de cruce por cero, el coeficiente de presiones fluctuantes

$$C_p = \frac{\sqrt{\bar{p}^2}}{\frac{1}{2} \rho U_1^2} \quad (-1-)$$

y el número de Strouhal de pico

$$S_p = \frac{f_p h_1}{U_1} \quad (-2-)$$

En la Tabla N° 3 se presentan: la frecuencia media, la desviación standard de frecuencias, la frecuencia de cruce por el nivel de probabilidad 1%, la amplitud significativa de fluctuación, la medida del ancho espectral y, a partir de la presión media temporal, las presiones mínima, máxima y de diversa probabilidad de ocurrencia.

La presión media ha sido determinada a partir del registro simultáneo en el registrador (para ello se utilizan dos canales) de la medida total de presiones, considerando el valor medio del registro, restándole 10,33 m de columna de agua (para llevarlo a presiones relativas) y sumándole la constante de cero del

sensor, que para el sensor N° 3 es +0,26 m de columna de agua.

Habiéndose utilizado el canal 1 para este fin, en los estados E1-5 y E2-1 a E2-5 (que en el rótulo del listado indican C1 = canal 1) puede comprobarse la metodología expuesta observando los listados incluidos en el Anexo.

## 5.- ANALISIS DE RESULTADOS

### 5.1.- Presiones fluctuantes inducidas por resalto hidráulico

El proceso de disipación macroturbulenta en el resalto hidráulico está siempre asociado con severas fluctuaciones de presión que actúan sobre las estructuras componentes de los cuencos amortiguadores de energía (losas y sus anclajes, muros, pilares separadores) y sobre los elementos de disipación forzada (dientes de caída, bloques de choque y escalones finales), pudiendo someterlos a fatiga, vibraciones y, eventualmente a cavitación por depresiones instantáneas.

Los estudios sistemáticos acerca de presiones fluctuantes inducidas por resalto hidráulico fueron comenzados en la década del cincuenta en la Unión Soviética, apareciendo un primer trabajo en idioma occidental en el Congreso de Grandes Presas de 1958, debido a Preobrazhenski (6).

Las amplitudes de fluctuación en la base de resalto libre han sido estudiadas por diversos autores, entre los que pueden mencionarse Vasiliev y Bukreyev (7) en 1967, Abdul Khader y Elango (8) en 1974. Lopardo y Solari (9) en 1980 extendieron ese estudio para rangos de número de Froude incidentes entre 2,5 Fl 7,5, considerando una expresión

$$C'_p = C'_p(x/h_1, F_1), \quad (-3-)$$

para la interpretación del fenómeno. Dicha función presenta un máximo para  $F_1 = 4,5$ , que alcanzó el valor  $C'_p = 0,084$ .

Akbari, Mittal y Pande (10) en 1982 presentaron resultados de experiencias con  $F_1 > 6,2$ , obteniendo valores máximos algo inferiores a ese máximo.

Para resalto forzado con una barrera lineal ubicada en la mitad de la longitud del mismo, Solari (11) encontró que los máximos valores de  $C'_p$  son siempre decrecientes para  $F_1$  crecientes, y presentan dos leyes de variación, una para la zona de aguas arriba de la barrera:

$$C'_{p\text{máx}} = 1.1 \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1.5 \right)^{-1} \quad (-4-)$$

y otra para la zona de aguas abajo

$$C'_{p\text{máx}} = 0.85 e^{1.1(F_1-1)} + 0.022 \quad (-5-)$$

Con respecto a la respuesta en frecuencias, Solari (11) propone la expresión del número de Strouhal de pico

$$S_p = 0.52 \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1.5 \right)^{-1} \quad (-6-)$$

Para un cuenco tipo "Basin II" del U.S. Bureau of Reclamation (12), con dientes de caída ("chute blocks"), Arruda Camargo (13) efectuó un estudio para número de Froude incidente constante  $F_1 = 5.1$ , observando un máximo valor de amplitudes de fluctuación en la parte inicial del resalto del orden de  $C'_{p\text{máx}} = 0.075$ .

Respecto de dientes de caída, Bowers y Tsai (14) en 1969 indicaron ordenes máximos de fluctuación de presiones de  $\pm 40\%$  de la energía cinética incidente, es decir

$$(P/\gamma)_{\text{máx}} - (P/\gamma)_{\text{mín}} = 0.8 \frac{U_1^2}{2g} \quad (-7-)$$

Lopardo, Orellano y Vernet (15) en 1977 presentaron resultados sobre las funciones

$$C'_p = C'_p(F_1)$$

$$S_p = S_p(F_1),$$

para bloques de choque ("baffle piers"), incluidos en un dissipador a resalto. Las máximas fluctuaciones se encontraron en la cara lateral del bloque, próxima a la arista de aguas arriba, alcanzando valores de  $C'_p$  realmente importantes, que superan  $C'_{p\text{máx}} > 0.5$ .

Estudios específicos también fueron desarrollados para presiones fluctuantes en dientes de caída ("chute blocks") (12)

(16) y en escalones finales de disipadores a resalto (17).

La influencia de la sumergencia del resalto respecto de las fluctuaciones de presión no es posible evaluarla, ante las contradicciones y resultados poco claros de la bibliografía existente en el tema (18).

Cuando las pilas separadoras entre vanos de vertedero se introducen en el cuenco amortiguador o su cara posterior se encuentra inmersa en el resalto, aparecen fluctuaciones de presión muy importantes que llevan a situaciones críticas. Debe tenerse presente que, con presiones medias temporales lejanas de la tensión de vapor (y aún superiores a la atmosférica) se puede tener cavitación con daños estructurales debido a las depresiones instantáneas fluctuantes (19).

En una anterior medición de presiones fluctuantes en el prototipo de Salto Grande (2) se detectaron resultados de cavitación instantánea con 5% de probabilidad de ocurrencia detrás de la pila N° 15 (sensor N°7) para un gasto específico de 80,7 m<sup>2</sup>/s, obtenido por apertura de compuertas de 7,25 m. Los efectos han sido luego comprobados, al destruirse el cable de transmisión ante la acción de cavitación y/o vibración.

Es interesante señalar la benéfica influencia de los deflectores laterales an las paredes de las pilas, si bien ese tema requiere una seria investigación sistemática, pues el único sensor con transmisión no interrumpida es el N° 3, detrás de la pila que aún cuenta con un deflector instalado.

## 5.2.- Análisis de presiones medias e instantáneas registradas

Con los valores que integran la Tabla N° 3 se han graficado las presiones medias e instantáneas características correspondientes a los estados E1 y E2 de cota de embalse.

En la Figura N° 5 se presentan los valores de  $\bar{P}/\gamma$ ,  $P/\gamma$  5%,  $P/\gamma$  1%,  $P/\gamma$  0,1% y  $P/\gamma$  mín en función del gasto específico estimado, para cota de embalse +31,48 m (estados E1.1 a E1.5). Allí puede observarse un leve aumento de la presión media con el gasto específico, una cierta constancia de las amplitudes de fluctuación de 5% y 1% de probabilidad de ocurrencia y un incremento de ellas con el gasto específico para las amplitudes con 0,1% de probabilidad. Luego, la presión  $P/\gamma$  0,1% y la mínima registrada tienden a disminuir para gastos específicos crecientes.

Los resultados de la Figura N° 5 ilustran claramente que, para cota de embalse +31,48 m, no existe riesgo alguno de cavitación detrás del pilar octavo, donde está instalado el Sensor N° 3, habiéndose cubierto los rangos más desfavorables de apertura de compuertas, incluido el caso de apertura total. Obviamente, estas conclusiones son válidas para el nivel de restitución existente durante los registros, con cota superior a +18,3 m.

La Figura N° 6 es una reiteración de la anterior pero para los estados E2.1 a E2.5, con cota de embalse +35,24 m en promedio. Allí puede observarse que la presión media  $\bar{P}/\gamma$  se mantiene prácticamente constante para gastos específicos entre 70 m<sup>2</sup>/s y 155 m<sup>2</sup>/s, pero inferior a los valores medios temporales correspondientes a los estados con nivel de embalse +31,48 m. Al incrementarse la velocidad, y por ende la energía cinética incidente al resalto, una mayor cota de embalse produce menores presiones detrás de la pila en la zona cercana a la arista.

Según puede observarse en la Figura N° 6, los riesgos de cavitación en el punto de toma del Sensor N° 3 no parecen manifestarse para ninguno de los estados de apertura parcial de compuertas, siendo evidente que con vertedero libre ese fenómeno estará presente con probabilidad de ocurrencia del 0,1%.

En virtud de los resultados graficados en las Figuras N° 5 y N° 6 no deberían encontrarse daños provenientes de cavitación instantánea detrás de la pila N° 8, en el lado correspondiente al vano séptimo, en el que se encuentran los deflectores instalados. De los resultados de anteriores campañas surge que aque-

llas pilas que no cuentan con deflectores presentan cavitación por depresiones instantáneas en la zona cercana a la arista posterior de las mismas, para aperturas parciales de compuertas.

### 5.3.- Análisis comparativo de fluctuaciones de presión

Con el Sensor N° 3 se han efectuado registros en cinco diferentes circunstancias: en febrero de 1981, con cota de embalse normal (+35,00 m) y nivel de restitución muy bajo (entre +8,7 m y +10,0 m), en junio de 1982, con cota de embalse normal y nivel de restitución aún reducido (entre +11,75 m y +12,40 m), en noviembre de 1982, con cota de embalse normal y nivel de restitución más elevado (entre +15,36 m y +15,76 m), el 19 de julio de 1983, con cota de embalse baja +31,48 m y nivel de restitución muy elevado para los gastos erogados (entre +18,3 m y +18,42 m) y el 26 de julio de 1983 con cota de embalse algo superior a la normal (+35,24 m) y niveles de restitución altos pero más acordes con los gastos erogados (entre +18,14 m y +18,22 m).

Es evidente que para cada nivel de embalse y apertura de compuerta dados, no se ha mantenido una cota de restitución tal que siempre la posición del resalto sea la misma.

Una variación de esa posición de inicio del resalto es fundamental en la naturaleza de la fluctuación de presiones registrada. Es en ese tramo inicial donde se producen las mayores amplitudes y los cambios más notables en función de la distancia. Luego, un resumen general de

$$C'_p = C'_p (F_1) ,$$

presentará dispersiones importantes, tal como puede observarse en la Figura N° 7.

Dicha figura incluye la totalidad de los resultados obtenidos para el Sensor N° 3 y permite considerar una ley media de variación tal que indica una disminución del coeficiente de amplitud de presiones fluctuantes  $C'p$  para números de Froude crecientes en el ingreso al resalto.

Las variaciones de posición del inicio del resalto afectan sensiblemente la geometría de una condición de borde del fenómeno, y se ponen mucho más en evidencia en un análisis de las frecuencias dominantes de fluctuación. La Figura N° 8 ilustra acerca de la dispersión del número de Strouhal de pico  $S_p$  en los distintos estados de registro, si se lo grafica en función del número de Froude incidente. Allí se ha incluido la curva correspondiente a resalto forzado propuesta por Solari (11),

$$S_p = 0.52 \left( \sqrt{1 + 8 F_1^2} - 1.5 \right)^{-1}$$

que si bien no tiene una aplicación directa a este caso, parece indicar la tendencia de forma de la relación  $S_p = S_p(F_1)$ , para distintas características geométricas.

## CONCLUSIONES

Durante estas mediciones en obra sólo ha sido posible contar con el Sensor N° 3, que se encuentra detrás de una pila que mantiene el deflector en su cara correspondiente a la toma de presión, y en la que la subida de cables se encuentra mejor protegida a las vibraciones por estar dentro de una ranura.

Se descuenta que detrás de las pilas sin deflector las de presiones instantáneas han motivado el corte de los conductos y cables de transmisión de los sensores ubicados en el bloque de disipación forzada y en la salida de los drenajes.

Los registros con cota de embalse inferior a la normal ( $\sim +31,48$  m) no han indicado tendencia a cavitación en el Sensor N° 3 para ningún estado posible de obra, siempre que se mantenga la cota de restitución existente ( $\sim +18,3$  m).

Los registros con cota de embalse algo superior a la normal ( $\sim +35,24$  m) presentan valores de presiones instantáneas inferiores a la tensión de vapor del líquido con 0,1% de probabilidad de ocurrencia, sólo para el estado de apertura total de compuertas, lo que no señalaría un riesgo serio para la estructura.

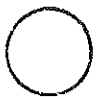
Un análisis más completo debería incluir la influencia de la cota de restitución y de los deflectores, para lo que sería necesario un serio estudio sistemático de laboratorio, ya que es absolutamente imposible de efectuar en prototipo.

Por otra parte, este informe deberá completarse con un análisis de los eventuales daños que se detecten en la obra, para lo cual el Laboratorio de Hidráulica Aplicada deberá contar con la información de campo correspondiente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- (1) INCYTH-LHA: Medición de presiones instantáneas en puntos característicos del vertedero de Salto Grande, Informe Técnico LHA-039-02-81, Ezeiza, 1981.
- (2) INCYTH-LHA: Registro y análisis de presiones fluctuantes en la obra de Salto Grande - Junio 1982, Informe Técnico LHA-045-01-82, Ezeiza, 1982.
- (3) INCYTH-LHA: Registro y análisis de presiones fluctuantes en la obra de Salto Grande - Noviembre 1982, Informe Técnico LHA-045-02-82, Ezeiza, 1982.
- (4) FRANCO, H.: Determinación de la función de distribución de un proceso estocástico, estacionario y ergódico, INCYTH-LHA Informe Técnico LHA-039-01-80, Ezeiza, 1980.
- (5) KROCHIN, S.: Diseño hidráulico, Colección Escuela Politécnica Nacional, Quito, 1978.
- (6) PREOBRAZHENSKI, N.A.: Laboratory and field investigation of flow pressure fluctuation and vibration of large dams, Proc. VI Congreso Mundial de Grandes Presas (ICOLD), 1958, N.Y.Q. 21, R110, 23 pág.
- (7) VASILIEV, O.F. y BUKREYEV, V.I.: Statistical characteristics of pressure fluctuations in the region of hydraulic jump, Proceedings XII IAHR Congress, Colorado, 1967, pág. B1.1-B1.8.
- (8) ABDUL KHADER, M.H. y ELANGO, K.: Turbulent pressure field beneath a hydraulic jump, Journal of Hydraulic Research, Delft, 1974, vol. 2, N° 4, pág. 469-489.
- (9) LOPARDO, R.A. y SOLARI, H.G.: Fluctuaciones de presión en la base de resalto libre, Anales del XI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, IAHR, Mérida (Venezuela), 1980, vol. 1, pág. 69-78.
- (10) AKBARI, M.E., MITTAL, M.K. y PANDE, P.K.: Pressure fluctuations on the floor of free and forced hydraulic jumps, Proceedings of the International Conference on the Hydraulic

- of Civil Engineering Structures, Coventry, 1982, pág. 87-96.
- (11) SOLARI, H.G.: Fluctuaciones de presión en resalto hidráulico libre y forzado, Trabajo de Seminario, LHA-S2-028-78, Ezeiza 1978.
  - (12) U.S. BUREAU OF RECLAMATION: Stilling basin chute block pressures (Basin II), Hydraulic Branch Report N° Hyd-S14, Denver, Colorado, 1963.
  - (13) ARRUDA CAMARGO, S.A.: Macroturbulencia de pressão em estruturas de dissipacao de energia por resalto hidráulico, XIII Seminario Nacional de Grandes Barragens, Río de Janeiro, 1980, pág. 207-237.
  - (14) BOWERS, C.E. y TSAI, F.Y.: Fluctuating pressures in spillway stilling basins, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, vol. 95, N° HY6, 1969, pág. 2071-2079.
  - (15) LOPARDO, R.A., ORELLANO, J.A. y VERNET, G.F.: Baffle piers subjected to flow induced vibrations, Proceedings XVII IAHR Congress, Baden-Baden, 1977, vol. 3, pág. 445-452.
  - (16) BOWERS, C.E. y TSAI, F.Y.: Fluctuating pressures in spillway stilling basins, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, vol. 95, N° HY6, 1969, pág. 2071-2079.
  - (17) LOPARDO, R.A., DE LIO, J.C., VERNET, G.F. y FRANCO, H.: Determinación de fluctuaciones de presión en disipadores a resalto mediante modelos físicos convencionales, X Congreso Nacional del Agua, Corrientes, Argentina, 1981.
  - (18) LOPARDO, R.A.: Fluctuaciones macroturbulentas en disipadores a resalto, Curso Latinoamericano sobre Comportamiento Hidráulico de Obras de Alivio de Grandes Presas, INCYTH-BID Buenos Aires, 1983, 105 páginas.
  - (19) LOPARDO, R.A., DE LIO, J.C. y VERNET, G.F.: Physical modelling on cavitation tendency for macroturbulence of hydraulic jump, International Conference on the Hydraulic Modelling of Civil Engineering Structures, Coventry, 1982, pág. 109-121.



RESUMEN DE CONDICIONES DE OPERACION DE OBRA

| ENSAYO           | FECHA   | COTA EMB. | COTA REST. | Ap. COMP. | $q$                 | $h_1$ | $U_1$ | $Fr_1$ |
|------------------|---------|-----------|------------|-----------|---------------------|-------|-------|--------|
|                  |         | (m)       | (m)        | (m)       | (m <sup>2</sup> /s) | (m)   | (m/s) |        |
| E <sub>1-1</sub> | 19/7/83 | 31,34     | 18,42      | 7,75      | 74,02               | 3,45  | 21,42 | 3,68   |
| E <sub>1-2</sub> | "       | 31,48     | 18,30      | 7,75      | 74,52               | 3,47  | 21,47 | 3,68   |
| E <sub>1-3</sub> | "       | 31,48     | 18,30      | 8,50      | 81,08               | 3,80  | 21,34 | 3,50   |
| E <sub>1-4</sub> | "       | 31,50     | 18,32      | 10,50     | 99,23               | 4,72  | 21,01 | 3,09   |
| E <sub>1-5</sub> | "       | 31,50     | 18,32      | TOTAL     | 108,22              | 5,20  | 20,83 | 2,92   |
| E <sub>2-1</sub> | 26/7/83 | 35,26     | 18,14      | 6,30      | 70,87               | 3,09  | 22,96 | 4,17   |
| E <sub>2-2</sub> | "       | 35,24     | 18,16      | 9,00      | 100,88              | 4,49  | 22,46 | 3,38   |
| E <sub>2-3</sub> | "       | 35,24     | 18,16      | 12,00     | 133,80              | 6,12  | 21,89 | 2,83   |
| E <sub>2-5</sub> | "       | 35,22     | 18,22      | TOTAL     | 155,54              | 7,25  | 21,46 | 2,54   |

$q$ : gasto específico en el vertedero

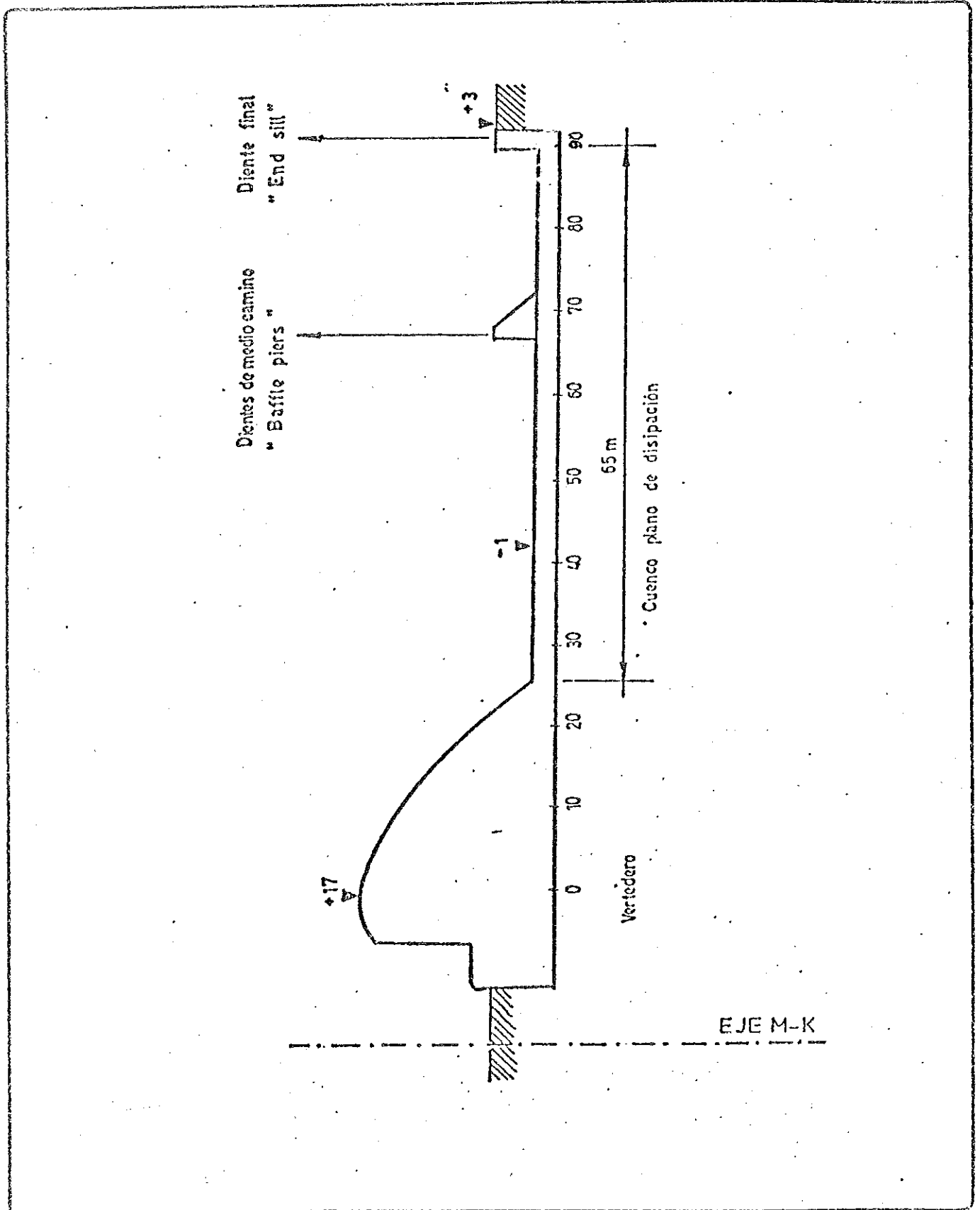
$h_1$ : tirante de ingreso al resalto

$U_1$ : velocidad de ingreso al resalto

$Fr_1$ : Número de Froude incidente



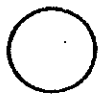




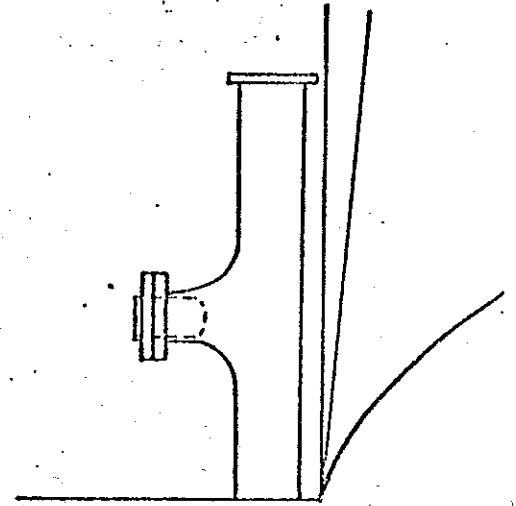
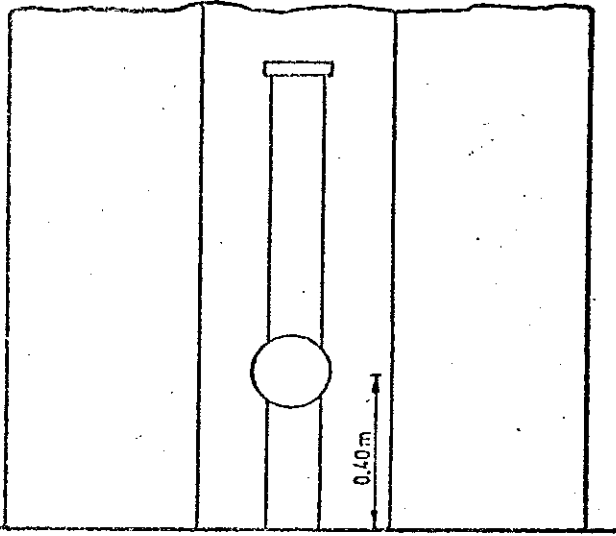
FORM.LHA-3

ESQUEMA DE VERTEDERO Y DISIPADOR

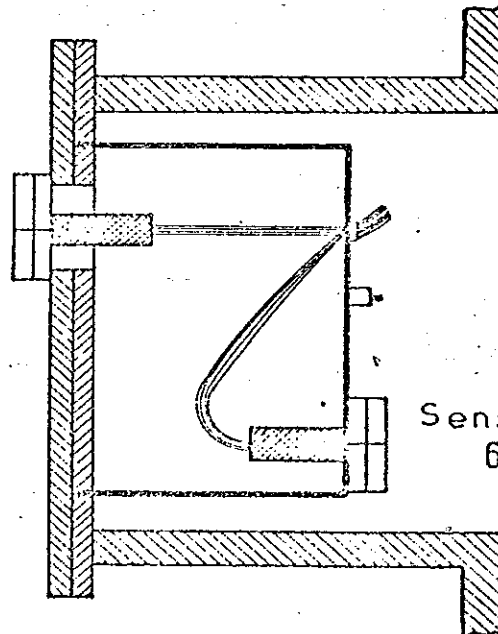
FIGURA Nº1



Pila N°7



Sensor N°1  
3.809

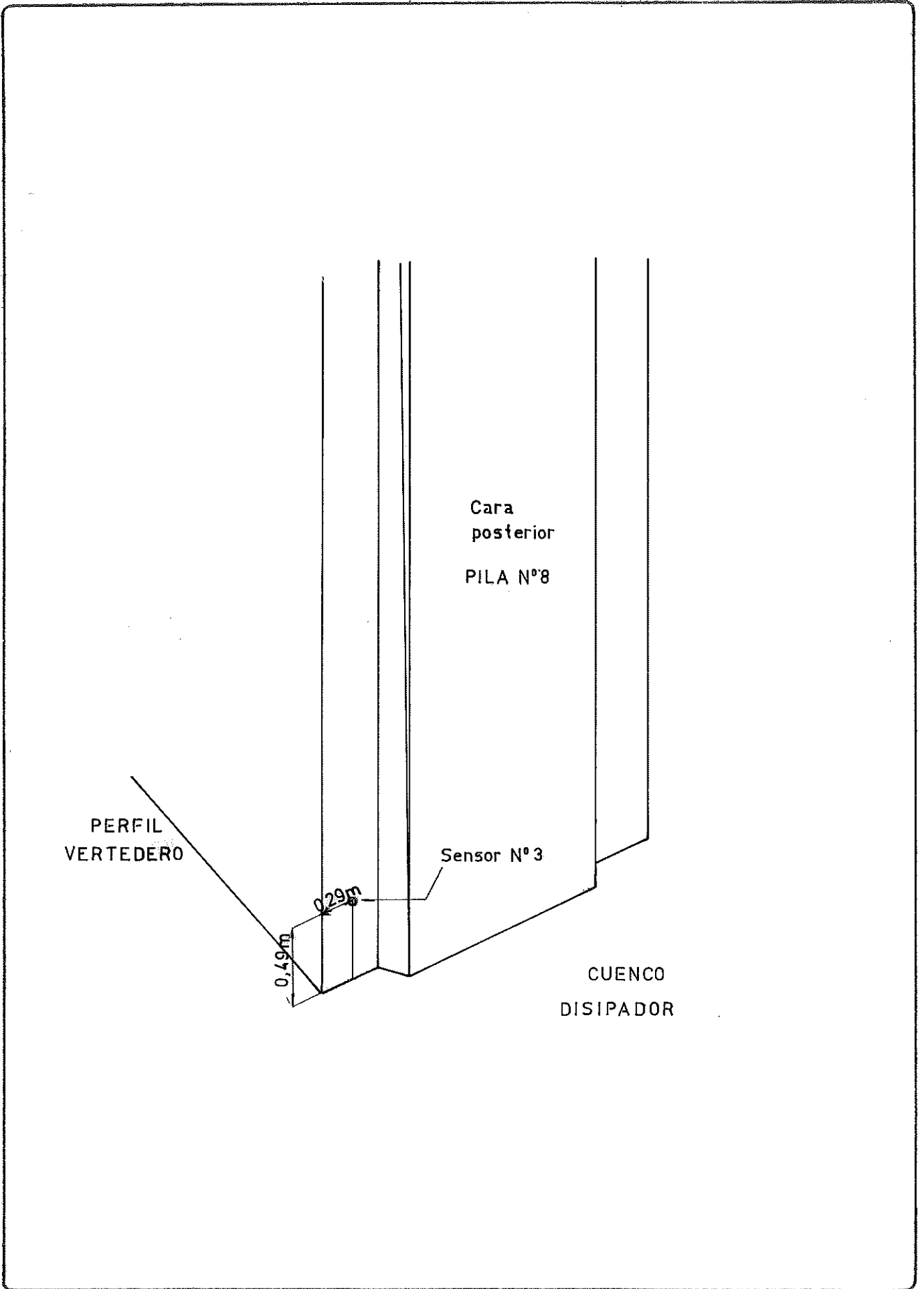


Sensor N°2  
6.323

FORM.LHA-3

UBICACIÓN DE SENSORES EN SALIDA DE DRENAJE

FIGURA N° 2



FORMILHA-3

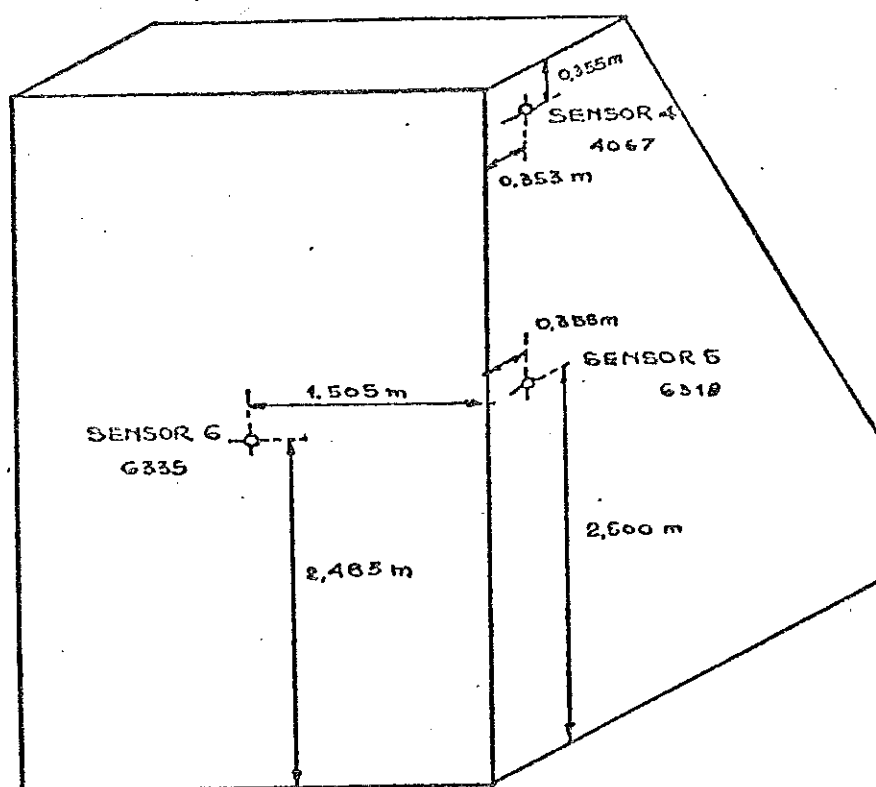
UBICACION DE SENSOR EN CARA POSTERIOR DE PILA

FIGURA N°3



BAFFLE PIER N° 11

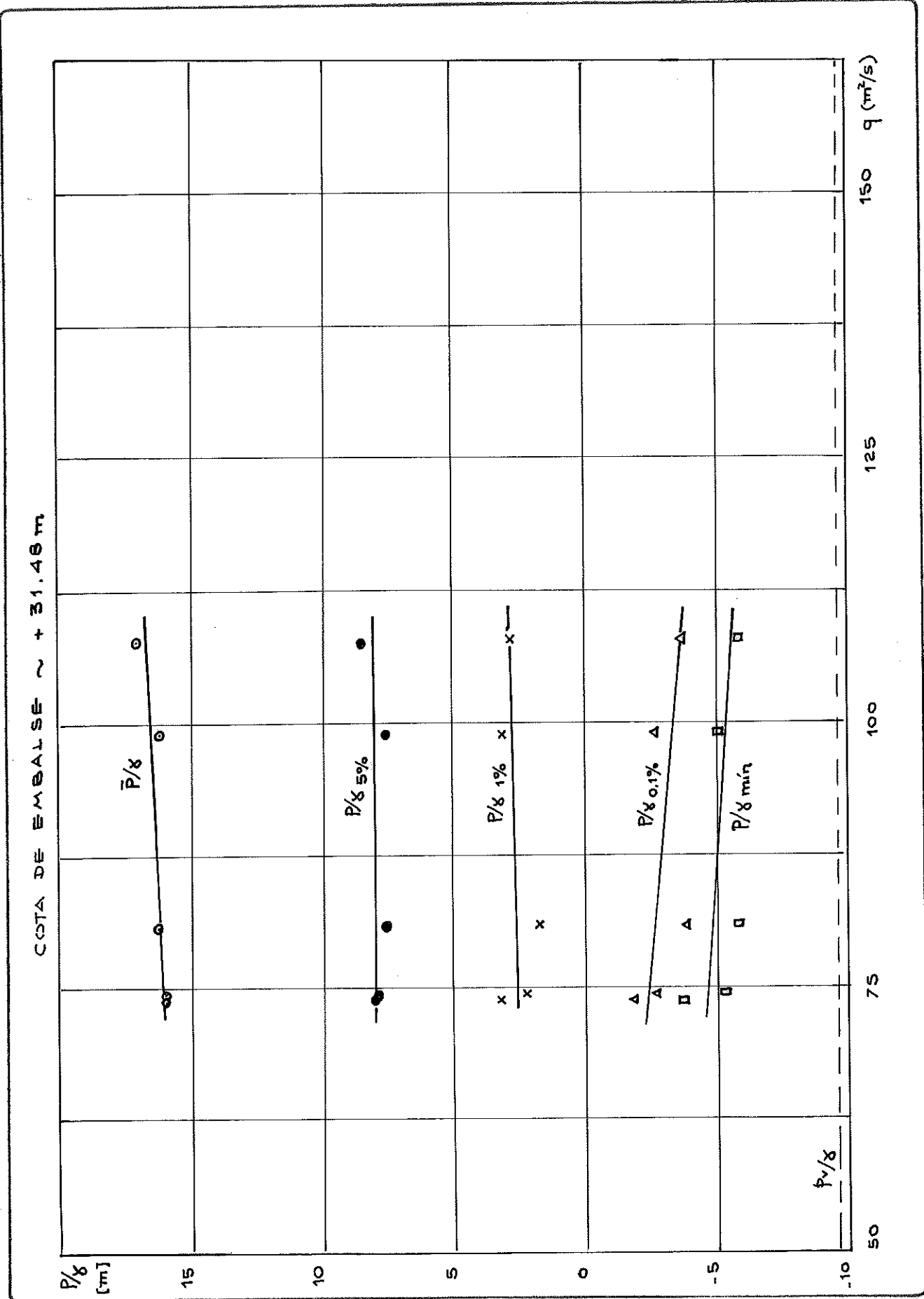
VANO DE VERTEDERO N° 6



FORMILINAS

UBICACIÓN DE SENSORES EN BAFFLE PIER

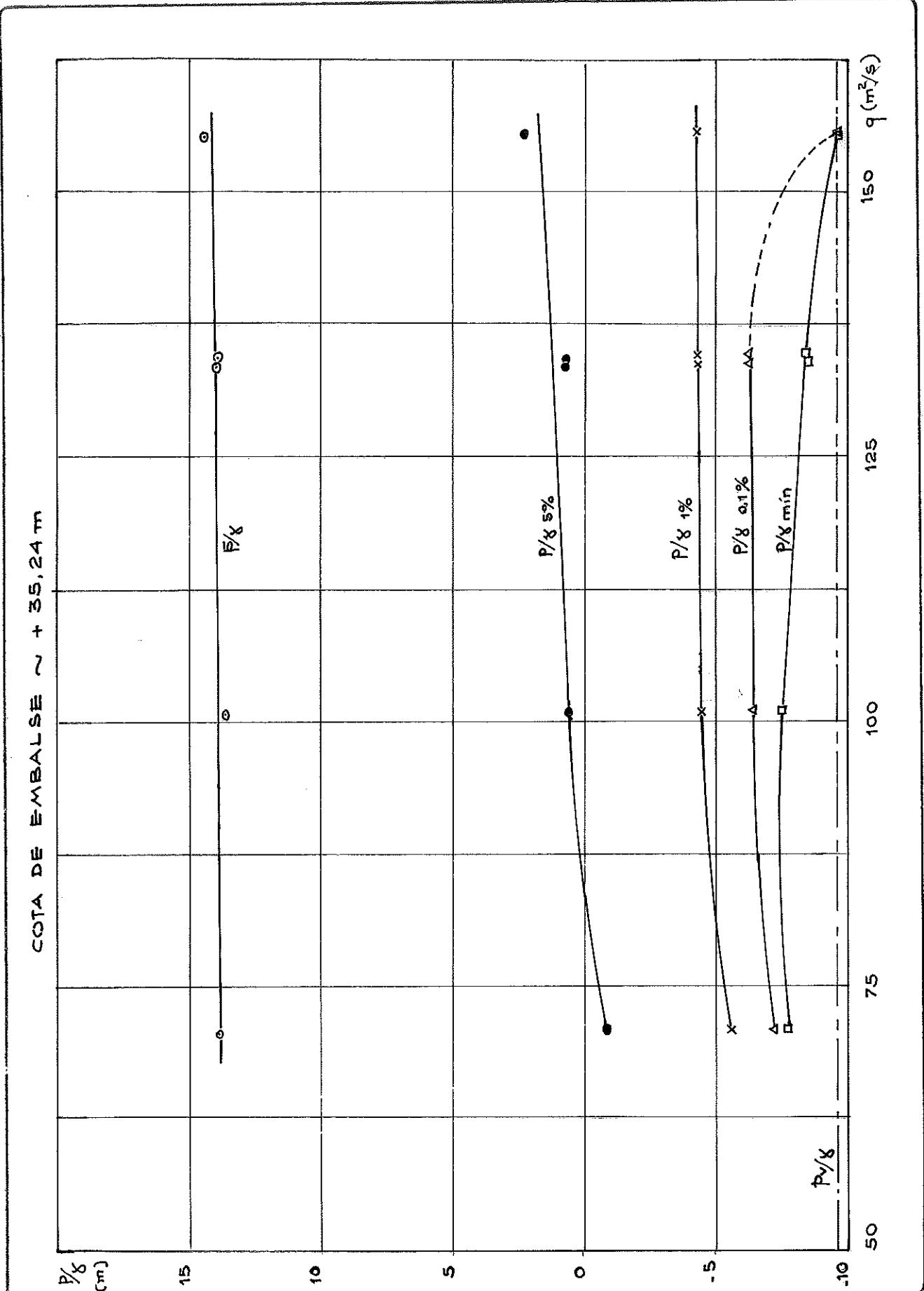
FIGURA N° 4



FORM.LHA-3

SALTO GRANDE - SENSOR N° 3 - ESTADOS E1.1 / P1.5

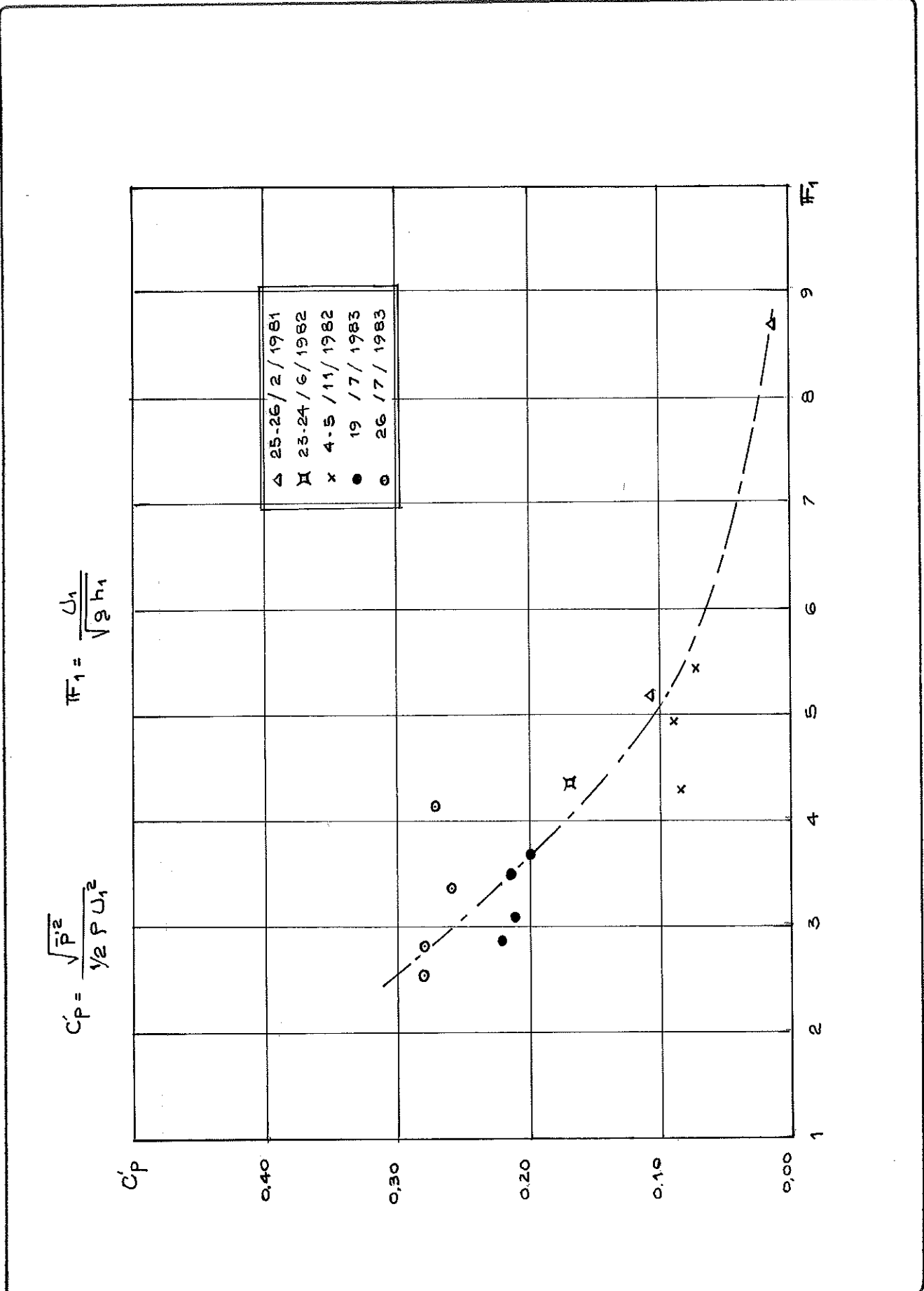
FIGURA N° 01



FORM.LHA-3

SALTO GRANDE . SENSOR N° 3 - ESTADOS E2.1/E2.5

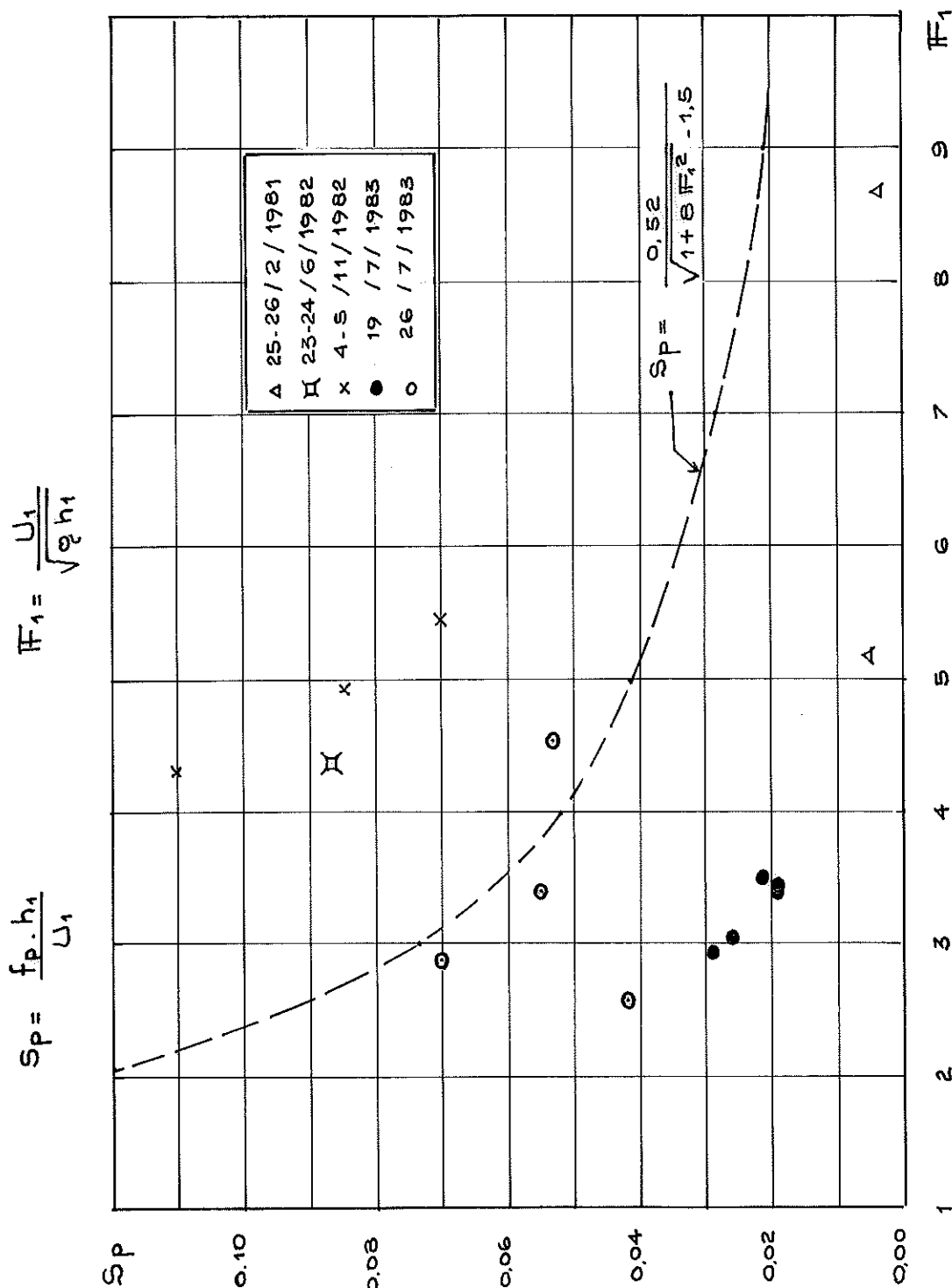
FIGURA N° 6



FORM.LHA-3

SALTO GRANDE - SENSOR N° 3 .  $C_p = C_p (F_1)$   
 PARA LOS DISTINTOS REGISTROS EFECTUADOS

FIGURA N° 7



FORMILHAS

SALTO GRANDE - SENSOR N° 3 -  $C_p = Sp(F_1)$   
 PARA LOS DISTINTOS REGISTROS EFECTUADOS

FIGURA N° 8

ANEXO

RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANALISIS  
ESTADISTICO POR IMPRESORA Y PLOTTER

MCR>RUN DKL:HISPEK#

ROTULO: S-G 19-7-83 E1 C2  
PERIODO DE MUESTREO (MSEG.): 50  
NUMERO DE BLOQUES: 20  
GAN Y CANAL (EN OCTAL) : 20000  
PASABANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP : 1  
ESCALA (CM/VOLT) : 10.2  
ESCALA PROTOTIPO/MODELO : 1.

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10240.0

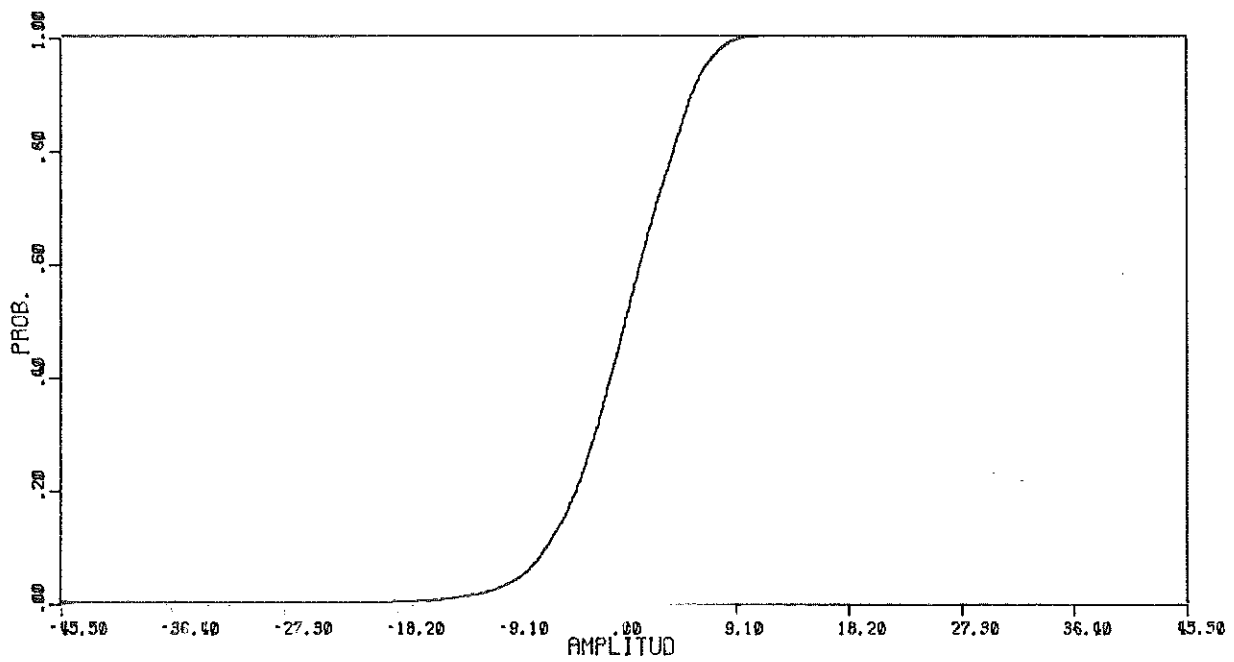
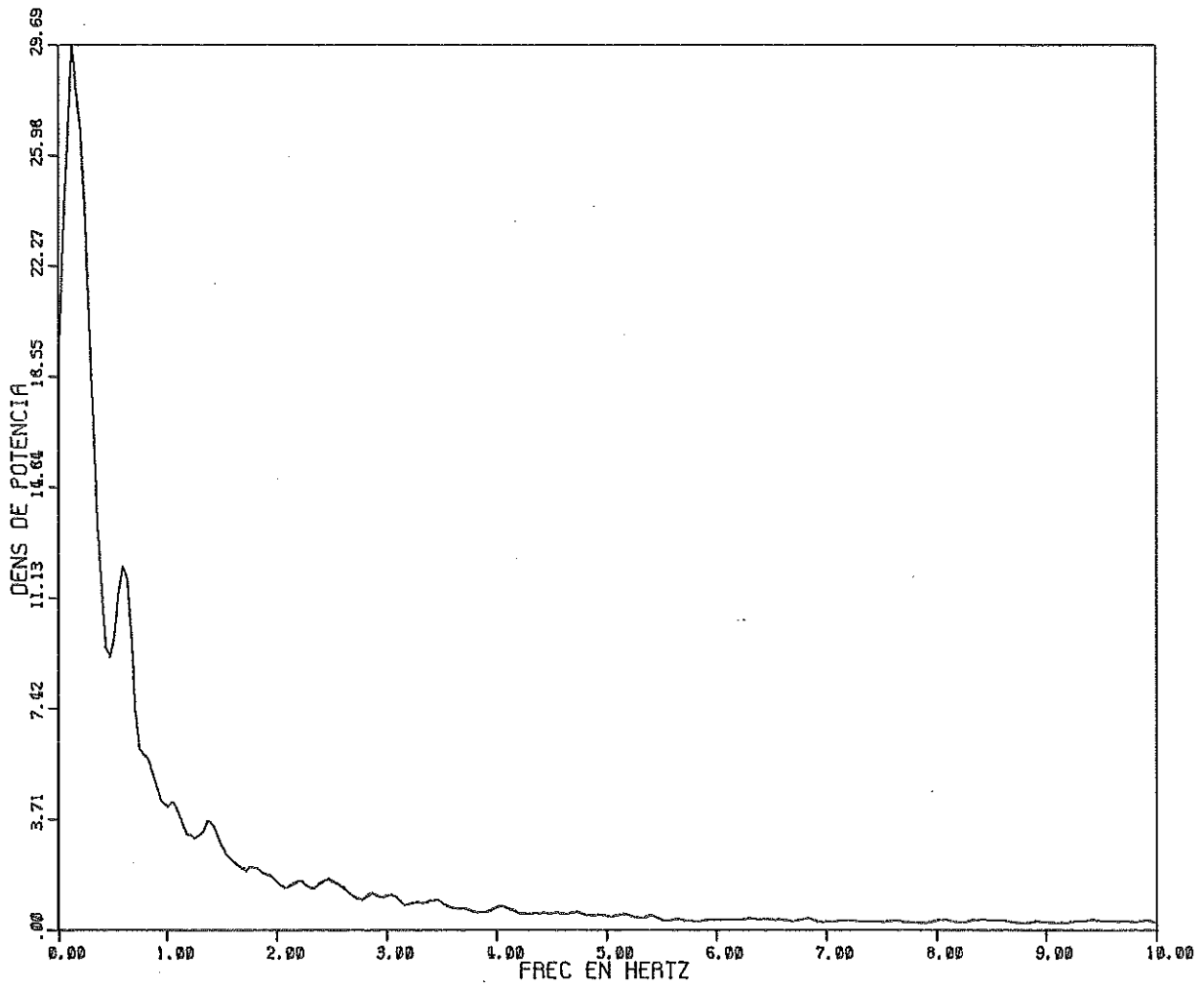
VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 0.147  
VARIANZA= 21.263  
R. M. S. = 4.611

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.484

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -17.810  |
| 0.2    | -16.521  |
| 0.5    | -14.433  |
| 1.0    | -12.700  |
| 2.0    | -10.523  |
| 5.0    | -7.990   |
| 10.0   | -6.035   |
| 20.0   | -3.724   |
| 50.0   | 0.186    |
| 60.0   | 4.096    |
| 90.0   | 5.651    |
| 95.0   | 6.851    |
| 98.0   | 8.139    |
| 99.0   | 8.717    |
| 99.5   | 9.428    |
| 99.8   | 9.961    |
| 99.9   | 10.583   |

DELTAPMIN= -19.698 DELTAPMAX= 15.493  
FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.117 IMAX= 4  
M0= 21.159 M2= 5095.3432617 M4= 0.9774109E 07  
ALTURA SIGNIFICATIVA= 10.448  
TZ = 0.4055SEG. FREQ CRUCE DE CERO = 2.470HERTZ  
FREQ CRUCE NIVEL 1% = 0.055HERTZ  
PER MAXIMOS= 0.143 SEG FREQ DE MAXIMOS 6.971HERTZ  
PERIODO MEDIO= 0.721SEG. FREQ MEDIA= 1.388 HERTZ  
DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 2.043 HERTZ  
MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.646

S-G 19-7-83 E1 C2



MCR>RUN DK1:HISPEK\$  
 ROTULO: 5-6 19-7-83 E2 C2  
 PERIODO DE MUESTREO (MSEG.): 50  
 NUMERO DE BLOQUES: 20  
 GAN Y CANAL (EN OCTAL) : 20000  
 PASABANDA 1=BARLETT,2=FLAT TOP : 1  
 ESCALA (CM/VOLT) : 14.56  
 ESCALA PROTOTIPO/MODELO : 1.

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10240.0

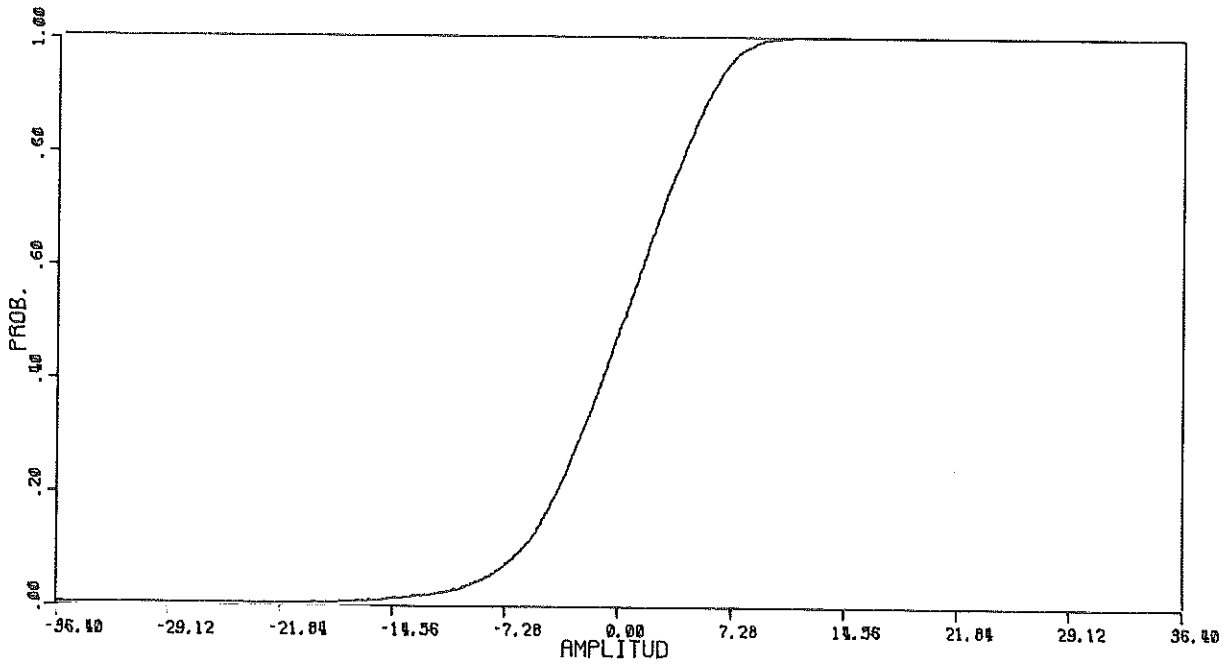
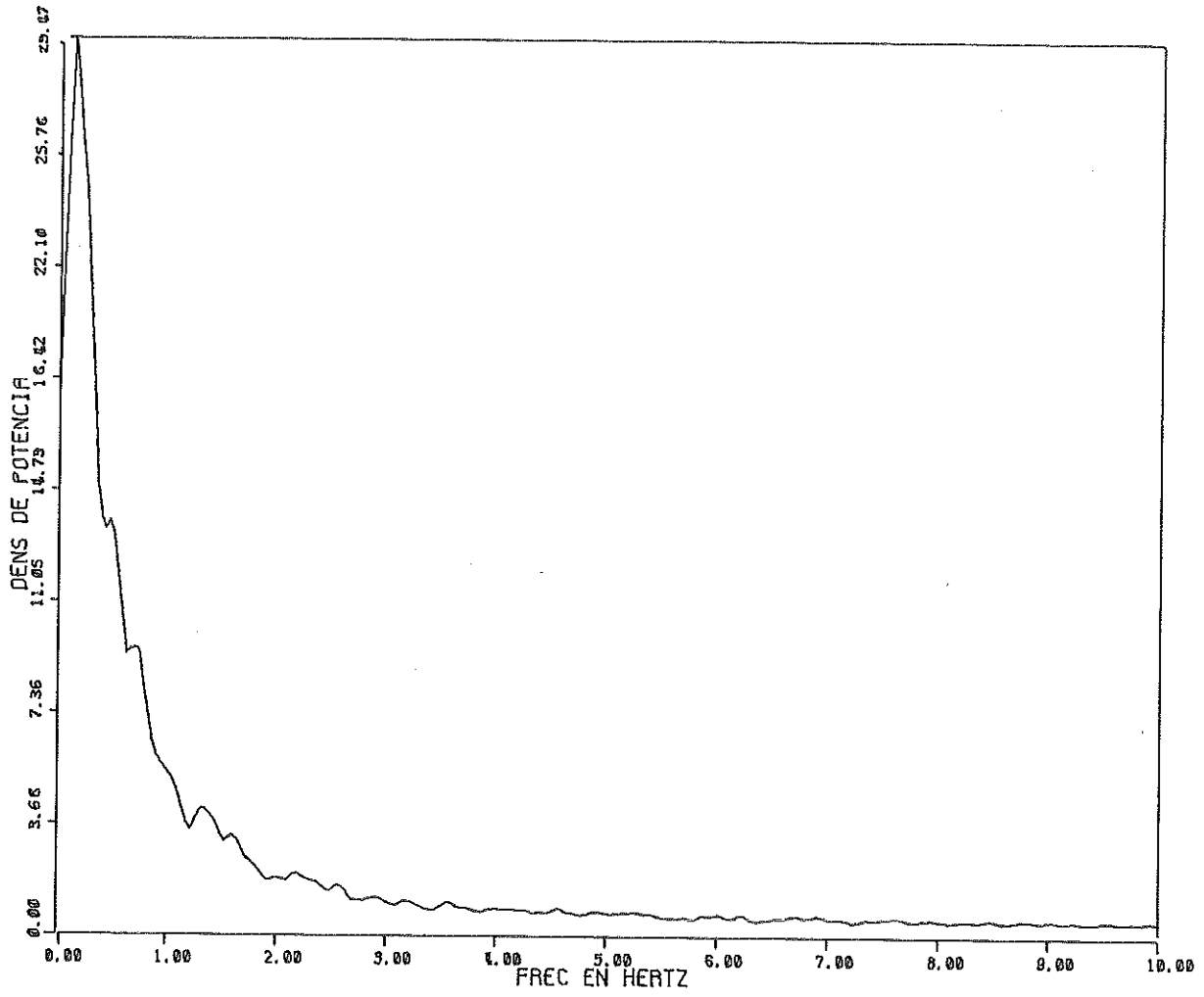
VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 3.796  
 VARIANZA= 22.772  
 R. M. S. = 4.772

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.571

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -10.744  |
| 0.2    | -10.033  |
| 0.5    | -16.042  |
| 1.0    | -13.838  |
| 2.0    | -11.101  |
| 5.0    | -8.151   |
| 10.0   | -6.089   |
| 20.0   | -3.849   |
| 50.0   | 0.310    |
| 80.0   | 4.149    |
| 90.0   | 5.819    |
| 95.0   | 6.992    |
| 98.0   | 8.201    |
| 99.0   | 8.948    |
| 99.5   | 9.516    |
| 99.8   | 10.369   |
| 99.9   | 10.689   |

DELTAPMIN= -21.321 DELTAPMAX= 12.556  
 FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.117 IMAX= 4  
 M0= 22.762 M2= 5041.5366211 M4= 0.1140629E 08  
 ALTURA SIGNIFICATIVA= 19.135  
 TZ = 0.3925SEG. FREQ CRUCE DE CERO = 2.550HERTZ  
 FREQ CRUCE NIVEL 1X= 0.038HERTZ  
 PER MAXIMOS= 0.142 SEG FREQ DE MAXIMOS 7.033HERTZ  
 PERIODO MEDIO= 0.6935SEG. FREQ MEDIA= 1.443 HERTZ  
 DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 2.102 HERTZ  
 MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.637

S-G 19-7-83 E2 C2



ROTULO: 5-G 19-7-83 E3 C2  
 PERIODO DE MUESTREO (MSEG.): 50  
 NUMERO DE BLOQUES: 18  
 GAN Y CANAL (EN OCTAL): 20000  
 PASABANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP: 1  
 ESCALA (CM/VOLT): 14.560  
 ESCALA PROTOTIPO/MODELO: 1.000000

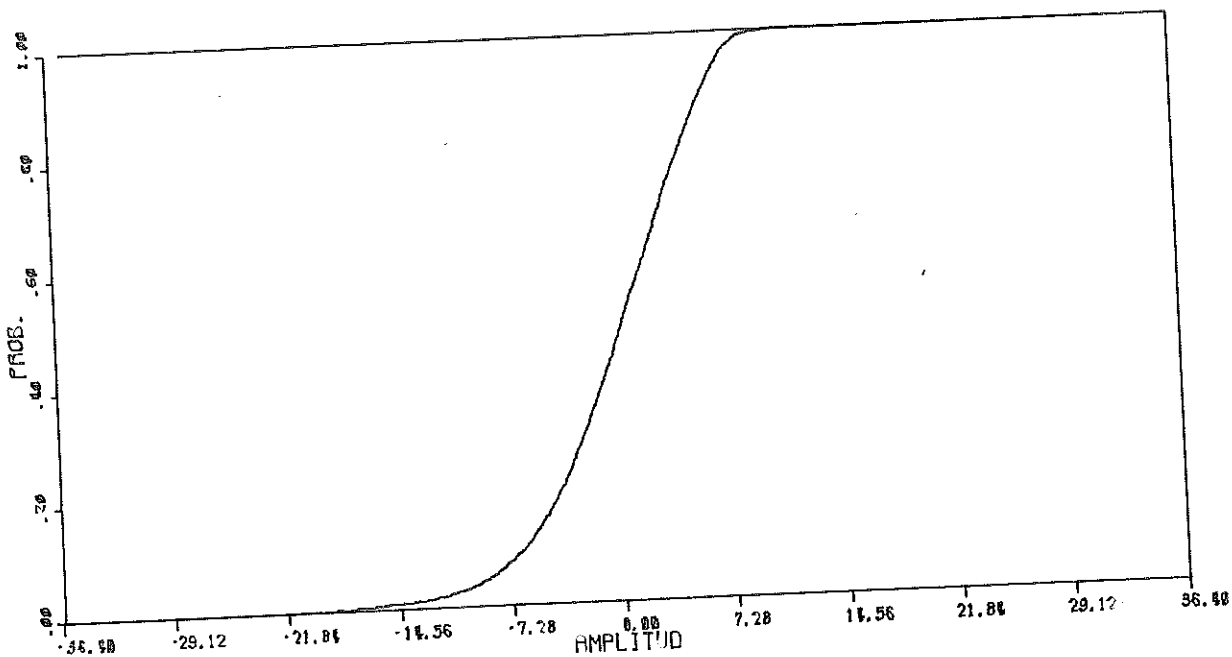
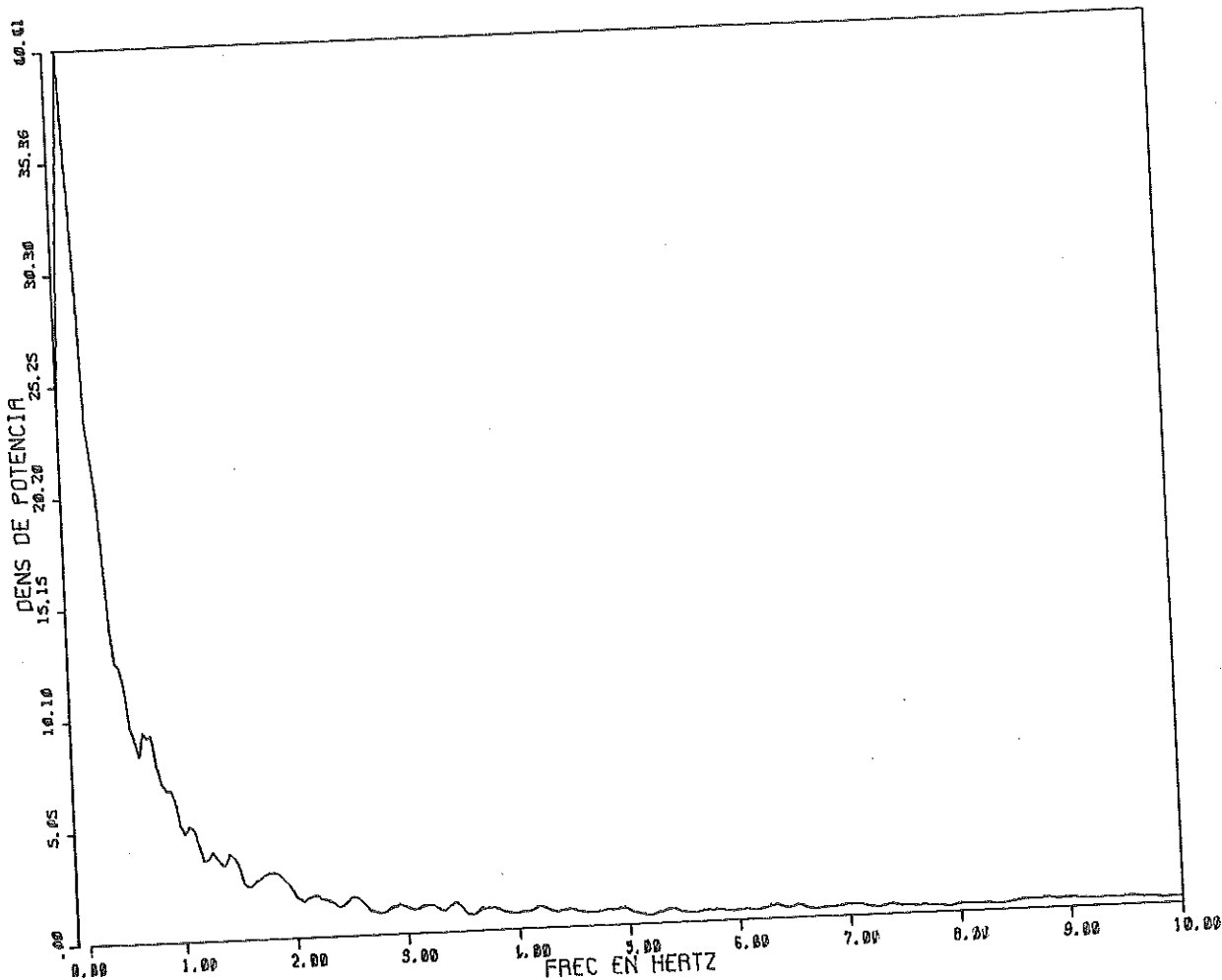
NUMERO DE DATOS TOMADOS = 5120.0  
 VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 4.236  
 VARIANZA= 24.919  
 R. M. S. = 4.992

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.650

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -20.249  |
| 0.2    | -18.792  |
| 0.5    | -17.220  |
| 1.0    | -14.491  |
| 2.0    | -11.647  |
| 5.0    | -8.768   |
| 10.0   | -6.422   |
| 20.0   | -4.004   |
| 50.0   | 0.403    |
| 80.0   | 4.491    |
| 90.0   | 6.091    |
| 95.0   | 7.006    |
| 98.0   | 8.117    |
| 99.0   | 8.686    |
| 99.5   | 9.397    |
| 99.8   | 10.250   |
| 99.9   | 10.570   |

DELTAPMIN= -22.187      DELTAPMAX= 12.187  
 FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.117      IMAX= 4  
 M0= 0.000      M2= 6363.0156250      M4= 0.1242112E 08  
 ALTURA SIGNIFICATIVA= 20.114  
 T2 = 0.3955SEG.      FREQ CRUCE DE CERO = 2.531HERTZ  
 FREQ CRUCE NIVEL 12= 0.039HERTZ  
 PER MAXIMOS= 0.142 SEG      FREQ DE MAXIMOS 7.032HERTZ  
 PERIODO MEDIO= 0.707SEG.      FREQ MEDIA= 1.415 HERTZ  
 DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 2.099 HERTZ  
 MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.640

S-G 19-7-83 E3 C2



ROTULO: S-G 19-7-83 E4 C2  
 PERIODO DE MUESTREO (MSEG.): 50  
 NUMERO DE BLOQUES: 20  
 GAN Y CANAL (EN DCTAL): 20000  
 PASABANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP: 1  
 ESCALA (CM/VOLT): 10.200  
 ESCALA PROTOTIPO/MODELO: 1.000000

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10240.0

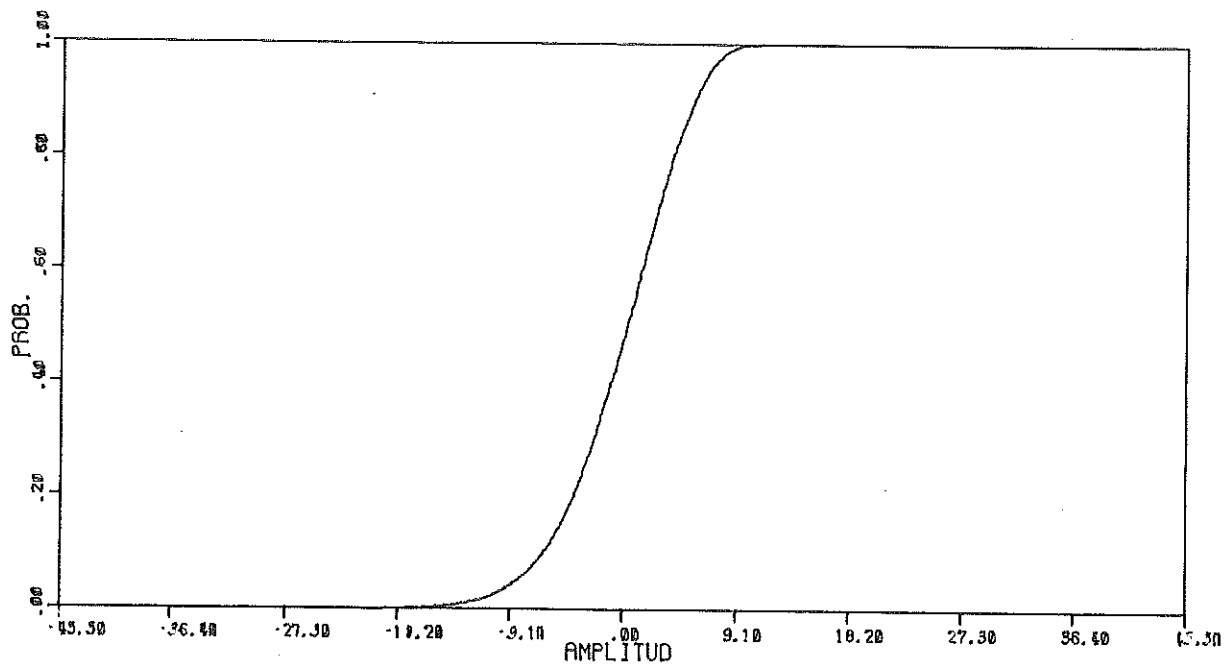
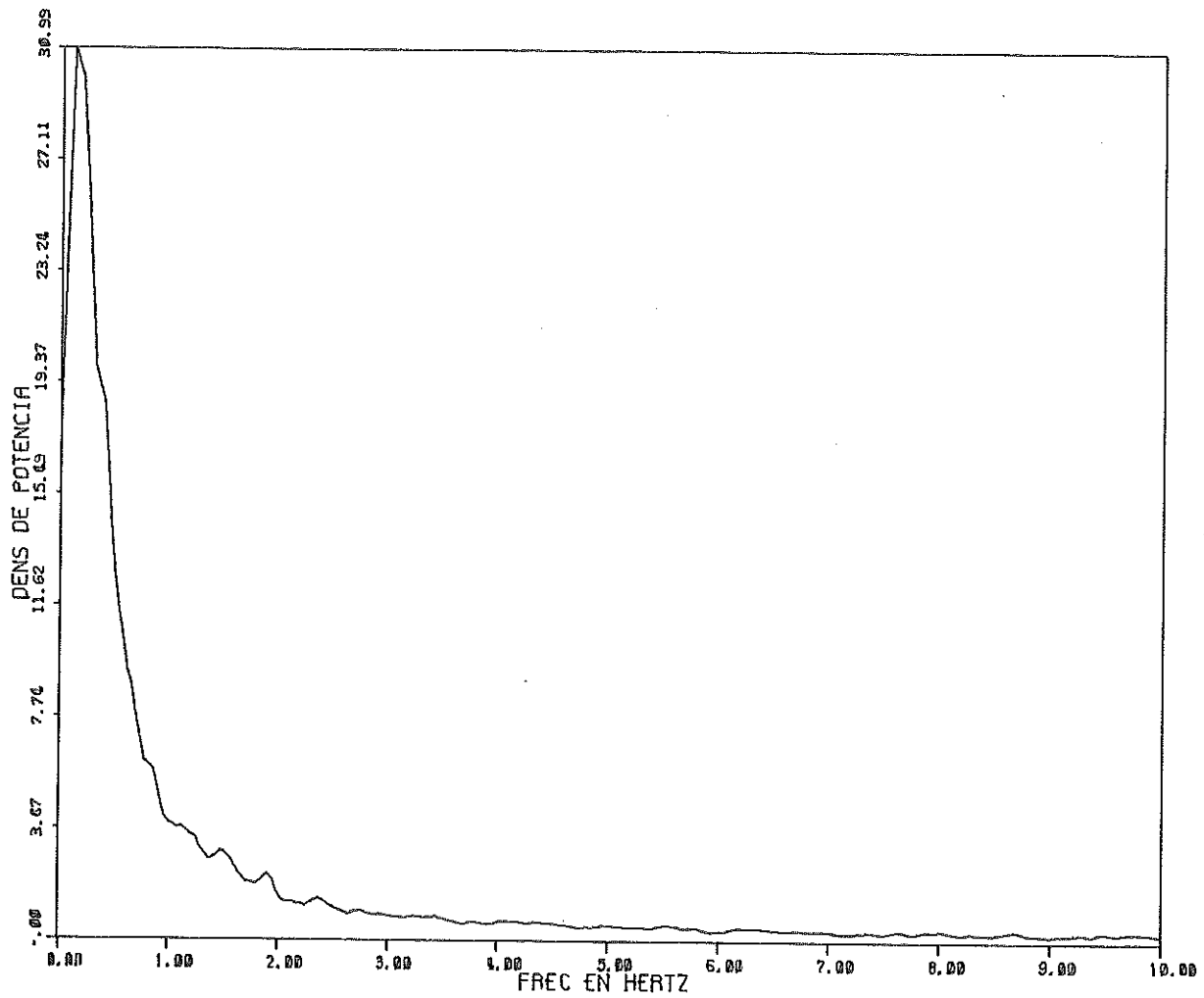
VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 2.895  
 VARIANZA= 22.568  
 R. M. S. = 4.760

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.548

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -18.758  |
| 0.2    | -17.292  |
| 0.5    | -14.848  |
| 1.0    | -12.937  |
| 2.0    | -11.115  |
| 5.0    | -8.494   |
| 10.0   | -6.316   |
| 20.0   | -3.873   |
| 50.0   | 0.393    |
| 90.0   | 4.125    |
| 90.0   | 5.725    |
| 95.0   | 6.969    |
| 98.0   | 8.169    |
| 99.0   | 8.909    |
| 99.5   | 9.324    |
| 99.8   | 10.213   |
| 99.9   | 10.702   |

DELTAPMIN= -21.091 DELTAPMAX= 16.811  
 FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.117 IMAX= 4  
 M0= 0.000 M2= 3222.0502938 M4= 0.1011599E 00  
 ALTURA SIGNIFICATIVA= 19.892  
 T2 = 0.414SEG. FREQ CRUCE DE CERO = 2.416HERTZ  
 FREQ CRUCE NIVEL 1X= 0.866HERTZ  
 PER MAXIMOS= 0.143 SEG FREQ DE MAXIMOS 7.006HERTZ  
 PERIODO MEDIO= 0.755SEG. FREQ MEDIA= 1.325 HERTZ  
 DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 2.020 HERTZ  
 MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.655

S-G 19-7-83 E4 C2



RUN DKL:HISPEK\*  
 ROTULO: S-D 19-7-83 ES 01  
 PERIODO DE MUESTREO (MSEG.) : 50  
 NUMERO DE BLOQUES: 20  
 GAN Y CANAL (EN OCTAL) : 20000  
 PASABANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP : 1  
 ESCALA (CM/VOLT) : 36.4  
 ESCALA PROTOTIPO/MODELO : 1.

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10240.0

VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 27.165

VARIANZA= 23.474

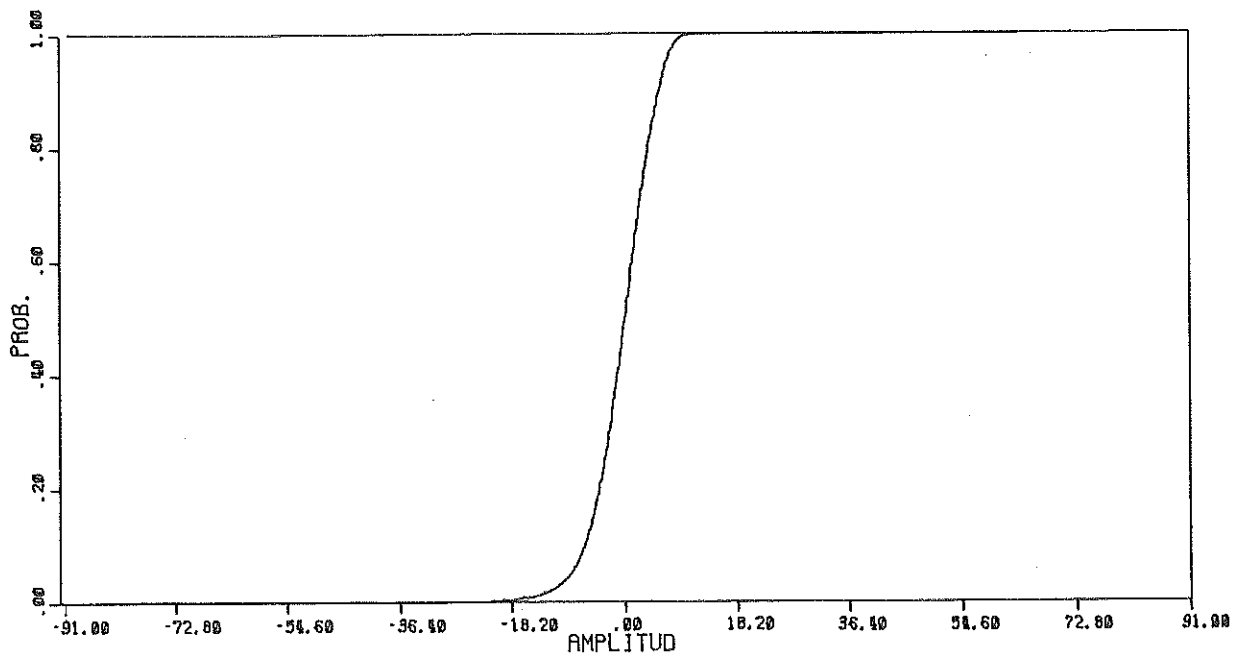
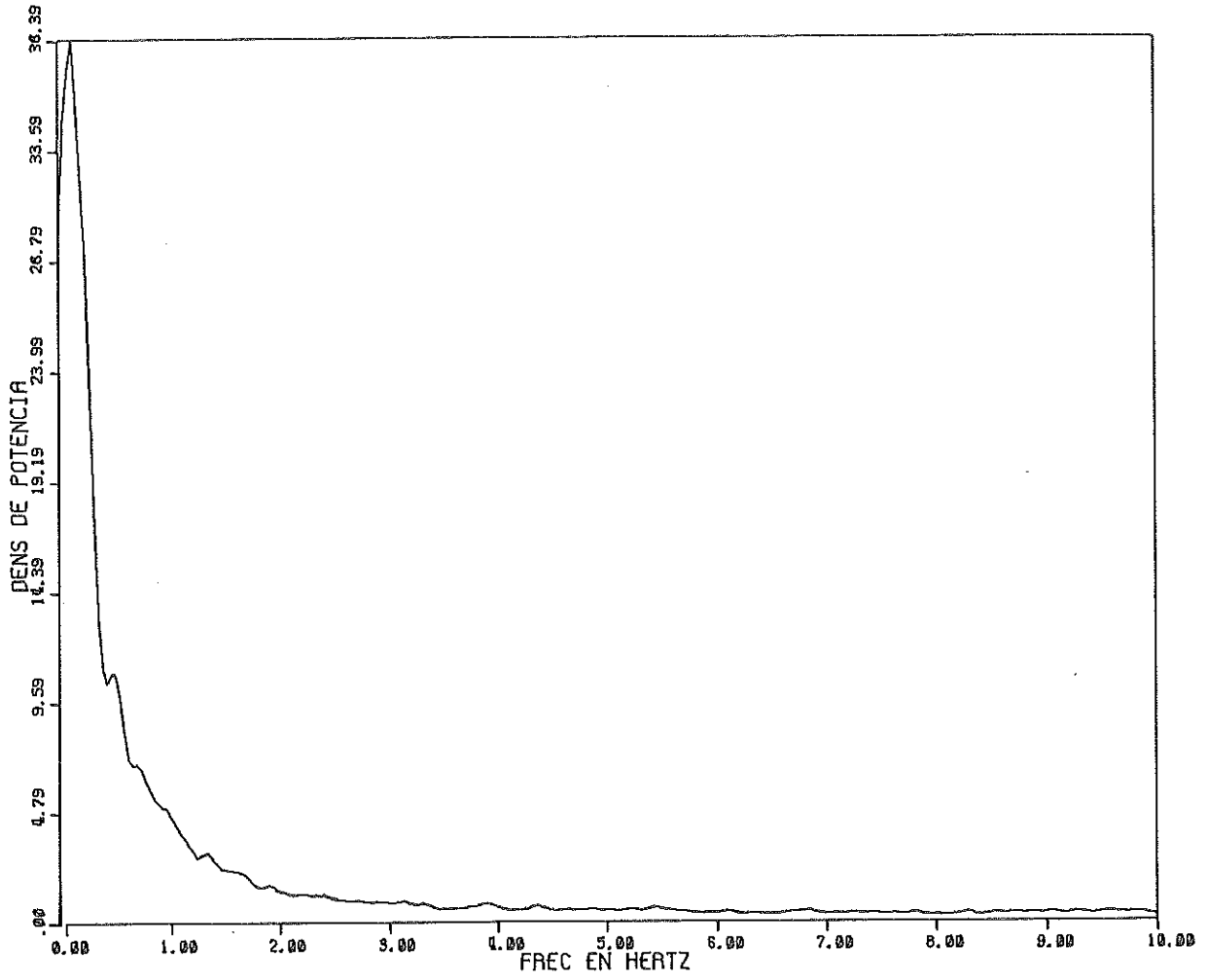
R. M. S. = 4.845

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.646

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -20.722  |
| 0.2    | -19.478  |
| 0.5    | -16.634  |
| 1.0    | -14.146  |
| 2.0    | -11.569  |
| 5.0    | -8.450   |
| 10.0   | -6.237   |
| 20.0   | -3.837   |
| 50.0   | 0.339    |
| 80.0   | 4.072    |
| 90.0   | 6.027    |
| 95.0   | 7.004    |
| 96.0   | 8.337    |
| 99.0   | 9.046    |
| 99.5   | 9.582    |
| 99.8   | 10.026   |
| 99.9   | 10.737   |

DELTAPMIN= -22.899 DELTAPMAX= 13.714  
 FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.117 IMAX= 4  
 M0= 23.169 M2= 5051.2309570 M4= 0.12075242 02  
 ALTURA SIGNIFICATIVA= 10.305  
 TZ = 0.3955SEG. FREQ CRUCE DE CERO = 2.529HERTZ  
 FREQ CRUCE NIVEL 1X= 0.034HERTZ  
 PER MAXIMOS= 0.138 SEG FREQ DE MAXIMOS 7.238HERTZ  
 PERIODO MEDIO= 0.7405SEG. FREQ MEDIA= 1.338 HERTZ  
 DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 2.147 HERTZ  
 MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.650

S-G 19-7-83 E5 C1



ROTULO: S-G 26-7-83 E1 C1  
 PERIODO DE MUESTREO (NSEG.): 50  
 NUMERO DE BLOQUES: 20  
 GAN Y CANAL (EN OCTAL) : 20000  
 PASABANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP : 1  
 ESCALA (CM/VOLT) : 36.4  
 ESCALA PROTOTIPO/MODELO : 1.

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10248.0

VALOR MEDIO DEL REGISTRO = 23.015  
 VARIANZA = 55.862  
 R. M. S. = 7.428

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.682

| PROB N | AMPLIUD |
|--------|---------|
| 0.1    | -21.110 |
| 0.2    | -20.768 |
| 0.3    | -20.349 |
| 1.0    | -17.688 |
| 2.0    | -10.368 |
| 3.0    | -14.886 |
| 10.0   | 10.627  |
| 20.0   | 0.837   |
| 30.0   | 1.013   |
| 40.0   | 0.167   |
| 50.0   | 6.565   |
| 60.0   | 10.609  |
| 70.0   | 12.654  |
| 80.0   | 13.632  |
| 90.0   | 14.422  |
| 95.0   | 15.428  |
| 99.0   | 15.876  |

DELTA PMIN = 21.632 DELTA PMAX = 16.264  
 FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.312 IMAX = 9  
 NO = 34.632 ME = 10205.1830156 M4 = 0.1955271E 00  
 ALTURA SIGNIFICATIVA = 20.636  
 YE = 0.458560. FREQ CRUCE DE CERO = 2.185HERTZ  
 FREQ CRUCE NIVEL 1N = 0.805HERTZ  
 PER MAXIMOS = 0.143 SEG FREQ DE MAXIMOS 7.607HERTZ  
 PERIODO MEDIO = 0.847SEG FREQ MEDIA = 1.180 HERTZ  
 DEVIACION STANDARD DEL ESPECTRO = 1.630 HERTZ  
 MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.688

MODULO DEL HESPEK

ROTULO: S-6 26-7-83 02 01  
PERIODO DE MUESTREO (MSEG.): 50  
NUMERO DE BLOQUES: 20  
GAN Y CANAL (EN OCTAL) : 20000  
PASABANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP : 1  
ESCALA (CM/VOLT) : 36.4  
ESCALA PROTOTIPO/MODELO : 1.

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10240.0

VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 23.620

VARIANZA= 44.042

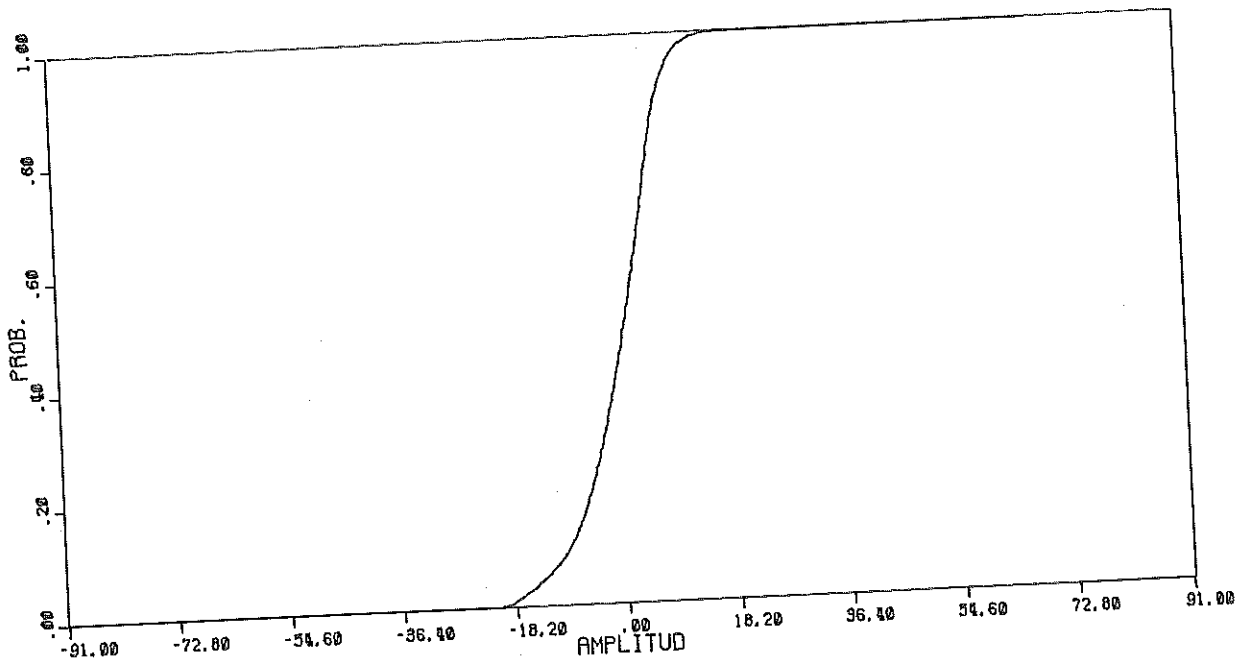
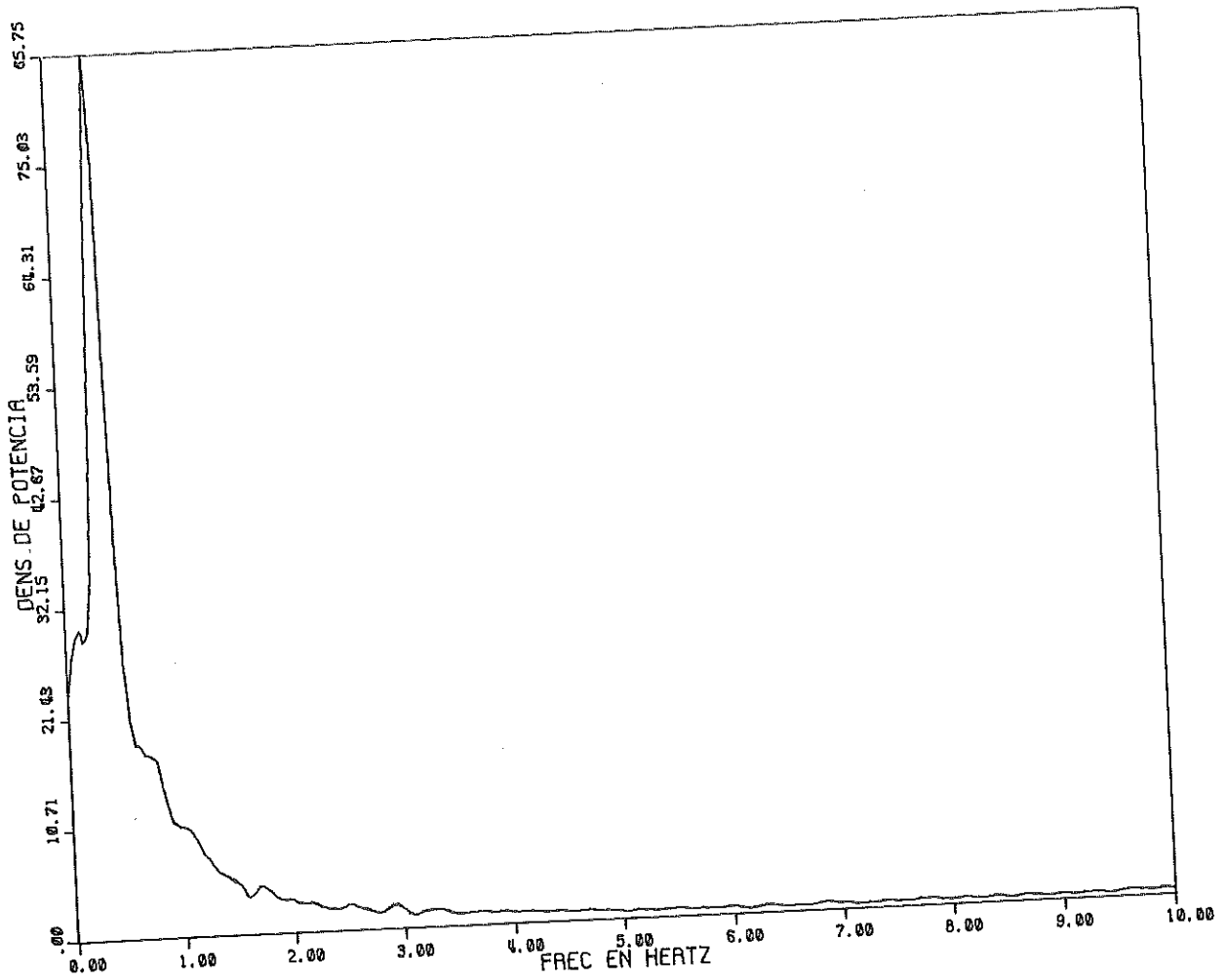
R. M. S. = 6.636

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.606

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -20.286  |
| 0.2    | -17.762  |
| 0.5    | -16.373  |
| 1.0    | -15.162  |
| 2.0    | -14.741  |
| 5.0    | -13.007  |
| 10.0   | -9.187   |
| 20.0   | -5.366   |
| 50.0   | 1.833    |
| 80.0   | 5.476    |
| 90.0   | 7.431    |
| 95.0   | 9.031    |
| 98.0   | 11.164   |
| 99.0   | 12.941   |
| 99.5   | 14.096   |
| 99.8   | 15.429   |
| 99.9   | 16.051   |

DELTA PMIN= -21.405 DELTA PMAX= 20.004  
FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.352 IMAX= 10  
M0= 44.745 M2= 9890.7333004 M4= 0.1361667E 00  
ALTURA SIGNIFICATIVA= 26.828  
TZ = 0.4235EG. FREQ CRUCE DE CERO = 2.366HERTZ  
FREQ CRUCE NIVEL 1% = 0.859HERTZ  
PER MAXIMOS= 0.141 5EG FREQ DE MAXIMOS 7.089HERTZ  
PERIODO MEDIO= 0.7615EG. FREQ MEDIO= 1.315 HERTZ  
DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 1.967 HERTZ  
MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.666

S-G 26-7-83 E2 C1



NRDRUN DE1:HISPEK

ROTULO. S-6 26-7-88 E3 C1  
PERIODO DE MUESTREO (MSEG.) . 50  
NUMERO DE BLOQUES: 20  
GRN Y CANAL (EN OCTAL) : 20000  
PASADANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP : 1  
ESCALA (CM/VOLT) : 36.4  
ESCALA PROTOTIPO/MODELO : 1.

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10240.0

VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 23.055

VARIANZA= 46.778

K. N. S. = 0.039

ASINEYRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.516

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -20.255  |
| 0.2    | -19.633  |
| 0.5    | -19.100  |
| 1.0    | -18.300  |
| 2.0    | -16.967  |
| 5.0    | -13.235  |
| 10.0   | -9.414   |
| 20.0   | -5.415   |
| 50.0   | 0.000    |
| 80.0   | 5.783    |
| 90.0   | 7.915    |
| 95.0   | 9.071    |
| 96.0   | 12.003   |
| 99.0   | 13.692   |
| 99.5   | 14.750   |
| 99.8   | 16.100   |
| 99.9   | 17.513   |

DELTA PMIN= -22.522 DELTA PMAX= 20.490

FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.195 IMAX= 6

N0= 45.997 M2= 12546.0791016 M4= 0.2447011E 00

ALTURA SIGNIFICATIVA= 27.200

TZ = 0.300SEG. FREQ CRUCE DE CERO = 2.629HERTZ

FREQ CRUCE NIVEL 1X= 0.069HERTZ

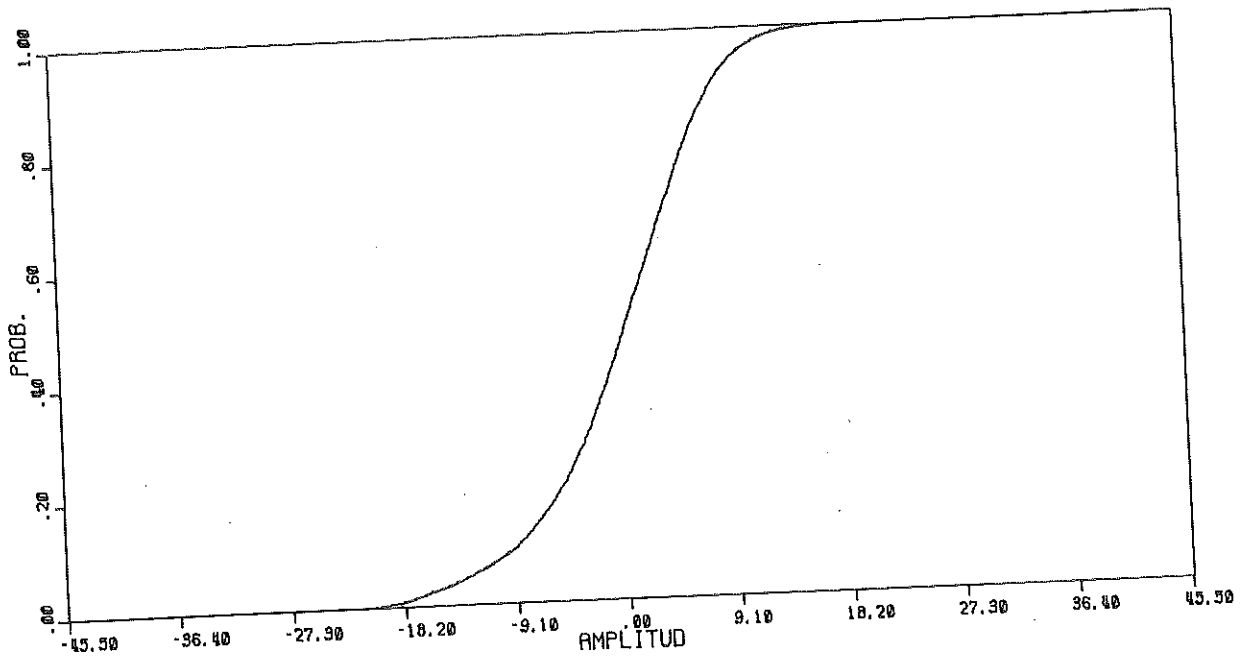
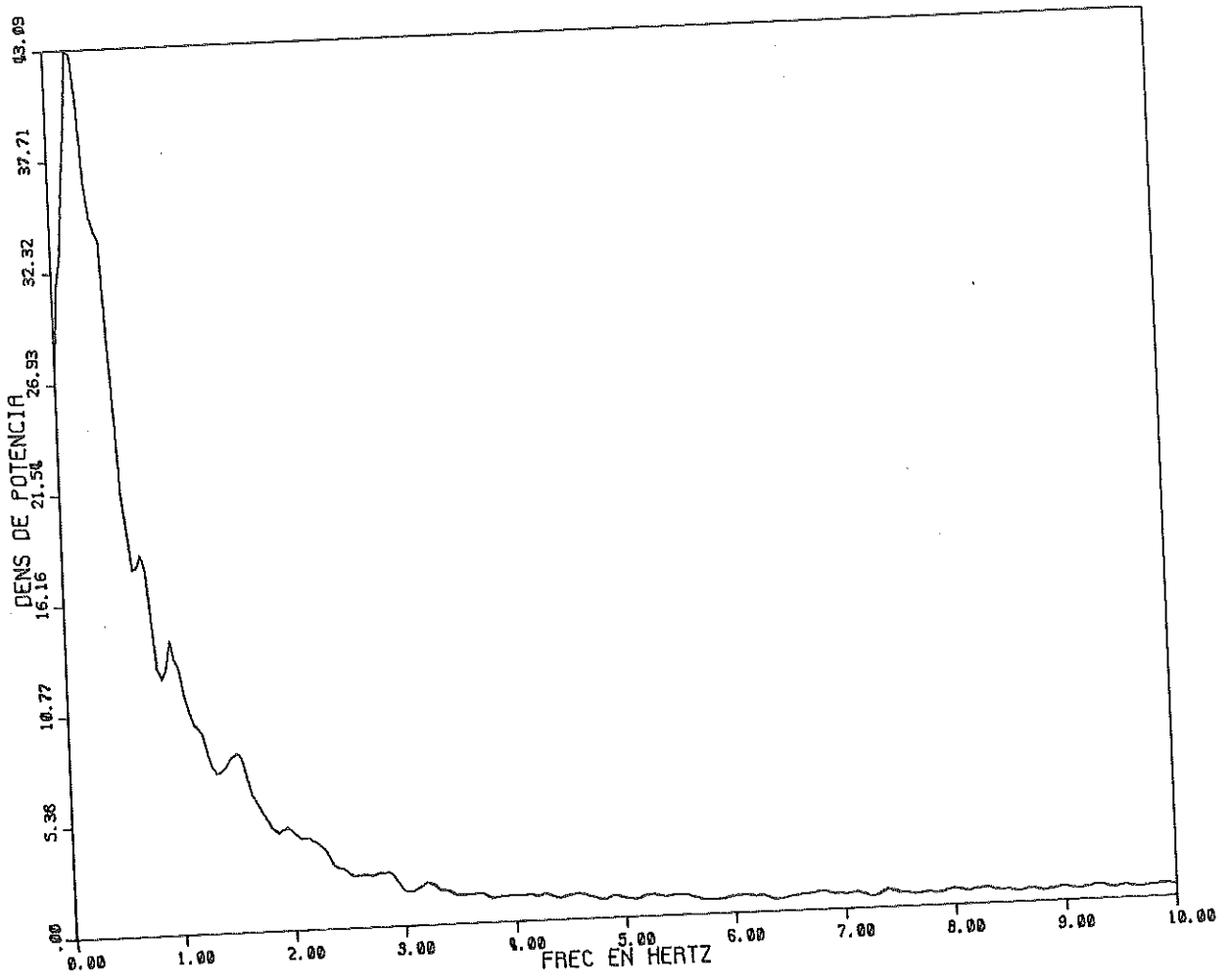
PER MAXIMOS= 0.142 SEG FREQ DE MAXIMOS 7.030HERTZ

PERIODO MEDIO= 0.645SEG. FREQ MEDIA= 1.549 HERTZ

DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 2.123 HERTZ

MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.626

S G 26-7-83 E3 C2



ROTULO: 5 0 26-7-83 25 01  
 PERIODO DE MUESTREO (MSEG.): 50  
 NUMERO DE BLOQUES: 20  
 GAN Y CANAL (EN OCTAL): 20000  
 PASADANDA 1=BARLETT, 2=FLAT TOP: 1  
 ESCALA (CM/VOLT): 36.400  
 ESCALA PROTOTIPO/MODELO: 1.000000

NUMERO DE DATOS TOMADOS = 10240.0

VALOR MEDIO DEL REGISTRO= 24.200  
 VARIANZA= 43.640  
 R. M. S. = 6.606

ASIMETRIA DE LA DISTRIBUCION = -0.624

| PROB % | AMPLITUD |
|--------|----------|
| 0.1    | -24.334  |
| 0.2    | -24.245  |
| 0.5    | -20.779  |
| 1.0    | -10.735  |
| 2.0    | -16.424  |
| 3.0    | -12.240  |
| 10.0   | -8.604   |
| 20.0   | -5.049   |
| 50.0   | 0.630    |
| 60.0   | 5.437    |
| 90.0   | 7.659    |
| 95.0   | 9.525    |
| 98.0   | 11.302   |
| 99.0   | 12.546   |
| 99.5   | 13.524   |
| 99.8   | 15.390   |
| 99.9   | 16.012   |

DELTAPMIN= -24.289      DELTAPMAX= 23.255  
 FRECUENCIA DE DENSIDAD MAXIMA = 0.156      IMAX= 5  
 M0= 0.000      M2= 13796.4500044      M4= 0.2602761E 00  
 ALTURA SIGNIFICATIVA= 26.202  
 T2 = 0.3515EG.      FREQ CRUCE DE CERO = 2.052HERTZ  
 FREQ CRUCE NIVEL 1Z= 0.040HERTZ  
 PER MAXIMOS= 0.142 SEG      FREQ DE MAXIMOS 7.034HERTZ  
 PERIODO MEDIO= 0.5765EG.      FREQ MEDIA= 1.735 HERTZ  
 DESVIACION STANDARD DEL ESPECTRO= 2.263 HERTZ  
 MEDIDA DEL ANCHO ESPECTRAL = 0.594