

FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
Madrid 1988

Estudio de
las propiedades inclusivas
de producción de hadrones
en interacciones π^-p
a 360 GeV/c

CERN LIBRARIES, GENEVA

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00098979

Memoria presentada por D. Jesús Salicio
Diez para optar al grado de Doctor en
Ciencias Físicas, y dirigida por el Dr.
Manuel Aguilar Benítez de Lugo

AGRADECIMIENTOS

Termino este trabajo al filo de los 40 años y tras 12 años de actividad investigadora (... y de otros tipos no necesariamente carentes de interés) en el Grupo de Altas Energías, hoy División de Física de Partículas, del CIEMAT, hasta hace poco tiempo Junta de Energía Nuclear. Este considerable lapso de tiempo transcurrido desde mi incorporación al "Grupo de la JEN" hasta la conclusión de la presente memoria es consecuencia ponderada de factores diversos que propiciaron mi irregular dedicación a una tarea que, como la preparación de una tesis doctoral, ante todo exige concentración y autodisciplina ..., virtudes (o tal vez defectos) manifiestamente contradictorios con mi particular idiosincrasia e inequívoca tendencia a la dispersión.

En esta hora de agradecimientos quiero por lo tanto y en primer lugar expresar un desagrado silencioso a las numerosas personas que me propusieron tareas y ocupaciones alternativas que sistemáticamente acepté. También quiero expresar mi reconocimiento al más reducido número de personas que me animaron y participaron en la realización de este trabajo.

En primer lugar al Dr. Manuel Aguilar Benítez de Lugo, Jefe de la División de Física de Partículas y director de esta tesis, que durante los últimos años ha guiado con extrema tenacidad y decisión la realización de este trabajo mostrándose inasequible al desaliento que mis no infrecuentes incursiones en otros ámbitos poco relacionados con el quehacer científico debían necesariamente producirle y doblegando "in extremis" mi natural inercia a concluir una tarea concreta.

Agradezco también

Al Dr. Juan Antonio Rubio con quien di mis primeros en la Física de Partículas al llegar al CIEMAT, el interés que siempre ha puesto en la realización de mi tesis.

Al Prof. Lucien Montanet, "spokesman" del experimento NA27, su amable acogida en la colaboración LEBC-EHS del CERN y el apoyo y ayuda prestados en todas las ocasiones.

A la Dra. Carmen Fernández que me inició en el tema de la producción inclusiva y en el método estadístico de separación de hipótesis. Sin su gran ayuda no se hubiera podido realizar este trabajo.

Al Dr. Yuri Fisyak de Serpukhov con el que he trabajado en el CERN y que ha desarrollado gran parte de los algoritmos utilizados en los análisis realizados en esta memoria.

Al Dr. Juan José Hernández Rey que me ha enseñado a sufrir con dignidad las inclemencias y dificultades de la separación de hipótesis de masa.

A mi hermano por soportar estóicamente las incertidumbres relativas a la terminación de la Tesis.

A mis compañeros Isabel Josa y Nicanor Colino les agradezco la gran ayuda que me han prestado en todo momento y el extraordinario ambiente de trabajo que he disfrutado con ellos.

A todos mis compañeros del grupo de Física de Partículas del CIEMAT el haber estado siempre pendientes del desarrollo de mi trabajo.

A María Dolores Torras que ha mecanografiado texto y tablas en un procesador que no siempre funcionó de manera óptima.

Al Centro de Cálculo del CIEMAT sin cuya ayuda no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

Al Prof. José Campos Gutiérrez le agradezco el haber accedido tan amablemente a presentar esta tesis.

Finalmente, y a pesar de tratar esta tesis sobre propiedades inclusivas de hadrones, creo obligado agradecer al restaurante Penalty en Ondárroa las enseñanzas recibidas sobre las extraordinarias propiedades de algunos sistemas multihadrónicos muy exclusivos detectados en la Costa Cantábrica y degustados en su entrañable comedor.

Indice

INDICE

CAPITULO 1. INTRODUCCION	1
Referencias	6
CAPITULO 2. EL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL LEBC-EHS	8
2.1 Consideraciones generales	9
2.2 El haz	10
2.3 La cámara de burbujas LEBC	11
2.4 EL espectrómetro	13
2.5 Sistemas de identificación de partículas cargadas	16
2.5.1 El detector de aerogel de silicio	16
2.5.2 La cámara de deriva ISIS	17
2.5.3 El contador Cerenkov	18
2.5.4 El detector de transición de radiación	20
2.6 Los calorímetros	20
2.6.1 Los calorímetros electromagnéticos	20
2.6.2 Los calorímetros hadrónicos neutros	22
2.7 Identificación de partículas	23
2.8 El trigger	25
2.9 La adquisición de datos	26
Referencias	27
Tablas	28
Descripción de Figuras	31
Figuras	33
CAPITULO 3. RECONSTRUCCION DE INTERACCIONES	42
3.1 Consideraciones generales	43
3.2 Escrutinio y medida de fotografías	45
3.3 Análisis de datos	49
3.4 Reconstrucción geométrica con datos del espectrómetro	52
3.5 Reconstrucción geométrica con datos de LEBC y EHS	55
3.6 Eficacias de reconstrucción	57

3.7	Aceptancia del espectrómetro (ISIS)	60
3.8	Eficacia de identificación de partículas	61
3.9	La muestra disponible	62
	Referencias	64
	Tablas	65
	Descripción de Figuras	75
	Figuras	76
CAPITULO 4. SEPARACION DE PARTICULAS		86
4.1	Consideraciones generales	87
4.2	Formalismo de máxima verosimilitud	91
4.3	Comprobación del método	95
	Referencias	97
	Tablas	98
	Descripción de figuras	103
	Figuras	105
CAPITULO 5. ESTUDIO DE LAS DISTRIBUCIONES INCLUSIVAS.		119
5.1	Consideraciones generales	120
5.2	Secciones eficaces inclusivas de producción de π^\pm, K^\pm, p^\pm	122
5.3	Secciones eficaces diferenciales longitudinales	122
5.3.1	Secciones eficaces diferenciales para mesones π	123
5.3.2	Secciones eficaces diferenciales para mesones K	124
5.3.3	Secciones eficaces diferenciales para protones y antiprotones	125
5.3.4	Quark Counting Rules	126
5.4	Secciones diferenciales transversas	127
5.5	Cocientes de produccion de partículas	128
5.6	Correlaciones $x - \langle p_T \rangle$	129
5.7	Secciones eficaces inclusivas de producción de ρ^0, f_2, ρ_3^0	129
5.8	Secciones eficaces diferenciales de producción de ρ^0 y f_2	132
	Referencias	134
	Tablas	136
	Descripción de figuras	142
	Figuras	145

CAPITULO 6. CONCLUSIONES	166
Apéndice 1. Proposición presentada al CERN Super Protón Sincrotrón Committee en Diciembre 1982	170
Apéndice 2. Resumen de los parámetros de los detectores del EHS	184
Apéndice 3. Criterios de escrutinio	194
A3.1 Instrucciones generales	195
A3.2 Clasificación de las fotos	196
A3.3 Clasificación de los vértices	197
A3.3.1 vértice primario	197
A3.3.2 vértices secundarios	198
A3.4 Magnitudes que se han de registrar	200
A3.5 Escrutinio especial	201
Apéndice 4. Descripción del sistema ERASME	203
A4.1 Introducción	204
A4.2 Descripción del proceso de medida	204
A4.3 Descripción del "hardware" de ERASME	205
A4.3.1 Sistema óptico y mecánico	206
A4.3.2 Unidad de control lógico	208
A4.3.3 Unidad analógica de precisión	210
A4.3.4 Unidad para el proceso de la señal de traza	211
A4.3.5 Unidad de digitización y control	212
A4.3.6 Unidad de mando	212
A4.3.7 Unidad de televisión	213
A4.3.8 El ordenador PDP11 y el link con el UNIVAC	214
A4.4 El "software" del sistema ERASME	215
A4.4.1 Tests del sistema ERASME	218
A4.5 El programa de escrutinio	220
A4.6 El programa de escrutinio gráfico	225
Figuras	230

Capítulo 1

Introducción

CAPITULO 1

INTRODUCCION

En esta memoria presentamos resultados relativos al estudio de las propiedades de producción de hadrones originados en colisiones $\pi^- p$ a 360 GeV/c. Los datos utilizados en este trabajo proceden del experimento NA27 [1.1] ("An Experiment to Measure Accurately the Lifetime of the D^0 , D^\pm , F^\pm , Λ_c Charm Particles and to Study their Hadronic Production and Decay Properties", vease Apéndice 1), realizado por la Colaboración LEBC - EHS en el complejo experimental formado por la pequeña cámara de burbujas de alta resolución y elevado ciclaje LEBC (LEXAN BUBBLE CHAMBER) y el espectrómetro de gran aceptación y versatilidad denominado EHS (EUROPEAN HYBRID SPECTROMETER) instalado en el haz H2 del Area Norte del Super Proton Synchrotron del CERN.

El experimento NA27, aprobado el 9 de Diciembre de 1981 y cuya adquisición de datos se completó el 24 de Mayo de 1984, es el último de un programa desarrollado con la cámara de burbujas LEBC y el espectrómetro EHS y puede considerarse como el experimento más complejo realizado con una cámara de burbujas.

El espectrómetro EHS fue propuesto al Comité de Experimentos del SPS en 1974 [1.2]. La motivación básica era proporcionar a la comunidad de físicos de altas energías un dispositivo experimental que permitiese el estudio de procesos hadrónicos en el nuevo rango de energías que el acelerador (SPS) en construcción haría accesible. En el diseño inicial se consideraba la conveniencia y viabilidad de disponer de una variedad de blancos y/o detectores de vértice acoplados a un espectrómetro de gran aceptación geométrica, excelente resolución en la medida del momento de partículas cargadas e identificación de partículas cargadas y neutras en un amplio rango de valores del momento. En particular, se hacía énfasis en el estudio detallado de la producción de partículas extrañas con haces de 200 GeV/c utilizando una cámara de burbujas de ciclaje rápido (30 - 50 Hz) y resolución convencional (150 - 200 μm) como detector de vértice.

Durante la construcción del EHS, los resultados experimentales y las discusiones teóricas relacionados con la fenomenología de las propiedades de partículas con encanto en procesos de producción inducidos por haces hadrónicos motivaron una redefinición de la utilización del EHS como facilidad experimental.

En 1978 una colaboración integrada por investigadores de Bruselas - CERN - Oxford - Padova - Rutherford Lab. - Trieste propuso la utilización de una pequeña cámara de burbujas de alta resolución, diseñada para obtener una resolución espacial de 20 - 30 μm (profundidad del campo óptico de 2-4 mm), como sistema de detección visual de partículas con encanto [1.3]. Esta propuesta destinada a establecer una medida de la sección eficaz y una estimación aproximada de la vida media de las partículas con encanto fue aprobada por el SPSC el 16 de Noviembre de 1978, dando origen al experimento NA13 ("Search for Direct Evidence for Charm in Hadronic Interactions Using a High Resolution Bubble Chamber"). Los resultados obtenidos por este experimento exploratorio [1.4] justificaron la validez de la cámara de burbujas LEBC como detector de vértices de producción y desintegración de partículas con encanto y confirmaron la necesidad de complementar la detección topológica de la señal de encanto con un espectrómetro y un sistema de identificación de las partículas que permitiese la reconstrucción precisa de desintegraciones.

En 1979 una colaboración formada por 17 grupos (entre los cuales se encontraba el del CIEMAT - CENTRO DE INVESTIGACIONES ENERGETICAS MEDIOAMBIENTALES Y TECNOLOGICAS) proponía la utilización de LEBC y una versión reducida del proyectado espectrómetro EHS como iniciación de un amplio programa de investigación de las propiedades de producción y desintegración de partículas con encanto [1.5]. El experimento resultante de esta propuesta se denominó NA16 ("Study of the Hadronic Production of New Particles with a Lifetime 10^{-13} s $< \tau < 10^{-10}$ s Using LEBC - EHS"), fué aprobado el 20 de Septiembre de 1979 y completado el proceso de toma de datos el 16 de Junio de 1980. Los resultados más notables obtenidos en el experimento NA16 están publicados en [1.6] - [1.11]. Una descripción del dispositivo experimental utilizado aparece en [1.12].

En 1980 diversas colaboraciones propusieron experimentos a realizar en el EHS equipado con la cámara de burbujas RCBC (RAPID CYCLING BUBBLE CHAMBER) como detector de vértice. RCBC es una cámara de 80 cm de diámetro y 40 cm de profundidad situada en un campo magnético de 3.0 Tesla. Tres experimentos cristalizaron a partir de estas propuestas: NA21 ("High Statistics Study of pp Annihilation Physics at the EHS" [1.13]), NA22 ("The Influence of Parton Structure on Hadron Interactions in EHS with a $K^+/\pi^+/p$ Beam at 250 GeV/c" [1.14]) y NA23 ("Study of Diffractive Dissociation Especially into Strange and Charmed Particles with EHS" [1.15]).

El experimento NA27, sobre cuyos datos se ha realizado el presente trabajo, es una extensión del experimento NA16 con una versión notablemente mejorada del espectrómetro EHS, una cámara de burbujas optimizada, un sistema de trigger más eficaz y una sensibilidad estadística significativamente superior. En NA16 se utilizaron haces de π^- y de p de 360 GeV/c. La muestra de π^- correspondía a 7.8 sucesos/ μbarn basada en 350.000 fotografías conteniendo 117.277 interacciones en Hidrógeno. La muestra de p era de 7.3 sucesos/ μbarn y comprendía 500.000 fotografías con 181.799 interacciones. En NA27 se han utilizado haces de π^- de 360 GeV/c y de p de 400 GeV/c. La muestra de π^- equivale a 15.8 sucesos/ μbarn , un total de 850.000 fotografías y 265.000 interacciones. La muestra de p representa 38.5 sucesos/ μbarn , 2.200.000 fotografías y 1.015.000 interacciones.

El estudio de los datos de NA27 obtenidos con el haz de π^- de 360 GeV/c conteniendo información sobre partículas con encanto está completado [1.16] - [1.22], progresando el análisis de los resultados de la muestra obtenida con el haz de protones [1.23] - [1.25].

Característica común de los experimentos NA16 y NA27 es la utilización de un trigger de los denominados "minimum bias" que proporciona una alta eficacia de detección para sucesos conteniendo partículas con encanto, ((98 $^{+2}_{-3}$)% para NA27, datos π^-) y en general para sucesos hadrónicos con multiplicidades cargadas superiores a 2. Esta característica, unida a la excelente aceptación geométrica del espectrómetro, permite utilizar la práctica totalidad de los datos adquiridos para el estudio inclusivo de hadrones cargados y neutros formados por quarks ligeros u, d y s .

El trabajo presentado en esta memoria trata del estudio de las propiedades generales de los π^+ , π^- , K^+ , K^- , p y \bar{p} producidos en interacciones $\pi^- p$ a 360 GeV/c, constituyendo esta investigación y síntesis un resumen apropiado del experimento. Se han medido secciones eficaces inclusivas (en las variables X_F , y , p_T^2) y diversas correlaciones para partículas cargadas, estableciéndose las comparaciones relevantes y confrontando algunos resultados con los obtenidos para la producción de mesones K^0 , π^0 , η y η' .

Puesto que a alta energía la producción de mesones vectoriales es tan importante como la de pseudoescalares se ha realizado un estudio de la producción de los mesones $\rho^0(770)$, $f_2^0(1270)$ y $\rho_3^0(1670)$ en su modo de desintegración ($\pi^+\pi^-$). Las distribuciones obtenidas se han analizado desde el punto de vista de algunos modelos fenomenológicos.

La memoria está organizada de la forma siguiente. En el Capítulo 2 se resume el dispositivo experimental, versión final del European Hybrid Spectrometer, utilizado en el experimento NA27. El laborioso proceso de obtención de la muestra experimental a partir de los datos registrados en el espectrómetro se describe en el Capítulo 3, discutiéndose las limitaciones derivadas de la aceptación del espectrómetro así como las eficacias de reconstrucción e identificación. El método utilizado para extraer la fracción de piones, kaones y protones (o antiprotones) presentes en los estados finales estudiados se describe en el Capítulo 4. Las distribuciones inclusivas obtenidas (diferenciales y correlaciones) y el estudio fenomenológico de las mismas se presentan en el Capítulos 5. Las conclusiones de este trabajo y su posible extensión se resumen en el Capítulo 6.

Se ha reunido en los diversos Apéndices información complementaria relacionada con el trabajo presentado en esta memoria. En particular, en el Apéndice 4 se da una descripción de la unidad de medida ERASME, sistema cuya operación estuvo bajo mi responsabilidad durante el desarrollo en Madrid de varios experimentos realizados en el complejo experimental LEBC - EHS.

REFERENCIAS

- [1. 1] M. Aguilar-Benitez et al., CERN SPSC /81-86/P169
- [1. 2] W.W.M. Allison et al., CERN SPSC /75-15/P42
- [1. 3] W.W.M. Allison et al., CERN SPSC /78-103/P113
- [1. 4] W.W.M. Allison et al., Phys. Lett. 93B (1980) 509
- [1. 5] M. Aguilar-Benitez et al., CERN SPSC /79-80/P129
- [1. 6] B. Adeva et al., Phys. Lett. 102B (1981) 285
- [1. 7] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 122B (1983) 312
- [1. 8] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 123B (1983) 98
- [1. 9] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 123B (1983) 103
- [1.10] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 135B (1984) 237
- [1.11] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 160B (1985) 217
- [1.12] M. Aguilar-Benitez et al., Nucl. Instr. and Meth. 205 (1983) 79
- [1.13] H. Braun et al., CERN SPSC /78-38/P101
- [1.14] N.M. Agababian et al., CERN SPSC /80-51/P144
- [1.15] M. Aguilar-Benitez et al., CERN SPSC /80-53/P145
- [1.16] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 146B (1984) 266
- [1.17] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 156B (1985) 444

[1.18] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 161B (1985) 400

[1.19] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 164B (1985) 404

[1.20] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 169B (1986) 106

[1.21] M. Aguilar-Benitez et al., Z. Phys. C 31 (1986) 491

[1.22] M. Aguilar-Benitez et al., Z. Phys. C 34 (1987) 143

[1.23] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 189 B (1987) 476

[1.24] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 189 B (1987) 254

[1.25] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 193 B (1987) 140

Capítulo 2

El Dispositivo Experimental LEBC-EHS

CAPITULO 2

EL DISPOSITIVO EXPERIMENTAL LEBC - EHS

2.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En este Capítulo presentamos las características de la versión final del dispositivo experimental LEBC - EHS que se ha utilizado en el experimento NA27 para el estudio de partículas con encanto producidas en interacciones $\pi^- p$ a 360 GeV/c cuyos datos inclusivos se discuten en esta memoria.

Básicamente el detector consta de una cámara de ciclaje rápido y alta resolución, LEBC, que produce burbujas fotografiables de 20 μm de diámetro y precisión espacial de 2 μm y que permite la observación directa de la desintegración de partículas con encanto con una eficacia de aproximadamente 60 %. El espectrómetro acepta el 66 % de todas las partículas y prácticamente todas las producidas en el hemisferio delantero. El momento de las partículas cargadas se mide con precisión superior al 0.5 % en la totalidad del rango. Para el 84 % de las partículas cargadas el espectrómetro proporciona información sobre su hipótesis de masa, que en un 20 % de los casos permite hacer una asignación no ambigua. Los dos detectores de vidrio de plomo miden la energía de las cascadas electromagnéticas con resoluciones de $0.15/\sqrt{E} + 0.02$ y $0.10/\sqrt{E} + 0.02$ respectivamente, teniendo la distribución de la masa del π^0 una semianchura de 20 MeV y una relación señal/fondo de $\frac{1}{2}$.

Una vista general del espectrómetro LEBC - EHS se presenta en la figura 2.1. El detector está caracterizado por la cámara de alta resolución que hace de blanco y de detector de vértice y un espectrómetro complejo para el análisis de momentos y la identificación de partículas. Los distintos componentes que integran el dispositivo experimental pueden agruparse, para su descripción, de la forma siguiente:

- Detectores para definición del haz

- Cámara de burbujas de hidrógeno líquido y alta resolución (LEBC)
- Segmento de detección formado por pequeñas cámaras de deriva y multihilos de alta precisión.
- Imán superconductor y primer segmento de detectores.
- Imán convencional y segundo segmento de detectores.

La información técnica relativa a estos detectores aparece tabulada en el Apéndice 2. Una descripción más detallada de los mismos puede encontrarse en [2.1] y [2.2]. El sistema de coordenadas utilizado se ha definido con las siguientes convenciones: el eje X está en la dirección del haz, el eje Y está en la dirección vertical y orientado hacia arriba y el eje Z está en el plano horizontal componiendo un referencial dextrógiro cuyo origen es el centro de la cámara de burbujas. Las dimensiones transversas aparecen en el orden Z, Y (anchura, altura).

2.2 EL HAZ

El dispositivo experimental LEBC - EHS está situado en la línea de haz H2 del SPS [2.3]. El haz consiste de piones de 360 GeV/c con una dispersión en momentos dada por $\Delta p/p < 0.3\%$ y con una contaminación estimada en menos del 5%.

La definición del haz secundario originado en el blanco T2 de la zona TCC2 en el Area Norte del Super Proton Synchrotron se hace mediante un sistema de colimadores que proporcionan 10^5 partículas durante los 2.8 segundos del "spill". La duración del ciclo de aceleración es de 14 segundos. La línea de haz H2, cuando opera para los experimentos en el complejo LEBC - EHS, está equipada con dos sistemas que reducen el número de partículas que llegan a LEBC y con ello los efectos de carga espacial en la cámara de deriva ISIS (IDENTIFICATION OF SECONDARIES BY IONIZATION SAMPLING). Un colimador dotado con un movimiento de rotación, sincronizado con el ciclo de

expansión de la cámara de burbujas limita el número de partículas a 7000 por spill. Un sistema magnético deflector elimina las partículas del haz que atravesarían la cámara antes de iniciarse el periodo sensible del ciclo de expansión o después de registrarse la interacción y reduce a aproximadamente 1500 partículas la intensidad del haz que cruza la cámara durante los 2.8 segundos de duración del spill. La duración del impulso deflector oscila entre 1.5 y 2.5 ms con una separación que varía entre 0 y 2 ms. La máxima frecuencia de repetición es de 50 Hz.

Un imán cuadrupolar situado en la línea H2 a 40 m de LEBC focaliza el haz que, en LEBC, tiene una anchura de 2 mm en el plano horizontal y de 4 cm en el plano vertical, siendo en este último la divergencia angular de 0.1 mrad.

Las partículas del haz incidente se miden espacialmente con dos cámaras proporcionales multihilos (MWPC) y dos detectores de franjas de silicio (SSD). Las cámaras MWPC U1 y U3 tienen 5 planos de hilos y proporcionan una resolución espacial de 0.5 mm. Los detectores de silicio SSD0 y SSD1 [2.4] llevan 100 franjas verticales de 3 cm de longitud y 100 μm de anchura.

Las coordenadas transversas (Y,Z) de las trazas del haz en la cámara de burbujas se determinan a partir de las cámaras U1 - U3 con una precisión de 2.5 mm y la coordenada Z, a partir de los detectores de silicio, con una precisión de 0.1 mm. La precisión angular es de 0.02 mrad.

2.3 LA CAMARA DE BURBUJAS LEBC

LEBC es una cámara de burbujas de hidrógeno líquido y ciclaje rápido diseñada para detectar eficazmente partículas con vidas medias en el rango $10^{-13}\text{s} - 10^{-12}\text{s}$. Las cámaras utilizadas en el experimento NA27 se han construido siguiendo los mismos principios que sirvieron para los prototipos utilizados en NA13 y NA16 [2.5] y que requerían diámetros de burbujas de $\leq 20 \mu\text{m}$ y frecuencias de ciclaje de 30 Hz.

El volumen visible de la cámara, registrado fotográficamente en cli-

chés de 50mm, tiene 12 cm en la dirección del haz, 2.5 cm de profundidad a lo largo del eje óptico y 5 cm de altura. El factor de reducción espacio-cliché es de 1:0.89. Con objeto de obtener una adecuada densidad de burbujas la cámara opera en condiciones próximas al denominado "foam limit" y está construida como una cámara limpia sin sellados o materiales extraños que produzcan ebullición parásita.

En la figura 2.2 se muestra la cámara LEBC, construida totalmente con LEXAN, un policarbonato termoplástico transparente a la luz visible con bajo módulo de elasticidad y no quebradizo incluso a temperaturas criogénicas. Con objeto de alcanzar una resolución óptica óptima, LEBC está equipada con dos ventanas ópticas que permiten iluminación directa. La membrana de expansión circular está situada en la parte inferior de la estructura de la cámara y es activada por un pistón hidráulico vertical localizado en el exterior de la cámara. Este sistema controla la presión estática del hidrógeno y el ciclo de expansión. El cambiador de calor, válvula de llenado y nivel de presión están situados en la parte superior de la cámara. Las condiciones de operación de LEBC se dan en la Tabla 2.1.

LEBC está instalada en una cámara de vacío de acero a la que llega el hidrógeno líquido procedente de "Dewars". Ventanas ópticas recubiertas de una película dorada minimizan la radiación de calor hacia el interior de LEBC.

LEBC está iluminada con un láser dirigiéndose la luz a los objetivos de las cámaras fotográficas correspondientes mediante dos guías de luz. La luz difractada en las burbujas de gas del hidrógeno interfiere con la luz incidente no impresionando en el cliché los puntos correspondientes. Las fotografías obtenidas con esta técnica (campo difractivo claro) son cualitativamente superiores a las fotografías clásicas (de campo refractivo oscuro) ya que presentan un mejor contraste debido a la luz difractada. Además este tipo de óptica semiconvencional permite un proceso de escrutinio relativamente sencillo, en comparación con el registro holográfico que proporcionaría una superior resolución óptica. A la vista del volumen considerable de fotografías a examinar (más de 3 millones en el experimento NA27) ésta simplificación resulta ser un factor positivo importante. En la figura

2.3 presentamos una fotografía de un suceso obtenido en este experimento.

2.4 EL ESPECTROMETRO

El espectrómetro (propriadamente dicho) está constituido por dos imanes (M1 y M2) y el conjunto de cámaras de hilos (proporcionales y de deriva) que permite reconstruir, a partir de los impactos en las mismas, las trayectorias de las partículas cargadas y medir el impulso de éstas en función de la curvatura o deflexión producida al atravesar los campos magnéticos generados en M1 y M2. M1 está situado a 2.7 m del centro de LEBC y M2 a 18 m y ambos tienen el eje principal del campo magnético orientado en la dirección horizontal (eje Z).

M1 es un imán de tipo Helmholtz con dos bobinas superconductoras circulares montadas sobre placas de hierro cuadradas, separadas por 4 barras cilíndricas. Las bobinas tienen diámetros interior y exterior de 150 y 210 cm respectivamente, siendo la apertura de 82 cm. La corriente es de 1.000 A, proporcionando un campo magnético en el centro de 0.8 Tesla y una deflexión en momento de 480 MeV/c en el plano de curvatura.

El imán M2 es de tipo convencional (denominado C) con una apertura de 50 x 100 cm². El campo magnético obtenido por una corriente de 500 A origina una deflexión transversa en el momento de 450 MeV/c.

Los mapas de los campos magnéticos se han obtenido mediante el programa TOSCA [2.6] que proporcione valores de éstos en aproximadamente 5000 puntos de retículos cúbicos definidos para

M1 (dimensiones: $0 < X < 695$ cm, $0 < Y < 100$ cm, $0 < Z < 60$ cm) y

M2 (dimensiones: $0 < X < 200$ cm, $-55 < Y < 55$ cm, $0 < Z < 25$ cm)

Mediante una interpolación lineal se calcula el valor del campo en cualquier punto del volumen magnético anteriormente definido. Los valores numéricos obtenidos se han comparado con medidas realizadas con técnicas de resonancias magnéticas nucleares, encontrándose compatibilidad a un nivel superior al 0.6%. Fuera del volumen reticulado, el campo magnético de fugas

es apreciable y queda aproximado por la representación analítica usual para un dipolo doble.

La descripción de los campos magnéticos producidos por M1 y M2, realizada en base a las técnicas numéricas y analíticas brevemente esbozadas puede comprobarse estudiando las distribuciones de masa efectiva correspondientes a las desintegraciones de K^0_S y Λ . Los resultados obtenidos a partir de una muestra de 1183 desintegraciones, medidas en la cámara de burbujas y con ambas trazas cargadas reconstruidas en el espectrómetro, son

$$M(K^0_S \rightarrow \pi^+ \pi^-) = (497.8 \pm 0.2) \text{ MeV}/c^2$$
$$M(\Lambda \rightarrow \pi p) = (1.115.5 \pm 0.2) \text{ MeV}/c^2$$

en excelente acuerdo con los valores del Particle Data Group (497.72 ± 0.07 , 1115.60 ± 0.05).

El segmento de detección próximo a la cámara de burbujas LEBC, denominado "Zeroth lever arm", incluye las cámaras proporcionales multihilos W0 y W1, las minicámaras de deriva MDC1 y MDC2 y las cámaras proporcionales inclinadas PIC12 y PIC34.

Las cámaras W0 y W1 están formadas por un único plano de hilos sensores verticales, permitiendo medidas precisas de la coordenada Z necesarias para conectar segmentos de trazas medidas en LEBC y en las cámaras multihilos y de deriva situadas después del imán M1. W0 tiene 160 hilos espaciados en $500 \mu\text{m}$ y un área sensible de $8 \times 10 \text{ cm}^2$. W1 tiene 320 hilos espaciados en 1 mm y área sensible $32 \times 32 \text{ cm}^2$. Las cámaras W0 y W1 forman parte del conjunto de contadores y detectores que definen el trigger de interacción (vease la Sección 2.8).

La minicámara de deriva MDC1 tiene 9 celdas de deriva paralelas, cada una equipada con 10 hilos sensores verticales espaciados 5 mm en el plano XY. La máxima distancia de deriva es 8 mm , proporcionando una superficie transversa sensible de $14.4 \times 16.0 \text{ cm}^2$. La cámara opera con una mezcla gaseosa de 75-25 % propano-etileno a una presión de 3 bar. El voltaje en los hilos de $10 \mu\text{m}$ de diámetro es de 9.8 KV . La minicámara MDC2 es similar a

MDC1. Tiene 19 celdas de deriva y area sensible de $30.4 \times 30 \text{ cm}^2$. Los planos catódicos de MDC1 y MDC2 están formados por láminas de mylar aluminizado con un revestimiento de fibra de carbón. Con una velocidad de deriva de $5 \text{ cm}/\mu\text{s}$ se obtiene una resolución de 1 mm para la separación de dos trazas.

La cámara proporcional inclinada PIC12 instalada en el centro del imán M1 tiene una inclinación de 35° con respecto a la vertical. Cada uno de los dos planos anódicos, separados 13 cm, tiene 640 hilos espaciados en 2 mm y formando un ángulo de 10° con respecto a la horizontal. PIC34 es una versión reducida de PIC12. Tiene los dos planos de hilos sensores contenidos en el mismo volumen de gas y el número de hilos por plano es de 320.

El segmento del espectrómetro comprendido entre los imanes M1 y M2 ("first lever arm") incluye una cámara multihilos proporcional W2 y tres cámaras de deriva D1, D2, D3 de grandes dimensiones. La cámara W2, cubre una aceptación de $1.2 \times 2.15 \text{ m}^2$, está situada en la zona de fugas del campo magnético generado por el imán M1. Originalmente W2 estaba preparada con 6 planos anódicos con los hilos sensores dispuestos formando ángulos de inclinación con respecto a la horizontal de 0° , $+30^\circ$, $+10.9^\circ$, -10.9° , -30° , 0° . Estos hilos de $20 \mu\text{m}$ de diámetro están espaciados en intervalos de 2mm. Los planos catódicos están constituidos por hilos de $100 \mu\text{m}$ de diámetro con espaciado de 1 mm. El gas de llenado es una mezcla de argón-isobutano-freón-metilal al 72-23-1-4 %. Para el experimento NA27 se añadió un séptimo plano de hilos dispuestos verticalmente, reemplazándose los planos catódicos por láminas de mylar recubiertas con fibra de carbón.

Las cámaras de deriva D1, D2 y D3 tienen dimensiones $4.25 \times 2.10 \text{ m}^2$ y cada módulo consiste de 4 planos de hilos sensores formando ángulos $+16.7^\circ$, $+5.7^\circ$, -5.7° , -16.7° con respecto a la horizontal. Esta configuración, denominada mariposa, minimiza las ambigüedades en la reconstrucción de impactos. La distancia entre 2 hilos sensores adyacentes es de 48 mm y la distancia entre planos anódicos contiguos es de 40 mm. Los 4 planos de coordenadas de cada módulo están contenidos en un gran volumen de gas de aproximadamente 2.000 litros. Este gas es una mezcla de argón-etanol-etilalcohol al 50-49-1 %. La estanqueidad del módulo se hace con ventanas frontales formadas por láminas de un compuesto transparente de mylar-aclar.

Con los voltajes utilizados en la operación de las cámaras (-3060 V, +1425 V) se obtienen velocidades de deriva de $47 \mu\text{m}/\text{ns}$. La precisión espacial es de $\approx 300 \mu\text{m}$ en el plano de curvatura y 1.5 mm en el plano horizontal.

El segmento del espectrómetro iniciado a partir del imán M2 ("second lever arm") incluye las tres cámaras de deriva D4, D5 y D6. Estas cámaras tienen dimensiones $1.3 \times 2 \text{ m}^2$ y características similares a las de D1, D2 y D3.

Detalles adicionales sobre las cámaras de hilos que conforman el espectrómetro EHS pueden consultarse en las referencias [2.1] y [2.2].

2.5 SISTEMAS DE IDENTIFICACION DE PARTICULAS CARGADAS

La mejora más significativa de la versión del espectrómetro EHS en el experimento NA27, en relación con la utilizada en NA16, consiste en la implementación de un dispositivo complejo para la identificación de partículas cargadas. Cuatro detectores que utilizan técnicas diferentes proporcionan capacidad de identificación en la totalidad del rango de momentos de partículas producidas en la interacción primaria. A continuación describimos las características más notables de estos detectores.

2.5.1 EL DETECTOR DE AEROGEL DE SILICIO

El detector Cerenkov de Aerogel de Silicio (SAD) [2.7] está compuesto por 18 módulos idénticos, cada uno con una superficie sensible de $23 \times 55 \text{ cm}^2$. El detector, situado en la zona de fugas del imán M1, cubre una superficie transversa de $1.15 \times 2.94 \text{ m}^2$, y está dispuesto en dos secciones separadas 0.7 m permitiendo el acceso de las partículas de alto momento al resto del espectrómetro. El material de SAD representa 0.018 longitudes de interacción y 0.056 longitudes de radiación. El índice de refracción del aerogel es 1.031 y los correspondientes momentos umbrales son 0.56 , 2.0 y $3.8 \text{ GeV}/c$ para piones, kaones y protones respectivamente. Aproximadamente 23% de las trazas reconstruidas con un impacto en la cámara de hilos W2

tienen un impacto en SAD. Para un 66% de éstas, SAD proporciona información válida para la identificación de partículas. Para el resto, la existencia de múltiples impactos en el mismo módulo o de incidencia de la traza en las proximidades de los bordes de los módulos invalida la información registrada.

2.5.2 LA CÁMARA DE DERIVA ISIS

La cámara de deriva ISIS (Identificación of Secondaries by Ionization Sampling) [2.8], [2.9], [2.10] tiene un volumen fiducial de 4 m de altura, 2 m de anchura y 5.12 m de longitud. El volumen está dividido en dos espacios de deriva por un plano horizontal de hilos, anódicos y catódicos alternativamente, dispuestos en la mitad de la cámara y a una altura de 15 cm sobre el eje del haz. En la figura 2.4 se presenta un diagrama de ISIS, sección vertical paralela al eje del haz. La identificación de partículas cargadas relativistas, de momento conocido, se realiza en ISIS mediante muestreo de ionización. El limitado incremento de la pérdida de energía (dE/dx) por ionización en gases nobles (50%) requiere una medida precisa de ésta (resolución estadística del orden de 7%, efectos sistemáticos inferiores al 1%) para obtener una satisfactoria separación entre electrones, piones, kaones y protones. Este criterio implica la realización de muestreos importantes (varios cientos de medidas por traza) para cada traza. En ISIS, los electrones producidos en el proceso de ionización iniciado por una traza cargada derivan en un campo uniforme de 500 V/cm. Las señales son amplificadas en 640 hilos anódicos conectados, en pares, a 320 canales electrónicos. La cámara está llena de una muestra de Argón-CO₂ (80-20%) a presión ambiental. La velocidad de deriva es aproximadamente 2 cm/ μ s.

ISIS opera sincronizadamente con la cámara de burbujas LEBC. Con objeto de reducir los efectos derivados de la acumulación de carga espacial el potencial ánodo-cátodo, que proporciona un factor de amplificación gaseosa de 10^4 , se genera solamente durante los 800 μ s correspondientes al periodo sensible de la cámara de burbujas. Una vez producido el trigger de interacción, ISIS continúa aceptando datos durante 100 μ s, procediéndose, a continuación, a la digitalización y lectura de tiempos de deriva e impulsos.

En la figura 2.5 se presenta un registro gráfico de los tiempos de deriva coleccionados para una interacción estudiada en el experimento NA27.

En el experimento NA27 el detector ISIS ha desempeñado un doble papel: generar segmentos de traza que permiten iniciar la reconstrucción de trazas en el espectrómetro (la precisión geométrica es de 1.6 mm en posición y 0.4 mrad en ángulo) y medir la velocidad de cada partícula, a partir de la cual, y de una determinación externa del momento se obtiene la asignación de masa.

La calibración de ISIS (básicamente la determinación de la velocidad de deriva y amplificación gaseosa) se hace para periodos de aproximadamente 24 horas de duración y requiere el análisis de varios miles de trazas reconstruidas, que permiten extraer las constantes de calibración de la ionización. A partir de un ajuste, por el método de máxima verosimilitud, del espectro experimental de impulsos a una distribución teórica, basada en el modelo de fotoabsorción de argón y dióxido de carbono, se obtiene la determinación del parámetro λ , pérdida de energía más probable, que es proporcional a la ionización. Esta constante de proporcionalidad se determina a partir de una muestra de trazas correspondientes a piones, obtenida mediante unos ciertos criterios de selección aplicados a la muestra global de trazas reconstruidas. Con esta constante se calcula la ionización I y con la distribución de residuos entre las medidas experimentales y las predicciones teóricas se deriva el error $\Delta I/I = 56\%/\sqrt{N}$ (rms), siendo N el número de medidas de ionización utilizadas para una traza. Este número es típicamente 250 para los datos de NA27-A (π^- de 360 GeV/c) y 180 para NA27-B (p de 400 GeV/c). Para cada traza el valor experimental de la ionización se utiliza para determinar a través del cálculo de un χ^2 con 1 grado de libertad, la probabilidad para cada una de las diversas asignaciones de masa (e, μ , π , K, p).

2.5.3 EL CONTADOR CERENKOV

El contador Cerenkov FC (Forward Cerenkov) es un detector umbral de tipo Cerenkov instalado en el segundo segmento del sistema EHS. EL FC se

introdujo en el espectrómetro EHS con objeto de proporcionar identificación de partículas cargadas en el rango de momentos comprendido entre 25 y 100 GeV/c, esto es, entre la zona de medidas fiables de ISIS y del detector de radiación de transición. En las referencias [2.11] y [2.12] se describen detalladamente las características de este detector, cuyo diseño, construcción, operación y mantenimiento en todos los experimentos que han utilizado el dispositivo EHS ha sido realizado por investigadores y técnicos del CIEMAT.

El Contador Cerenkov tiene estructura paralelepípedica modular con sección transversal $2.15 \times 1 \text{ m}^2$ y longitud total 12.5 m. Los módulos frontal y central tienen 5.275 m de longitud. El tercer módulo tiene 2.25 m de longitud y alberga la matriz de espejos con sus correspondientes fotomultiplicadores.

El índice de refracción del FC puede variarse ajustando la mezcla gaseosa (Helio y Nitrógeno) y/o controlando la temperatura, obteniéndose valores umbrales del momento para protones en el rango 70-150 GeV/c.

La matriz de espejos tiene 14 celdas dispuestas en 7 filas y 2 columnas. Cada celda tiene un espejo cóncavo de $28.6 \times 52.0 \text{ cm}^2$ y radio de curvatura 2 m. La luz Cerenkov se focaliza en fotomultiplicadores tipo 9761Q A EMI PM y las señales se convierten mediante convertidores analógico-digitales de 12 bits (LeCroy 2249A). Cada fotomultiplicador se calibra con ayuda de un diodo emisor de luz.

El índice de refracción se controla mediante un refractómetro que utiliza un laser de Helio y Neón. Un microprocesador calcula correcciones basadas en la mezcla de gases, la presión, la temperatura en el contador y la lectura del refractómetro. La presión del contador se mantiene ligeramente por encima de la atmosférica con objeto de evitar la contaminación por aire. Los cambios en el índice de refracción con las variaciones normales de temperatura y presión son del orden del 1%.

Utilizando como radiador helio a temperatura ambiente, el índice de refracción tiene un valor de $1 + 350 \times 10^{-7}$. Los umbrales correspondientes

para π , K y p son 17, 60 y 112 GeV/c respectivamente. En la figura 2.6 se presenta la curva de eficiencias del contador FC, calculada a partir del número de fotoelectrones medidos en una celda con haces de protones en el rango de momentos 110-160 GeV/c. La curva para protones es el resultado de las medidas realizadas, las curvas para piones y kaones han sido computadas. La eficiencia viene definida como la probabilidad de que una traza real produzca señal (superior a 0.2 fotoelectrones).

2.5.4 EL DETECTOR DE TRANSICION DE RADIACION (TRD)

La radiación de transición ha sido utilizada por primera vez en el dispositivo experimental EHS para separar piones de kaones y protones en el rango de momentos por encima de 100 GeV/c, donde los métodos de muestreo de pérdida de energía por ionización y detección de luz Cerenkov son poco eficaces. En el EHS, el detector TRD está situado entre las cámaras D5 y D6. Tiene 20 unidades de radiadores combinadas con cámaras proporcionales multihilos. Los radiadores están formados por fibras de carbón de 7 μm de diámetro y 5-7 mm de longitud. El tamaño de los radiadores es variable, los 5 primeros tienen un grosor de 110, 65, 55 y 48 mm respectivamente y los 15 siguientes 45 mm. Las cámaras de hilos tienen una sección transversal de $1 \times 2 \text{ m}^2$ y una anchura de 4 cm. Tienen 96 hilos sensores separados horizontalmente 19 mm. El gas de llenado es una mezcla de Xenón, Metano y Helio al 19, 8 y 73 %.

En la figura 2.7 se presenta la distribución de la energía depositada en las 20 unidades de muestreo, obtenida con un haz positivo de 200 GeV/c. Se aprecia una significativa separación entre piones y protones.

2.6 LOS CALORIMETROS

2.6.1 LOS CALORIMETROS ELECTROMAGNETICOS

El dispositivo EHS está equipado con dos calorímetros de vidrio de plomo que proporcionan detección de cascadas de origen electromagnético en

los dos segmentos del EHS. El situado entre la cámara de deriva D3 y el imán M2 se denomina Intermediate Gamma Detector (IGD), y el situado después de la cámara de deriva D6 se denomina Forward Gamma Detector (FGD). Una descripción detallada de estos calorímetros se halla en la referencia [2.13].

El IGD consta de 1139 bloques de vidrio de sección transversal 5 x 5 cm², totalizando 15 longitudes de radiación. Tiene un orificio central de 35 x 85 cm² para permitir el acceso al resto del espectrómetro de las partículas de alto momento.

El FGD situado casi al final del EHS cubre la imagen del orificio en el IGD. Está segmentado longitudinalmente en una placa convertidora de 5 longitudes de radiación, un hodoscopio formado por tres planos de tiras de plástico de 1.5 cm de anchura para determinar la localización de la cascada y un absorbente cuyo espesor varía entre 16 y 24 longitudes de radiación. La superficie del detector es de 120 x 210 cm².

La resolución en energía es

$$\frac{\Delta E}{E} = \left(\frac{15}{\sqrt{E}} + 2 \right) \% \quad (E \text{ en GeV}) \text{ para el IGD}$$

$$\frac{\Delta E}{E} = \left(\frac{10}{\sqrt{E}} + 2 \right) \% \quad (E \text{ en GeV}) \text{ para el FGD}$$

Espacialmente es posible resolver dos cascadas de igual energía separadas hasta un mínimo de 25 mm en el IGD y de 30 mm en el FGD. La resolución en la masa del π^0 obtenida a partir de la masa efectiva de pares de fotones es de 20 MeV. En la figura 2.8 se presenta la distribución de masas invariantes para un muestra de pares de cascadas. Se han impuesto cortes mínimos de 0.9 y 2.0 GeV en la energía de las cascadas en el IGD y FGD respectivamente. La curva es el resultado del ajuste de una gaussiana y un fondo polinómico de quinto orden.

2.6.2 LOS CALORIMETROS HADRONICOS NEUTROS

Para el experimento NA27 los dos segmentos (lever arms) que componen el EHS se han equipado con calorímetros construidos con hierro y plástico centelleador. Estos calorímetros se han instalado detrás de los calorímetros electromagnéticos y tienen una buena aceptación para la detección en el hemisferio delantero de hadrones neutros producidos en el proceso de interacción primario o en la desintegración de partículas con encanto.

El denominado Intermediate Neutral Calorimeter (INC) está compuesto por 24 celdas, con dimensiones transversas de $41 \times 16 \text{ cm}^2$ para los módulos laterales y $16 \times 33 \text{ cm}^2$ para los restantes módulos. La disposición de las celdas deja una apertura de $40 \times 100 \text{ cm}^2$ ajustada a la aceptación del imán M2. Cada celda consta de 12 placas de hierro de 5 cm de espesor alternando con láminas de plástico centelleador de 2 cm. El hierro representa 3.6 longitudes de interacción y el plomo del IGD añade 2 longitudes de interacción. El detector está montado sobre una plataforma diseñada y construida en el CIEMAT que permite movimientos horizontales y verticales. La resolución de energía es de $1.5 \sqrt{E}$, con E en GeV, y la resolución espacial es de aproximadamente 15 cm.

El Forward Neutral Calorimeter (FNC) se ha diseñado para detectar y absorber el 95% de la cascada hadrónica en el rango de energías 10-400 GeV. Esto se consigue con 80 cm de hierro y el plomo del detector de fotones FGD, que proporcionan 4.8 y 1 longitudes de interacción respectivamente. El FNC está formado por una matriz de 10×20 celdas que cubre un área de $1.5 \times 3.0 \text{ m}^2$. Una celda está constituida por 15 placas de hierro de dimensiones $15 \times 15 \times 5 \text{ cm}^3$ alternadas por láminas de plástico centelleador de 2 cm de grosor. La resolución en energía es $\Delta E = 1.21 \sqrt{E}$ (E en GeV) y la resolución espacial depende de la energía según la expresión $22.5/\sqrt{E} \text{ cm}$.

Una discusión detallada de los procedimientos de calibración de los detectores INC y FNC y de la reconstrucción de cascadas aparece en la referencia [2.14].

2.7 IDENTIFICACION DE PARTICULAS

La identificación de partículas cargadas para momentos inferiores a 30 GeV se realiza con el contador Cerenkov SAD y el detector de muestreo de ionización ISIS. Los electrones, π^0 y fotones se detectan en el calorímetro electromagnético IGD, y los hadrones neutros en el calorímetro INC.

La combinación de detectores ISIS, FC, TRD, FGD y FNC proporciona identificación adicional para partículas cargadas y neutras reconstruidas en el segundo segmento (lever arm) del espectrómetro.

Un estudio detallado de la capacidad identificadora del EHS se ha realizado a partir de una muestra de 3996 trazas. De éstas, 3892 contienen algún tipo de información sobre la hipótesis de masa, 800 proceden de vértices de desintegración de partículas con encanto y 700 no tienen imágenes correspondientes en la cámara de burbujas. La selección de hipótesis de masas de basa en los siguientes criterios de selección.

ISIS Para trazas con más de 100 medidas de ionización, la hipótesis de masas se acepta si la probabilidad es superior al 4%. Para trazas con menos de 100 unidades el corte en probabilidad es del 1%.

SAD Se descarta una hipótesis de masa si el momento es inferior al umbral y hay una señal correspondiente a más de 0.5 fotoelectrones.

FC Sólo se aceptan hipótesis de masa con probabilidades superiores al 5%.

TRD Las hipótesis de masa se aceptan si las probabilidades son superiores al 5%.

CALORIMETROS Se vetan las hipótesis con probabilidades inferiores al 0.1%.

Para los detectores ISIS y TRD la probabilidad de una hipótesis de ma-

sa se obtiene a partir de un ajuste del espectro de energías depositadas a una distribución calculada según un modelo teórico. Para los otros detectores la probabilidad se calcula a partir de la señal (número medido de fotoelectrones) y el valor esperado según la estadística de Poisson.

En la Tabla 2.2 se presenta la aceptancia, una figura de mérito y el rango de momentos para los detectores de partículas cargadas. La aceptancia se define como el número de trazas con información sobre identificación de partículas dividido por el número de trazas reconstruidas con impactos en W2 (3996 trazas) o D4 (856 trazas). Se utilizan W2 y D4 como normalización para los detectores en el primer y segundo segmento de EHS. La figura de mérito es el número de trazas con información de identificación fidedigna dividida por el número de trazas que originan una señal en el detector en cuestión. El rango de momentos indica límites aproximados para la discriminación entre distintas partículas.

Las causas más importantes que limitan la identificación de partículas son, aparte de las derivadas de insuficiente estadística, las siguientes:

- Efectos de carga espacial en la zona de haz de ISIS
- Insuficiencias en la colección de luz en los bordes de las celdas de SAD y FC.
- Trayectorias espaciales muy próximas en ISIS.
- Celdas de SAD y FC atravesadas por varias partículas.

El 81% de las trazas con buena identificación de partículas se detectan en ISIS. 37% de las trazas tienen una asignación de masas única en base a la información de ISIS y 43% en base a la información conjunta suministrada por los detectores. SAD proporciona información fidedigna para un 7% de las trazas con momento menor de 10 GeV. Para un 26% de las trazas con momento superior a 70 GeV, TRD proporciona información válida. Los calorímetros excluyen la hipótesis electrón en 36% de los casos, la hipótesis

muón en un 23% y la hipótesis hadrón en un 8% de las trazas con información sobre la identificación de masas.

2.8 EL TRIGGER

El trigger utilizado en NA27 se ha diseñado con objeto de satisfacer las siguientes funciones:

- Asegurar que las partículas del haz están correctamente focalizadas.
- Proporcionar sincronización temporal entre la cámara de burbujas y el espectrómetro.
- Seleccionar interacciones inelásticas con mínimo sesgo (minimum bias)
- Rechazar interacciones en las ventanas de las cámaras de burbujas.

Los dos primeros requisitos se satisfacen utilizando el conjunto de centelleadores T1-T4, V1-V2 cuya disposición, dimensiones y posición se presentan en la figura 2.9 y en la tabla 2.3. Los impactos en las cámaras de trigger SSD0, SSD1, W0 y W1 se graban en registros especiales una vez que la lógica de coincidencias $T1 \times T2 \times T3 \times T4 \times (V1 + V2)$ ha definido un trigger de haz.

Las interacciones inelásticas se seleccionan con ayuda de un trigger de multiplicidad que exige más de dos impactos en W0 y W1. En este nivel del trigger se inicia la lectura (conversión analógico digital) de la información registrada en los diversos detectores. La información completa sobre el suceso es leída por el ordenador de adquisición de datos, salvo que el trigger de volumen fiducial establezca un veto dentro de 8 μ s. El laser para la iluminación de la cámara de burbujas se ilumina 70 μ s después del trigger de haz y la lectura del suceso se completa 60 μ s más tarde.

El denominado trigger de volumen fiducial se ha construido para rechazar sucesos que se producen por la interacción de partículas del haz con

las ventanas de la cámara LEBC. La lógica del trigger utiliza la distribución de impactos en W0, W1, SSD0, y SSD1.

La eficacia del trigger (fracción de la sección eficaz total inelástica seleccionada por el trigger) tiene un valor medido de $(80.3 \pm 4.5) \%$. Para sucesos con encanto esta eficacia se ha estimado en $(98^{+2}_{-3}) \%$.

La comparación de la multiplicidad cargada medida en este experimento con datos publicados a esta misma energía indica ineficacias en el trigger para bajas multiplicidades. Estudios Monte Carlo han probado que este sesgo no afecta a la selección de sucesos con partículas con encanto, excepto para producción de valores altos de X_F ($X_F > 0.8$) en los que la eficacia se reduce al 50 %.

El trigger de volumen fiducial aumenta la probabilidad de fotografiar una interacción en hidrógeno desde un $(47.4 \pm 1.8) \%$ hasta un $(59.5 \pm 2.4) \%$.

2.9 LA ADQUISICION DE DATOS

El sistema de adquisición de datos (DAS) utilizado en el experimento NA27 es una extensión del paquete de programas standard del CERN para ordenadores NORD. El sistema permite que diversos subsistemas, asociados con detectores específicos, realicen simultáneamente controles y calibraciones sobre datos reales o simulados tan pronto como el ordenador queda liberado de tareas de más alta prioridad.

Para NA27 el ordenador principal utilizado ha sido un NORD ND100. Se ha introducido un Analizador Lógico de 16 canales para control del sistema de trigger y unidades lógicas programables para realizar diversas funciones. La memoria "buffer" del ordenador es de 64K palabras de 16 bits, un suceso normal requiriendo 12K palabras. Las velocidades de lectura CAMAC-NORD ND100 y de escritura NORD ND100-cinta magnética son similares (2.5 μ s/palabra). El tiempo de lectura de sucesos se ajusta a la frecuencia de adquisición de datos limitada por el ciclaje de las cámaras fotográficas (15 Hz).

REFERENCIAS

- [2.1] M. Aguilar-Benitez et al., Nucl. Instr. and Meth. 205 (1983) 79
- [2.2] M. Aguilar-Benitez et al., Nucl. Instr. and Meth. A258 (1987) 26
- [2.3] P. Coet, N. Doble and S. Reucroft, CERN/SPS/81-25
- [2.4] R. Bizarri et al., Nucl. Instr. and Meth. 222 (1984) 441
- [2.5] J.L. Benichou et al., Nucl. Instr. and Meth. 190 (1981) 487
- [2.6] A. Armstrong, RHL Report 81070
- [2.7] C. Fernández et al., Nucl. Instr. and Meth. 225 (1984) 313
- [2.8] W.W.M. Allison et al., Nucl. Instr. and Meth. 224 (1984) 396
- [2.9] W.W.M. Allison and P.R.S. Wright, Formulae and Methods in Experimental Data Evaluation, Europ. Phys. Soc. (1984)
- [2.10] W.W.M. Allison et al., CERN/EP/EHS/PH 81-08
- [2.11] F. Diez-Hedo, Tesis Doctoral. Univ. Complutense de Madrid. 1985
- [2.12] J. Alberdi et al., Nucl. Instr. and Meth. A263 (1988) 286
- [2.13] B. Powell et al., Nucl. Instr. and Meth. 198 (1982) 217
- [2.14] C. Defoix, EHS Report (1986)

Tabla 2.1

Parámetros de operación de LEBC

Temperatura del Hidrógeno	29.0 K
Presión estática del Hidrógeno	8.3 bar
Presión mínima durante la expansión	3.9 bar
Desplazamiento del pistón	0.5 mm
Duración del ciclo de expansión	6 ms
Puerta de haz en el mínimo de presión	300 μ s
Frecuencia de ciclaje	30 Hz
Máxima frecuencia de ciclaje de las cámaras	15 Hz
Densidad de burbujas	80 cm^{-1}
Objetivo	SERCO
Distancia focal	288 mm
Reducción	1:0.89
Angulo estereoscópico	13°
Profundidad de campo nominal	1.5 mm
Tiempo de crecimiento de burbujas (flash delay)	70 μ s
Diámetro de burbujas (resolución de dos trazas)	17 μ m
Precisión en la medida	2 μ m

Tabla 2.2

Prestaciones de los detectores de identificación de partículas

DETECTOR	SAD	ISIS	FC	TRD	TOTAL
<u>Aceptancia</u>					
Total	0.23	0.84	0.58	0.86	0.87
Trazas Desintegración de Partículas con encanto	0.23	0.82	0.59	--	0.86
<u>Figura de mérito</u>					
Total	0.66	0.78	0.75	0.68	0.97
Trazas Desintegración de Partículas con encanto	0.70	0.80	0.80	--	0.96
<u>Rango de Momentos (GeV)</u>	0.6-3.8	2-50	18-112	70-400	0.6-400

Tabla 2.3

Dimensiones y posición de los contadores de centelleo (en cm)

	Anchura	Altura	Espesor	Posición
T1	10	25	0.6	- 3000
T2	10	25	0.6	- 290
T3	0.2	10	0.2	- 115
T4	10	3	0.5	- 271
V1	15	35	0.6	- 66
V2	15	35	0.6	- 66

DESCRIPCION DE FIGURAS

Fig. 2.1 Dispositivo experimental LEBC - EHS utilizado en el experimento NA27

LEBC	Cámara de burbujas
M1, M2	Imanes
U1-U3, W2	Cámaras de hilos proporcionales
D1-D6	Cámaras de deriva
ISIS	Cámara de deriva para muestreo de ionización
SAD, FC	Contadores Cerenkov
IGD, FGD	Calorímetros electromagnéticos de vidrio de plomo
INC, FNC	Calorímetros hadrónicos de hierro
TRD	Detector de radiación de transición

Fig. 2.2 La cámara de burbujas LEBC

Fig. 2.3 Fotografía de un suceso registrado en la cámara de burbujas LEBC

Fig. 2.4 Diagrama de la sección vertical de ISIS

Fig. 2.5 Registro de tiempos de deriva en ISIS para un suceso del experimento NA27. Para algunas trazas las líneas continuas superpuestas corresponden a las trayectorias reconstruidas en las cámaras de deriva del espectrómetro

Fig. 2.6 Eficiencia del contador de gas Cerenkov. La curva de protones es el resultado de una medida, las curvas de piones y kaones se han computado teóricamente.

Fig. 2.7 Distribución de la energía depositada en veinte unidades de muestreo del detector de radiación de transición, obtenida con un haz positivo de 200 GeV/c

Fig. 2.8 Distribución de masas invariantes en la región del π^0 para pares de cascadas

Fig. 2.9 Vista lateral esquemática de los detectores próximos a la cámara de burbujas.

- | | |
|----------------|-----------------------------------|
| T1-T4, V1, V2 | Contadores de centelleo |
| SSD0, SSD1 | Detectores de franjas de silicio |
| U3, W0, W1, W2 | Cámaras de hilos proporcionales |
| MDC1, MDC2 | Minicámaras de deriva |
| PIC12, PIC34 | Cámaras proporcionales inclinadas |

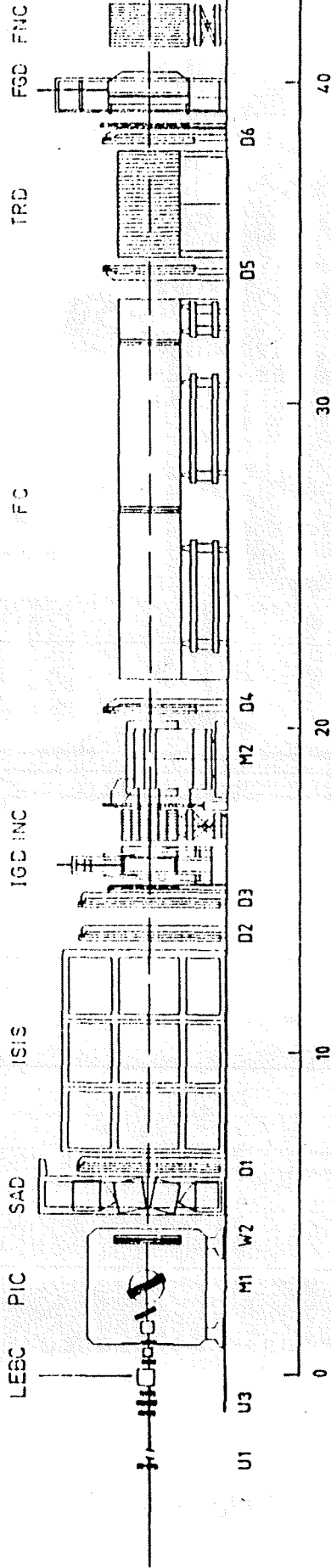


FIG. 2.1

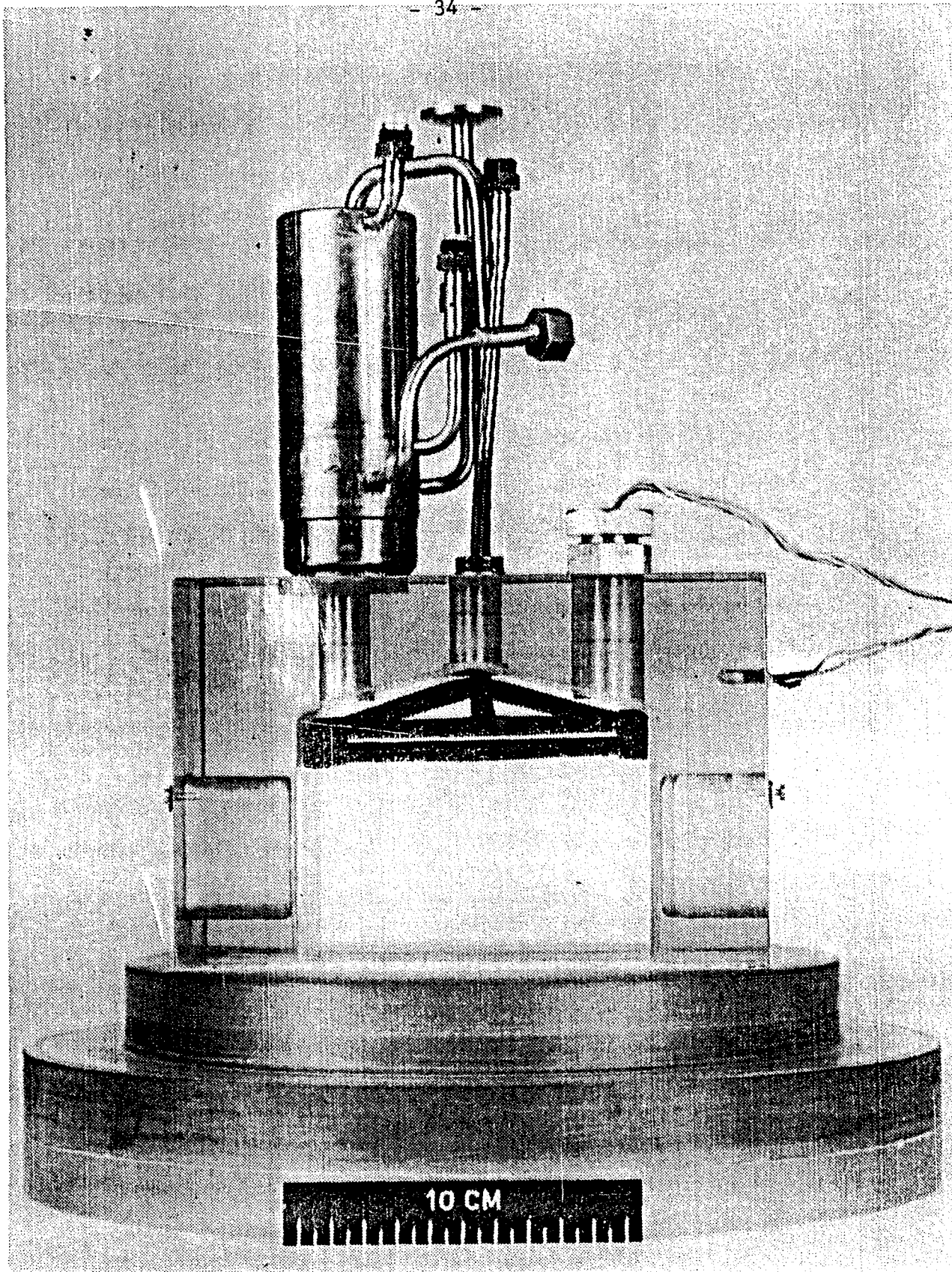


FIG 2.2

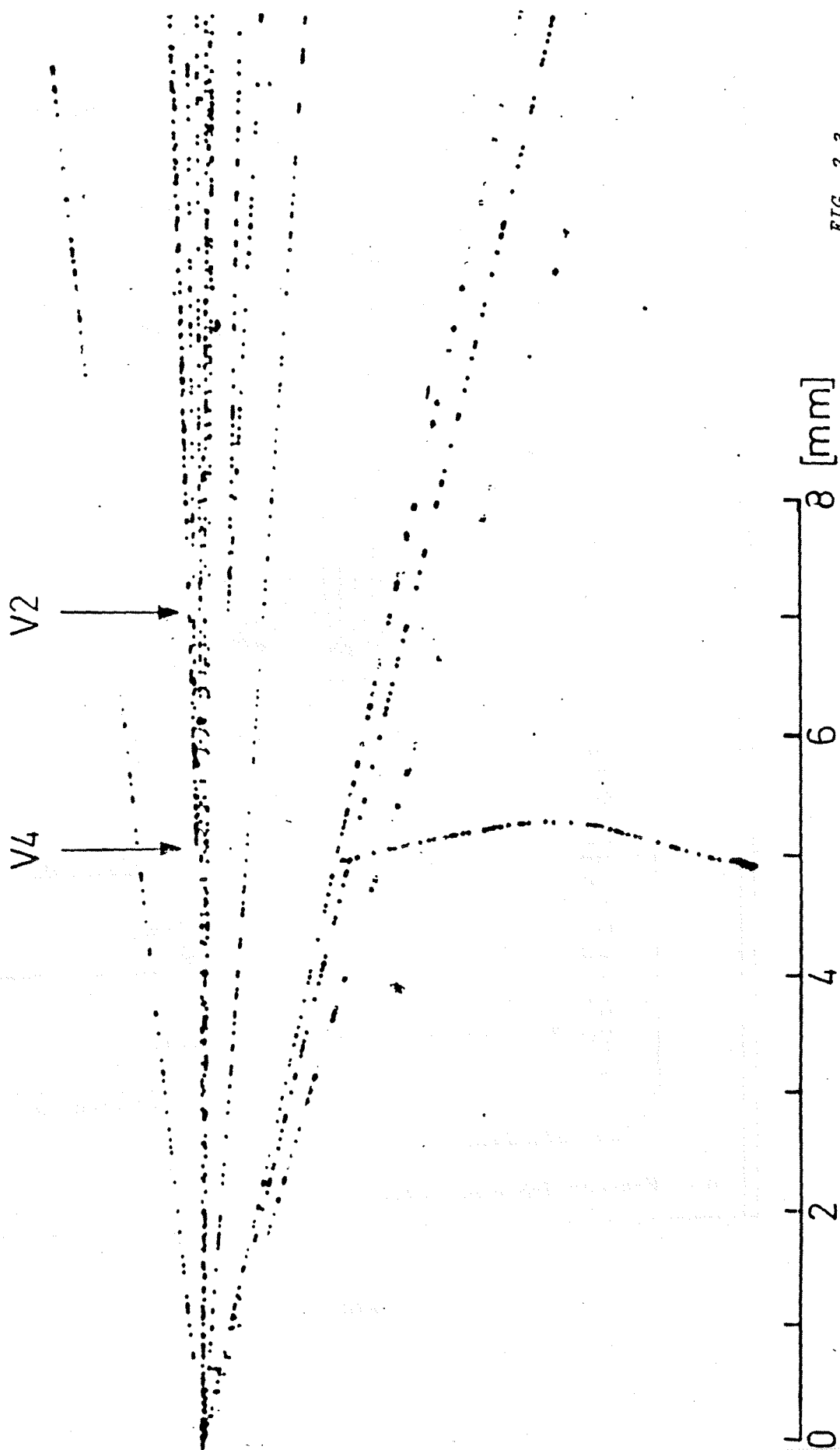


FIG 2.3

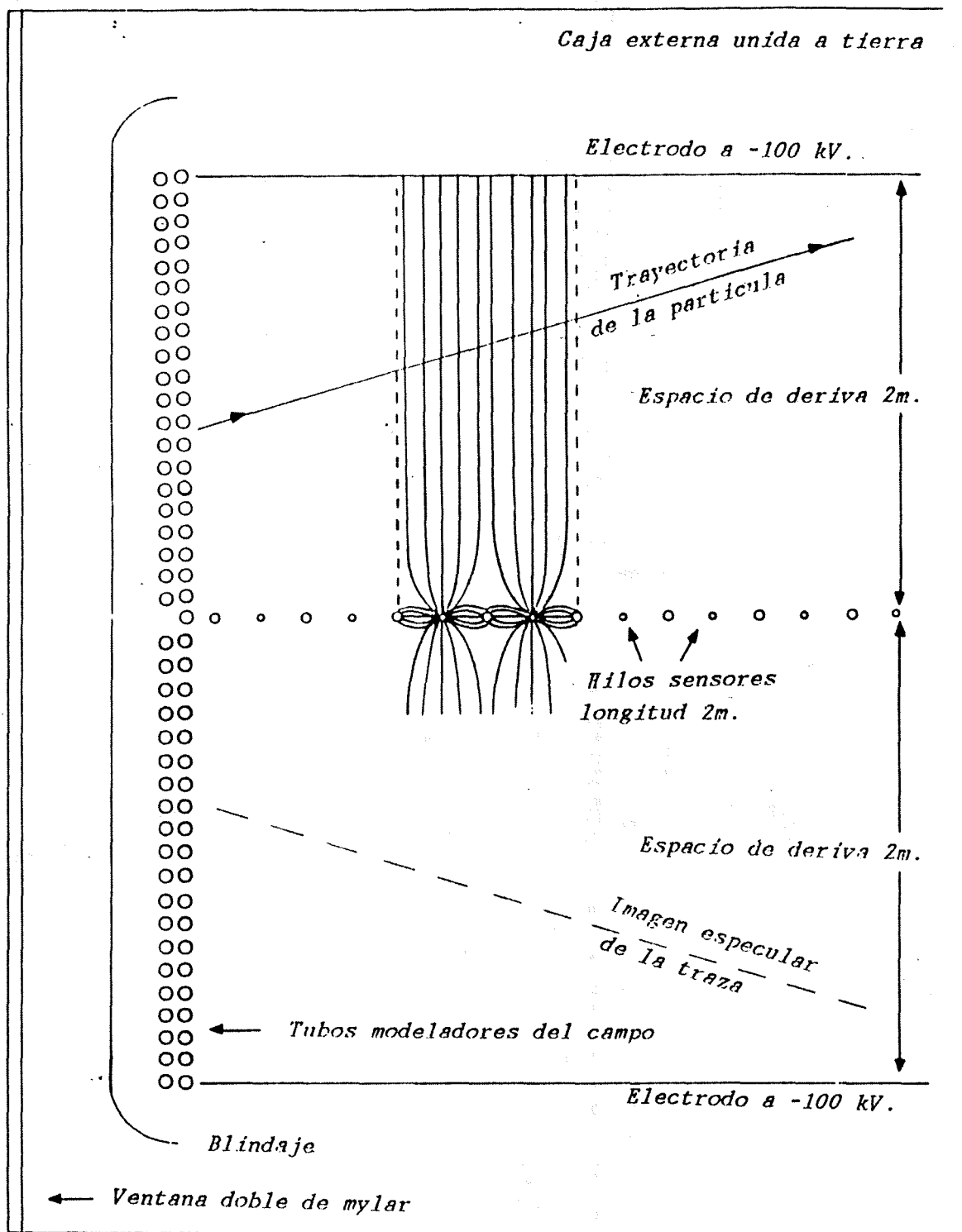
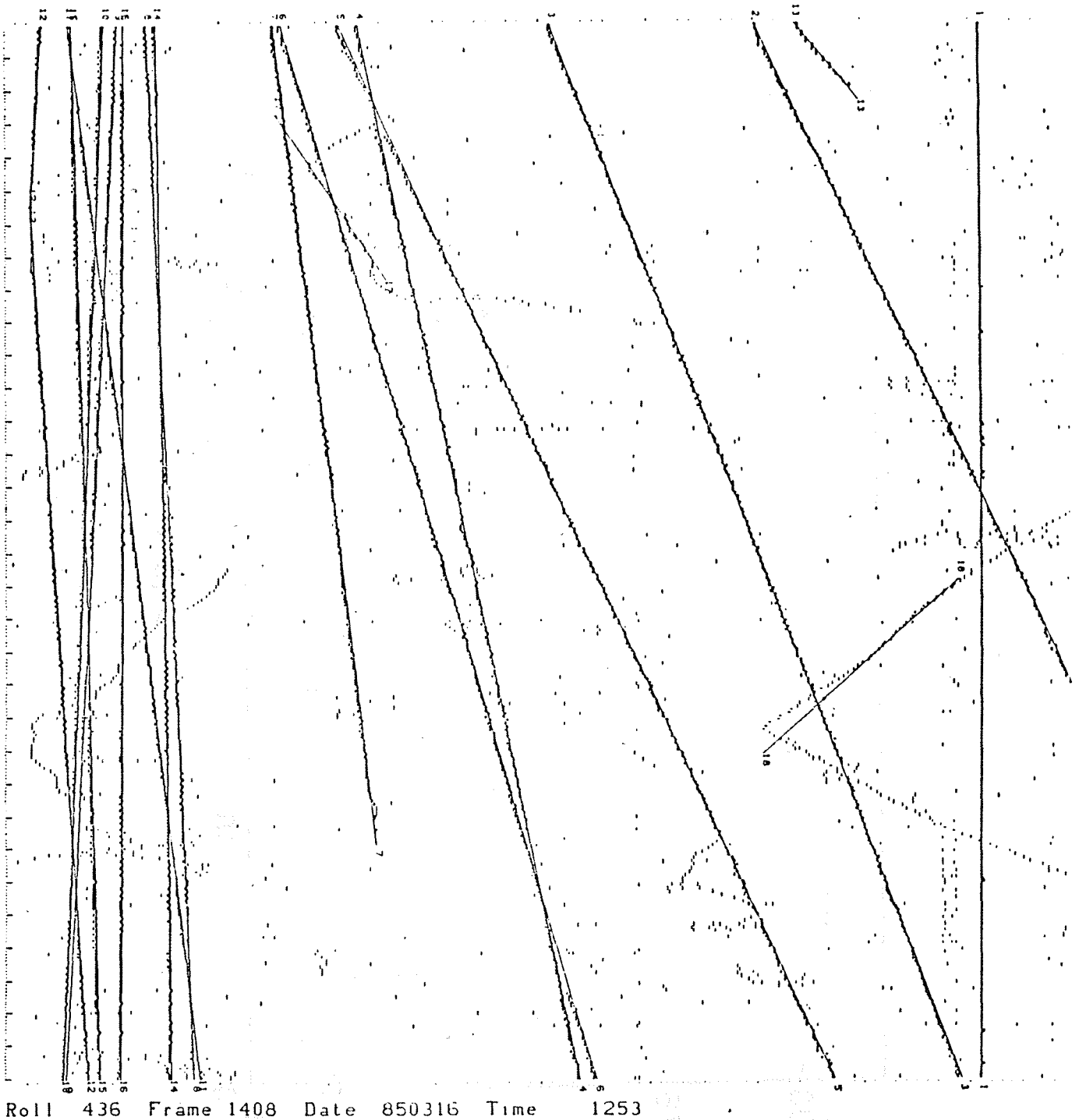


FIG 2.4



Roll 436 Frame 1408 Date 850316 Time 1253

FIG 2.5

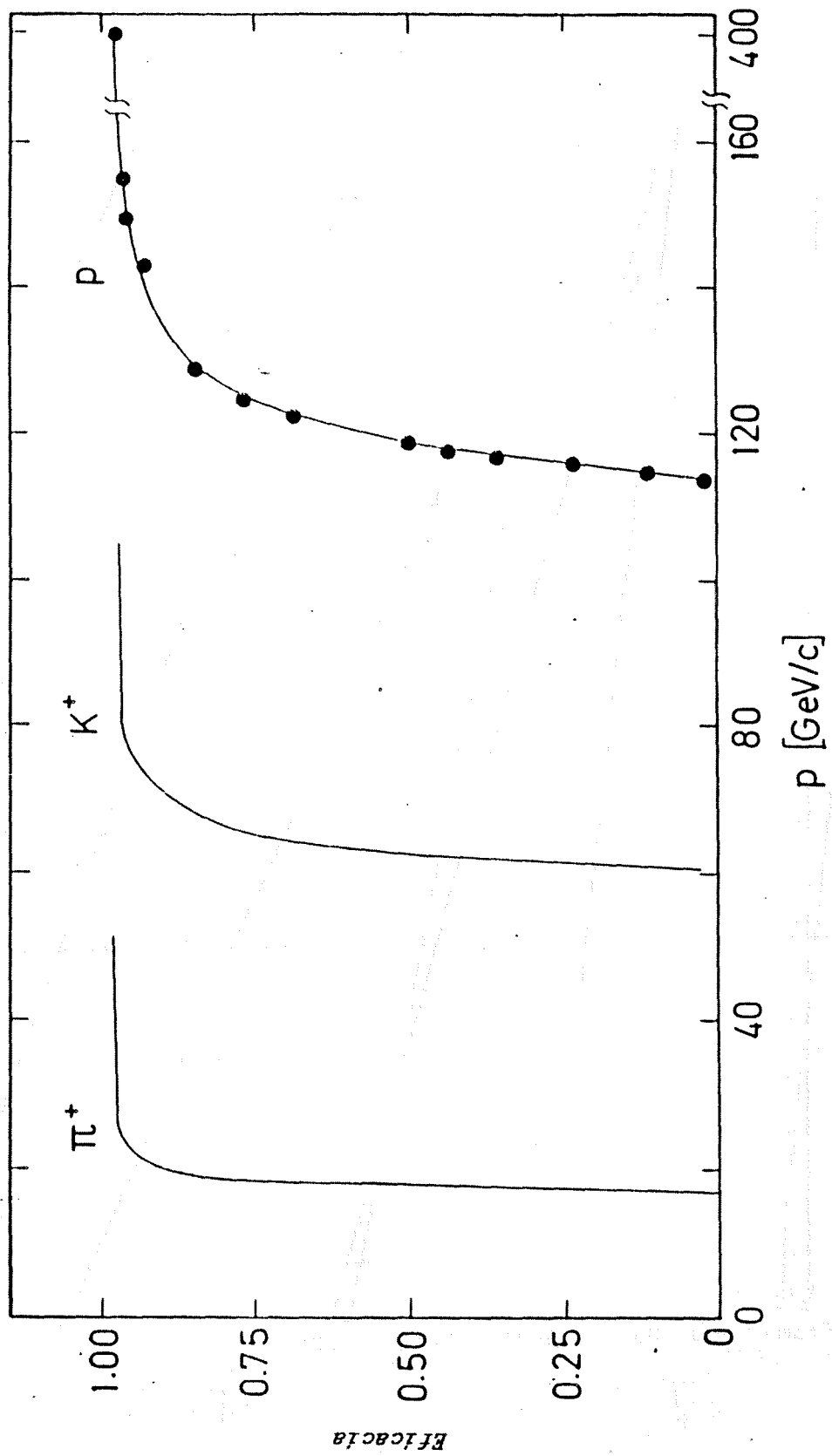


FIG 2.6

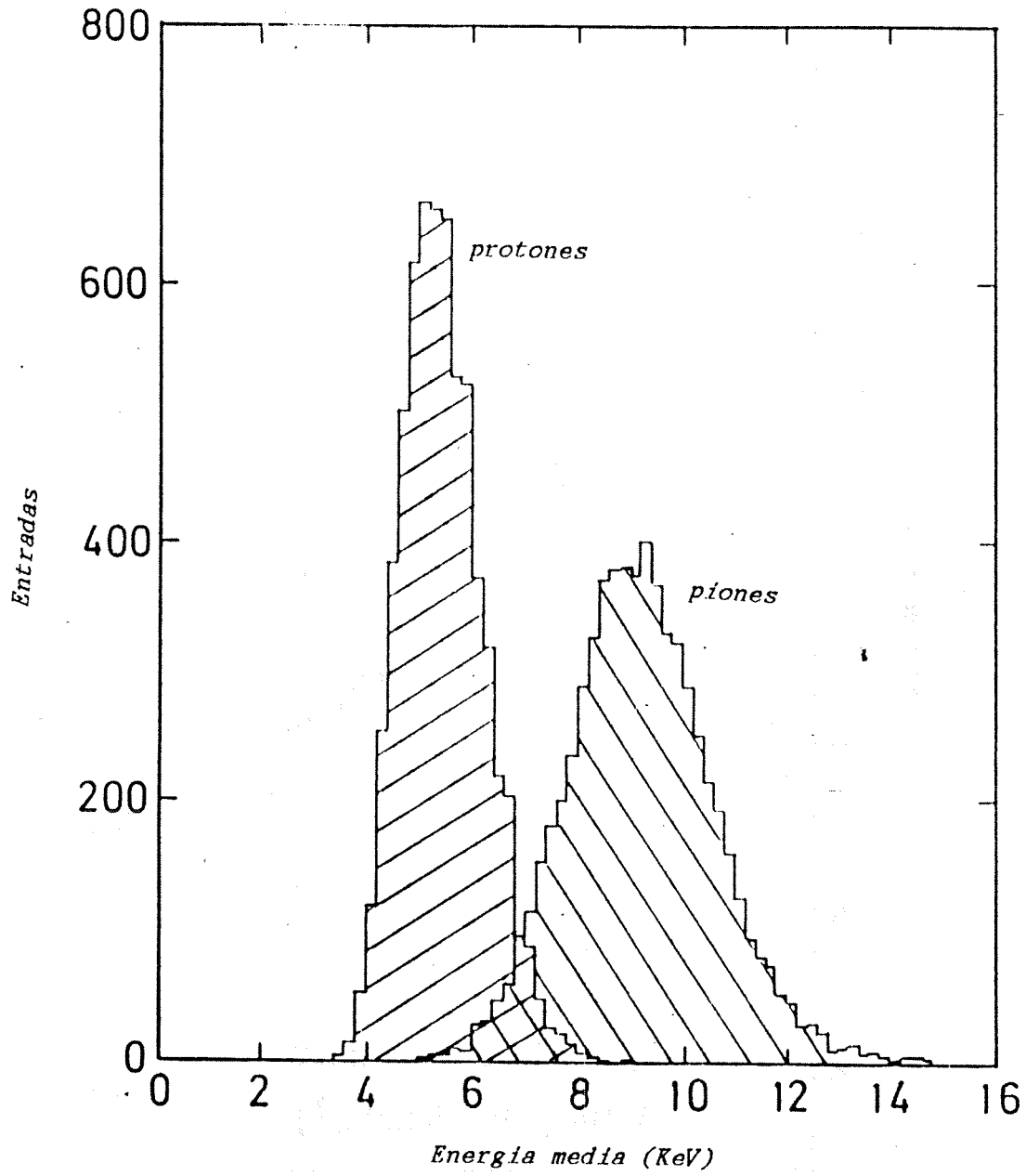


FIG 2.7

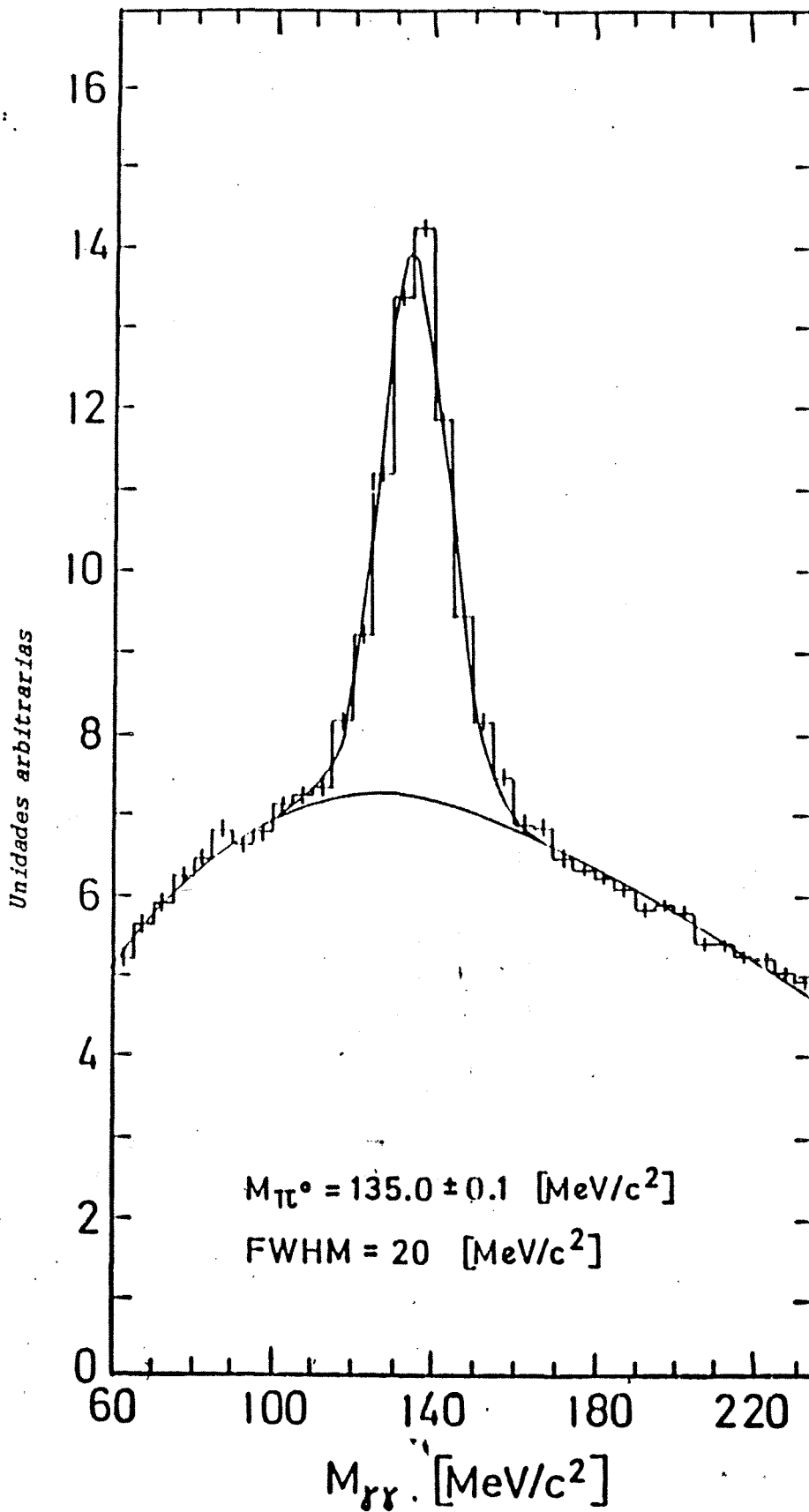


FIG - 2.8

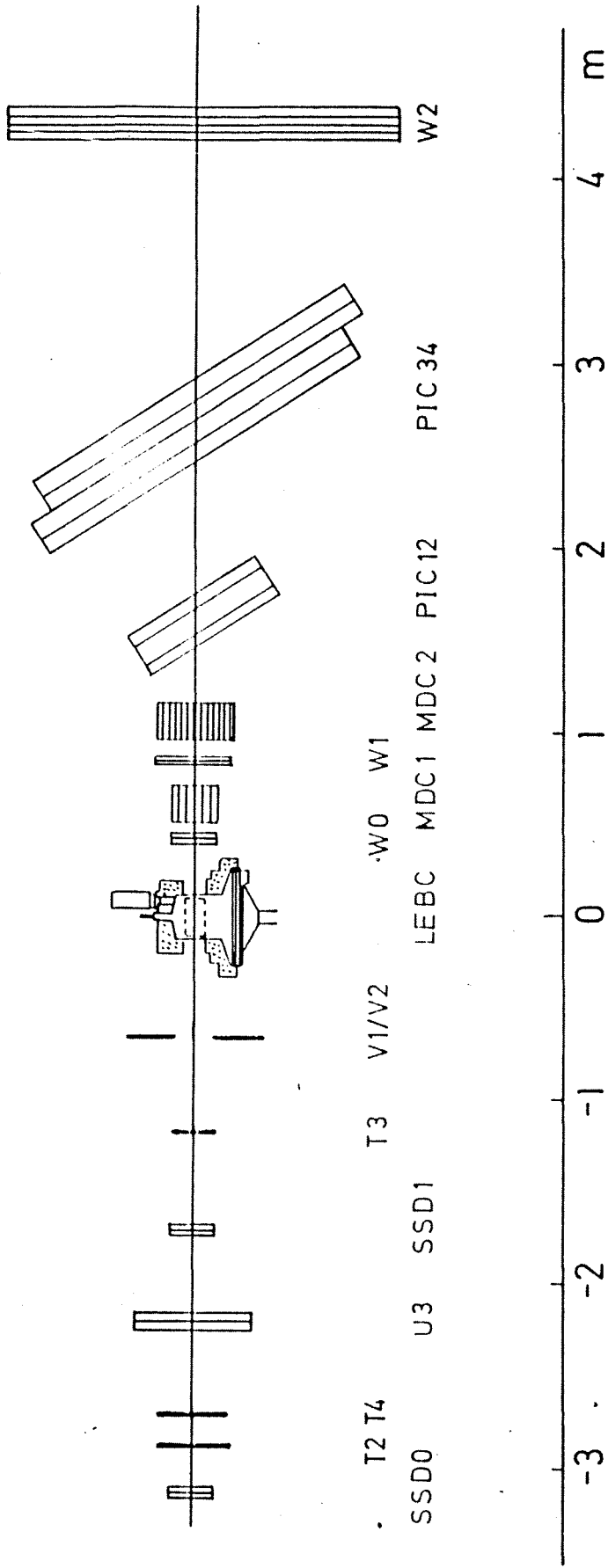


FIG 2.9

Capítulo 3

Reconstrucción de Interacciones

CAPITULO 3

RECONSTRUCCION DE INTERACCIONES

3.1 CONSIDERACIONES GENERALES.

Como se indicó en el capítulo 1, el experimento NA27, cuyos datos se analizan en esta memoria, estaba diseñado para el estudio de las propiedades de producción y desintegración de partículas con encanto. La cámara de burbujas LEBC, descrita en la sección 2.3, realizaba las funciones de blanco de hidrógeno y detector de vértices de producción y desintegración y ha desempeñado un papel decisivo en la extracción de la señal de interés frente al dominante fondo hadrónico. Para el estudio de los procesos inclusivos la cámara de burbujas se utiliza simplemente como sistema detector del vértice principal de la interacción del haz incidente con los núcleos de hidrógeno líquido que constituyen el blanco. El procedimiento de escrutinio y medida de vértices se describe en la sección 3.2, la reconstrucción geométrica de las trayectorias de las partículas producidas en la colisión se realiza, para las interacciones que se estudian en esta memoria, a partir de la información registrada en los diversos elementos que componen el espectrómetro (cámaras proporcionales multihilos, cámaras de deriva, ISIS, ...) y se describe en las secciones 3.3 y 3.4. El método utilizado ignora por lo tanto la totalidad de la información contenida en los clichés fotográficos, a excepción de las coordenadas del vértice primario. Esta simplificación evita el proceso laborioso de medida y tratamiento de la información óptica contenida en las fotografías del volumen fiducial de LEBC. Esta fase de reducción de datos es seguramente la parte más delicada del experimento NA27 y la que consume más tiempo. Para el estudio de la física de partículas con encanto se definieron unos criterios de selección topológicos que optimizaban la extracción de sucesos de interés limitando el número de medidas de clichés fotográficos y reduciendo el lapso de tiempo entre el proceso de

escrutinio y la reconstrucción final de interacciones. De un total de 265.000 fotos de cámara de burbujas conteniendo interacciones primarias en hidrógeno, sólo 6368 exhibían actividades secundarias satisfaciendo los criterios de potenciales candidatos de sucesos incluyendo partículas con encanto y su información óptica fue procesada completamente (sección 3.5). Para una fracción de esta muestra se ha realizado un análisis detallado comparativo de las eficacias de reconstrucción de trayectorias que se deducen en el caso de tratamiento parcial de la información suministrada por LEBC-EHS (medida del vértice de interacción y datos electrónicos del espectrómetro) y en el caso de utilización completa de toda la información registrada. Este estudio se presenta en la sección 3.5. Las características del espectrómetro (redundancia de planos en cámaras de hilos y de deriva y disposición geométrica de los mismos, información espacial suministrada por ISIS) hacen que pueda obtenerse una reconstrucción fidedigna de las interacciones en una amplia región cinemática a partir exclusivamente de la información electrónica. Este tratamiento reducido de los datos registrados ha permitido procesar un total de 175032 interacciones y extraer distribuciones físicas basadas en muestras estadísticamente significativas.

Como se explicitará en el capítulo 4 la medida de distribuciones inclusivas de partículas cargadas se realiza en base a la información suministrada por el detector ISIS (vease sección 2.5). Las dimensiones de este gran volumen de deriva ocasionan restricciones geométricas en la aceptación del detector. En la sección 3.7 se analizan las implicaciones derivadas de la geometría del espectrómetro así como los sesgos introducidos por el denominado trigger de interacción que afecta a los sucesos con baja multiplicidad. Como se indicó en la sección 2.5, el haz incidente de partículas (π^- de 360 GeV/c) produce en el espacio de deriva del detector ISIS una zona, denominada región del haz en la que la carga espacial distorsiona el proceso de deriva y la amplificación gaseosa afectando a la medida de la pérdida de energía a partir de la carga coleccionada en el plano anódico. Este efecto desvirtúa la medida de la ionización de trazas y en consecuencia su utilización para extraer muestras de partículas secundarias con masas conocidas. Los factores correctores que deben introducirse se discuten en la sección 3.8.

La muestra final disponible que será utilizada para la obtención de resultados físicos se especifica en la sección 3.9.

3.2 ESCRUTINIO Y MEDIDA DE FOTOGRAFÍAS

Como se indicó en la sección 2.7, la decisión de disparar los "flashes" que iluminan el volumen fiducial de la cámara de burbujas y proceder a la lectura de las señales registradas en el espectrómetro es tomada por un trigger denominado "minimum bias". Básicamente, en la exposición de LEBC al haz de π^- de 360 GeV/c, el trigger requería más de dos impactos en cada una de las cámaras de hilos proporcionales W0 y W1 situadas próximas a LEBC. Bajo estas condiciones se hicieron 850.000 fotografías (2 clichés por toma) de la región de LEBC iluminada, distribuidas en 201 carretes de película.

El conjunto del material fotográfico analizado en los laboratorios de la División de Física de Partículas del CIEMAT ascendía a 28.445 fotografías distribuidas en los rollos cuya numeración y contenido es el siguiente

Rollo	27	con	4723	fotografías
Rollo	63	con	4750	fotografías
Rollo	74	con	4790	fotografías
Rollo	75	con	4676	fotografías
Rollo	127	con	4756	fotografías
Rollo	128	con	4750	fotografías

El escrutinio de la información fotográfica ("scanning") se realiza de acuerdo con criterios topológicos diseñados para maximizar la

detección de desintegraciones de partículas con encanto. Los criterios generales definidos por la colaboración [3.1] se adaptaron a los equipos disponibles en el CIEMAT. En el apéndice 3 se presenta una descripción de las reglas seguidas en nuestro laboratorio. Una discusión detallada de la metodología y resultados del escrutinio realizado en Madrid aparece en [3.2]. Para el trabajo cuyos resultados se presentan en esta memoria basta señalar que durante la primera fase del escrutinio las fotografías se clasifican de acuerdo a las siguientes convenciones:

Tipo 1. Interacción primaria en la región fiducial y actividad secundaria dentro de la denominada caja de "charm".

Tipo 2. Interacción primaria en la región fiducial y sin actividad secundaria dentro de la caja de "charm".

Tipo 3. No hay interacción primaria en la región fiducial. Se trata en general de interacciones del haz incidente con el material de las ventanas de entrada y salida de la cámara.

Tipo 4. Foto no utilizable.

Para el total de 28.445 fotografías escrutadas en Madrid la distribución topológica es la siguiente:

Tipo 1	788	fotografías
Tipo 2	8674	fotografías
Tipo 3	18982	fotografías
Tipo 4	1	fotografías

siendo la eficacia del trigger del orden del 33 %.

El número total de interacciones primarias escrutadas por la colaboración asciende a 806541 (contenidas en 188 rollos validos) siendo la distribución por tipos la siguiente:

Tipo 1	21768	fotografías
Tipo 2	243144	fotografías
Tipo 3	507256	fotografías
Tipo 4	34403	fotografías

Con estos valores se obtiene una eficacia del trigger del 34 %.

Las actividades secundarias se clasifican utilizando la convención Dn o Vn respectivamente; D para actividades cargadas, V para actividades neutras y n para el número de trazas cargadas presentes en la actividad. Las actividades Dn con n par corresponden a interacciones secundarias inducidas por partículas cargadas producidas en el vértice principal, los Dn con n impar a desintegraciones de partículas cargadas. Las actividades Vn con n par corresponden a desintegraciones de partículas neutras, las Vn con n impar a interacciones secundarias originadas por partículas neutras producidas en el vértice primario. La convención Xn ha sido utilizada en caso de indefinición del vertice de la actividad secundaria debida a la superposición con las trazas procedentes del vertice principal. La convención G2 se utiliza para designar desintegraciones del tipo V2 pero con separación angular de las trazas cargadas compatible con la hipótesis de materialización de un fotón. La tabla 3.1 resume los resultados del escrutinio relativos a frecuencias de actividades secundarias. Para un total de 21768 sucesos del tipo 1 se han detectado 24347 actividades secundarias contenidas en la llamada caja de "charm" definida como un cilindro en el espacio, centrado en la traza del haz, con radio 1 mm para las actividades de tipos C1 y V2 y 2 mm para los otros tipos de actividad.

El número de sucesos con dos o más actividades secundarias de interés asciende a 536. En la tabla 3.2 se desglosa el contenido de estos sucesos. La eficacia de escrutinio para los diferentes tipos de actividades secundarias se ha calculado utilizando la fórmula:

$$\varepsilon = \frac{N_3(N_1+N_2-N_3)}{N_1N_2}$$

donde N_1 , N_2 y N_3 son los números de actividades secundarias encontradas en el escrutinio 1, escrutinio 2 y en el chequeo realizado por físicos. Esta fórmula simplificada supone la no existencia de pérdidas sistemáticas y, por lo tanto, no es aplicable para desintegraciones de partículas con encanto. En la tabla 3.3 se presentan las eficacias de escrutinio para las distintas actividades secundarias calculadas como promedio de valores obtenidos en los diferentes laboratorios.

A partir de los datos topológicos registrados durante el proceso de escrutinio es posible derivar las distribuciones de multiplicidad global y en función de la actividad secundaria. En la tabla 3.4 se dan las distribuciones en forma de porcentajes. El reducido volumen fiducial y la colimación de los productos de la colisión da lugar a contabilizar multiplicidades impares en aproximadamente el 23 % del total de interacciones. Mas detalles sobre los resultados del escrutinio en NA27 aparecen en [3.3].

En los laboratorios del CIEMAT el proceso de escrutinio de clichés se realizó en unidades MILADY que, para este experimento se equiparon con dos aumentos diferentes (x15.4 y x43.7) en cada uno de los dos canales de proyección. La medida de los sucesos con actividades secundarias candidatas a proceder de desintegraciones de partículas con encanto se realizó en la unidad de medida ERASME. Durante el transcurso de los experimentos NA16 y NA27 estuve responsabilizado de la operación de esta unidad desarrollando paquetes de programas específicos y en particular un programa de escrutinio gráfico. Estas aplicaciones que han tenido máxima utilización en la reducción de la información fotográfica para el estudio de las propiedades de hadrones con encanto, se describen en el apéndice 4. Para el estudio de procesos inclusivos ya hemos indicado que sólo se ha utilizado la medida del vértice de la interacción principal. En Madrid se han medido en la unidad ERASME un total

de 8475 vértices de interacción seleccionados entre las colisiones clasificadas con el tipo 2 durante el proceso de escrutinio. En la figura 3.1 se presenta la distribución de las coordenadas X e Y del vértice principal obtenido a partir de las medidas realizadas en Madrid.

3.3 ANALISIS DE DATOS

En los experimentos de tipo híbrido realizados con el dispositivo experimental LEBC-EHS los datos registrados están formados por partes que tienen características muy diferentes: fotografías de cámaras de burbujas y datos procedentes de los distintos elementos que componen el espectrómetro. Las fotografías de la cámara de burbujas contienen información muy detallada sobre la configuración del suceso (multiplicidad cargada, actividades secundarias), permitiendo calcular con precisión las trayectorias en la región del vértice de la interacción. Sin embargo, el conjunto colimado de partículas producidas a pequeño ángulo origina frecuentemente ambigüedades debido a las distintas combinaciones posibles de las dos vistas fotográficas del suceso.

En el espectrómetro, la información registrada en las cámaras de hilo, las cámaras de deriva y cámara de ionización ISIS permite reconstruir las diferentes trayectorias resolviendo, en la mayoría de los casos, las ambigüedades. Sin embargo, las trayectorias no se determinan con la misma precisión que en la cámara de burbujas. La identidad y la energía de las partículas neutras se determina con los calorímetros neutros y hadrónicos.

La información electrónica recogida por los detectores del EHS, leída por el ordenador de adquisición de datos NORD100 y grabada en cinta magnética contiene los datos relevantes relativos a los elementos que integran el sistema. Para las cámaras de hilo o de deriva se registra el identificador del módulo, el número de planos sensibles, el número de coordenadas por impacto (2), el número de impactos en cada uno de los planos, los valores de las coordenadas de los diversos im-

pactos en cada uno de los planos, etc. Para el detector ISIS la información registrada incluye básicamente los tiempos de deriva de señales de ionización en cada uno de los 320 hilos anódicos y la amplitud de los impulsos medidos en dichos hilos. Para los demás detectores (SAD, FC, IGD, FGD, INC, FNC) la información leída es esencialmente el registro de los ADC (convertidores analógicos digitales) correspondientes a cada fotomultiplicador.

El objetivo del proceso de análisis de datos es, para las partículas cargadas, reconstruir las trazas en la cámara de burbujas y en el espectrómetro y encontrar la correspondencia entre ambos grupos de trazas derivando la medida del vector trimomento. Este proceso de "hibridización" es complicado debido a la presencia de un campo magnético entre la cámara de burbujas y el espectrómetro y se realiza en diversas etapas.

En primer lugar es necesario disponer de un conjunto de datos (base de datos) que definan las especificaciones completas de todos los elementos que componen el sistema de detección, así como el estado de funcionamiento de estos en el curso del tiempo en el que se realiza el proceso de adquisición de datos. Esta información incluye cantidades geométricas relativas a la alineación y posicionamiento de los detectores, constantes del H_2 líquido de la cámara de burbujas, velocidades de deriva de los gases en las distintas cámaras de hilos, parámetros referentes a todos y a cada uno de los hilos que definen la estructura eléctrica de las cámaras, configuraciones precisas de campos magnéticos, pedestales de fotomultiplicadores, etc. Este conjunto de datos generado a partir de procedimientos de calibración y monitoraje (realizados antes, durante y después del desarrollo del experimento) constituye la "Title Data Base" (Base de Datos de Títulos) y posibilita tratar cada interacción haciendo uso del conocimiento preciso del estado de funcionamiento del espectrómetro en el momento en que ésta se produjo. En segundo lugar es preciso sincronizar la información obtenida en el proceso de medida de los clichés fotográficos (coordenadas de vértices y de puntos formando trayectorias, coordenadas de marcas fiduciales definiendo un sistema de referencia) con la registrada en

los distintos elementos del espectrómetro y que hemos reseñado brevemente en párrafos anteriores. Esta información, formateada en estructura de datos constituye la base sobre la que actúa la cadena de programas de reconstrucción geométrica y análisis cinemático de la interacción. Los paquetes de programas están escritos siguiendo las convenciones de los sistemas HYDRA [3.4] (datos estructurados, universalidad de operaciones input-output, eficaz detección de errores, compatibilidad con diversos sistemas operativos, utilización dinámica de la memoria basada en el concepto de procesadores y espacios de trabajo) y PATCHY [3.5] (edición y actualización de código, multiplicidad de versiones, transportabilidad) .

El conjunto completo de programas específicos para el sistema LEBC-EHS (reconstrucción geométrica de trazas en LEBC y EHS, hibridación, procesado de datos de ISIS, reconstrucción de cascadas electromagnéticas y hadrónicas, creación de segmentos de trazas en ISIS, análisis cinemático de las desintegraciones, algoritmos de identificación de partículas ...) consta de más de 100000 instrucciones de código FORTRAN y ha sido instalado en su totalidad en los ordenadores UNIVAC 1100-81 y VAX 785 del CIEMAT.

Para realizar una correcta asociación de las trazas reconstruidas en el espectrómetro con las de la cámara de burbujas es importante conocer con precisión las posiciones de las cámaras y los parámetros de deriva. Las medidas geométricas realizadas durante el alineamiento del espectrómetro tienen una precisión adecuada para la mayor parte de los componentes. Sin embargo para las cámaras de hilos U1, U3, W2 y las cámaras de deriva D1-D6 es necesaria una calibración posicional adicional.

El procedimiento utilizado es el siguiente: Para las cámaras de hilos U1, U3 se define un sistema local con los hilos centrales de dos planos en cada una de las cámaras. Las posiciones radiales relativas de todos los planos de U1, U3 (las direcciones de los hilos de estos planos se han obtenido en las medidas del alineamiento) se obtienen itera-

tivamente ajustando líneas rectas a los impactos producidos por una muestra de trazas del haz. Se necesitan ~ 600 trazas para conseguir la precisión requerida (10 μ m). Se hace una transformación del sistema local al sistema de referencia del EHS y las posiciones radiales de todos los planos de hilos se refieren a este único sistema.

Las líneas rectas obtenidas de ajustes a los datos procedentes de las cámaras del brazo cero son desviadas en los imanes M1 y M2 hasta la posición de cada plano de hilos en las cámaras de deriva W2 y D1 a D6. Las predicciones resultantes se comparan con las posiciones de los impactos producidos calculados a partir de los datos reales. Para la cámara W2 se utiliza la misma aproximación que para U1 y U3. Para las cámaras de deriva D1 a D6, los tiempos de deriva muy cortos (producidos por trayectorias muy próximas a los hilos sensores) y los muy largos (producidos por trayectorias muy próximas a los hilos de campo) se suprimen para la calibración. Los diagramas en V para cada celda de deriva de la posición radial predicha contra el tiempo registrado en la celda permiten calcular la velocidad de deriva (pendiente de los brazos de la V). La proyección sobre el eje de tiempos de la intersección de los brazos de la V es el tiempo de deriva 0, la proyección sobre el otro eje proporciona la corrección a la posición radial del plano de hilos. Se necesitan aproximadamente cinco iteraciones para conseguir la precisión requerida. Finalmente se ajusta una curva cuadrática en el tiempo de deriva para tener en cuenta el comportamiento no lineal de la velocidad de deriva aparente.

3.4 RECONSTRUCCION GEOMETRICA CON DATOS DEL ESPECTROMETRO

Para entender como trata el programa GEONBC los datos procedentes del espectrómetro es preciso distinguir tres clases de trazas:

a) Trazas que atraviesan todo el espectrómetro.

El programa GEONBC reconstruye priméramente las trazas que atraviesan todo el espectrómetro. Inicialmente se reconstruyen los impactos en el segundo brazo de palanca. Todos las combinaciones de impactos¹ en D4, D5 y D6 se forman para dar candidatos a trazas procedentes del vértice principal de la interacción (apuntando cerca del vértice en el plano donde no hay deflexión y teniendo un parámetro de impacto pequeño respecto del vértice en el plano de deflexión). Los parámetros de estos candidatos se obtienen ajustando líneas rectas a los impactos en todos los planos de las dos cámaras (D4, D5 y D6). Para cada candidato a traza se hacen predicciones de las intersecciones en las cámaras de hilos del primer brazo de palanca suponiendo que estos candidatos se han originado en el vértice principal. Los impactos en los planos de las cámaras del primer brazo de palanca (W2, D1, D2 y D3) compatibles con la predicción en cada plano se seleccionan y se combinan para formar impactos en estas cámaras. Si no se satisface ninguna predicción en dos cámaras consecutivas el candidato a traza es rechazado. Por el contrario, también puede suceder que se encuentre más de un impacto en cada cámara. Estos impactos se utilizan para definir candidatos a traza en el primer brazo de palanca.

Cada candidato en el primer brazo de palanca se combina con su progenitor en el segundo brazo y se realiza un ajuste global en todo el espectrómetro, teniendo en cuenta el "scattering" múltiple, que proporciona los mejores parámetros de la traza (momento y dirección) al nivel de la primera cámara en el primer brazo (W2). Para cada candidato superviviente se hace la mejor aproximación posible de los parámetros de la traza en el vértice primario y se calculan sus errores. Todos los hilos utilizados para generar estas trazas se marcan como "usados".

1. Se utiliza indistintamente la palabra impacto para designar señales en hilos de planos de las cámaras (hits) o puntos de incidencia en cámaras (impactos) reconstruidos a partir de diversos hits.

b) Trazas que atraviesan solo el primer brazo de palanca.

Una vez reconstruidas las trazas más rápidas en el cono hacia adelante es más fácil reconstruir sin ambigüedades los impactos en las cámaras del primer brazo (W2, D1, D2 y D3) evitando candidatos a impacto con muchos hilos previamente marcados como "usados". Se obtienen así los candidatos a traza en el primer brazo comenzando con los que han podido alcanzar D3 y repitiendo lo mismo para D2 y D1. Se realiza un ajuste como en el caso anterior. Todas las trazas encontradas en el apartado anterior se tienen de nuevo en cuenta en la decisión final.

c) Trazas que no llegan al espectrómetro.

Estas trazas no son tratadas por el programa GEONBC y por lo tanto se pierden.

El programa GEONBC utiliza los algoritmos brevemente reseñados en los arrafos anteriores. Un total de 175032 interacciones han sido procesadas en GEONBC, reconstruyéndose 397224 trazas positivas y 465389 tras negativas. La multiplicidad media reconstruida a partir de los datos del espectrómetro es de 4.9 trazas cargadas por interacción, que se compara con 10.11 obtenido a partir de los datos registrados en el proceso de escrutinio. El programa de geometría GEONBC reconstruye aproximadamente el 49 % de las trayectorias producidas en el vértice pipal. Como veremos en las secciones siguientes esto se debe a que la eficiencia del espectrómetro que es próxima al 100 % para partículas producidas en el hemisferio $X > 0$ ⁽²⁾, se reduce drásticamente en la región de X negativos.

Un 20 % de las trazas reconstruidas utiliza impactos en las cámaras de deriva del primer y segundo brazos de palanca, un 75 % solo del primer brazo de palanca y solo un 5 % se generan a partir de las cámaras W0, W1, PIC y W2.

⁽²⁾ La variable de Feynman (X) se define en el centro de masas de la reacción como $X = P_1 / P_{1max}$, siendo P_1 la componente longitudinal del momento respecto a la dirección de la partícula incidente.

3.5 RECONSTRUCCION GEOMETRICA CON DATOS DE LEBC Y EHS

El procedimiento de reconstrucción geométrica de trazas que a continuación reseñamos es el que se ha utilizado en los 6368 sucesos que tienen una actividad secundaria satisfaciendo los criterios de selección de potenciales candidatos a desintegraciones de partículas con encanto. La información fotográfica correspondiente a estos sucesos ha sido medida en su totalidad en diversos laboratorios de la colaboración. La reconstrucción geométrica y el análisis cinemático han permitido eliminar desintegraciones compatibles con partículas extrañas o conversión de fotones. La muestra resultante de 275 sucesos se ha reme-
dido en la unidad de medida de alta precisión (Hough Powell Digitizer) de Estrasburgo. El análisis completo de estos candidatos ha aislado una muestra final de 114 sucesos conteniendo 183 desintegraciones de partículas con encanto [3.6]

Cuando se utilizan los datos de LEBC y EHS se presentan cuatro clases de trazas en el proceso de reconstrucción geométrica.

a) Trazas que atraviesan todo el espectrómetro.

El proceso de reconstrucción es el mismo que en GEONBC pero en este caso se tiene en cuenta que las trazas pueden proceder de más de un vértice de la cámara de burbujas.

Al llegar al nivel de W2 se realiza un ajuste de los mejores parámetros de la traza en cada vértice de LEBC y se identifican las trazas de la cámara LEBC que son compatibles con la predicción en las dos vistas. Para cada par aceptable de imágenes de traza se realiza un ajuste híbrido que utiliza las medidas de la traza en las dos vistas de LEBC y los resultados del ajuste del espectrómetro.

Las trazas de espectrómetro que no pasan el ajuste híbrido o que se han desechado en el proceso de decisión final son marcados como "hanging". Para un análisis posterior solo se consideran las trazas

"hanging" que tienen pocos hilos marcados como "usados".

b) Trazas que atraviesan sólo el primer brazo.

El proceso es el mismo que en GEONBC salvo que se realiza también el ajuste híbrido.

c) Trazas que no alcanzan el espectrómetro.

Las imágenes de traza que no han podido ser hibridizadas se utilizan para reconstruir trazas en la cámara de burbujas. En ausencia de campo magnético el momento no se puede determinar y la reconstrucción se realiza solamente cuando la determinación de la dirección de la traza sea útil para la identificación del suceso.

d) Trazas que no proceden de vértices de LEBC.

Algunas trazas reconstruidas en el espectrómetro proceden de interacciones secundarias o desintegraciones fuera del volumen visible de la cámara de burbujas. Estas trazas también se reconstruyen porque pueden influenciar la interpretación de los datos de los detectores de fotones (IGD y FGD). Esta reconstrucción se realiza en un programa especial.

Todos los impactos que pueden ser reconstruidos en cada cámara (con criterios flexibles en la posible dirección de la traza y con al menos dos hilos no "usados") se tienen en cuenta en el proceso. Se forman segmentos de traza y se extrapolan al IGD y FGD. Como estos cálculos se hacen con grandes tolerancias, se encuentran muchos candidatos que pueden ser reducidos al tener en cuenta los datos geométricos de ISIS para vetarlos o confirmarlos.

El programa que realiza esta reconstrucción se denomina GEOM27 y al igual que GEONBC ha sido desarrollado específicamente para el experimento NA27.

3.6 EFICACIAS DE RECONSTRUCCION

El análisis de procesos inclusivos, cuya discusión física se hará en función de las distribuciones derivadas en el capítulo 5, se basa en los resultados obtenidos por el programa GEONBC que, como se ha señalado, utiliza sólo parcialmente la información registrada en LEBC-EHS.

Un estudio destinado a justificar la validez de la muestra generada a partir de GEONBC ha sido realizado utilizando los datos del rollo 190 que contiene información fotográfica sobre 4765 triggers. Este estudio es necesario debido a que GEONBC asume que las trazas reconstruidas por el espectrómetro tienen su origen en el vértice principal de la interacción reconstruido a partir de la medida de las fotografías de LEBC. Esta simplificación ignora que, aun en el caso de restringirse a sucesos que en el escrutinio no revelan la existencia de actividades secundarias, algunas de las trazas detectadas en el espectrómetro pueden originarse como interacciones secundarias producidas fundamentalmente en la ventana de salida de LEBC o como productos de desintegración de partículas fuera de la región fiducial de LEBC. A esta limitación debe añadirse el hecho de que la optimización de la eficiencia de los algoritmos de reconstrucción implementados en GEONBC implica procesar interacciones con un número limitado de impactos en las cámaras W2 y de deriva. En caso contrario GEONBC genera un conjunto demasiado numeroso de candidatos de trayectorias que no pueden validarse al no existir el mecanismo de hibridización que, en el caso del tratamiento completo de la información en LEBC, permite asociar trayectorias reconstruidas en el espectrómetro con imágenes de trazas en las dos vistas fotográficas de la cámara de burbujas y utilizar las no asociadas para reconstrucción de desintegraciones de partículas neutras en dos partículas cargadas o clasificarlas como no originadas en los vértices secundarios medidos en LEBC.

El resumen de los resultados del escrutinio para el rollo 190 se presenta en la tabla 3.5. Sobre un total de 1744 interacciones primarias en hidrógeno, 199 poseen actividad(es) secundaria(s) (98 interac-

ciones secundarias y 123 desintegraciones). La multiplicidad media cargada de la interacción principal es de 9.9 trazas/interacción. Los cortes derivados del número limitado de impactos en W2 y D1-D3 reducen esta muestra a 1328 interacciones en hidrogeno (76 %). La exclusión de actividades secundarias reduce la muestra procesada por GEONBC a 1265 sucesos lo que implica que estos criterios de selección aceptan el 82 % de las interacciones primarias que en la cámara de burbujas no exhiben interacciones secundarias o desintegraciones. Para esta muestra la multiplicidad media es de 9.7 trazas cargadas/interacción. En la figura 3.2 se presentan las distribuciones de multiplicidad para las muestras de 1545 (1744-199) y 1265 interacciones. De su observación se deduce que los cortes definiendo la muestra procesada en GEONBC no sesgan estas distribuciones.

Para profundizar en el estudio relacionado con la validez de GEONBC hemos utilizado las siguientes muestras de sucesos.

Muestra A. Formada por los 1265 sucesos del rollo 190 que se ha descrito anteriormente.

Muestra B. Formada por 103 sucesos del rollo 190 que poseen medida completa de la información fotografiada en LEBC y que incluyen desintegraciones.

Muestra C. Formada por 2379 sucesos del experimento NA27 que poseen medida completa de la información en LEBC y que incluyen desintegraciones de partículas extrañas y con encanto.

Muestra D. Formada por 127 sucesos del experimento NA27 totalmente procesados y que constituyen la muestra de sucesos con desintegraciones de partículas con encanto.

Para estas 4 muestras se ha medido:

1. El número de trazas cargadas por interacción originadas en el vertice principal (n_1)
2. El número de trazas cargadas por interacción originadas en el vertice principal y dentro de la aceptación del espectrómetro. La aceptación, restringida por el marco de la cámara proporcional inclinada PIC y la apertura del iman M1, se define cuantitativamente por un cono de 100 mrad. con respecto a la línea del haz. En el plano de curvatura las trazas en el rango 100-200 mrad. se detectan con eficacia reducida (n_2).
3. El número de trazas cargadas por interacción originadas en el vertice principal y para las que existe una medida del momento. En el caso de sucesos medidos en la cámara de burbujas estas son las trazas hibridizadas (n_3).
4. El número de trazas considerado en 3 en la región de la aceptación geométrica estrictamente definida en 2 (100 mrad.) (n_4).
5. El número de trazas considerado en 3 en la región cinemática definida por $X > 0$ (n_5).

Estas cantidades se muestran en las tablas 3.6 y 3.7 y permiten calcular las eficacias de reconstrucción e hibridización que, para distintas muestras, aparecen en la tabla 3.8. La inspección de estas tablas indica que la eficacia de reconstrucción de trazas obtenida por el programa GEONOBBC es comparable a la que proporciona el tratamiento completo incluido en GEOM27. Esto se debe a que el número de trazas generadas por interacciones secundarias en la ventana de salida de LEBC o en los contadores de centelleo del trigger es pequeño (del orden del 2%), el número de desintegraciones que tienen lugar fuera del volumen fiducial es reducido (del orden del 5%) y a que el espectrómetro es capaz de reconstruir esencialmente todas las trazas producidas en el vertice principal de la interacción.

Con objeto de comprobar que la muestra de trazas generadas en

GEONOB no tiene distribuciones de impulsiones sesgadas hemos comparado en la figura 3.3 la distribución en la variable X para las muestras A y C. La observación de los correspondientes histogramas no revela diferencias significativas.

3.7 ACEPTANCIA DEL ESPECTROMETRO (ISIS)

Como ya hemos indicado el propósito de este trabajo es estudiar las propiedades inclusivas de producción de piones, kaones, protones y antiprotones. La identificación de partículas secundarias cargadas se basa en la información suministrada por el detector ISIS que tiene una sección transversal de $4 \times 2 \text{ m}^2$, longitud fiducial de 5.12 m. y cuyo centro está situado a 10.7 m. del centro de la cámara de burbujas LEBC, origen del sistema de referencia LEBC-EHS.

Las dimensiones de ISIS y su disposición en el espectrómetro limitan la aceptación geométrica. Utilizando los sucesos discutidos en el apartado anterior se ha comprobado que todos los kaones y protones producidos con $X > 0$ y momento transversal $P_T < 2 \text{ GeV}/c$ están contenidos dentro del volumen fiducial de ISIS. El criterio adoptado es que la partícula esté en la región del campo eléctrico de ISIS ($4 \times 2 \text{ m}^2$) cuando atraviese el punto medio de ISIS (10.7 m.). Estos resultados se han chequeado simulando trayectorias en el dispositivo experimental con distintos valores del momento y del ángulo de producción. Para trazas generadas de esta forma en la región $X > 0$ y $P_T < 2 \text{ GeV}/c$ se muestra en la figura 3.4 la distribución de impactos en el plano central de ISIS. La aparente asimetría entre partículas positivas y negativas se debe a que el plano de hilos anódicos de ISIS está situado 15 cm. por encima de la línea de haz. Para piones, la región $0.005 < X < 1.0$ tiene aceptación del 100 %. Las pérdidas en la región $0.0 < X < 0.005$ son del 2.7 % para π^- y del 9.4 % para π^+ . Los factores de corrección correspondientes se han calculado y aplicado a las distribuciones que se presentarán en el capítulo 5.

Debido a que la motivación del experimento NA27 era el estudio de las propiedades de partículas con encanto la adquisición de datos, se realizó con un trigger de interacción o "minimum bias" que requiere más de dos impactos en cada una de las cámaras de hilo W0 y W1 posicionadas inmediatamente después de la cámara de burbujas LEBC. Debido a la multiplicidad media cargada de las desintegraciones de partículas con encanto (2.2 ± 0.3 para D^\pm , 1.4 ± 0.2 para D^0 [3.6]) la eficacia del trigger para este tipo de procesos tiene un valor elevado: $98^{+2}_{-3}\%$. Sin embargo para procesos de baja multiplicidad la eficacia es sensiblemente inferior al 100 %. En la figura 3.5 se presenta la distribución de multiplicidades de trazas cargadas producidas en el vértice primario de la interacción derivada a partir de los datos del escrutinio, junto con los datos obtenidos en un experimento de $\pi^- p$ a 360 GeV/c que no utiliza ningún tipo de trigger [3.7]. Las distribuciones se han normalizado entre sí para $n > 10$. En la tabla 3.9 se dan las eficacias del trigger para las diferentes multiplicidades cargadas. Estas eficacias se utilizan como factores correctores en las distribuciones experimentales que se discutirán en el capítulo 5.

3.8 EFICACIA DE IDENTIFICACION DE PARTICULAS

La eficacia de reconstrucción de trazas en el espectrómetro no depende sensiblemente de los valores de las variables cinemáticas X y P_T para trayectorias dentro del volumen fiducial de ISIS. La calidad de las medidas de ionización proporcionadas por ISIS es igualmente independiente de X y P_T excepto para trazas atravesando la denominada región de haz. Esta región está definida en el plano de entrada de ISIS como una banda vertical de 4 cm. de anchura perpendicular a la dirección del haz y centrada en este. El perfil del haz en el plano perpendicular a la dirección de este tiene dimensiones ~ 50 mm (vertical) y ~ 2 mm (horizontal), medidas a nivel de la posición de LEBC. Debido al efecto de acumulación local de carga espacial, la identificación de las trayectorias que atraviesan esta región no es fidedigna. En la figura 3.4 se observa la forma de esta zona. Para recuperar las pérdidas asociadas con esta banda, se ha duplicado la contabilidad de las trazas

que atraviesan una banda horizontal de 4 cm. de anchura perpendicular a la afectada por problemas de carga espacial (equivalente a una rotación de $\pi/2$ de la región del haz). Por este procedimiento se obtiene una muestra cuya distribución azimutal es isotropica en el vértice primario (el ángulo azimutal está definido en el plano perpendicular a la dirección del haz como el ángulo entre el eje formado por los hilos anódicos de ISIS y una línea uniendo el origen de la traza con las coordenadas del impacto que la trayectoria produciría si no hubiese campo magnético).

Una vez realizada esta corrección aún resta una región central de 4×4 cm². en donde la identificación de partículas es posiblemente incorrecta. Comparando las distribuciones de las variables X y P_T^2 de las trazas reconstruidas en el espectrómetro (el procedimiento de reconstrucción no está afectado por problemas de carga espacial) con las distribuciones derivadas para la muestra de trazas identificadas por ISIS (esto es excluyendo la zona del haz) es posible calcular unos pesos o factores de corrección. En las figuras 3.6 y 3.7 se presentan estas eficacias de identificación en función de X y P_T^2 para trazas positivas y negativas. La tabla 3.10 resume los valores encontrados. Se observa que las eficacias son independientes de P_T^2 y X para trazas negativas y de P_T^2 para trazas positivas. Para trazas positivas la eficacia decrece para $X > 0.6$. Las eficacias medias son del 82 % y 86 % para trazas negativas y positivas respectivamente. Todas las distribuciones presentadas en el capítulo 5 están corregidas por estos factores. El peso medio total, incluyendo influencias de ISIS, aceptación geométrica y eficiencia del trigger en la región $X > 0$ y $P_T < 2$ GeV/c es 1.455 para trazas negativas y 1.370 para trazas positivas.

3.9 LA MUESTRA DISPONIBLE

La muestra utilizada para este análisis se basa en 175032 sucesos seleccionados en 127 rollos y corresponde a una sensibilidad estadística de 10.35 ± 0.22 sucesos/ μ barn. El número total de trazas reconstruidas es de 397224 positivas y de 465389 negativas. En la región de X po-

sitivas (calculada utilizando la masa del pion) y excluyendo la región del haz la muestra consiste en 336864 trazas positivas y 414607 trazas negativas. Considerando los pesos discutidos anteriormente y la eficacia de reconstrucción geométrica el equivalente en microbarns resultante es de 0.16 ± 0.03 para trazas positivas y de 0.14 ± 0.02 para trazas negativas.

REFERENCIAS

- [3.1] G. Ciapetti. NA27 Scanning Instructions.
Nota interna. 1982
- [3.2] B. Castaño. Tesis Doctoral. Universidad Complutense
de Madrid. Julio 1985
- [3.3] H. K. Nguyen. CERN/EP/EHS/LEDA 83-8
- [3.4] J. Zoll. Hydra System. CERN PROGRAM LIBRARY
- [3.5] J. Zoll. Patchy System. CERN PROGRAM LIBRARY
- [3.6] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 168B(1986)170
- [3.7] A. Firestone et al., Phys Rev. D14 (1976) 2002

Tabla 3.1

Clasificación de actividades secundarias

D1	2800	V2	7585	X1	428
D2	5033	V3	312	X2	202
D3	255	V4	38	X3	60
D4	2193	V5	192	X4	68
D5	40	V6	195	X5	27
D6	2118	G2	2746	X6	55
D par	9344	V par	7818	X	325
D impar	3095	V impar	504	X impar	513

Tabla 3.2

Desglose de sucesos con multiples actividades secundarias

V2V2,V2G2,G2G2	254
V2D1,G2D1	144
D1D1	22
D3V2,D3G2	14
D3D1	6
V2X,G2X	44
D1X	19
D3X	6
XX	11
V2V2V2	16

Tabla 3.3

Eficacia de escrutinio de actividades secundarias

D impar	0.91 ± 0.04
D par	0.94 ± 0.01
V impar	0.94 ± 0.04
V par	0.97 ± 0.01
G2	0.91 ± 0.04
X	0.82 ± 0.13

Tabla 3.4

Distribucion de multiplicidades

Multiplicidad n	Muestra Total	Muestra con actividad secundaria		
		Total	D impar	V par
2	1.45	1.91	2.04	1.37
4	7.29	5.31	4.13	6.42
6	15.05	11.78	12.23	13.98
8	20.48	17.33	19.66	18.24
10	18.58	18.62	19.78	19.25
12	14.45	15.49	14.47	15.08
14	9.60	11.63	11.01	10.80
16	5.67	7.37	7.08	6.62
18	2.88	4.21	3.22	3.55
20	1.41	2.09	1.93	1.59
22	0.56	1.01	0.87	0.66
24	0.21	0.43	0.31	0.29
26	0.06	0.19	0.18	0.15
Impar	2.31	2.63	3.09	2.00

Tabla 3.5.

Resumen del escrutinio del rollo 190

Número de fotos escrutadas : 4765

Número de fotos con interacción primaria en la zona visible de
LEBC : 1744

Número de fotos con actividad secundaria : 199

Topologia	Num. tot. Interac.	Num. tot. Interac. con act. sec.	Topologia	Num. tot. Interac.	Num. tot. Interac. con act. sec.
B02	22	4	B14	162	23
B03	5	0	B16	113	13
B04	146	14	B18	58	12
B06	274	25	B20	34	8
B08	357	35	B22	7	0
B10	327	43	B24	2	0
B11	1	0	B28	1	0
B12	235	22			

Numero de interacciones secundarias : 98

Numero de desintegraciones :123

Topologia	Numero act. sec.	Topologia	Numero act. sec.
X1	1	D10	4
X3	1	G2	21
D1	26	V2	73
D2	55	V3	1
D3	3	V5	2
D4	20	V7	1
D6	10	V9	1
D8	2		

Tabla 3.6

Contenido en trazas cargadas de las distintas muestras

No. de trazas	Muestra A 1265 suc.	Muestra B 1028 suc.	Muestra C 2379 suc.	Muestra D 127 suc.
n1	12218	1028	22429	1375
n2	8997(*)	757	16306	1004
n3	7392	678	13609	877
n4	7277	677	13561	869
n5	5520	405	8135	484

(*) En este caso, al no disponer de la medida de fotografías, se considera que una traza está dentro de la aceptación si origina impactos en W2 (situado a 4.28 m. de LEBC) en un área sensible de 86 X 86 cm².

Tabla 3.7.

Comparacion de multiplicidades cargadas medias para las distintas muestras definidas en la sección 3.5

Multiplicidad Cargada	Muestra A 1265 suc.	Muestra B 103 suc.	Muestra C 2379 suc.	Muestra D 127 suc.
n1	9.66±0.29	9.98±1.03	9.43±0.20	10.83±1.00
n2	7.11±0.21(*)	7.35±0.77	6.85±0.15	7.90±0.74
n3	5.84±0.18	6.58±0.70	5.72±0.13	6.90±0.66
n4	5.75±0.18	6.57±0.69	5.70±0.13	6.84±0.65
n5	4.36±0.14	3.93±0.43	3.42±0.08	3.81±0.38

(*) En este caso, al no disponer de la medida de fotografías, se considera que una traza está dentro de la aceptación si origina impactos en W2 (situada a 4.28 m. de LEBC) en un area sensible de 86 X 86 cm².

Tabla 3.8

Eficacias de reconstrucción e hibridización

Eficacia %	Muestra A 1265 suc.	Muestra B 103 suc.	Muestra C 2379 suc.	Muestra D 127 suc.
ϵ_1	73.6 \pm 1.0	73.6 \pm 3.5	72.7 \pm 0.7	73.0 \pm 3.0
ϵ_2	80.9 \pm 1.3	89.4 \pm 4.7	83.2 \pm 1.0	86.6 \pm 4.0
ϵ_3	61.3 \pm 1.0	53.5 \pm 3.3	49.9 \pm 0.7	48.2 \pm 2.7

ϵ_1 : porcentaje de trazas en la aceptación

ϵ_2 : porcentaje de trazas en la aceptación y que son reconstruidas

ϵ_3 : porcentaje de trazas en la aceptación y que son reconstruidas con XF>0

Tabla 3.9

Eficacia del trigger para bajas multiplicidades

Multiplicidad	eficacia (%)
2 (inel.)	19±2
4	43±2
6	68±3
8	87±3

Tabla 3.10

Eficacias de identificación de ISIS

XF	Eficacia (%) Positivas	para Trazas Negativas
0.0 - 0.1	86.5	83.7
0.1 - 0.2	84.2	75.2
0.2 - 0.3	83.5	76.8
0.3 - 0.4	83.7	81.6
0.4 - 0.5	82.4	82.2
0.5 - 0.6	80.2	85.6
0.6 - 0.8	72.9	84.4
0.8 - 1.0	61.9	88.3

P ² T	Eficacia (%) para trazas	
	Positivas	Negativas
0.00 - 0.05	85.9	82.5
0.05 - 0.10	86.6	82.4
0.10 - 0.15	86.1	81.7
0.15 - 0.20	87.0	81.5
0.20 - 0.25	86.6	81.5
0.25 - 0.30	85.5	81.2
0.30 - 0.40	85.9	82.0
0.40 - 0.50	86.7	80.7
0.50 - 0.60	84.4	82.2
0.60 - 0.80	83.3	81.8
0.80 - 1.00	83.6	81.1
1.00 - 1.50	83.8	81.7
1.50 - 2.00	83.2	80.0
2.00 - 2.50	84.1	82.3
2.50 - 3.00	84.4	86.2
3.00 - 3.50	74.5	70.1
3.50 - 4.00	77.4	82.2

DESCRIPCIÓN DE FIGURAS

- Fig. 3.1. a,b Distribución de las coordenadas X,Y del vértice principal de interacción.
- Fig. 3.2. a,b Distribución de multiplicidades cargadas en el vértice principal para las muestras escrutadas y procesadas por GEONOB
- Fig. 3.3. a,b Distribución de la variable X^F para las trazas de las muestras A y C respectivamente
- Fig. 3.4 Impactos en el plano medio de ISIS de piones, kaones y protones generados por un método de Monte Carlo
- Fig. 3.5 Distribución de multiplicidades. Comparación con los resultados de [3.7]
- Fig. 3.6. a,b Eficacias de identificación de partículas para trazas negativas y positivas en función de X^F
- Fig. 3.7. a,b Eficacias de identificación de partículas para trazas negativas y positivas en función de P^2_T .

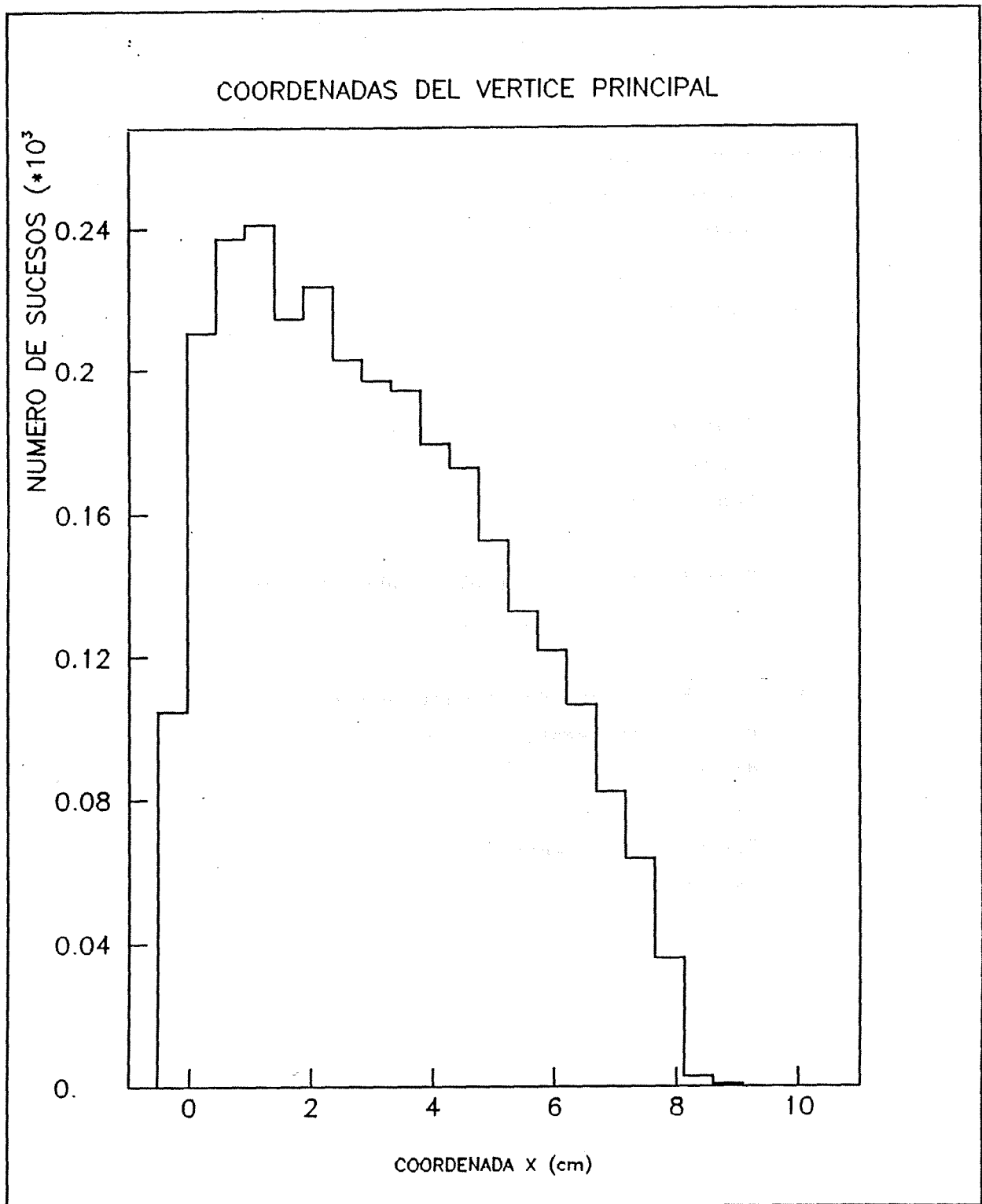


FIG 3.1 (a)

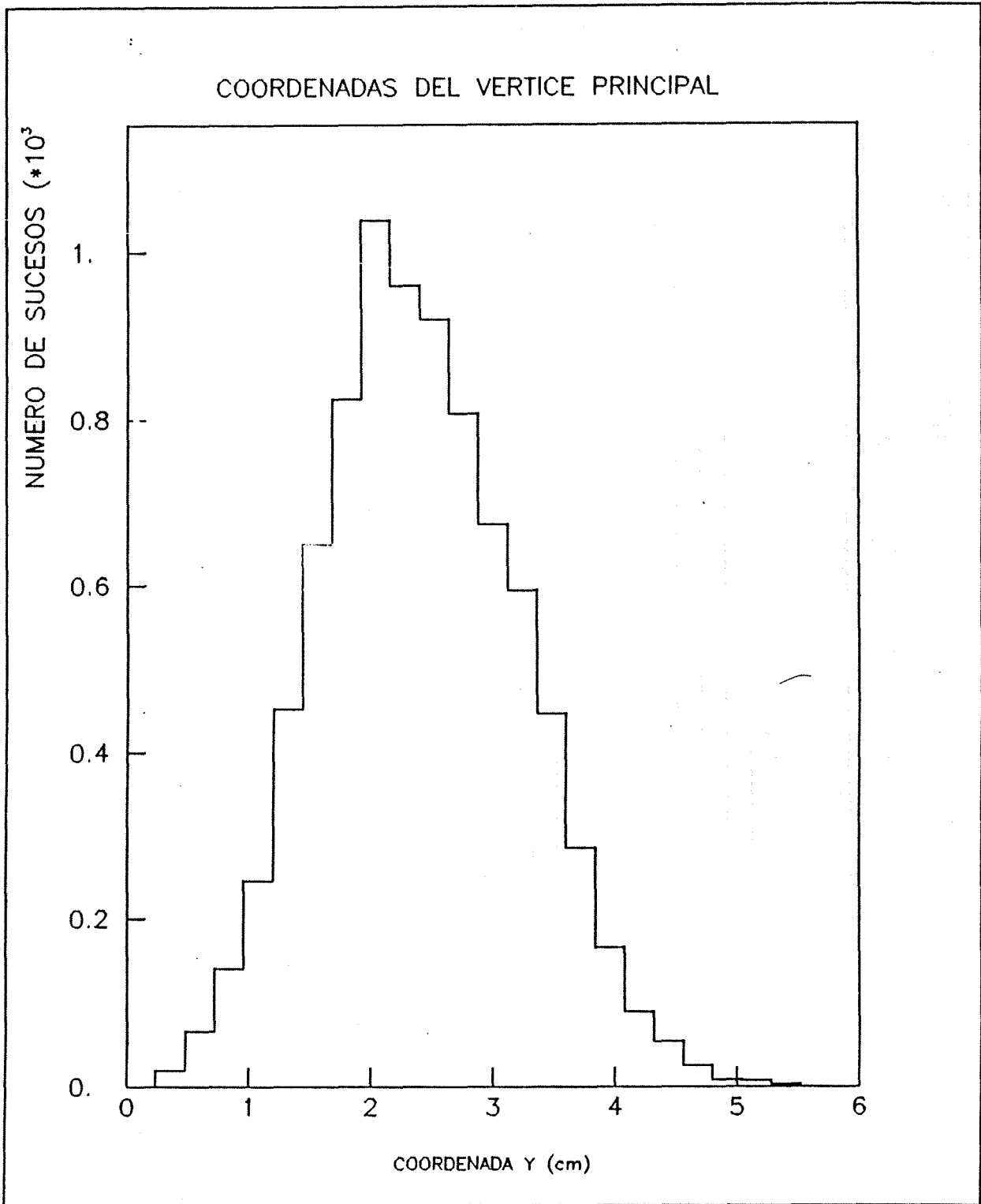


FIG 3.1 (b)

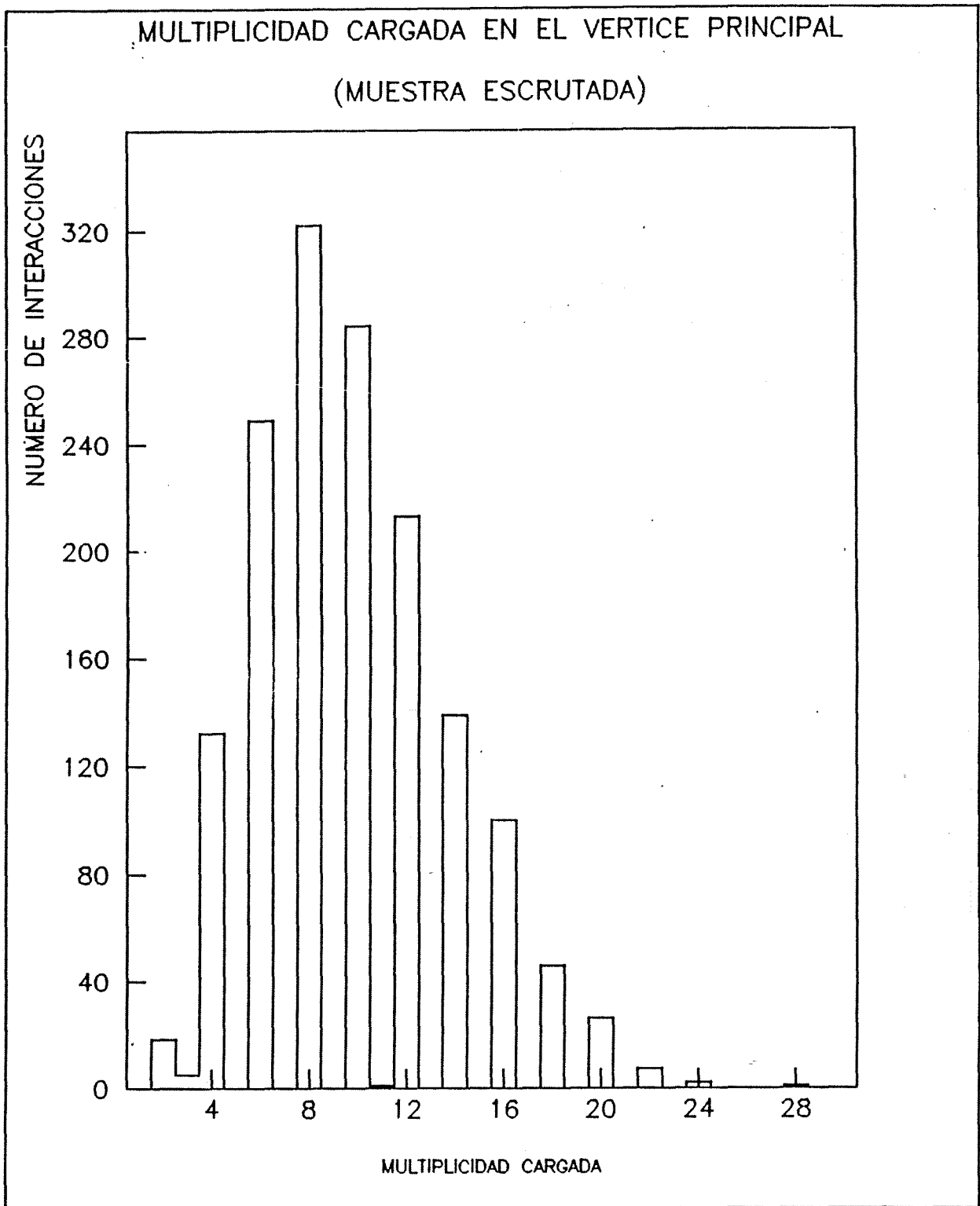


FIG 3.2 (a)

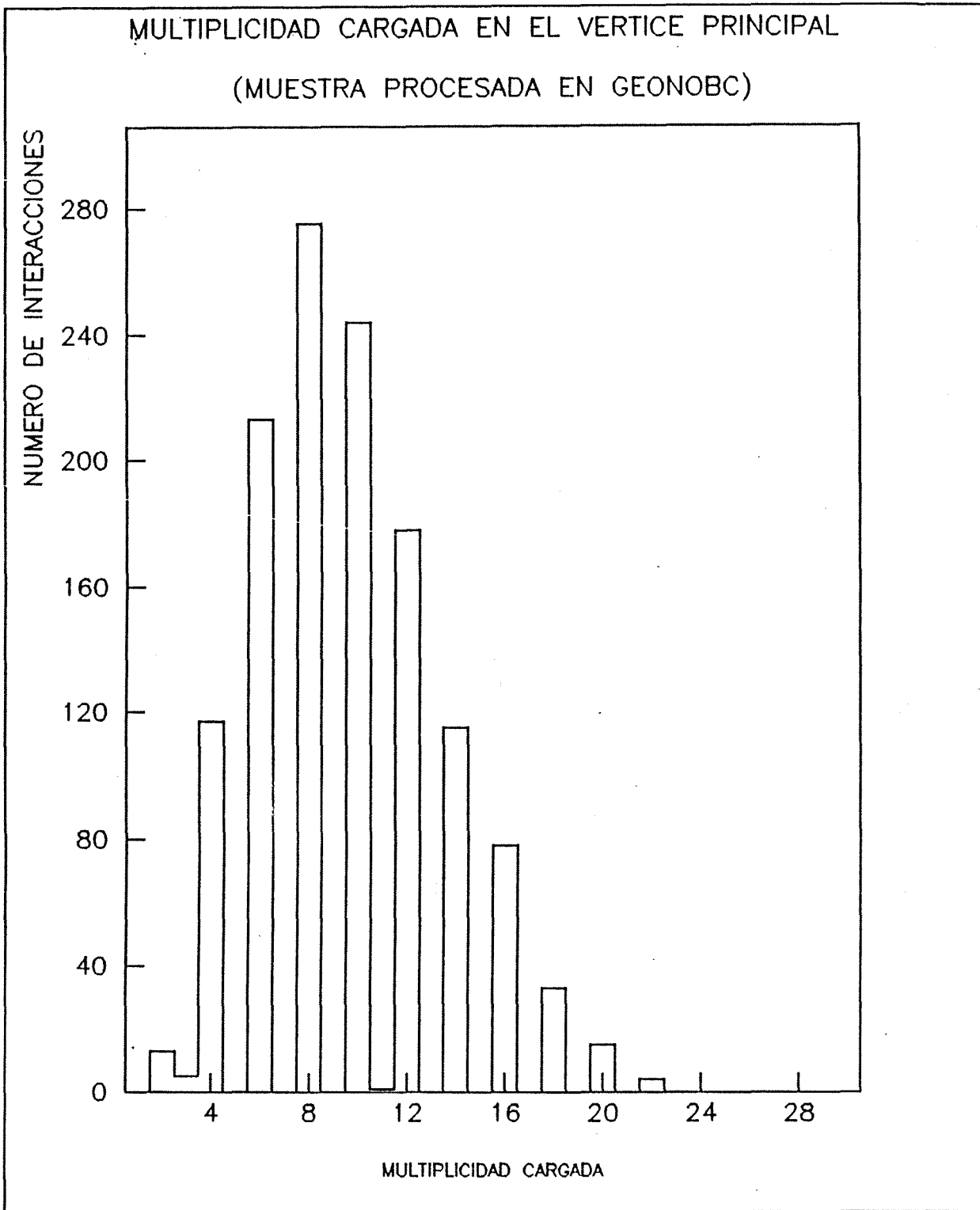


FIG 3.2 (b)

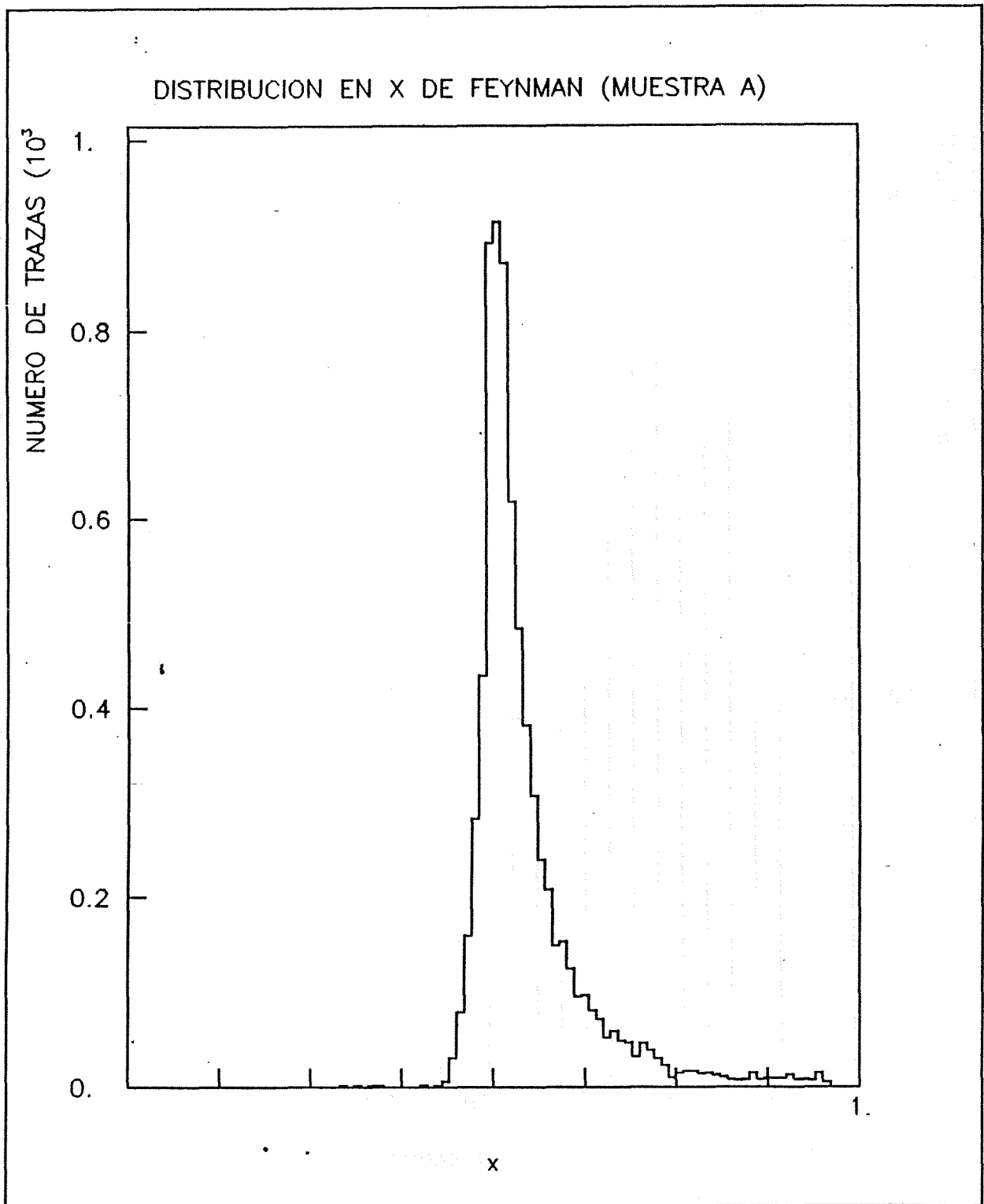


FIG 3.3 (a)

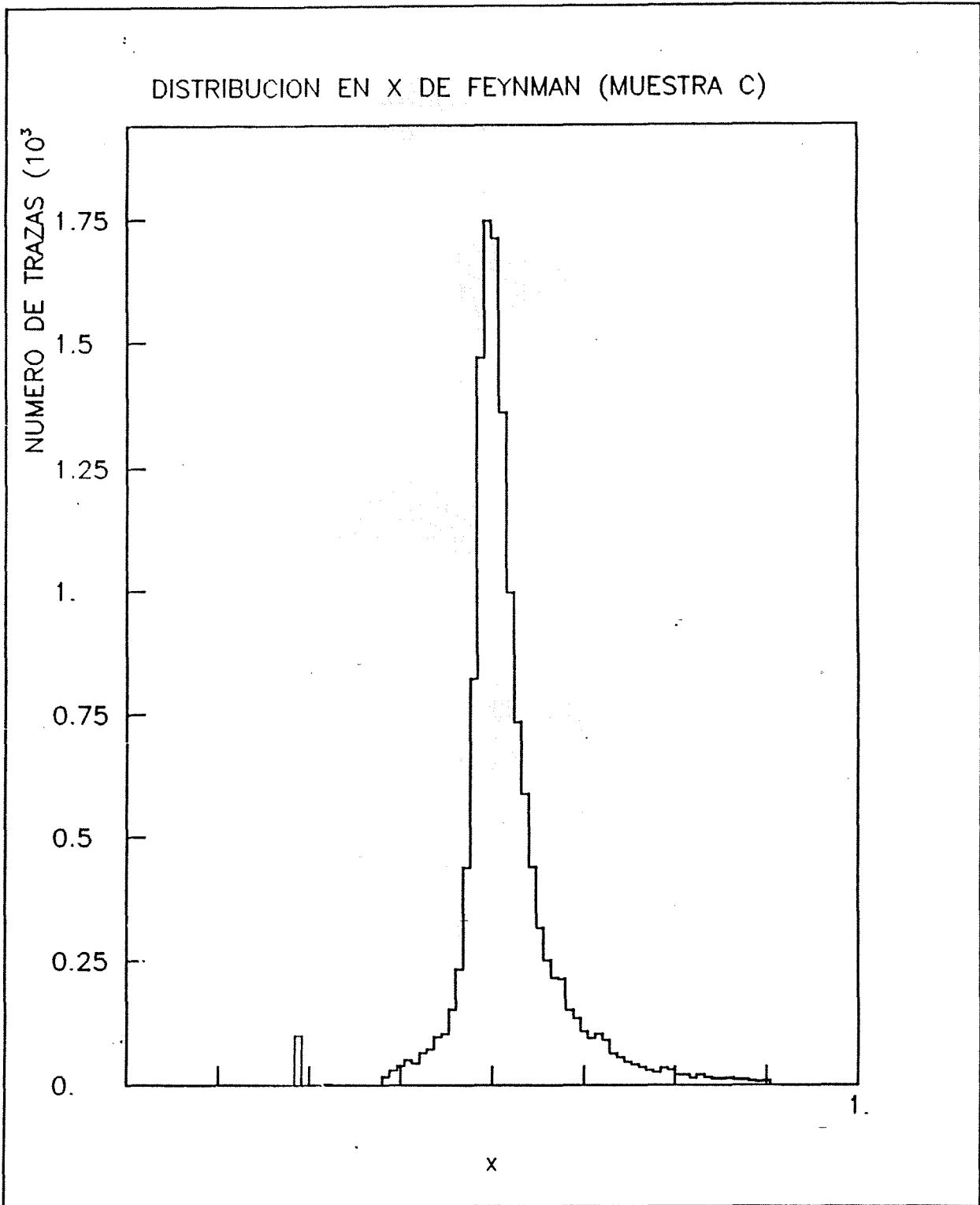


FIG 3.3 (b)

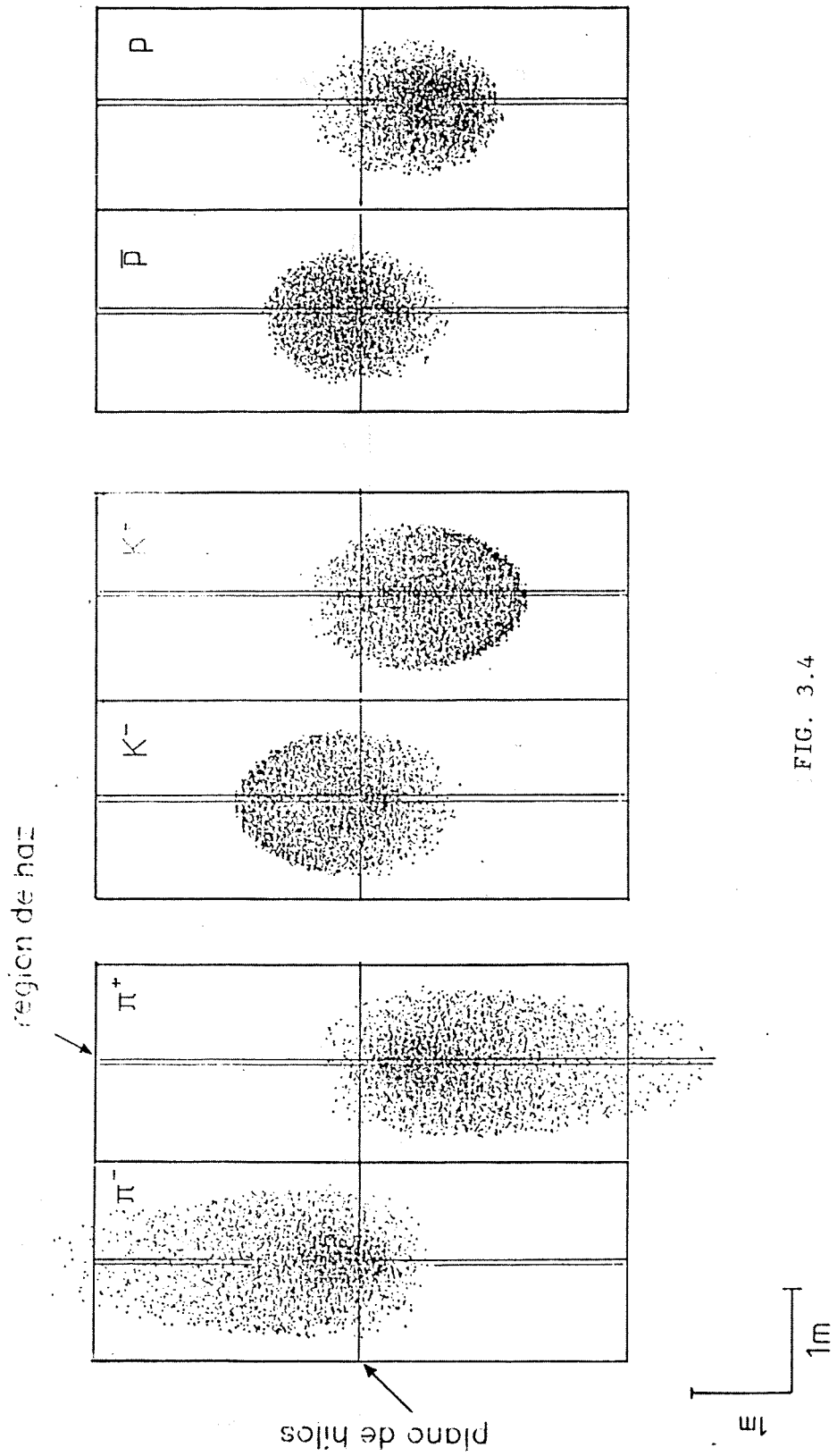


FIG. 3.4

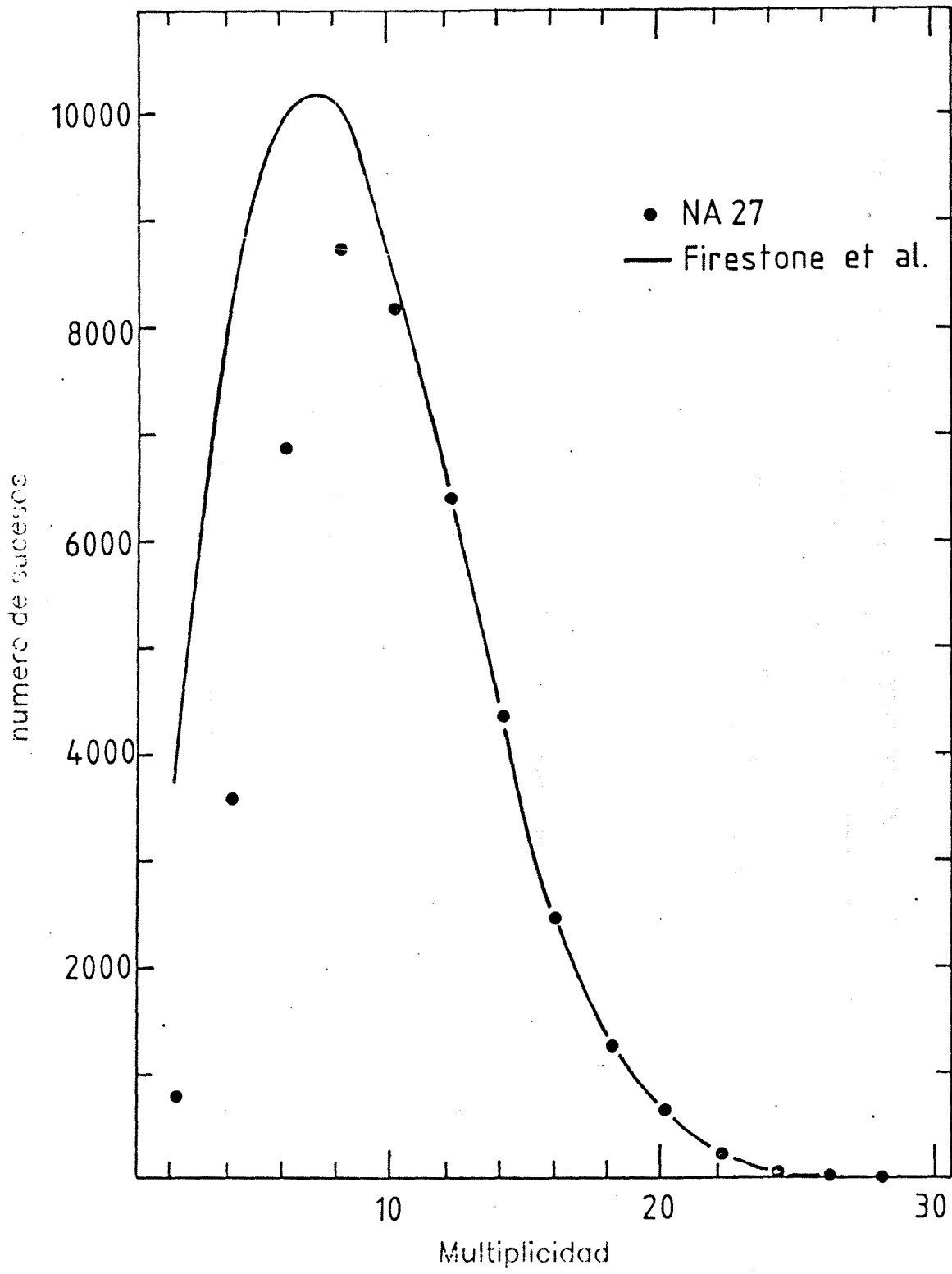


FIG. 3.5

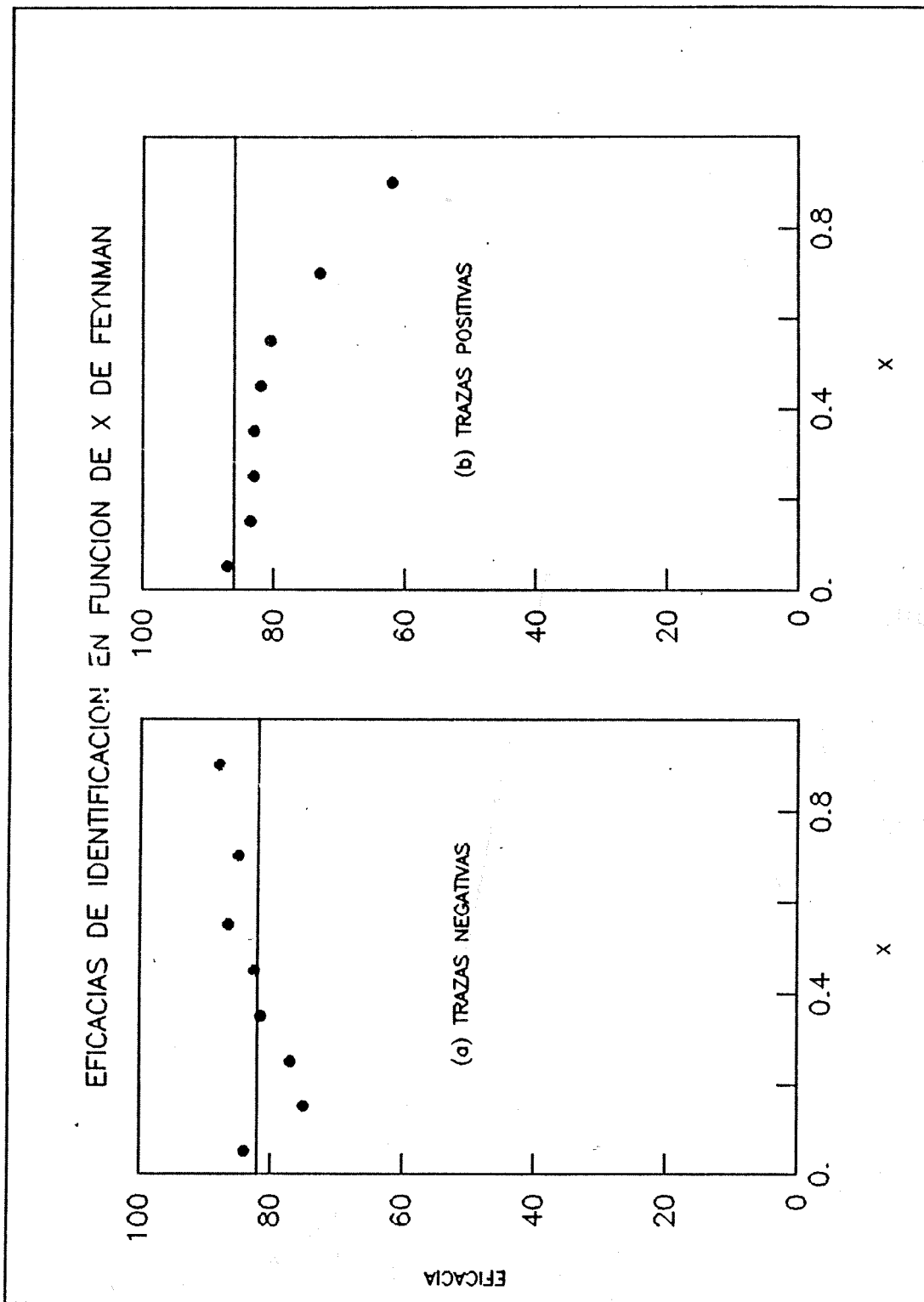


FIG 3.6

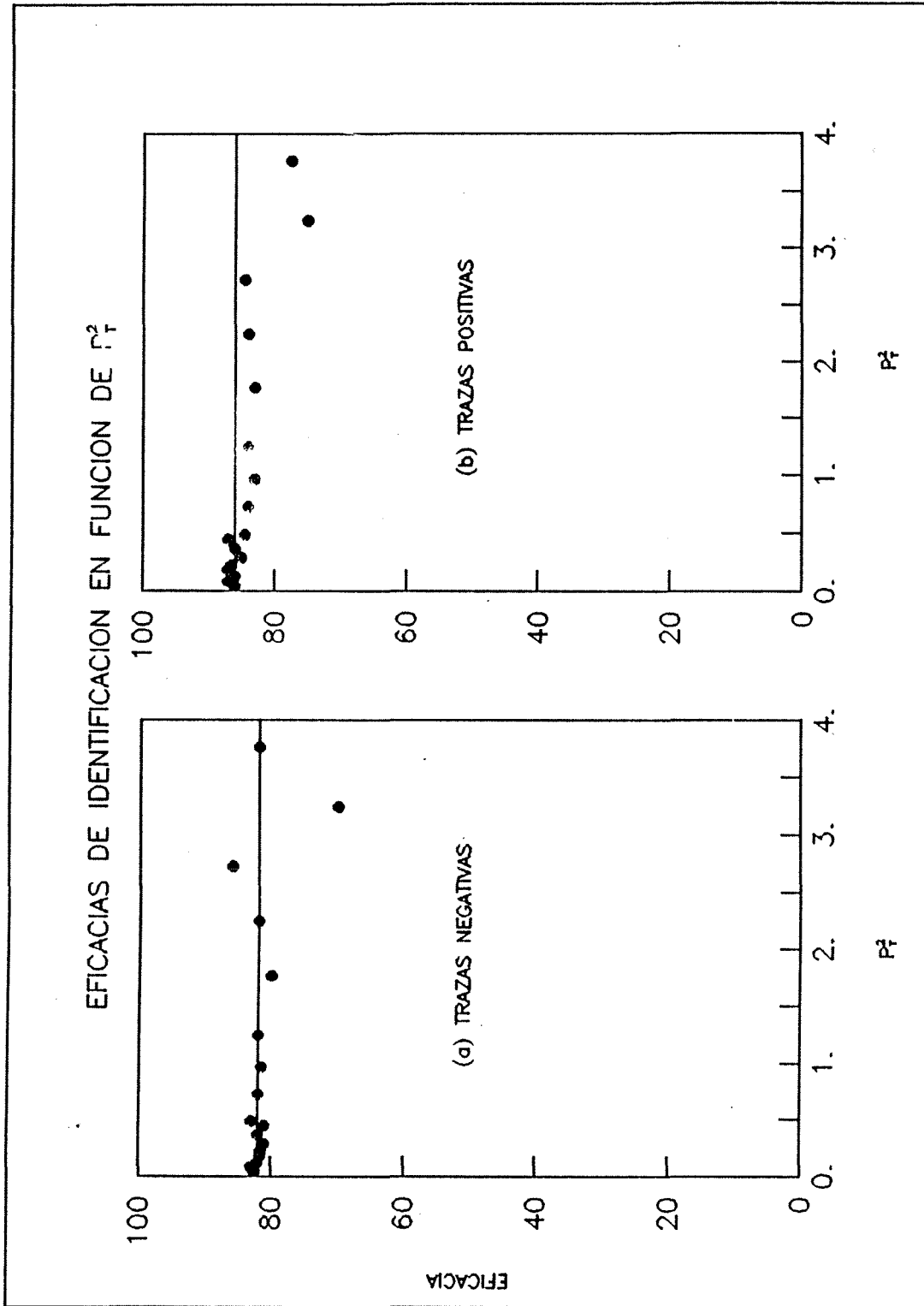


FIG 3.7

Capítulo 4

Separación de Partículas

CAPITULO 4

SEPARACION DE PARTICULAS

4.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En el capítulo anterior hemos descrito el procedimiento seguido para, a partir exclusivamente de la medida del vértice de la interacción principal en la cámara de burbujas LEBC y de la información registrada en las diversas cámaras de hilo y de deriva, reconstruir trayectorias. Para el estudio de las propiedades inclusivas de hadrones cargados, tema objeto de esta memoria, es necesario asignar a cada traza cargada una hipótesis de masa, es decir, identificar la partícula considerada. El procedimiento seguido se basa en la utilización de la información proporcionada por ISIS. Para este estudio no hemos considerado la información registrada en el resto de los detectores del EHS (SAD, FC, TRD, IGD, FGD) que suministran datos sobre la naturaleza de las partículas que los atraviesan.

Como ya se indicó en el capítulo 2 la cámara de burbujas LEBC opera con una frecuencia de ciclaje de 30 Hertz con un haz de intensidad 5×10^4 partículas en un spill de 2 segundos. El potencial ánodo-cátodo en ISIS proporciona un factor de amplificación gaseosa de 10^4 solamente durante los 800 μ s de sensibilidad de la cámara de burbujas. Esta conexión sincronizada del sistema de alto voltaje reduce los efectos nocivos producidos por la acumulación de carga espacial. Después de que se produce un trigger de interacción ISIS continúa aceptando datos durante un periodo adicional de 100 μ s antes de proceder a la digitización y lectura de los tiempos de deriva y amplitud de impulsos (pulse heights). En la figura 4.1 damos, para un suceso que atraviesa el volumen fiducial de ISIS, un diagrama de los tiempos de deriva medidos en cada uno de los 320 hilos o canales electrónicos. Las trazas procedentes de los espacios de deriva superior e inferior aparecen superpuestas. El análisis de los datos registrados por ISIS lo realiza el programa SPIRES [4.1], que lee los datos, reconstruye trazas rectas a través de los puntos en el espacio tiempo de deriva-número de

canal, filtra las regiones de cruce e histograma las amplitudes de los impulsos correspondientes a puntos asociados de manera no ambigua con las trazas. En la figura 4.2 presentamos estos espectros para los segmentos de traza asociados a trayectorias reconstruidas en el espectrómetro.

El procedimiento de extraer a partir de estos histogramas la medida de la ionización está descrito exhaustivamente en [4.2]. Cada histograma se ajusta a una distribución dE/dx empírica (calculada a partir de los espectros conocidos de fotoabsorción de argon y dióxido de carbono) mediante un método de máxima verosimilitud que ajusta un único parámetro, parámetro de escala λ , que es directamente proporcional a la ionización. La estimación de la constante de proporcionalidad se realiza en base a un complicado proceso de calibración. Normalmente la velocidad de deriva, constantes de atenuación y ganancia se determinan para cada periodo de 24 horas (o más frecuentemente si la presión ambiental cambia significativamente). En cada periodo de calibración se ajusta la velocidad de deriva, dentro de un pequeño margen, optimizando así la eficacia en la asociación de segmentos de traza reconstruidos en ISIS con las trayectorias reconstruidas en las restantes cámaras del espectrómetro. Los residuos obtenidos en esta asociación tienen desviaciones típicas del orden de 1.5 mm en posición y 0.4 mrad en ángulo.

Para cada uno de los periodos de calibración se hace necesario utilizar aproximadamente 2000 trayectorias que se analizan para obtener las constantes de calibración que determinan la ionización. En base a estas constantes y a la información específica suministrada por ISIS para las trayectorias individuales, se determina para cada una de estas un valor experimental de la ionización I/I_0 , que se utiliza para determinar una probabilidad estadística a cada una de las posibles asignaciones de masa. El método adoptado es el siguiente. A partir de la medida del momento de la traza en el espectrómetro, de una hipótesis de masa y de la dependencia teórica de la ionización relativa I/I_0 en la variable p/mc (figura 4.3), se obtiene el valor esperado de I/I_0 . Estudios de Monte Carlo muestran que la variable $Z = \ln(I/I_0)$, en lugar de I/I_0 , tiene una distribución normal. El error en Z es función del número de puntos de muestreo y su valor, determinado durante el proceso de calibración, es

$$\Delta Z = \frac{\Delta I}{I} = \frac{0.56}{\sqrt{N}}$$

En base a estas consideraciones puede calcularse un valor para el estimador χ^2 , con un grado de libertad, para cada asignación de masa m

$$\chi^2 = \frac{(Z_h - Z_m)^2}{(\Delta Z)^2}$$

siendo Z_h y Z_m los valores esperados y medidos de la variable Z .

La bondad de la identificación de partículas obtenida por aplicación de este método se ha chequeado utilizando una muestra de 877 trazas reconstruidas y cinemáticamente ajustadas a las desintegraciones de K^0 , Λ y $\bar{\Lambda}$ y conversiones de fotones en la cámara de burbujas LEBC. Solo los ajustes únicos con probabilidad superior al 1% y 3 grados de libertad han sido utilizados para este estudio, proporcionando muestras conocidas de electrones, piones y kaones. Para un subconjunto de estas trazas satisfaciendo unos ciertos criterios de selección (entre los cuales se impone el requisito de tener más de 100 muestras de ionización) presentamos en la figura 4.4 la dependencia del valor medido de I/I_0 en función del momento. En esta figura aparecen las curvas teóricas esperadas para electrones, piones, kaones y protones. Cualitativamente los puntos experimentales siguen las predicciones teóricas ilustrando la bondad del procedimiento empleado.

El método de calibración en el experimento NA27 para definir las constantes de ionización y parametrizar el error en esta cantidad se basa, como se ha mencionado anteriormente, en el estudio de una amplia muestra de trazas para cada uno de los periodos de calibración a partir de la cual se obtiene una submuestra, denominada "golden-pion sample", formada por trazas con momento y error en la ionización tales que I_m/I_π difiera en más de 3.3 desviaciones típicas de los valores esperados para las hipótesis de electrón y kaón pero compatibles dentro de 2.0σ con la predicción para piones. Considerando la dependencia de la ionización con el momento (vease figura 4.3) esta selección implica que las partículas deben tener un momento inferior a 40 GeV/c. Aunque esta limitación es básicamente irrelevante para el estudio de las partículas con encanto, dada la distribución en momento de

los productos de desintegración, tiene importancia para el estudio de las distribuciones inclusivas que presentaremos en el capítulo 5 y que se extienden a valores altos del momento longitudinal. Un estudio detallado de la estadística global de todas las trazas con buena información procedente de ISIS (aproximadamente 250000 trazas positivas y 290000 trazas negativas) ha permitido detectar errores sistemáticos en la determinación del valor más probable de $\ln(I_m/I)$ que alcanzan valores de hasta una desviación típica en la región del haz y en las proximidades del plano de hilos sensibles. Se detectaron estos errores sistemáticos dividiendo el plano medio de ISIS perpendicular al haz (este plano está situado a 985 cm del centro de la cámara de burbujas) en intervalos dobles en las direcciones Y y Z, calculando las coordenadas Y y Z de cada traza con más de 100 muestras en la ionización (los cálculos se hicieron independientemente para trazas positivas y negativas). En cada uno de los intervalos se hizo un histograma de $\ln(I_m/I_n)$ y se observó que, aunque las distribuciones tenían forma gaussiana, sus centros estaban sistemáticamente separados de 0. Para corregir este efecto se recalculó $\ln(I_m/I)$ restándole la cantidad K_{ij} que le separaba de 0 en cada intervalo, de modo que las gaussianas obtenidas después de realizadas estas correcciones resultaron centradas en 0.

Utilizando un procedimiento similar se recalcularon los errores en función del número de muestreos para cada traza en ISIS construyendo histogramas con intervalos conteniendo 10 muestreos cada uno. Se ajustaron gaussianas a las distribuciones resultantes y se tomaron como errores las anchuras de las gaussianas. Ajustando funciones en $1/\sqrt{N}$ a la dependencia de los errores respecto al número de muestreos se concluyó que las relaciones siguientes describen bien los errores

$$\sigma^- = (0.413 + 12.8/N)/\sqrt{N} + 0.005$$

para la parte superior de ISIS (partículas negativas)

$$\sigma^+ = (1.526 - 5.20/\sqrt{N})/\sqrt{N} - 0.039$$

para la parte inferior de ISIS (partículas positivas)

4.2 FORMALISMO DE MAXIMA VEROSIMILITUD

El estudio de las distribuciones inclusivas necesita la determinación del número de partículas del tipo π^\pm , K^\pm , p^\pm en diversos intervalos de las variables cinemáticas de interés (x de Feynman, "rapidity" y momento transverso). Para ello hemos utilizado un método de máxima verosimilitud generalizado ("extended maximum likelihood") [4.3] que proporciona la fracción de partículas de una determinada clase (π^\pm , K^\pm , p^\pm) a partir de la medida de la ionización procedente de ISIS y de los valores teóricos esperados de la misma para cada hipótesis de masa [4.4].

Conocido el momento de una traza, a partir de la ionización medida I_m y de la ionización esperada I_h para una hipótesis de masa h dada, la probabilidad condicional de que esa ionización sea debida a una partícula de esa hipótesis de masa es

$$P(I_m | I_h) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp(-\chi^2_h/2)$$

con

$$\chi^2_h = [\text{Ln}(I_m/I_h)]^2/\sigma^2$$

y (h = e, π , K, p). La probabilidad de producir una ionización I_m , en un determinado intervalo cinemático Ω es, siguiendo el teorema de Bayes,

$$P(m; \Omega) = \sum_h P(I_m | I_h) \times P(h; \Omega)$$

donde $P(h; \Omega)$ es la probabilidad (fracción) de encontrar la hipótesis "h" en Ω .

La función de verosimilitud asociada es

$$L_n = \prod_i \sum_h P(I_m | I_h) \times P(h, \Omega)$$

donde i es un índice que recorre todas las trazas de nuestro experimento.

En esta memoria hemos utilizado una función de verosimilitud extendida que además de la estimación de la fracción de trazas de cada hipótesis nos proporciona una estimación del número total de trazas. Siguiendo las recomendaciones prescritas en [4.3] se ha utilizado este método porque estamos interesados en tener una estimación de los números absolutos de partículas de cada hipótesis además de las relaciones de producción para cuyo cálculo sería suficiente el método de verosimilitud normal. Para ello incluimos el factor

$$\frac{e^{-\Phi} \Phi^N}{N!}$$

que es una distribución de Poisson que describe la probabilidad de obtener una muestra de N trazas cuando en promedio (en varios experimentos) se tienen Φ . La función de verosimilitud resultante es

$$\underline{l}_E = \frac{e^{-\Phi} \Phi^N}{N!} \prod_i \sum_h P(I_m | I_h) \times P(h, \Omega)$$

que se maximiza para obtener las fracciones $P(h, \Omega)$.

Para este tipo de problemas, las estimaciones de los parámetros que se obtienen utilizando una u otra verosimilitud son las mismas, pero los errores resultantes del ajuste son mayores utilizando la función de verosimilitud extendida porque se tiene en cuenta el hecho de que el número total de trazas puede tener variaciones estadísticas de uno a otro experimento.

Para maximizar la función de verosimilitud se ha construido la función

$$\Lambda = -L_n(\underline{l}_E)$$

y se ha calculado su mínimo con respecto a las fracciones de cada una de las partículas. No se han podido utilizar en nuestro caso los procedimientos normales de minimización porque esta función degenera cuando el número de trazas es grande debido a la precisión insuficiente de los ordenadores. Para evitar estos problemas se ha utilizado un programa (EEFIT) cuyas ca-

racterísticas mas importantes son las siguientes:

a) En cada paso, la función Λ se substituye por su desarrollo en serie de Taylor hasta el segundo orden de las derivadas con respecto a los parámetros. Después se utilizan los procedimientos normales de minimización.

b) Λ esta constituido por una suma de componentes Λ_i . Para cada una de estas componentes se calculan las derivadas primeras y segundas. La matriz de derivadas segundas es frecuentemente degenerada debido a las razones mencionadas anteriormente. Para evitar este problema se realiza una transformación lineal que diagonaliza esta matriz.

c) Se calculan todas las derivadas y sus sumas. La matriz resultante es definida positiva ya que las correlaciones entre los nuevos parámetros son pequeñas. En cada paso de la minimización los calculos se realizan en sistemas de coordenadas diferentes.

Como resultado de la minimización se obtiene la fracción $P(h, \Omega)$ de partículas de cada clase contenidas en la región Ω . Utilizando esta fracción como información "a priori", los valores conocidos de $P(I_m | I_h)$ y el teorema de Bayes se calcula para cada traza la probabilidad "a posteriori" de pertenecer a una hipótesis h en la región Ω

$$P(h | m; \Omega) = \frac{P(m | h) \times P(h, \Omega)}{\sum_h P(m | h) \times P(h, \Omega)}$$

Esta probabilidad se ha utilizado como peso para construir las distribuciones en las variables cinemáticas para cada una de las hipótesis.

Antes de procesar el programa que calcula las fracciones de cada clase de partículas se distribuyen las trazas en 40 ficheros, 20 para trazas positivas y 20 para negativas que corresponden a intervalos de P^2_T no equidistantes calculados según la fórmula

$$I = 20 \times (1 - \exp(-3 \times P^2_T)) + 1$$

El programa procesa secuencialmente los 40 ficheros y distribuye las trazas contenidas en cada uno de ellos en 30 intervalos de rapidity y calcula la fracción de cada hipótesis en el intervalo (y, P^2_T) , obteniéndose de este modo 4 tablas independientes que contienen las fracciones $P(h, \Omega)$ con la rapidity calculada para las 4 hipótesis.

Para calcular las secciones eficaces diferenciales en rapidity, X de Feynman y P^2_T que se discutirán en el capítulo 5 se han utilizado las probabilidades $P(h|m; \Omega)$ como se describe a continuación.

Se construyen tres clases de histogramas en cada variable cinemática (x, y, p^2_T) para cada hipótesis. La primera clase contiene todas las trazas detectadas, la segunda las trazas con buena medida de la ionización en ISIS y la tercera estas últimas pesadas con la fracción $P(h|m; \Omega)$ y con el equivalente en μb de la traza. En el caso de los piones y los kaones se incluye un peso adicional

$$\exp(+L/(cT(p/m)))$$

para considerar las desintegraciones de los piones y los kaones en la zona del espectrómetro comprendida entre LEBC y 2/3 de la longitud de ISIS (una traza que atraviesa mas de 2/3 de la longitud de ISIS se supone bien identificada). $L = 1200$ cm es la distancia entre LEBC y 2/3 de la longitud de ISIS, T es la vida media para el pión o kaón y p es el momento de la traza. Para la distribución invariante en x se incluye además otro peso igual al cociente de la energía de la traza en el centro de masas de la interacción y el momento máximo.

La fracción de cada hipótesis se extrae de las tablas obtenidas en el programa anterior. La sección eficaz en un intervalo de la variable v ($v = x, y, p^2_T$) es:

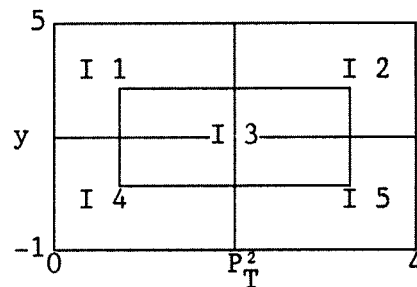
$$\sigma_h = \frac{N_T}{N_I} \times \frac{N_B}{\Delta}$$

donde N_T es el número total de trazas en el intervalo de la variable v , N_I es el número de trazas con buena medida de la ionización en el mismo intervalo, N_B es la suma, para estas mismas trazas, de los pesos descritos anteriormente y Δ es la anchura del intervalo en la variable v . Obsérvese que N_T/N_I es la eficacia de ISIS y que se ha dividido por Δ para obtener la sección eficaz diferencial de modo que la integral de esta última en la variable v sea la sección eficaz total.

4.3 COMPROBACION DEL METODO

El criterio utilizado para comprobar que la separación de hipótesis obtenida por este método es adecuada es la isotropía de las distribuciones de probabilidad para cada hipótesis. Para ello se ha dividido la zona del plano (y, P_T^2) definida por $(-1 < y < 5 ; 0 < P_T^2 < 4)$ en 5 intervalos definidos del modo siguiente

- I 1: $0 < p_T^2 < 2 ; 2 < y < 5$
- I 2: $2 < p_T^2 < 4 ; 2 < y < 5$
- I 3: $1.2 < p_T^2 < 2.8 ; 0.8 < y < 3.2$
- I 4: $0 < p_T^2 < 2 ; -1 < y < 2$
- I 5: $2 < p_T^2 < 4 ; -1 < y < 2$



En cada uno de estos intervalos se ha construido un histograma de la probabilidad (procedente de las medidas de ISIS) para cada hipótesis h con peso $P(h|m;\Omega)$ (probabilidad de que una traza determinada pertenezca a la hipótesis h en la región Ω que ha sido definida en la sección 4.2). En las figuras 4.5 - 4.9 se muestran estas distribuciones para las partículas positivas en los 5 intervalos y en las figuras 4.10 - 4.14 para las partículas negativas. Se observa que en todos los casos las distribuciones son isotrópicas indicando que la separación de hipótesis obtenida utilizando el método de verosimilitud extendida es correcta en toda la zona de (y, p_T^2) que hemos estudiado. En las tablas 4.1 a 4.5 se dan los valores medios de la probabilidad, las desviaciones típicas y el número de hipótesis para cada

hipótesis en las distintas zonas.

En las zonas de alta montaña, donde la temperatura media anual es inferior a 5°C, la vegetación está formada por pastizales de alta montaña y bosques de coníferas. En las zonas de media montaña, donde la temperatura media anual es superior a 5°C y inferior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de media montaña y bosques de coníferas y deciduos. En las zonas de baja montaña, donde la temperatura media anual es superior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de baja montaña y bosques de coníferas y deciduos.

En las zonas de alta montaña, donde la temperatura media anual es inferior a 5°C, la vegetación está formada por pastizales de alta montaña y bosques de coníferas. En las zonas de media montaña, donde la temperatura media anual es superior a 5°C y inferior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de media montaña y bosques de coníferas y deciduos. En las zonas de baja montaña, donde la temperatura media anual es superior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de baja montaña y bosques de coníferas y deciduos.

En las zonas de alta montaña, donde la temperatura media anual es inferior a 5°C, la vegetación está formada por pastizales de alta montaña y bosques de coníferas. En las zonas de media montaña, donde la temperatura media anual es superior a 5°C y inferior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de media montaña y bosques de coníferas y deciduos. En las zonas de baja montaña, donde la temperatura media anual es superior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de baja montaña y bosques de coníferas y deciduos.

En las zonas de alta montaña, donde la temperatura media anual es inferior a 5°C, la vegetación está formada por pastizales de alta montaña y bosques de coníferas. En las zonas de media montaña, donde la temperatura media anual es superior a 5°C y inferior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de media montaña y bosques de coníferas y deciduos. En las zonas de baja montaña, donde la temperatura media anual es superior a 10°C, la vegetación está formada por pastizales de baja montaña y bosques de coníferas y deciduos.

REFERENCIAS

- [4.1] M. Aguilar-Benitez et al., SPIRES, CERN EP PROGRAM LIBRARY,
HYDRA APLICATIONS (1983)
- [4.2] W. W. M. Allison et al., Nuc. Instr. and Meth. 224 (1984) 396
- [4.3] L. Lyons and W. W. M. Allison, Oxford Preprint 41/85
- [4.4] Y. Fisyak et al., CERN /EP 87-137

Tabla 4.1
n° de hipotesis, valores medios de la probabilidad y desviaciones típicas
para la zona 1

Hipótesis	$\langle \text{prob} \rangle$	σ	n° de hipótesis
e^+	0.492	0.287	30
e^-	0.503	0.282	47
π^+	0.437	0.304	680
π^-	0.458	0.300	829
K^+	0.470	0.278	113
K^-	0.417	0.284	88
p	0.521	0.277	94
\bar{p}	0.493	0.290	49

Tabla 4.2

n° de hipotesis, valores medios de la probabilidad y desviaciones típicas para la zona 2

Hipótesis	$\langle \text{prob} \rangle$	σ	n° de hipótesis
e^+	-	-	-
e^-	-	-	-
π^+	0.428	0.309	52
π^-	0.488	0.296	206
K^+	0.463	0.301	4
K^-	0.448	0.287	20
p	0.449	0.250	1
\bar{p}	0.416	0.323	6

Tabla 4.3

n° de hipotesis, valores medios de la probabilidad y desviaciones típicas
para la zona 3

Hipótesis	$\langle \text{prob} \rangle$	σ	n° de hipótesis
e^+	-	-	-
e^-	-	-	-
π^+	0.490	0.289	1278
π^-	0.488	0.286	1888
K^+	0.476	0.297	285
K^-	0.476	0.300	193
p	0.489	0.296	65
\bar{p}	0.503	0.281	118

Tabla 4.4
n° de hipotesis, valores medios de la probabilidad y desviaciones típicas
para la zona 4

Hipótesis	$\langle \text{prob} \rangle$	σ	n° de hipótesis
e^+	0.466	0.297	7230
e^-	0.467	0.296	7530
π^+	0.514	0.287	196655
π^-	0.522	0.286	222496
K^+	0.496	0.290	18588
K^-	0.499	0.289	14192
p	0.514	0.290	12316
\bar{p}	0.516	0.287	8386

Tabla 4.5
n° de hipótesis, valores medios de la probabilidad y desviaciones típicas
para la zona 5

Hipótesis	$\langle \text{prob} \rangle$	σ	n° de hipótesis
e^+	0.455	0.291	1093
e^-	0.424	0.297	126
π^+	0.516	0.286	35316
π^-	0.522	0.285	55553
K^+	0.463	0.288	3044
K^-	0.484	0.290	2824
p	0.483	0.301	395
\bar{p}	0.469	0.292	844

DESCRIPCION DE FIGURAS

- Fig. 4.1. Display de los datos registrados en ISIS para un suceso. Para algunas trazas se superimponen los vectores traza reconstruidos con las cámaras multihilos del espectrómetro.
- Fig. 4.2. Espectros de amplitudes de impulso (pulse heights) para segmentos de traza reconstruidos en ISIS
- Fig. 4.3. Dependencia de la ionización relativa I/I_0 en la variable p/mc . La derivación de la curva teórica y la procedencia de las medidas experimentales se discute en la referencia [4.2].
- Fig. 4.4. Diagrama de la ionización medida en función del momento para trazas cinemáticamente identificadas con más de 100 muestras, Los círculos representan electrones, las cruces piones y los cuadrados protones, las líneas en trazo continuo son las curvas teóricas esperadas para electrones, piones y protones. La curva en trazo discontinuo corresponde a kaones. Los segmentos verticales representan la desviación típica (error) para trazas con 250 puntos.
- Fig. 4.5. Distribución de la probabilidad para partículas positivas en la región I 1.
- Fig. 4.6. Distribución de la probabilidad para partículas positivas en la región I 2.
- Fig. 4.7. Distribución de la probabilidad para partículas positivas en la región I 3.
- Fig. 4.8. Distribución de la probabilidad para partículas positivas en la región I 4.

Fig. 4.9. Distribución de la probabilidad para partículas positivas en la región I 5.

Fig. 4.10. Distribución de la probabilidad para partículas negativas en la región I 1.

Fig. 4.11. Distribución de la probabilidad para partículas negativas en la región I 2.

Fig. 4.12. Distribución de la probabilidad para partículas negativas en la región I 3.

Fig. 4.13. Distribución de la probabilidad para partículas negativas en la región I 4.

Fig. 4.14. Distribución de la probabilidad para partículas negativas en la región I 5.

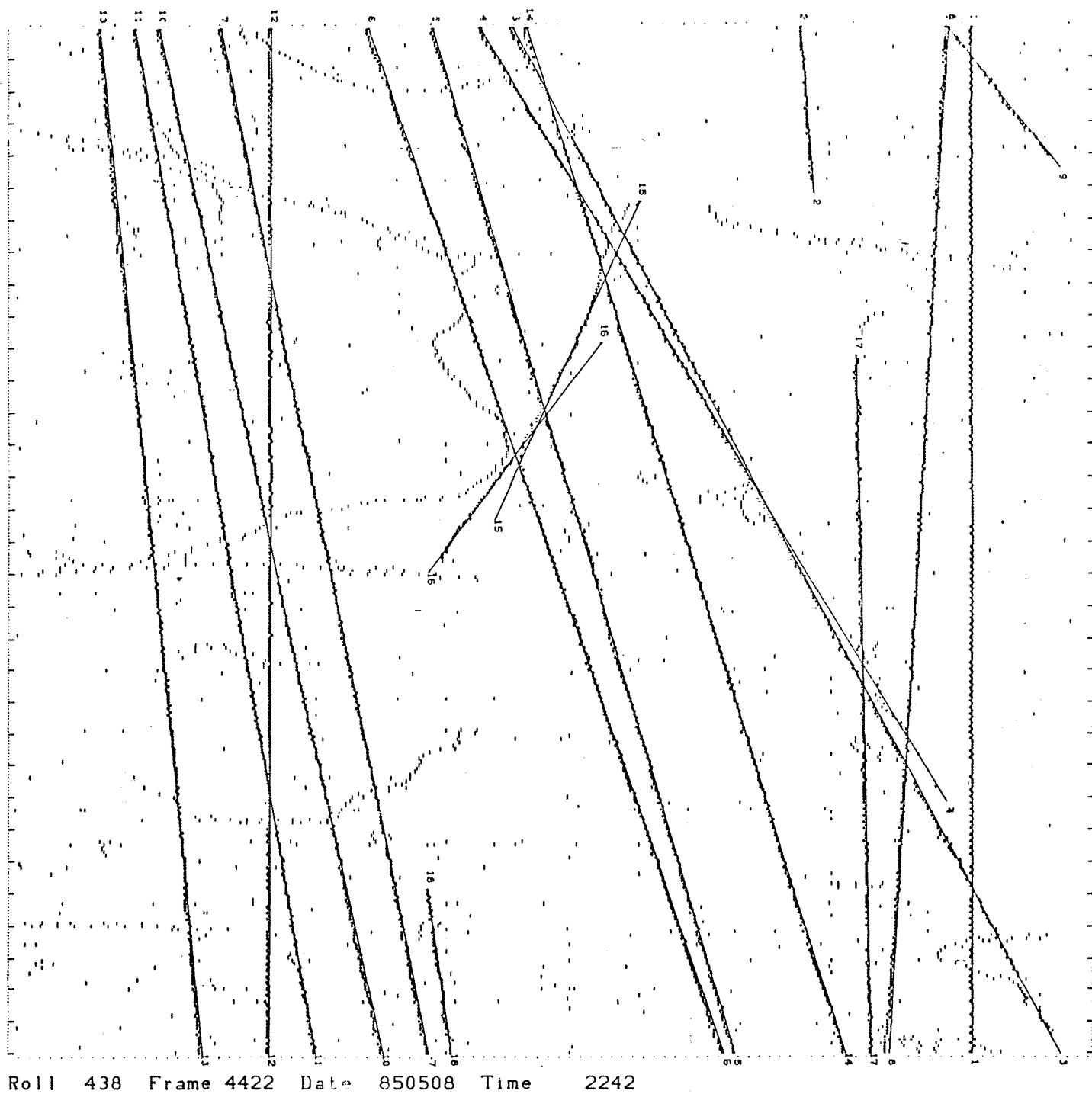


Fig. 4.1

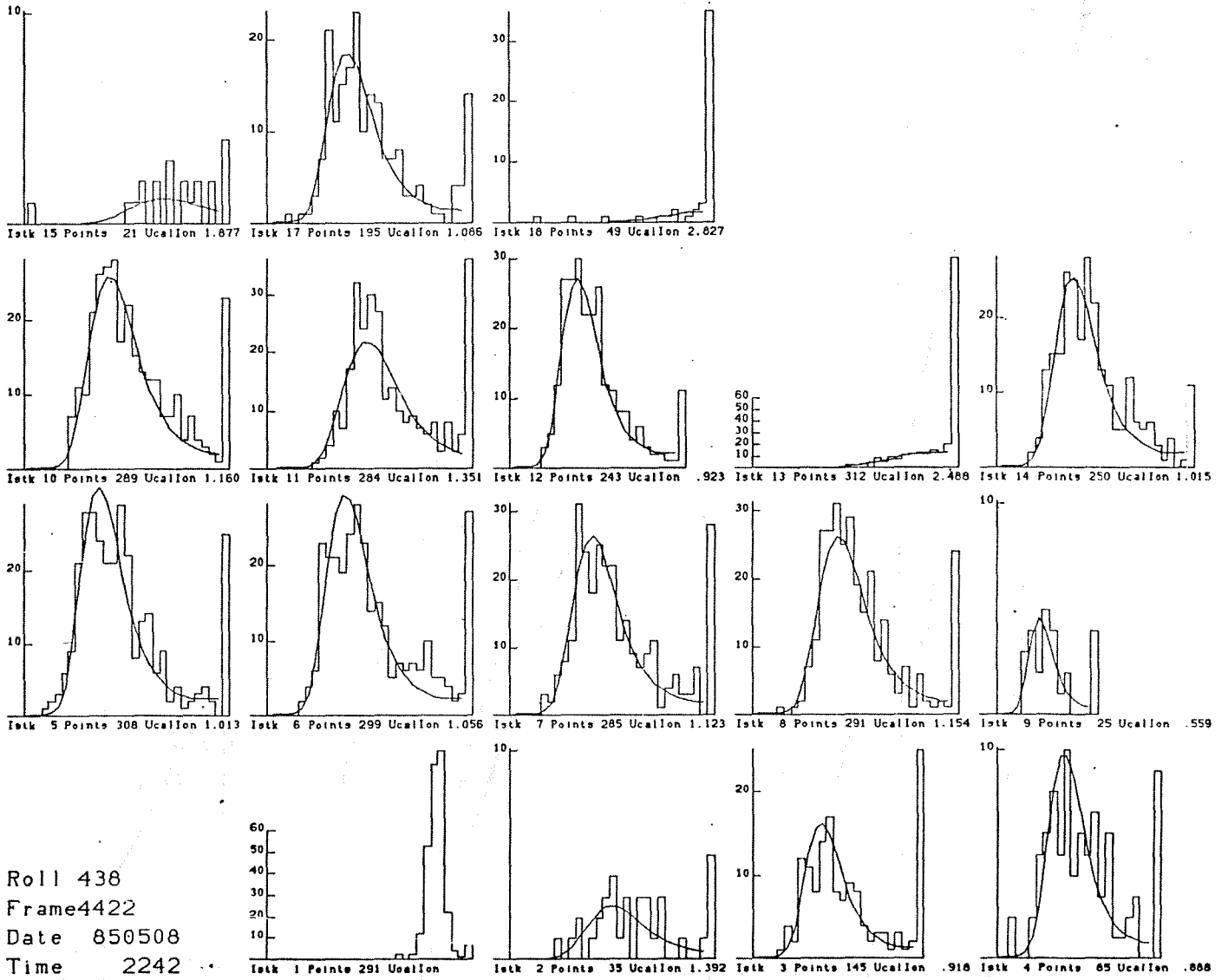


Fig. 4.2

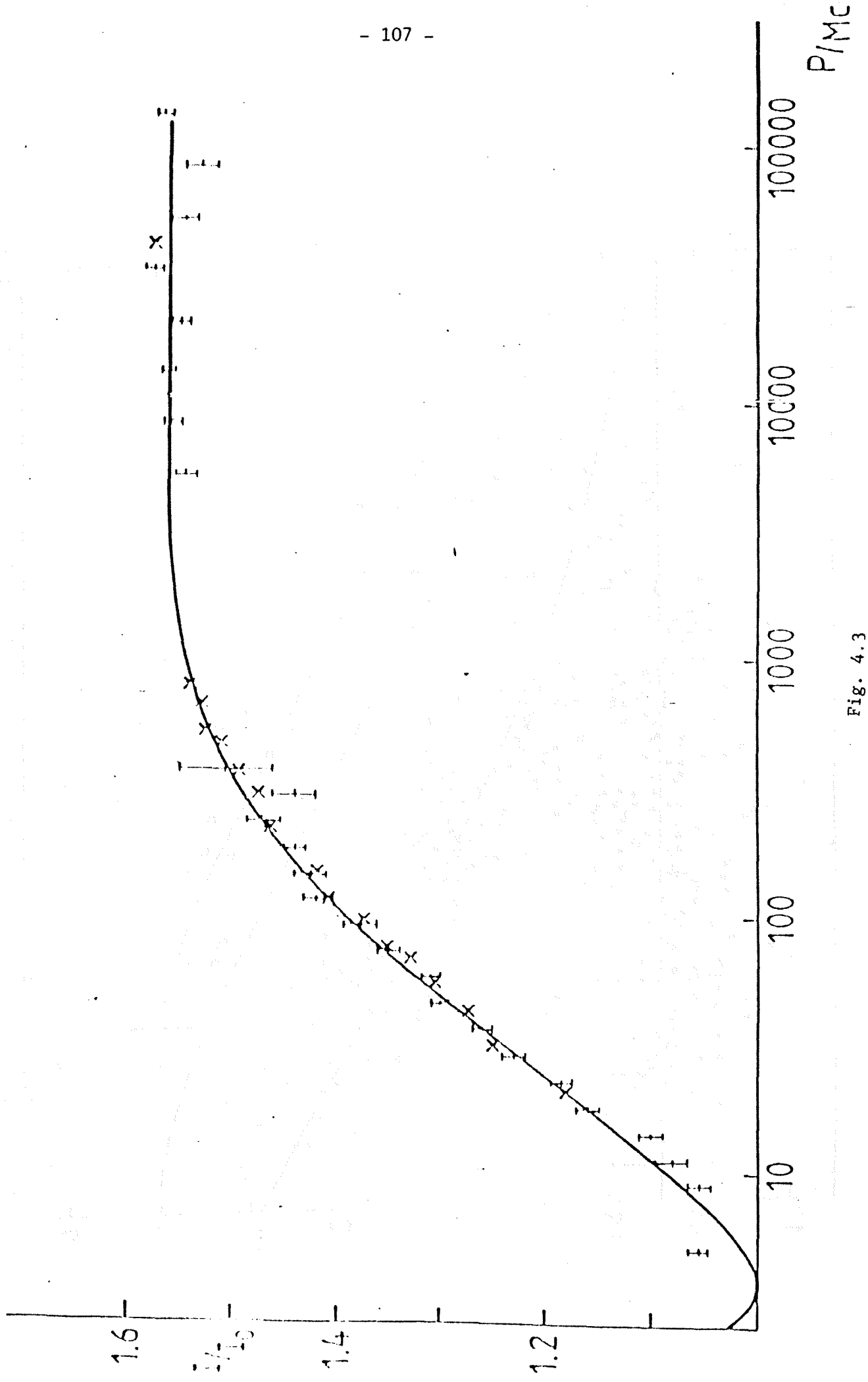


Fig. 4.3

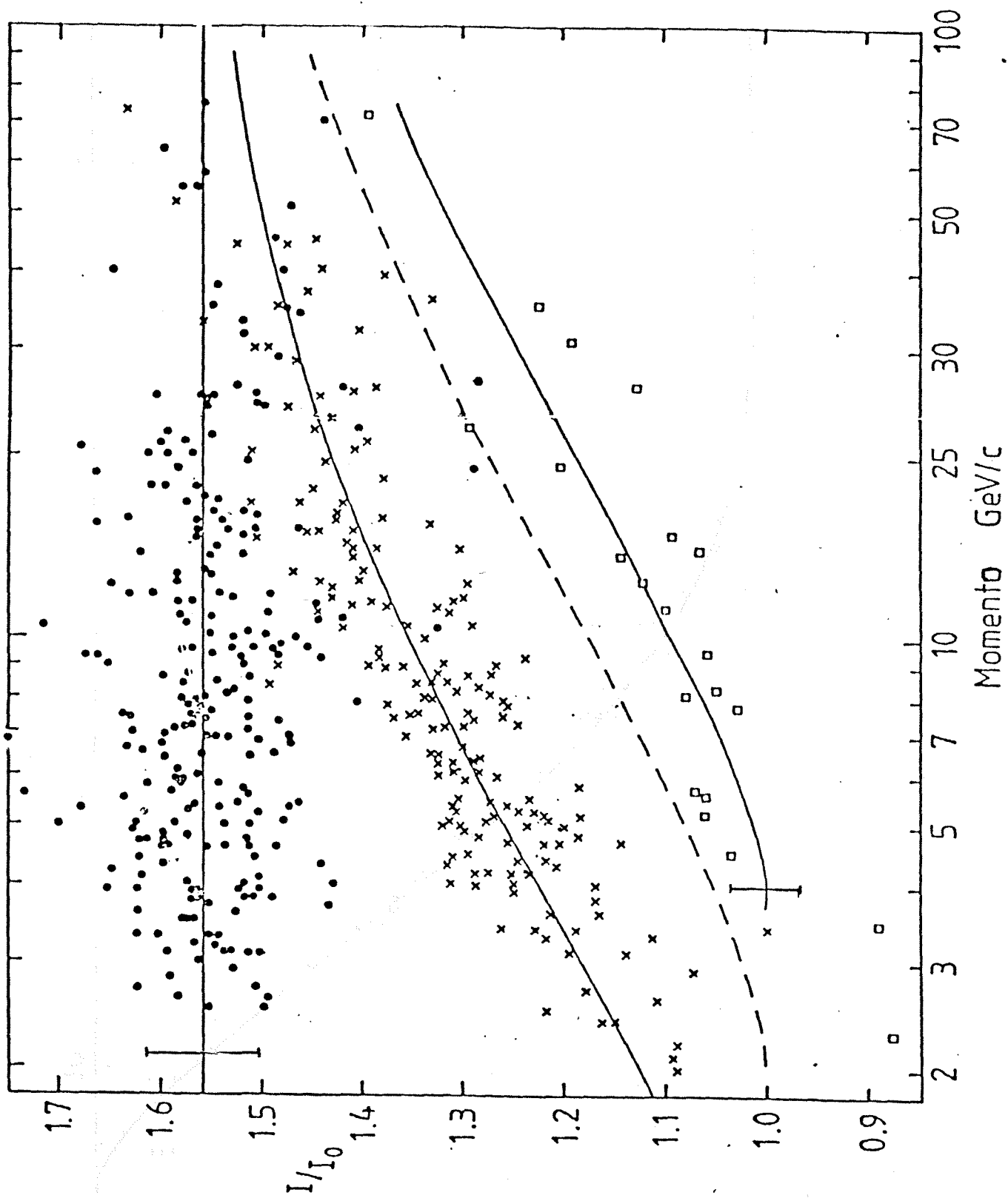


Fig. 4.4

ZONA 1

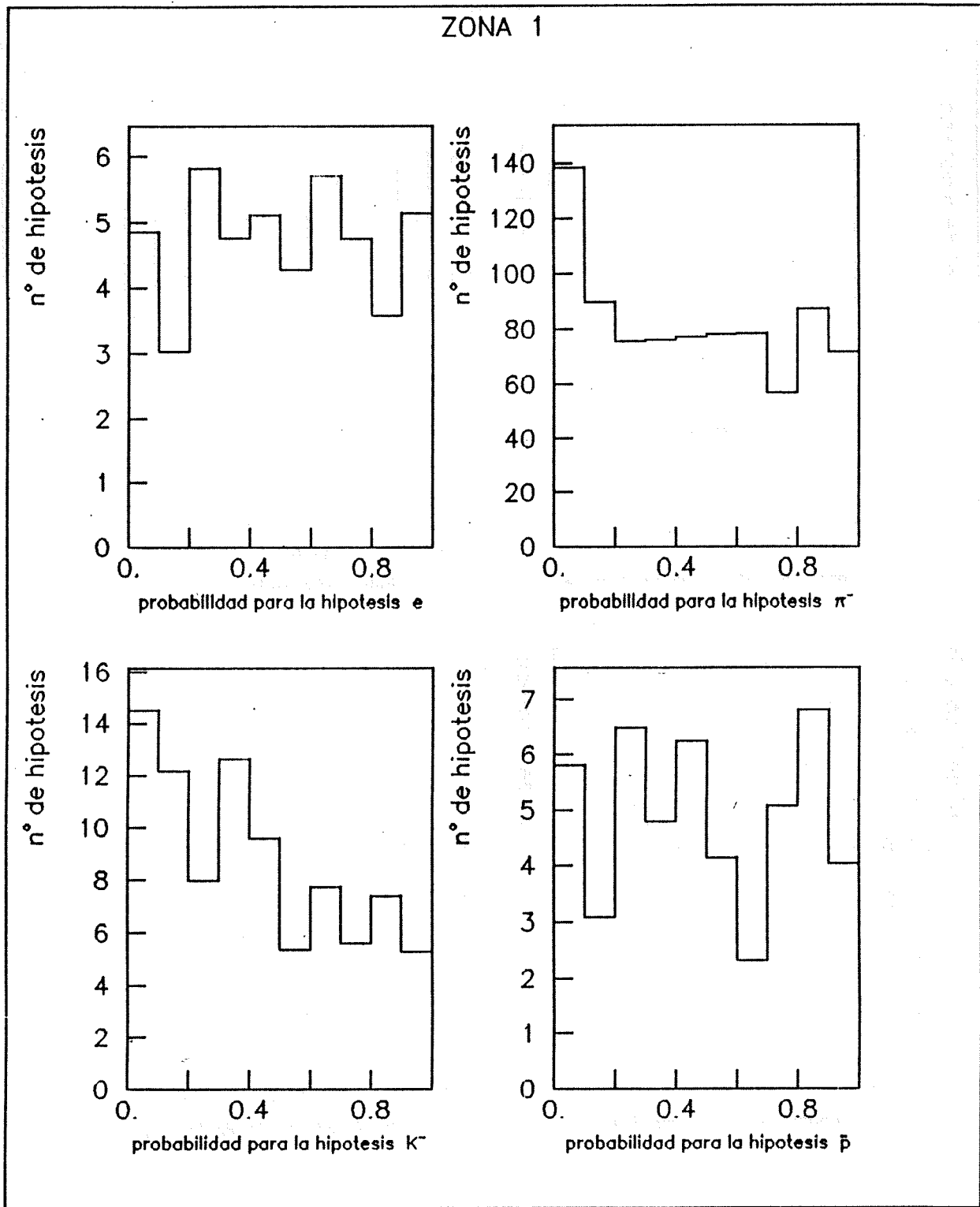


Fig. 4.5

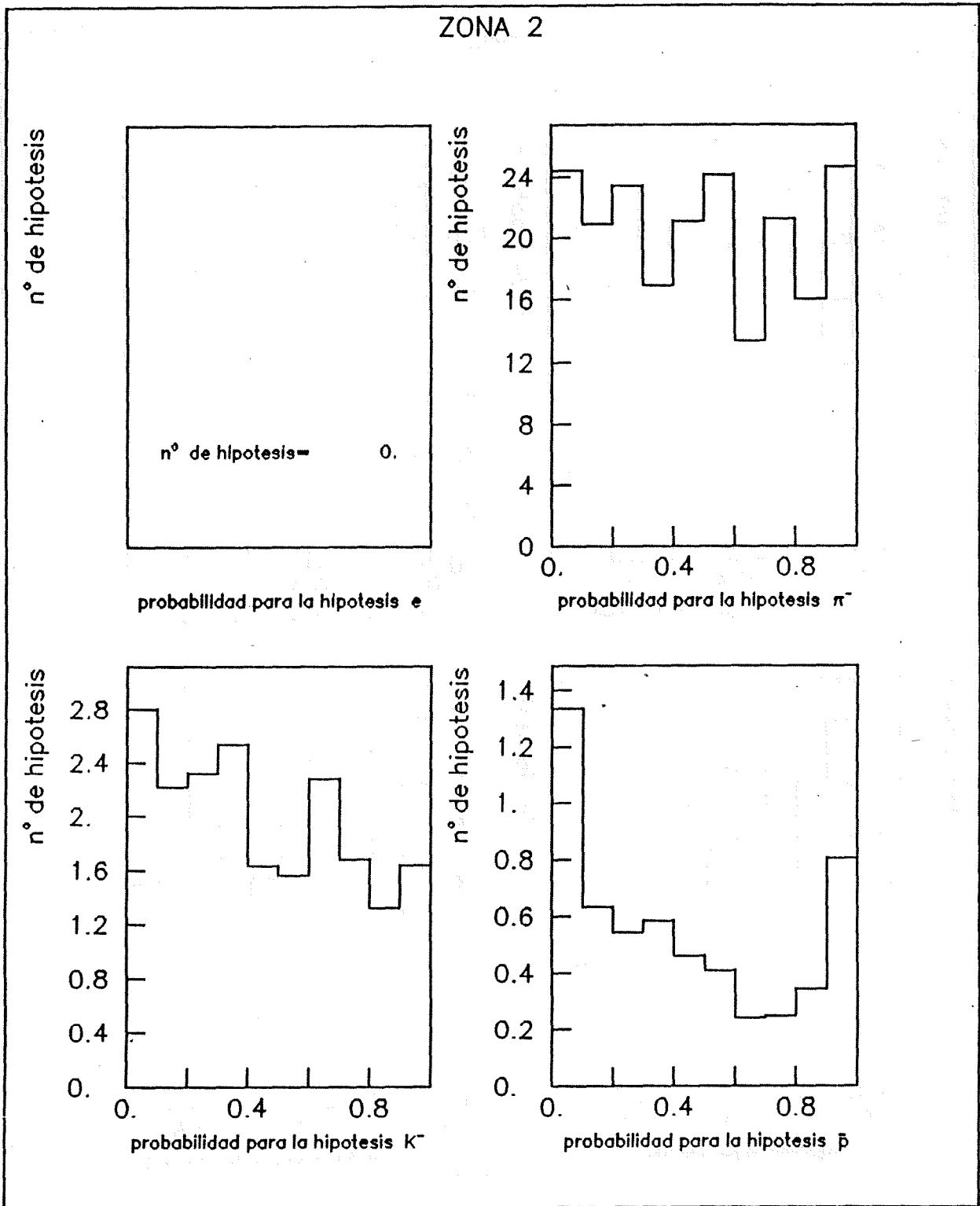


Fig. 4.6

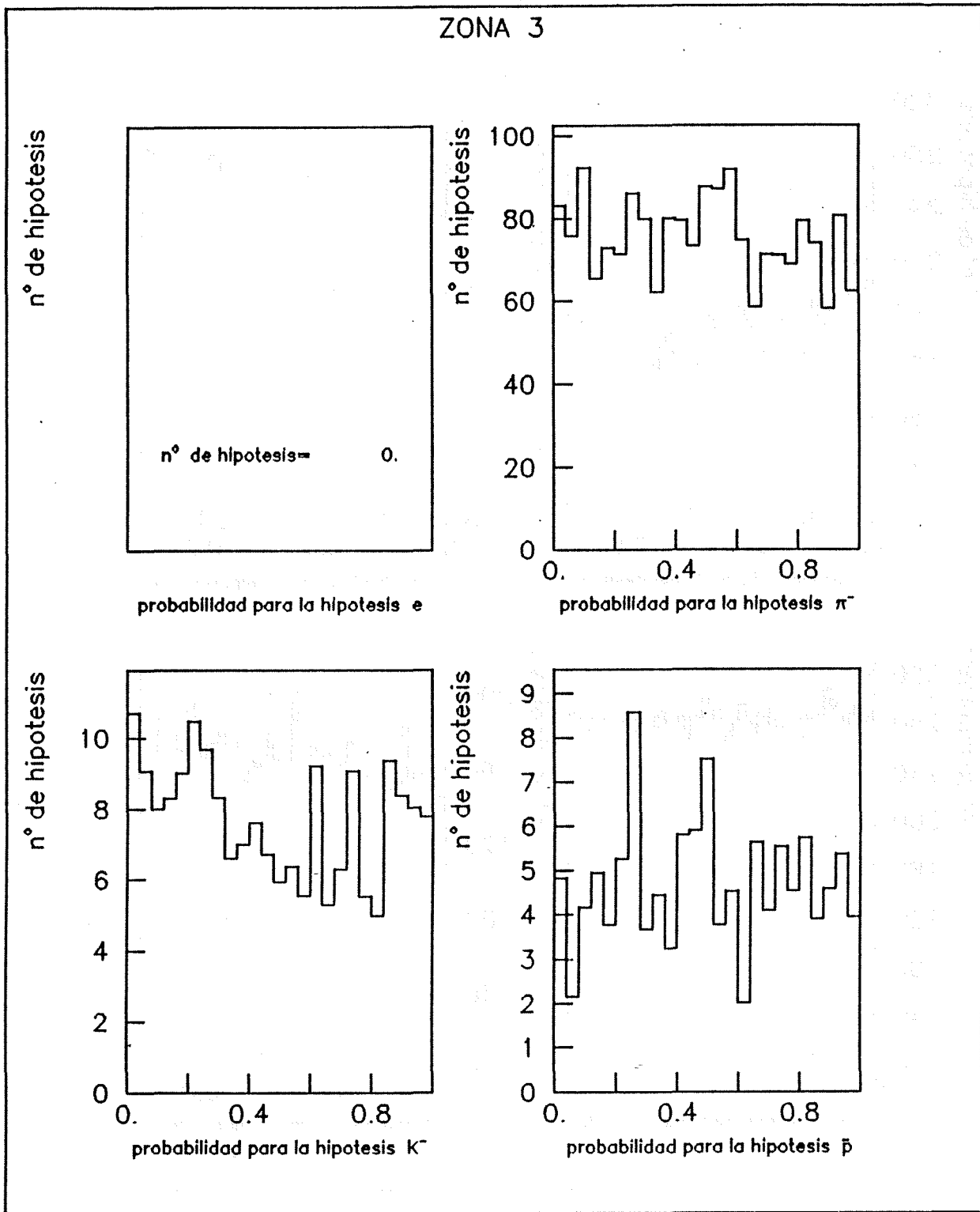


Fig. 4.7

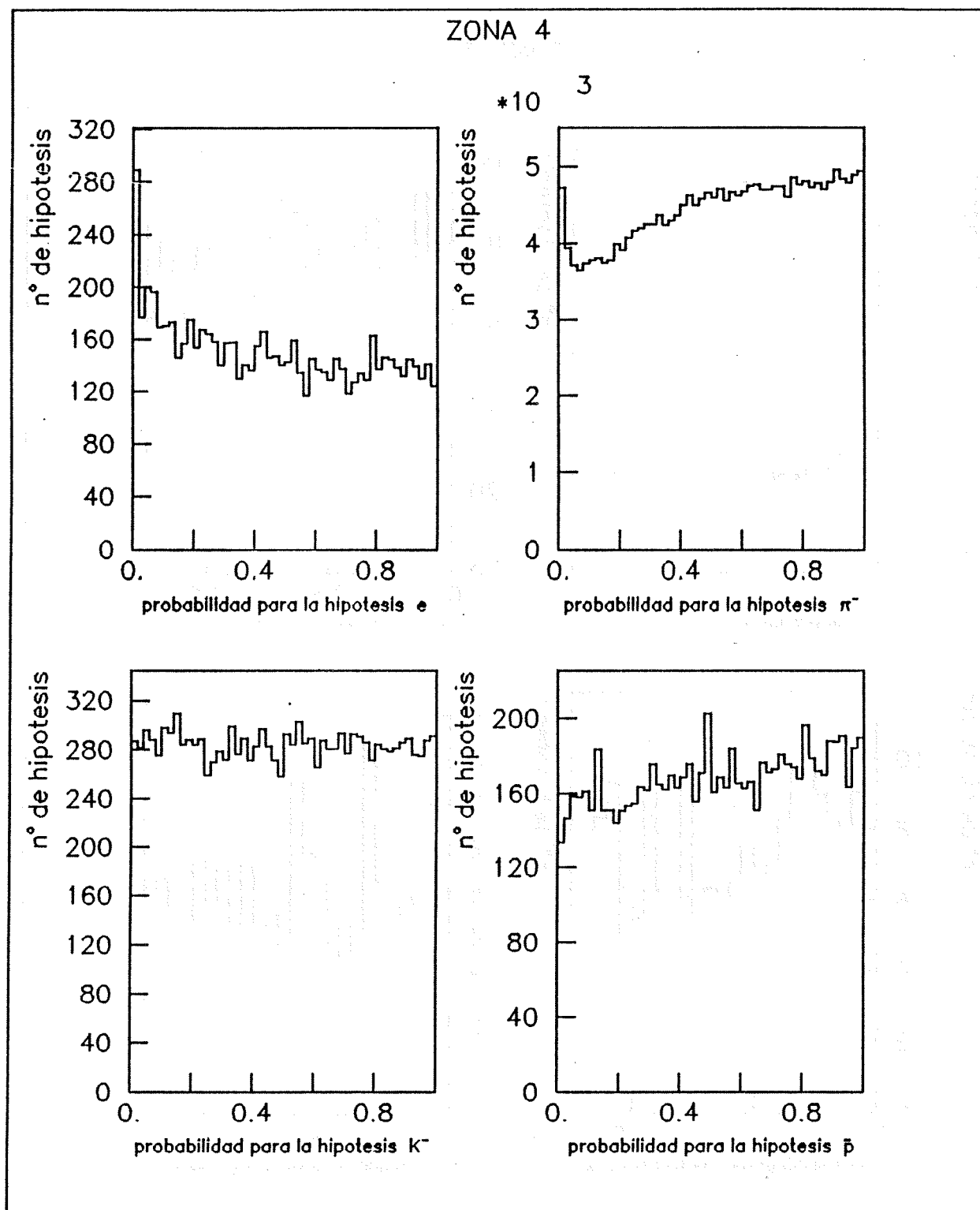


Fig. 4.8

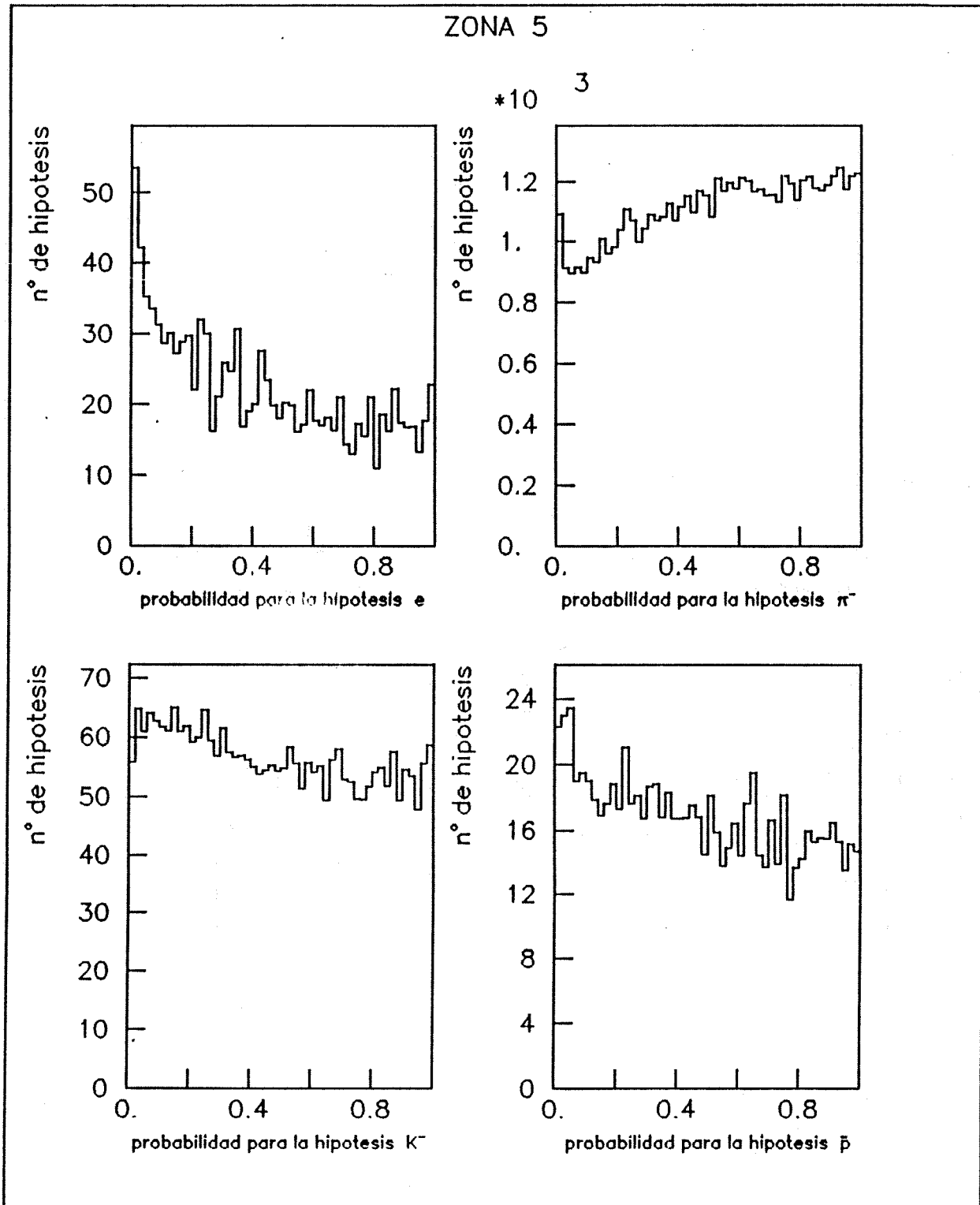


Fig. 4.9

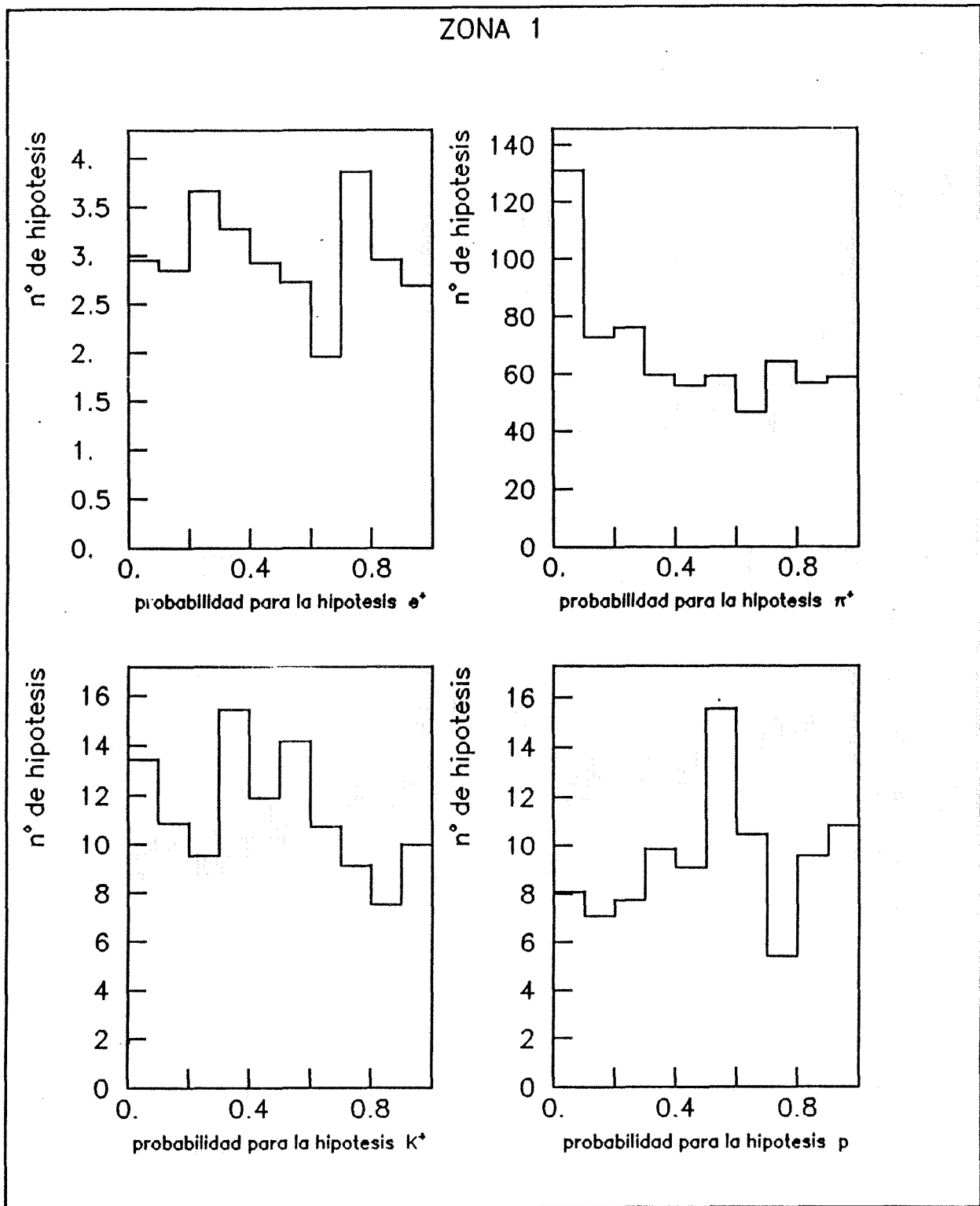
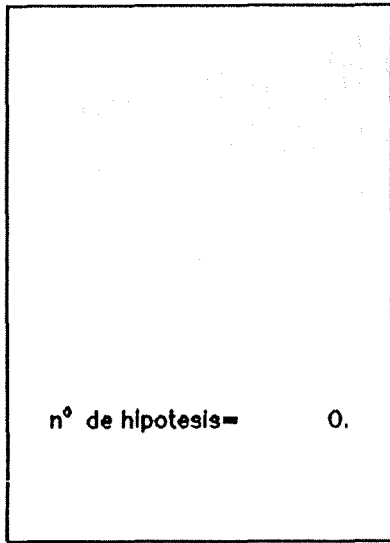


Fig. 4.10

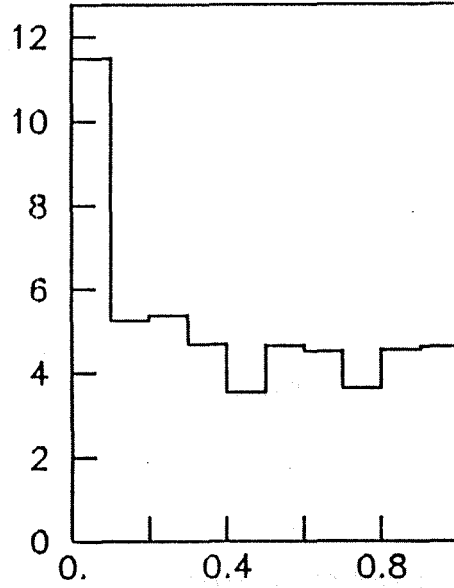
ZONA 2

n° de hipotesis



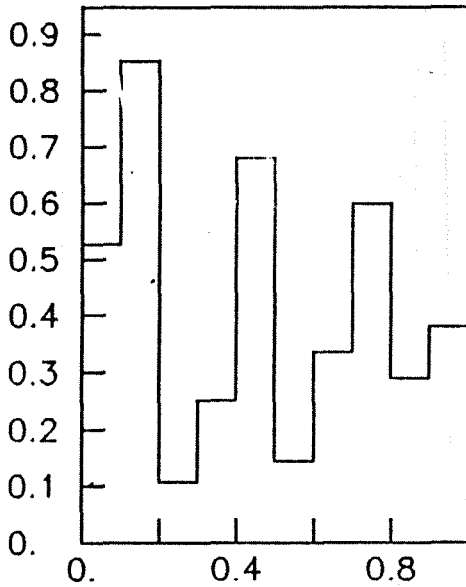
probabilidad para la hipotesis e^+

n° de hipotesis



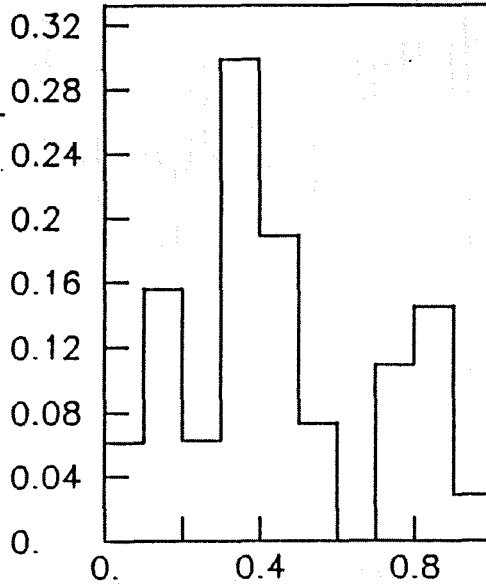
probabilidad para la hipotesis π^+

n° de hipotesis



probabilidad para la hipotesis K^+

n° de hipotesis



probabilidad para la hipotesis p

Fig. 4.11

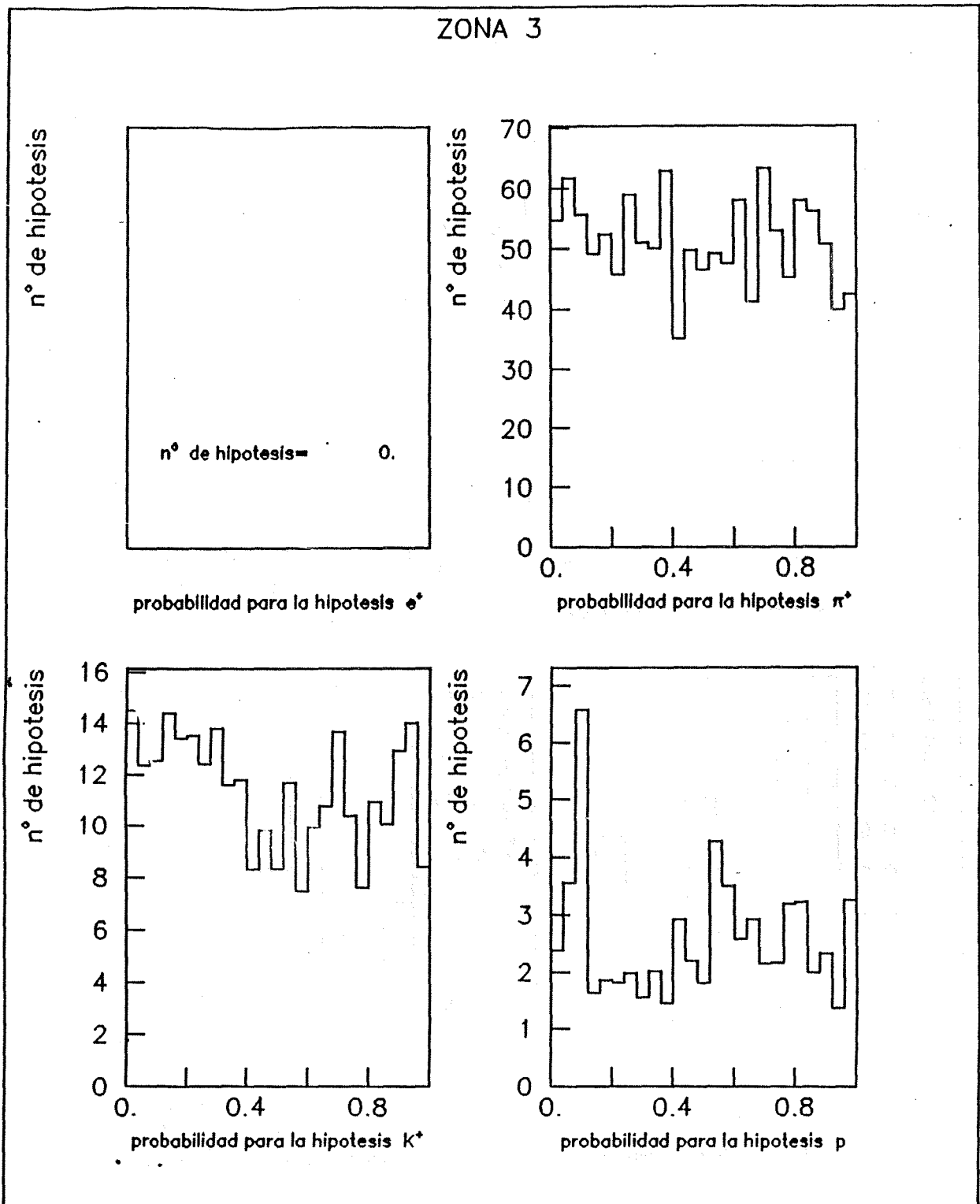


Fig. 4.12

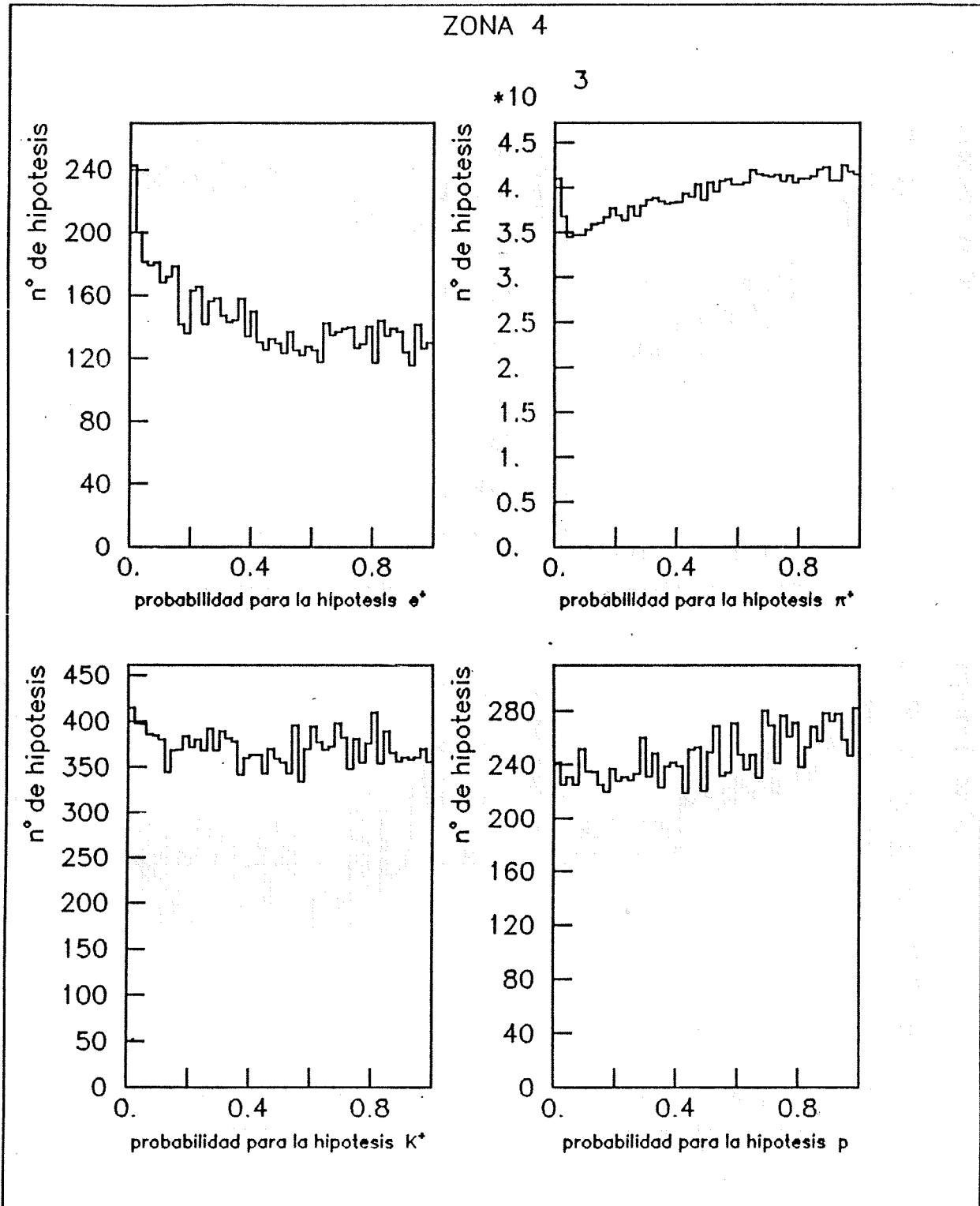


Fig. 4.13

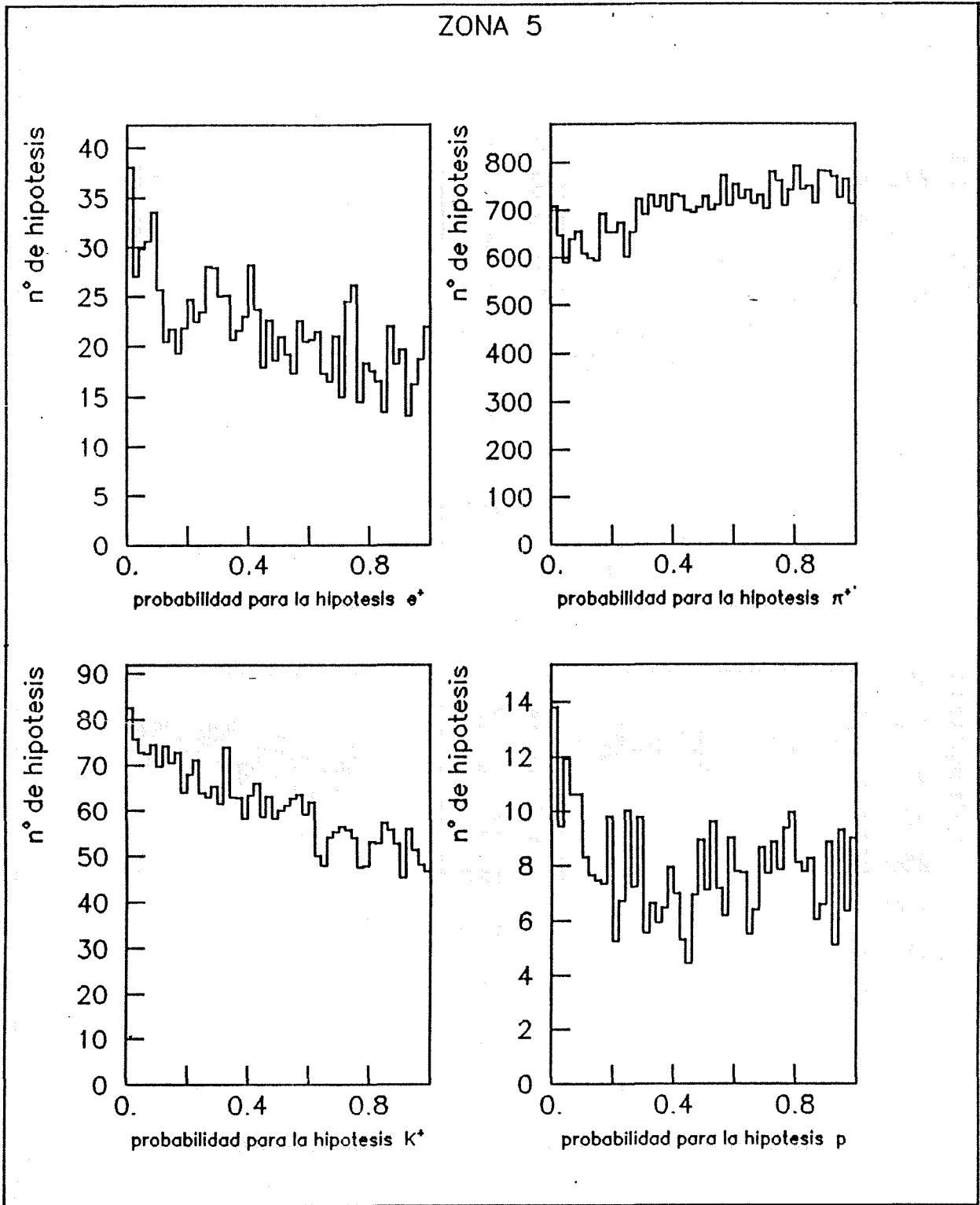


Fig. 4.14

Capítulo 5

Estudio de las Distribuciones Inclusivas

CAPITULO 5

ESTUDIO DE LAS DISTRIBUCIONES INCLUSIVAS

5.1 CONSIDERACIONES GENERALES

En interacciones hadrónicas las distribuciones inclusivas de las partículas observadas en los estados finales son variables apropiadas para el estudio del proceso de fragmentación y, consecuentemente, de la composición partónica de los hadrones incidentes. En las primeras secciones de este capítulo presentaremos las secciones eficaces totales inclusivas para π^\pm , K^\pm , p^\pm en el hemisferio positivo de la variable de Feynman $x^{(1)}$, las secciones eficaces diferenciales inclusivas en las variables de Feynman, x , rapidez, $y^{(2)}$, y momento transversal al cuadrado $p_T^2^{(3)}$, así como las correlaciones $x - p_T^2$ [5.1]. Puesto que este experimento ha obtenido datos relativos a la producción de mesones pseudoescalares π^0 y η^0 [5.2], procederemos a compararlos con las distribuciones de producción de π^\pm . El trabajo aquí presentado representa el primer intento de medir las secciones eficaces diferenciales para π^\pm , K^\pm , p^\pm en la región de fragmentación del π^- ($x > 0$) en interacciones π^-p a alta energía. Los datos más próximos en energía han sido obtenidos por la Colaboración ACCMOR en el estudio de interacciones π^-p a 58 GeV/c [5.3] y serán comparados con los obtenidos en esta memoria. También compararemos nuestros resultados con los referentes a la producción de K_S^0 observada en interacciones π^-p a 360 GeV/c [5.4]. La discusión fenomenológica de las características más notables de las distribuciones obtenidas en esta memoria se hará en el contexto de los modelos de fragmentación utilizados más frecuentemente [5.5], [5.6] y tendrá carácter

1. La variable de Feynman (x) se define en el centro de masas de la reacción como $x = p_1/p_{1\max}$, siendo p_1 la componente longitudinal del momento con respecto a la dirección de la partícula incidente.
2. La variable rapidez o "rapidity" (y) se define como :
$$y = \frac{1}{2} \ln [(E + p_1)/(E - p_1)]$$
3. La variable p_T^2 se define como la componente del cuadrado de la impulsión en el plano perpendicular a la dirección de la partícula incidente.

semicuantitativo, toda vez que la comparación detallada con las predicciones de los modelos de partones requiere un mejor conocimiento de la producción de resonancias y, de forma más general, de las correlaciones de largo y corto alcance.

El estudio de la producción de resonancias en interacciones de alta energía viene motivado principalmente por el hecho de que las resonancias, al ser productos primarios de las colisiones, reflejan más directamente que las partículas detectadas en los estados finales, que proceden en su mayoría de la desintegración de estados resonantes, los mecanismos dinámicos que gobiernan los procesos de colisión.

Resultados obtenidos previamente han puesto de manifiesto que a altas energías la producción de mesones vectoriales tienen tanta importancia como la producción de mesones pseudoescalares. Esta observación concuerda cualitativamente con las ideas basadas en la estadística de spin [5.7] [5.8] y que predicen que la mayoría de las partículas observadas son producto de desintegraciones de resonancias mesónicas. Modelos detallados del tipo quark-partón producen predicciones cuantitativas en relación con las características de la producción de mesones vectoriales [5.9] [5.10].

El estudio de resonancias en reacciones inclusivas es tarea difícil debido a los problemas derivados de una reducida capacidad de identificación de partículas en la mayoría de los experimentos, del fondo combinatorio que crece sensiblemente a altas energías, de la limitada aceptación o resolución en momento en muchos experimentos y muy frecuentemente de estadísticas insignificantes. Esto explica que incluso los datos relativos a la copiosa producción del meson $\rho^0(770)$ en procesos de alta energía sean escasos. En las últimas secciones de este capítulo presentamos nuevos datos sobre la producción inclusiva de los estados $\rho^0(770)$, $f_2(1270)$ y $\rho^0_3(1670)$ en las interacciones π^-p a 360 GeV/c. Los resultados obtenidos sobre la producción del mesón $\rho^0(770)$ difieren significativamente de los obtenidos en otro experimento realizado con un haz de π^- de 360 GeV/c [5.11], que es el más alto valor del momento utilizado hasta la fecha para el estudio de reacciones inducidas por piones.

5.2 SECCIONES EFICACES INCLUSIVAS DE PRODUCCION DE π^\pm , K^\pm , p^\pm

Las secciones eficaces inclusivas para π^\pm , K^\pm y p^\pm , medidas en el hemisferio $x > 0$, se dan en la tabla 5.1. En esta tabla hemos añadido los valores medidos en este mismo experimento para la sección eficaz inclusiva de producción de $\pi^0(x > 0)$, $\eta^0(x > 0.1)$ y $\eta'(x > 0.3)$ [5.2]. Los errores que aparecen en la tabla 5.1 incluyen una estimación de los errores sistemáticos que pueden originarse en la separación de las hipótesis de masa K^\pm y p^\pm . Se observa que la sección eficaz de producción de π^- es superior a la de π^+ , consecuencia esperada y que refleja el hecho de que el haz incidente es de π^- . No se observa diferencia significativa entre las secciones eficaces de producción de protones y antiprotones. También se observa que las secciones eficaces de producción de K^+ y K^- son aproximadamente iguales, lo que indica que la mayoría de los K^+ y K^- observados en el hemisferio delantero se producen como pares de KK . La sección eficaz de producción de $\pi^0(\sigma(\pi^0))$ excede en ~ 6.8 mb el valor esperado a partir de los valores medidos para $\sigma(\pi^+)$ y $\sigma(\pi^-)$ siguiendo argumentos derivados de conservación de isospín ($\sigma(\pi^0) = (1/2)[\sigma(\pi^+) + \sigma(\pi^-)]$). En la sección 5.3.1 discutiremos la conexión que ésta observación puede tener con la producción de mesones η^0 .

5.3 SECCIONES EFICACES DIFERENCIALES LONGITUDINALES

Presentamos a continuación las secciones eficaces invariantes diferenciales inclusivas en las variables x e y definidas anteriormente. Utilizaremos para estas secciones eficaces la notación

$$F(x) = \int_{p_{\max}}^{E^*} \frac{d^2\sigma}{dx dp_T^2} dp_T^2 \quad F(y) = \int \frac{d^2\sigma}{dy dp_T^2} dp_T^2$$

La variable "rapidity" y expande la región central y es por tanto adecuada para un estudio detallado de ésta.

5.3.1 SECCIONES EFICACES DIFERENCIALES PARA MESONES π

Las secciones eficaces diferenciales invariantes para producción inclusiva de π^+ y π^- se presentan en las figuras 5.1(a) y 5.1(b). Se observa que en todo el rango de la variable x la sección eficaz de producción de π^- es superior a la de π^+ ($d\sigma/dx(\pi^-) > d\sigma/dx(\pi^+)$); la diferencia se hace relativamente mayor para altos valores de x ($x \rightarrow 1$).

Las curvas que aparecen en la figura corresponden al modelo de fragmentación descrito en [5.12]. El modelo DTU (Dual Topological Unitarized Model) [5.5] da predicciones similares. Estos modelos reproducen cualitativamente el comportamiento general de los datos y en particular la presencia de un máximo relativamente ancho en la distribución $d\sigma/dy(\pi^-)$ para $y \approx 1$.

La figura 5.1(a) contiene datos sobre la sección eficaz $d\sigma/dx(\pi^0)$ publicados en [5.2]. La violación de la predicción deducida por conservación de isospín, mencionada en la sección 5.2, se observa más claramente en estas distribuciones y se debe, en buena medida, a un pico pronunciado de $d\sigma/dx(\pi^0)$ para valores de $x \sim 0$; este pico no aparece en las distribuciones de partículas cargadas ni lo predicen los modelos de fragmentación. El cambio en la pendiente de la distribución $d\sigma/dx(\pi^0)$ para $x \approx 0.15$ indica una importante contribución de π^0 procedentes de la desintegración de resonancias con la x del π^0 por debajo de este valor; por otra parte la regularidad de los espectros de π^\pm en esa región de x implica que las resonancias que contribuyen a este efecto deben originar una asimetría relativamente grande en la producción de piones neutros y cargados. Este hecho sugiere la presencia de desintegraciones del tipo $\eta^0 \rightarrow 3\pi^0$, $\pi^+\pi^-\pi^0$, pudiendo proceder parte de estos η^0 de la desintegración del mesón η' . La producción central abundante de π^0 y η^0 ha sido previamente observada en el anillo de colisiones SPPS [5.13], interpretándose en términos de interacciones gluón-gluón [5.14]. La explicación del exceso de π^0 observada en nuestros datos requiere introducir una producción central de mesones η , η' con secciones eficaces del orden de ~ 10 mb; este valor no está en desacuerdo con los resultados obtenidos a partir de una suave extrapolación de los valores que aparecen en la tabla 5.1.

5.3.2 SECCIONES EFICACES DIFERENCIALES PARA MESONES K

En las figuras 5.2(a) y 5.2(b) se presentan las secciones eficaces diferenciales invariantes para la producción de K^\pm en función de las variables x e y . Las curvas corresponden a las predicciones del modelo de fragmentación e indican un aproximado acuerdo (dentro de un margen del 20%) con las medidas experimentales. Los resultados de la colaboración ACCMOR, obtenidos a 58 GeV/c [5.3] para la fragmentación $\pi^- \rightarrow K^\pm$ en la región $x > 0.6$, se muestran en la figura 5.2(a); en el reducido intervalo de la variable x , $0.6 < x < 0.7$, en el que las medidas de los dos experimentos se solapan el acuerdo es excelente. Incluimos también en la figura 5.2(b) la distribución en la variable "rapidity" para producción de K^0_s medida en [5.4].

En la región central nuestros datos indican que la sección eficaz de K^+ es aproximadamente un factor 1.5 superior a la sección eficaz de K^- . Además, el espectro de K^+ presenta un pico alrededor de $x \approx 0$, indicando una importante contribución de K^+ producidos indirectamente; esto es, a través de la desintegración de resonancias y fundamentalmente del $K^*(892)$. Si los K^* producidos son el resultado de la fragmentación de los π^- incidentes, los estados de carga K^{*-} y K^{*0} deben dominar sobre los estados K^{*+} y K^{*0} , implicando a nivel de secciones eficaces la siguiente relación.

$$\sigma(K^+) \sim 2\sigma(K^-)$$

Haciendo la hipótesis de supresión total de producción directa de K^+ y K^{*+} , puede hacerse la siguiente estimación para la producción directa de K^-

$$\frac{d\sigma}{dx} (K^-_{\text{directo}}) = \frac{d\sigma}{dx} (K^-) - \frac{1}{2} \frac{d\sigma}{dx} (K^+)$$

Esta diferencia se presenta en la figura 5.2(a) y viene caracterizada por un máximo relativamente ancho centrado en $x \sim 0.2$ como se espera para la fragmentación de π^- en K^- .

5.3.3 SECCIONES EFICACES DIFERENCIALES PARA PROTONES Y ANTIPROTONES

Las secciones eficaces diferenciales de producción de p y \bar{p} , medidas en este experimento, en función de las variables x e y se presentan en las figuras 5.3(a) y 5.3(b) respectivamente.

Para valores de x superiores a 0.1 las secciones eficaces son aproximadamente iguales ($d\sigma/dx(p) \approx d\sigma/dx(\bar{p})$) como, en primera aproximación, se espera para la fragmentación $\pi \rightarrow p(\bar{p})$. Para valores de x inferiores a 0.1, la sección eficaz de protones $d\sigma/dx(p)$ crece rápidamente, mientras que la de antiprotones $d\sigma/dx(\bar{p})$ se mantiene estable. La rápida subida de $d\sigma/dx(p)$ refleja el residuo de la fragmentación del protón blanco.

La similitud de las distribuciones correspondientes a la producción de protones y antiprotones para valores de x superiores a 0.1 sugiere la existencia de un mecanismo de producción común. El protón y antiprotón tienen un único quark en común con el mesón π^- incidente. En la aproximación fenomenológica de las cuerdas de color, la igualdad de secciones eficaces significa la igualdad de las probabilidades de encontrar los sistemas diquarks (uu) y (ud) en el mar del pion. La extensión de esta aproximación a partículas extrañas implica igual producción de Λ y $\bar{\Lambda}$ para $x > 0.1$, pudiendo relacionarse las secciones eficaces diferenciales $d\sigma/dx(\Lambda, \bar{\Lambda})$ y $d\sigma/dx(p, \bar{p})$ mediante el denominado factor de supresión del quark extraño, cuyo valor es $\lambda_s = 0.27$ [5.15], [5.16], compatible con el calculado por nosotros en la sección 5.5. En la figura 5.3(b) se muestran los valores de las secciones eficaces $d\sigma/dy(\Lambda)$ y $d\sigma/dy(\bar{\Lambda})$ obtenidas en [5.4] multiplicadas por $1/\lambda_s$. El acuerdo con las medidas de $d\sigma/dy(p, \bar{p})$ en el hemisferio ($y > 0$) es bastante bueno.

Las curvas que aparecen en las figuras 5.3(a) y 5.3(b) corresponden a las predicciones de los modelos de fragmentación. Estas predicciones dependen críticamente de dos parámetros, el mencionado factor de supresión del quark extraño λ_s y el factor de supresión de diquarks λ_D cuyo valor determinado, al igual que λ_s , con datos de aniquilaciones e^+e^- en hadrones es 0.09 para un valor de la energía total en el centro de masas $\sqrt{s} = 29$ GeV [5.17]-[5.20]. Observamos que mientras que las curvas predichas por el mo-

delo para las secciones eficaces de producción de K^+ y K^- están en razonable acuerdo con las medidas experimentales, indicando que el valor $\lambda_s = 0.27$ es igualmente apropiado para la descripción de los procesos $e^+e^- \rightarrow$ hadrones y la fragmentación de π^- en mesones, la situación para bariones y antibariones es fundamentalmente distinta. En efecto, se observa que éstos se producen más copiosamente (un factor 2) en el proceso de aniquilación de electrones y positrones que en la fragmentación de π^- para valores comparables de la energía total en el centro de masas. Esta diferencia entre $e^+e^- \rightarrow$ hadrones y la fragmentación de π^- puede sugerir que la comparación no debe realizarse para iguales valores de la energía total o, alternativamente, que los jets de gluones, presentes en los datos e^+e^- pero no en la fragmentación del π^- , tienen una componente de p y p más importante que las cadenas de hadronización de quarks.

5.3.4 QUARK COUNTING RULES

Las distribuciones longitudinales presentadas en los apartados anteriores y discutidas fenomenológicamente en el contexto de los modelos de fragmentación pueden también examinarse en base a las denominadas "quark counting rules" [5.21] y [5.22] que predicen simples parametrizaciones del tipo

$$(1 - x)^n/x$$

para las secciones eficaces no invariantes y valores específicos para el exponente n.

Hemos ajustado las distribuciones experimentales a la forma funcional indicada en el rango $0.1 < x < 0.8$. Los resultados obtenidos para el exponente n se dan en la tabla 5.2. En las figuras 5.4 - 5.6 se da una visualización de los ajustes. Aunque, en general, los datos están bien reproducidos por esta expresión, los exponentes obtenidos no siempre están de acuerdo con los valores predichos. En particular, señalamos diferencias significativas para la producción de K^+ , p y p. Desacuerdos entre las predicciones obtenidas en este modelo y datos a energías más bajas se han discutido en [5.22].

5.4 SECCIONES EFICACES DIFERENCIALES TRANSVERSAS

Las secciones eficaces diferenciales en función de la variable p_T^2 para π^\pm , K^\pm , p^\pm se presentan en las figuras 5.7, 5.8 y 5.9 respectivamente. En la tabla 5.3 se dan los valores medios de p_T^2 para valores de $x > 0$ obtenidos a partir de los datos experimentales. Se observa que los valores medios de p_T^2 para K^- , K^+ y p son similares, mientras que $\langle p_T^2 \rangle$ es apreciablemente mayor para p . Notamos también que $\langle p_T^2 \rangle$ para π^- y p es significativamente mayor que para π^+ y p respectivamente.

Las distribuciones medidas experimentalmente son incompatibles con un comportamiento exponencial en la variable p_T^2 o en la masa transversa $m_T^2 = m^2 + p_T^2$. Un intento alternativo de describir estas distribuciones se ha realizado ajustando una distribución del tipo

$$d\sigma/dp_T^2 \propto 1/(p_T^2 + \delta^2)^n$$

ya utilizada en el estudio de la producción de π^0 [5.2]. Los parámetros obtenidos en los ajustes se dan en la tabla 5.4. Como reflejan los valores de los χ^2 determinados en la estimación paramétrica la calidad de los ajustes es insatisfactoria, lo que nos ha conducido a introducir una parametrización del tipo

$$d\sigma/dp_T^2 \propto p_T^a \exp(-b p_T^2) \exp(-c p_T)$$

Los resultados de los ajustes realizados con esta expresión se dan en la tabla 5.4. La inspección de los valores de χ^2 obtenidos y las curvas calculadas en base a estos parámetros y que se presentan en las figuras 5.7, 5.8 y 5.9 indican que esta expresión empírica describe correctamente los datos.

En la tabla 5.3 se dan los valores medios de la variable p_T^2 calculados con versiones recientes de los programas de Monte Carlo para los modelos de fragmentación de Lund y DTU [5.23]-[5.25]. Es difícil extraer conclusiones de esta comparación. En cualquier caso nuestros resultados no soportan la idea de que los valores derivados en el contexto de los modelos

de fragmentación son sistemáticamente más pequeños que los medidos para los diversos tipos de partículas cargadas. Esta idea se basaba en la suposición de que estos modelos eran incapaces de generar la relativa abundancia de partículas con alto p^2_T , debido a que estas versiones no incluyen una expansión adicional de la anchura de la gaussiana correspondiente a la distribución en p^2_T de los quarks del mar [5.26] [5.27].

5.5 COCIENTES DE PRODUCCION DE PARTICULAS

En la tabla 5.5 presentamos los cocientes entre las frecuencias de producción de partículas (secciones eficaces longitudinales) medidas en la región $x > 0$. La producción de piones domina la interacción π^-p a 360 GeV/c. Se producen aproximadamente 15 - 20 veces más piones que kaones y unas dos veces más kaones que protones (antiprotones). En el hemisferio delantero ($x > 0$) las partículas negativas se producen más abundantemente que las positivas, con la excepción de los protones y antiprotones que se producen con frecuencia similar. En la figura 5.10 damos los cocientes entre la producción de partículas positivas y negativas en función de las variables x y p^2_T . El cociente entre el número de π^+ y el número de π^- es siempre inferior a 1 y decrece con x . En el caso de los kaones y protones el cociente también decrece con x , pero es superior a 1 para pequeños valores de x . Como se observa en la tabla 5.5 los modelos de fragmentación normalmente considerados tienen dificultades serias para reproducir correctamente el conjunto de las distribuciones.

Los cocientes de producción de partículas se presentan con más detalle en la figura 5.11 para valores de x próximos a 0 ($0 < x < 0.1$). Como hemos mencionado, los cocientes p/p y K^+/K^- son superiores a 1, mientras que el cociente π^+/π^- se desvía sólo ligeramente de 1. Esta observación puede utilizarse para intentar una determinación de R_{s1} , el cociente de quarks extraños y ligeros en el mar. Utilizando los cocientes K^+/π^+ y K^-/π^- cerca de $x = 0$ (equivalentes a s/d y \bar{s}/\bar{d}) se encuentran los valores

$$R_{s1} = 0.110 \pm 0.003, \quad R_{\bar{s}1} = 0.09 \pm 0.02$$

El valor de R_{S1} está relacionado con el factor de supresión del quark extraño (λ_S) a través de la relación $R_{S1} \approx \lambda_S / (\lambda_S + 3)$. El valor resultante para λ_S calculado promediando las dos relaciones K^+/π^+ y K^-/π^- es de ≈ 0.32 .

De manera análoga, puede utilizarse el cociente p/K^- cerca de $x = 0$ para estimar R_{DS} , cociente de diquarks a quarks extraños en el mar. Se encuentra

$$R_{DS} = 0.50 \pm 0.02$$

En consecuencia, puede calcularse un valor de $R_{D1} = 0.048 \pm 0.002$ para el cociente de quarks ligeros a diquarks en el mar hadrónico.

5.6 CORRELACIONES $x - \langle p_T \rangle$

La dependencia del valor medio de la variable p_T con la variable x para π^+ y π^- se presenta en la figura 5.12. Ambas distribuciones muestran una disminución de $\langle p_T \rangle$ en la región central. Este efecto, conocido como efecto "seagull" [5.28], se observa también en los datos de producción inclusiva de π^0 . Las figuras 5.13 y 5.14 muestran que no se observa claramente efecto "seagull" para K^+ y p siendo el valor medio de p_T relativamente independiente de x . Parece, sin embargo, observarse este efecto sobre las correlaciones $x - \langle p_T \rangle$ para K^- y p .

5.7 SECCIONES EFICACES INCLUSIVAS DE PRODUCCION DE ρ^0 , f_2 , ρ^0

Para el estudio de la producción de resonancias acopladas al sistema $\pi^+\pi^-$, y cuyos resultados más notables se han publicado en [5.29], hemos utilizado las trazas reconstruidas siguiendo las técnicas que se describieron en el Capítulo 3, con el factor de corrección derivado de la específica aceptación del espectrómetro parametrizado como una función suave de los parámetros cinemáticos de la traza (carga, impulsión y ángulos). Recordemos que la eficacia para reconstrucción de trazas aumenta desde aproximadamen-

te 70% para $x = 0$ a 90% para $x = 1$. En el análisis que presentamos, a cada combinación de 2 partículas se le asigna un peso igual al producto de las eficiencias derivadas de las curvas individuales de aceptación para cada partícula. Para este estudio no hemos utilizado la información relativa a la identificación (hipótesis de masa) de partículas, cuya implementación exige el laborioso proceso estadístico descrito en el Capítulo 4, habiéndose considerado a todas las partículas procedentes del vértice primario de la interacción como piones. Los resultados discutidos en las secciones anteriores justifican esta aproximación, habida cuenta de la importancia de la producción de piones. La contaminación residual que para los espectros de dos piones originan combinaciones de dos partículas de identidad distinta queda incluida en el fondo considerable presente en las distribuciones de masa efectiva del sistema $\pi^+\pi^-$.

El espectro de masas invariantes del sistema $\pi^+\pi^-$ se presenta en las figuras 5.15 y 5.16. La señal del ρ^0 es claramente visible en todos los intervalos de x , mientras que la presencia de f_2 y ρ^0_3 puede detectarse únicamente al imponer los cortes $x > 0.4$ y $x > 0.6$ respectivamente. La relación señal/fondo mejora significativamente en todos los casos (ρ^0 , f_2 , ρ^0_3) cuando aumenta el valor de x .

Las secciones eficaces de producción de resonancias se han determinado mediante ajustes a las distribuciones ponderadas de masas efectivas del sistema $\pi^+\pi^-$ en intervalos de x y p^2_T , utilizando la forma funcional

$$d\sigma/dM = BG (p^*) (1 + \alpha_1 BW_1 + \alpha_2 BW_2 + \alpha_3 BW_3)$$

donde

$$p^* = (1/2M) \sqrt{\lambda(M^2; m^2_\pi, m^2_\pi)}$$

y $BW_i(M)$ son funciones de Breit Wigner relativistas para resonancias en estados de momento angular orbital 1, 2 y 3 (ondas P, D y F); α_1 , α_2 , α_3 son los parámetros del ajuste (en ausencia de contribuciones de f_2 y ρ^0_3 los valores de α_2 y α_3 se han fijado a 0).

Después de diversos estudios de fondos generados con el modelo de Lund

[5.6] [5.30], se ha utilizado la siguiente parametrización

$$BG(p^*) = (p^*/M)^\beta \exp(-\gamma p^* - \delta p^{*2})$$

siendo β , γ , δ parámetros a ajustar.

La anchura total de cada resonancia se ha tomado como la suma de la anchura natural de la resonancia y la anchura de la función de resolución experimental. Los valores de las masas y de las anchuras naturales son las dadas en el Review of Particle Properties del Particle Data Group [5.31].

La sección eficaz inclusiva de producción de ρ^0 en el hemisferio $x > 0$ es $\sigma(\rho^0) = (6.35 \pm 0.24 \pm 0.40)$ mb, siendo el primer error estadístico y el segundo debe considerarse como una estimación de las incertidumbres de origen sistemático. En la figura 5.17 comparamos esta medida con las obtenidas en otros experimentos estudiando interacciones $\pi^\pm p$ [5.11], [5.32]-[5.40]. La sección eficaz de producción de ρ^0 en el hemisferio $x > 0$ medida en colisiones $\pi^- p$ a 100, 200 y 360 GeV en el espectrómetro híbrido de Fermilab [5.11] es inconsistente con la tendencia general de los otros datos, siendo esta inconsistencia mayor a 360 GeV que a 100 GeV/c. En particular, la sección eficaz obtenida a 360 GeV/c es del orden de un factor 2 más pequeña que en nuestro experimento, lo que probablemente se debe a una significativa pérdida de resolución en su espectrómetro. Por otra parte, los datos obtenidos en la cámara de burbujas de 30 pulgadas [5.11] para trazas de baja impulsión proporcionan una medida correcta de la sección eficaz de producción de ρ^0 en el hemisferio $x < 0$ igual a (5.14 ± 0.25) mb. Añadiendo esta cantidad a nuestra medida para $x > 0$ obtenemos para la sección eficaz total inclusiva de producción de mesones ρ el valor $(11.5 \pm 0.4 \pm 0.4)$ mb, en buen acuerdo con la tendencia establecida por los datos de baja energía presentados en la figura 5.14. Este valor es también consistente con los resultados preliminares obtenidos por la colaboración NA23 en el estudio de las interacciones pp a 360 GeV/c. El valor calculado para la producción inclusiva de ρ^0 es de (10.5 ± 2.0) mbarn.

Un ajuste a la dependencia en la variable s (cuadrado de la energía total en el sistema centro de masas) de la sección eficaz total de pro-

ducción del mesón ρ^0 en interacciones $\pi^\pm p$ con la expresión

$$\sigma_{\text{tot}}^{\pi^\pm p}(\rho^0) = a + b \ln s$$

utilizando el valor a 360 GeV y excluyendo los datos de Fermilab proporciona $b = (2.0 \pm 0.2)$ mbarn. Un ajuste similar a los datos relativos al hemisferio $x > 0$ conduce a $b = (0.9 \pm 0.1)$ mb. Los resultados de estos ajustes se presentan en la figura 5.17.

Las secciones eficaces de producción de ρ^0 , f_2 y ρ^0_3 , en interacciones $\pi^- p$ a 360 GeV para las regiones de x consideradas se presentan en la tabla 5.6. Observamos que el cociente f_2/ρ^0 es importante alcanzando el valor 0.45 ± 0.05 (0.50 ± 0.06) para los intervalos $x > 0.4$ ($x > 0.6$) y que $\rho^0_3/f_2 \approx 0.9 \pm 0.2$ para $x > 0.6$.

5.8 SECCIONES EFICACES DIFERENCIALES DE PRODUCCION DE ρ^0 Y f_2^0

Las secciones eficaces longitudinales no-invariante ($d\sigma/dx$) e invariante ($F(x)$) (definida en la sección 5.3) para la producción inclusiva de ρ^0 y f_2 se presentan en las figuras 5.18 y 5.19. Para el mesón ρ^0 la distribución $F(x)$ es aproximadamente constante en la región $0 < x < 0.8$, mientras que para $x > 0.8$ se observa un marcado pico que alcanza un valor máximo para $x \approx 0.87$ y que es igualmente evidente en la distribución no-invariante. Una estructura similar se observa en la distribución $F(x)$ para el mesón f_2 . En la figura 5.16 se compara la distribución $F(x)$ del mesón ρ^0 a 360 GeV/c con la medida a 16 GeV/c [5.32]. Las distribuciones satisfacen aproximadamente la invariancia de escala, siendo los puntos experimentales a 360 GeV/c ligeramente inferiores a los datos a 16 GeV/c.

La posición de los picos en los espectros $F(x)$ del ρ^0 y f_2 sugieren la existencia de una componente de tipo difractivo en el mecanismo de producción del ρ^0 y f_2 en los procesos inclusivos $\pi^- p \rightarrow \rho^0 X$ y $\pi^- p \rightarrow f_2 X$. Una estimación aproximada de esta componente para el mesón ρ^0 puede obtenerse comparando el espectro $d\sigma/dx$ con las predicciones del modelo de fragmentación de Lund [5.6], [5.30] que no tiene contribución originada por la disociación difractiva y que puede considerarse como fondo. El modelo de Lund,

modificado para incluir en la fase de generación contribuciones de mesones tensoriales (T) en una proporción respecto a los mesones vectoriales (V) igual a $T:V = 0.4$, da un valor de 10.3 mb para la sección eficaz total y de 6.3 mb para la sección eficaz en el hemisferio $x > 0$, en buen acuerdo con nuestras medidas. En la figura 5.18 se muestran las predicciones del modelo para la distribución $d\sigma/dx$ normalizada a los datos en el intervalo $0 < x < 0.5$. La descripción de la forma de la distribución es razonablemente correcta, con excepción de la región de alto valor de x donde la contribución difractiva es más importante. La diferencia entre los datos experimentales y el espectro $d\sigma/dx$ calculado con el modelo de Lund proporciona una estimación de 0.6 mb para la componente difractiva de la sección eficaz de producción de ρ^0 en la reacción $\pi^- p \rightarrow \rho^0 X$, que representa el 5% de la sección eficaz total. Es interesante hacer notar que la contribución relativa de la sección eficaz difractiva a la sección eficaz total es del mismo orden ($\approx 5\%$) para un amplio conjunto de procesos difractivos, tales como $K^+_{dif} \rightarrow K^*(890)X$, $K^*(1430)X$ [5.41], $K^+_{dif} \rightarrow K^0_S X, \Lambda X, \Lambda X$ [5.42], $K^+_{dif} \rightarrow \phi X$ [5.43], $p_{dif} \rightarrow K^0_S X, \Lambda X, \Lambda X$ [5.44], etc.

La distribución invariante en la variable p^2_T para la producción de mesones ρ^0 , integrada en los intervalos $0 \leq x \leq 0.5$ y $x \geq 0.5$ se presenta en las figuras 5.20 y 5.21. El espectro de la figura 5.20 se describe por una exponencial $A \exp(-b p^2_T)$, siendo $b = (3.05 \pm 0.16) (\text{GeV}/c)^{-2}$. El segundo espectro requiere la suma de 2 exponenciales con valores para la pendiente iguales a $(10.5 \pm 1.7) (\text{GeV}/c)^{-2}$ y $(2.5 \pm 0.2) (\text{GeV}/c)^{-2}$ respectivamente. La presencia de la primera componente en la distribución invariante $F(p^2_T)$ en la región $x > 0.5$ sugiere la producción de estados difractivos másivos desintegrándose en el mesón ρ^0 . La distribución invariante en p^2_T para la producción de f_2 integrada en el intervalo $x > 0.4$ es compatible con una descripción exponencial con una pendiente igual a $(4.2 \pm 1.1) (\text{GeV}/c)^{-2}$.

REFERENCIAS

- [5. 1] M. Aguilar-Benitez et al., Europhysics Letters 4, 1261 (1987)
- [5. 2] M. Aguilar-Benitez et al., Z. Phys. C34 (1987)419
- [5. 3] F. Pauss et al., Z. Phys. C27 (1985)211
- [5. 4] N.N. Biswas et al., Nucl. Phys. B167 (1980)41
- [5. 5] A. Capella, V. Sukhatme and J. Tran Thanh Van, Z. Phys. C3 (1980)329
- [5. 6] B. Anderson, G. Gustafson, G. Ingelman and T. Sjostrand, Phys. Rep. 97 (1983) 33
- [5. 7] V.V. Anisovich and V.M. Shekhter, Nucl. Phys. B55 (1973)45
- [5. 8] V.M. Shekhter and L.M. Shcheglova, Sov. J. Nucl. Phys. 27 (1978)567
- [5. 9] S.Nandi, V.Rittenberg and H. R. Schnider, Phys. Rev. D17 (1978) 1336
- [5.10] K.V. Vasavada, Phys. Rev. D20 (1979)2304
- [5.11] P.D. Higgins et al., Phys. Rev. D19 (1979)65
- [5.12] B. Andersson, Preprint Lund LUTP 86-3
- [5.13] C.Conta, Third Topical Workshop on Proton-Antiproton Physics, Geneva (1983)50
- [5.14] S.P. Baranow and A. A. Komar, Letter to JETF 42 (1985)467
- [5.15] W. Bartel et al., Z. Phys. C20 (1983)187
- [5.16] J.L. Bailly et al., CERN/EP 87-99
- [5.17] H. Aihava et al., Phys. Rev. Lett. 52 (1984)577
- [5.18] H. Aihava et al., Phys. Rev. Lett. 52 (1984)2201
- [5.19] H. Aihava et al., Phys. Rev. Lett. 53 (1984)274
- [5.20] H. Aihava et al., Phys. Rev. Lett. 54 (1984)274
- [5.21] S.J. Brodsky and J.F. Gunion, Phys. Rev. D17 (1978)848
- [5.22] J.F. Gunion, Phys. Lett. 88B (1979)150
- [5.23] J. Ranft and S. Ritter, Z. Phys. C27 (1985)569
- [5.24] T. Sjostrand, Computer Physics Comm. 27 (1982)243
- [5.25] T. Sjostrand, Computer Physics Comm. 28 (1983)229
- [5.26] I.V. Ajinenko et al., Z. Phys. C25 (1984)103
- [5.27] E.A. Wolf et al., Nucl. Phys. B246 (1984)431
- [5.28] W. Kittel. XVith Int. Symp. on Multiparticle Dynamics, Kiryat Anavim (Israel) 1985
- [5.29] J.L. Bailly et al., Z. Phys. C36, 545 (1987)

- [5.30] B. Andersson et al., Nucl. Phys. B178 (1981)242
- [5.31] M. Aguilar-Benitez et al., Phys. Lett. 170B (1986)1
- [5.32] J. Bartke et al., Nucl. Phys. B107 (1976)93
- [5.33] M. Deutschman et al., Nucl. Phys. B103 (1976)426
- [5.34] K. Böckmann et al., Nucl. Phys. B140 (1978)245
- [5.35] H.A. Gordon et al., Phys. Rev. Lett. 34 (1975)284
- [5.36] I.V. Ajinenko et al., Preprint IHEP 79-111
- [5.37] J. Bran et al., Nucl. Phys. B99 (1975)232
- [5.38] M. Schouten et al., Z. Phys. C9 (1981)93
- [5.39] Y. Amaglobelli et al., Yad. Fiz. 37 (1983)624
- [5.40] N.S. Angelov et al., Yad. Fiz. 33 (1981)1539
- [5.41] P.V. Chliapnikov et al., Z. Phys. C12 (1982)113
- [5.42] I.V. Ajinenko et al., Z. Phys. C23 (1984)307
- [5.43] I.V. Ajinenko et al., Yad. Fiz. 39 (1984)1448
- [5.44] M. Asai et al., Z. Phys. C27 (1985)11

Tabla 5.1

Secciones eficaces inclusivas de producción de diversas partículas

	Intervalo de x		$\sigma(\text{mb})$
π^+	0	- 1.0	$37.80 \pm 0.17 \pm 0.13$
π^-	0	- 1.0	$49.10 \pm 0.23 \pm 0.14$
π^0	0	- 1.0	$49.7 \pm 1.0 \pm 1.1$
K^+	0	- 1.0	$2.95 \pm 0.08 \pm 0.10$
K^-	0	- 1.0	$2.80 \pm 0.11 \pm 0.04$
p	0	- 1.0	$1.01 \pm 0.03 \pm 0.02$
\bar{p}	0	- 1.0	$1.08 \pm 0.04 \pm 0.02$
η	0.1	- 1.0	3.1 ± 0.5
η'	0.3	- 1.0	2.9 ± 1.4

Los errores que aparecen en primer término son estadísticos. Los que aparecen en segundo término son de naturaleza sistemática y tienen en cuenta las incertidumbres en el proceso de identificación de partículas.

Tabla 5.2

Ajustes a las distribuciones longitudinales $d\sigma/dx$

	n	χ^2/NGL	Predicción QCR
π^-	1.34 ± 0.02	109/35	No hay
π^+	3.05 ± 0.04	42/35	3
K^-	0.78 ± 0.03	56/35	1
K^+	2.16 ± 0.06	276/35	3
p^-	1.01 ± 0.04	61/35	2
p	1.12 ± 0.05	33/35	3

Tabla 5.3

Valores medios de la variable p_T^2

	$\langle p_T^2 \rangle$ (GeV/c) ²	Modelo Lund	Modelo DTU
π^-	0.171 ± 0.003	0.161	0.165
π^+	0.150 ± 0.003	0.152	0.174
K^-	0.256 ± 0.004	0.228	0.225
K^+	0.239 ± 0.004	0.224	0.235
p^-	0.282 ± 0.005	0.253	0.300
p	0.256 ± 0.004	0.270	0.297

Tabla 5.4

Resultados de los ajustes a las distribuciones en p^2_T

	n	δ	χ^2	a	b	c	χ^2
- π	2.99 ± 0.01	0.485 ± 0.002	51/30	0.61 ± 0.04	-1.08 ± 0.12	8.23 ± 0.21	11/30
+ π	3.27 ± 0.03	0.483 ± 0.004	70/30	0.75 ± 0.01	-1.39 ± 0.03	9.42 ± 0.01	12/30
- K	3.13 ± 0.01	0.690 ± 0.005	74/30	-0.08 ± 0.04	1.38 ± 0.03	2.36 ± 0.08	26/30
+ K	2.65 ± 0.03	0.560 ± 0.004	29/30	0.46 ± 0.02	-0.44 ± 0.04	5.88 ± 0.06	21/30
- p	5.44 ± 0.05	1.11 ± 0.07	15/30	0.58 ± 0.05	0.43 ± 0.06	4.49 ± 0.14	23/30
p	6.3 ± 0.5	1.14 ± 0.06	25/30	0.67 ± 0.23	0.90 ± 0.54	4.0 ± 1.0	17/30

Tabla 5.5

Cocientes de producción de partículas en la región $x > 0$

	Cocientes	Modelo Lund	Modelo DTU
π^+ / π^-	0.787 ± 0.002	0.59	0.74
K^+ / K^-	0.90 ± 0.01	0.87	1.02
p^- / p^+	1.00 ± 0.02	0.69	1.05
π^+ / K^+	16.05 ± 0.14	8.4	8.6
π^- / K^-	18.43 ± 0.16	12.3	11.9
π^+ / p^+	34.05 ± 0.44	18.5	25.6
π^- / p^-	43.37 ± 0.56	21.6	36.7
K^+ / p^+	2.12 ± 0.03	2.20	3.0
K^- / p^-	2.35 ± 0.04	1.75	3.1

Tabla 5.6

Secciones eficaces (en mbarn) de producción de $\rho^0(770)$, $f_2(1270)$ y $\rho_3^0(1670)$
corregidas por modos de desintegración no detectados

Reacción	x > 0.4	x > 0.6
$\pi^- p \rightarrow \rho^0(770) X$	1.65 ± 0.05	0.94 ± 0.04
$\pi^- p \rightarrow f_2^0(1270) X$	0.74 ± 0.07	0.47 ± 0.05
$\pi^- p \rightarrow \rho_3^0(1670) X$	-	0.42 ± 0.09

DESCRIPCION DE FIGURAS

- Fig. 5. 1 Secciones eficaces diferenciales inclusivas de producción de π^+ y π^- en función de: (a) variable x de Feynman; (b) variable y o "rapidity". Los datos de π^0 que aparecen en (a) proceden de [5.2]. Las curvas teóricas son las predicciones del modelo descrito en [5.12].
- Fig. 5. 2 Secciones eficaces diferenciales inclusivas de producción de K^+ y K^- en función de: (a) variable x de Feynman, (b) variable y o "rapidity". Las curvas teóricas son las predicciones del modelo descrito en [5.12]. Los datos de K^0_S que aparecen en (b) proceden de [5.4]. La producción directa de K^- se define en el texto.
- Fig. 5. 3 Secciones eficaces diferenciales inclusivas de producción de protón y antiprotón en función de: (a) variable x de Feynman, (b) variable y o "rapidity". Las curvas teóricas son las predicciones del modelo descrito en [5.12]. Los datos sobre producción de Λ y $\bar{\Lambda}$ proceden de [5.4].
- Fig. 5. 4 Secciones eficaces diferenciales no invariantes de de producción de π^\pm . Las curvas son los resultados de los ajustes a la expresión $(1-x)^n/x$ en el intervalo $0.1 < x < 0.8$.
- Fig. 5. 5 Secciones eficaces diferenciales no invariantes de de producción de K^\pm . Las curvas son los resultados de los ajustes a la expresión $(1-x)^n/x$ en el intervalo $0.1 < x < 0.8$.
- Fig. 5. 6 Secciones eficaces diferenciales no invariantes de de producción de p y \bar{p} . Las curvas son los resultados de los ajustes a la expresión $(1-x)^n/x$ en el intervalo $0.1 < x < 0.8$.

Fig. 5. 7 Secciones eficaces diferenciales de producción de π^+ y π^- en función de la variable p_T^2 . Las curvas son los resultados de los ajustes realizados con la parametrización

$$d\sigma/dp_T^2 \propto p_T^a \exp(-bp_T^2) \exp(-cp_T)$$

Fig. 5. 8 Secciones eficaces diferenciales de producción de K^+ y K^- en función de la variable p_T^2 . Las curvas son los resultados de los ajustes realizados con la parametrización indicada en la Fig. 5.7.

Fig. 5. 9 Secciones eficaces diferenciales de producción de p y \bar{p} en función de la variable p_T^2 . Las curvas son los resultados de los ajustes realizados con la parametrización indicada en la Fig. 5.7.

Fig. 5.10 Distribución de los cocientes de producción de partículas (π^+/π^- , K^+/K^- , p/p) en función de las variables x y p_T^2 . La curva de puntos es la predicción del modelo de Lund y la curva de trazos es la predicción del modelo DTU.

Fig. 5.11 Distribución de los cocientes de producción de partículas en función de x en el intervalo $0.0 < x < 0.10$.

Fig. 5.12 Distribución del valor medio de p_T para π^+ y π^- en función de x .

Fig. 5.13 Distribución del valor medio de p_T para K^+ y K^- en función de x .

Fig. 5.14 Distribución del valor medio de p_T para p y \bar{p} en función de x .

Fig. 5.15 Distribución de masas efectivas del sistema $\pi^+\pi^-$ para $x > 0$. La curva describe el resultado del ajuste descrito en el texto.

Fig. 5.16 Distribución de masas efectivas del sistema $\pi^+\pi^-$ para $x > 0.6$. La curva describe el resultado del ajuste descrito en el texto.

Fig. 5.17 Sección eficaz inclusiva total y en la región $x > 0$ para producción de ρ^0 en reacciones $\pi^{\pm}p$ en función de la variable s (cuadrado de la energía total en el centro de masas). Los datos proceden de las referencias [5.11] y [5.32]-[5.40].

Fig. 5.18 Secciones eficaces no invariantes ($d\sigma/dx$) en la variable x para la producción de mesones ρ^0 (cruces) y f_2 (estrellas). La curva es la predicción del modelo de Lund normalizado a los datos en el intervalo $0 < x < 0.5$.

Fig. 5.19 Secciones eficaces invariantes ($F(x)$) en la variable x para la producción de mesones ρ^0 (cruces) y f_2 (estrellas). Los datos a 16 GeV/c se han tomado de [5.32].

Fig. 5.20 Sección eficaz invariante ($F(p_T^2)$) en la variable p_T^2 para la producción del mesón ρ^0 en el intervalo $0 \leq x \leq 0.5$.

Fig. 5.21 Sección eficaz invariante ($F(p_T^2)$) en la variable p_T^2 para la producción del mesón ρ^0 en el intervalo $x \geq 0.5$.

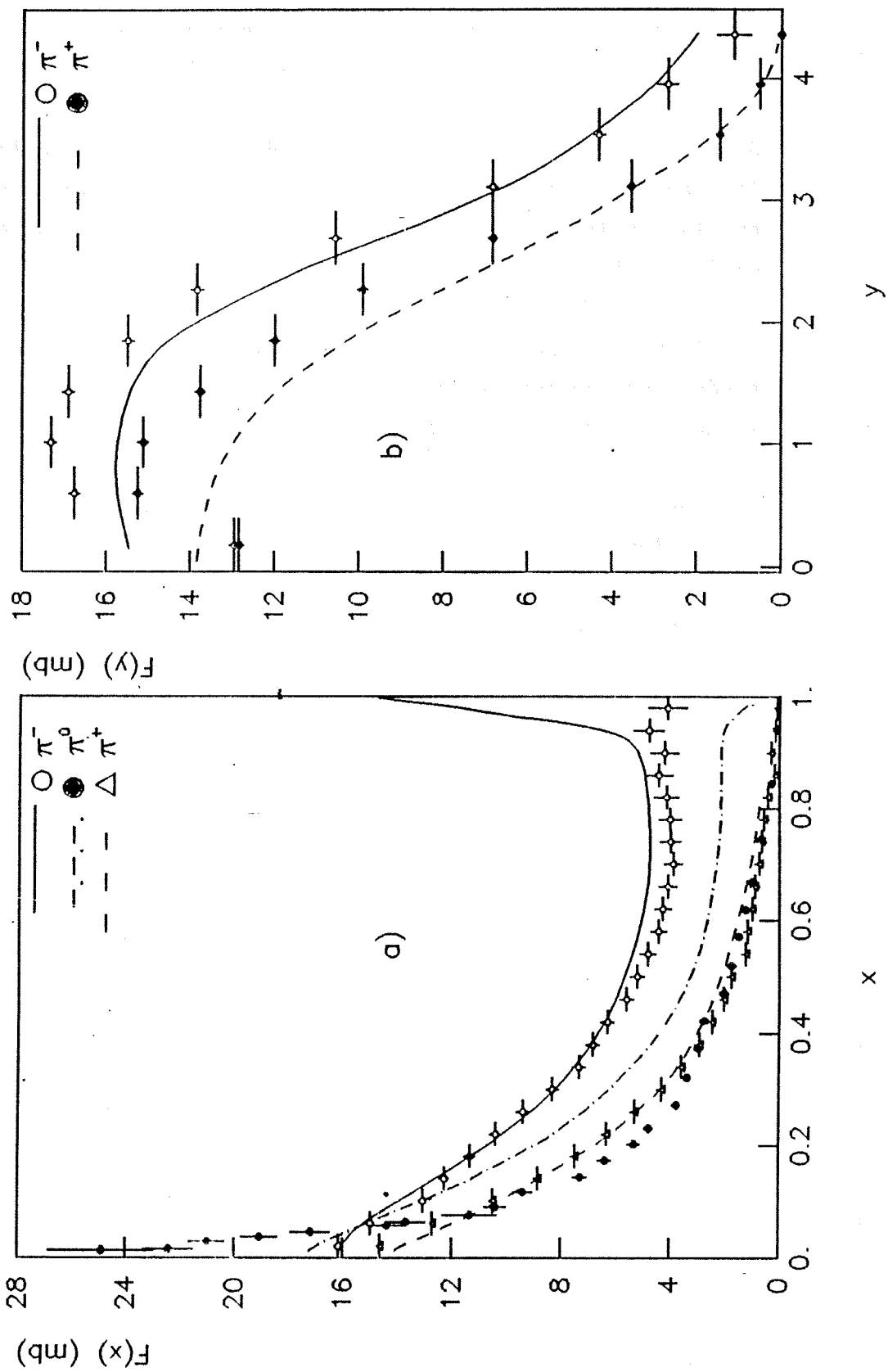


Fig. 5.1

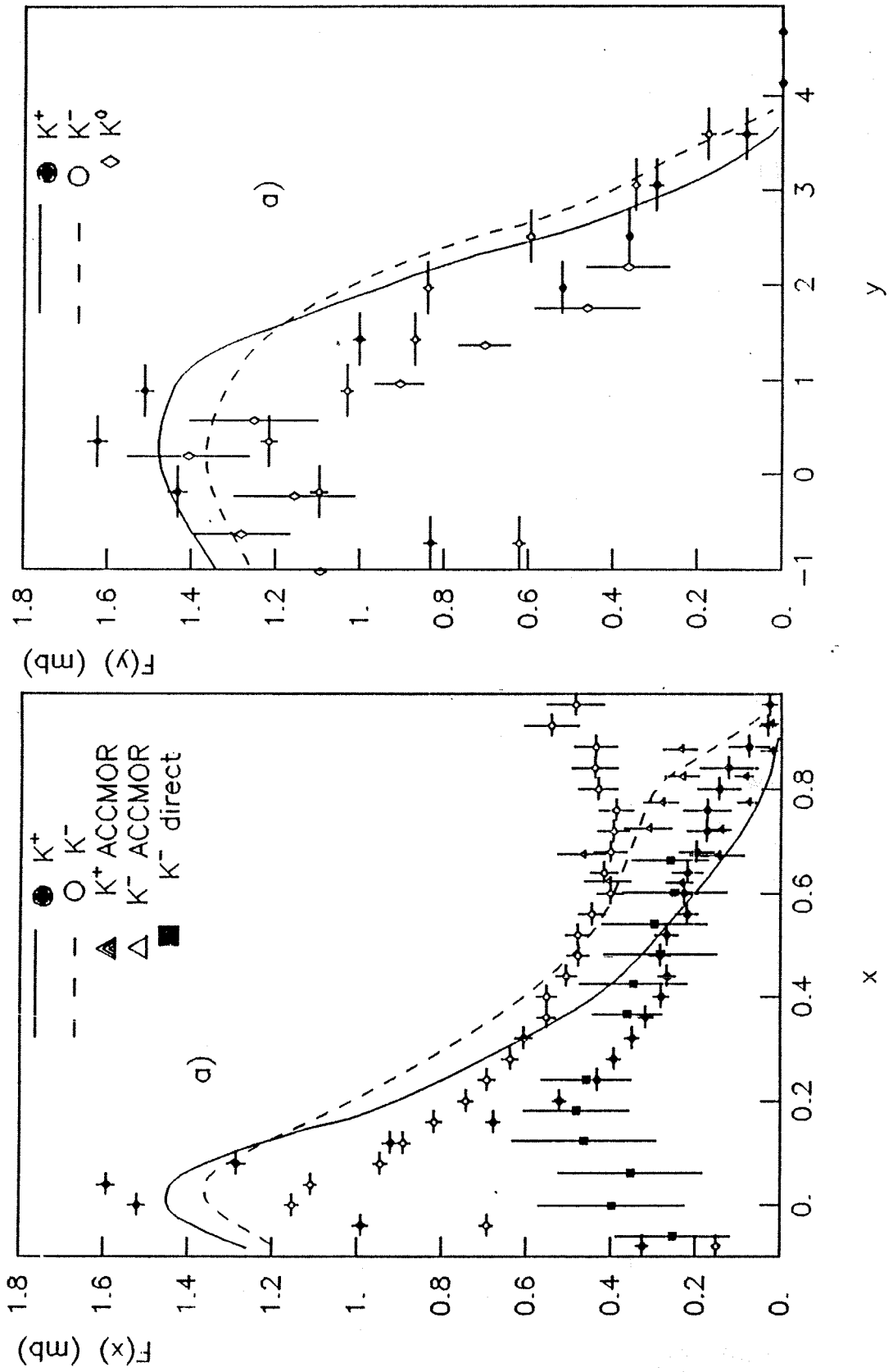


Fig. 5.2

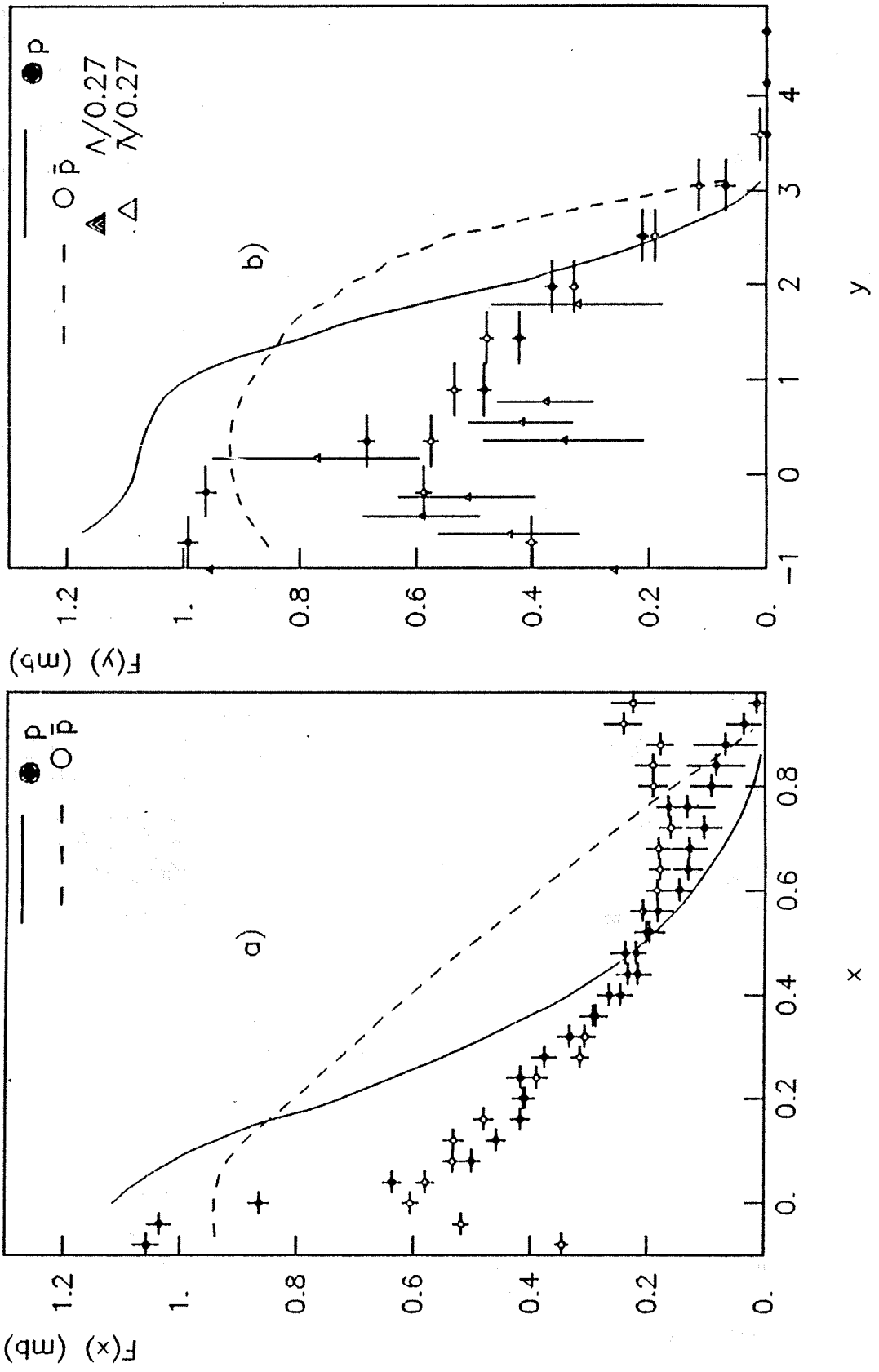


Fig. 5.3

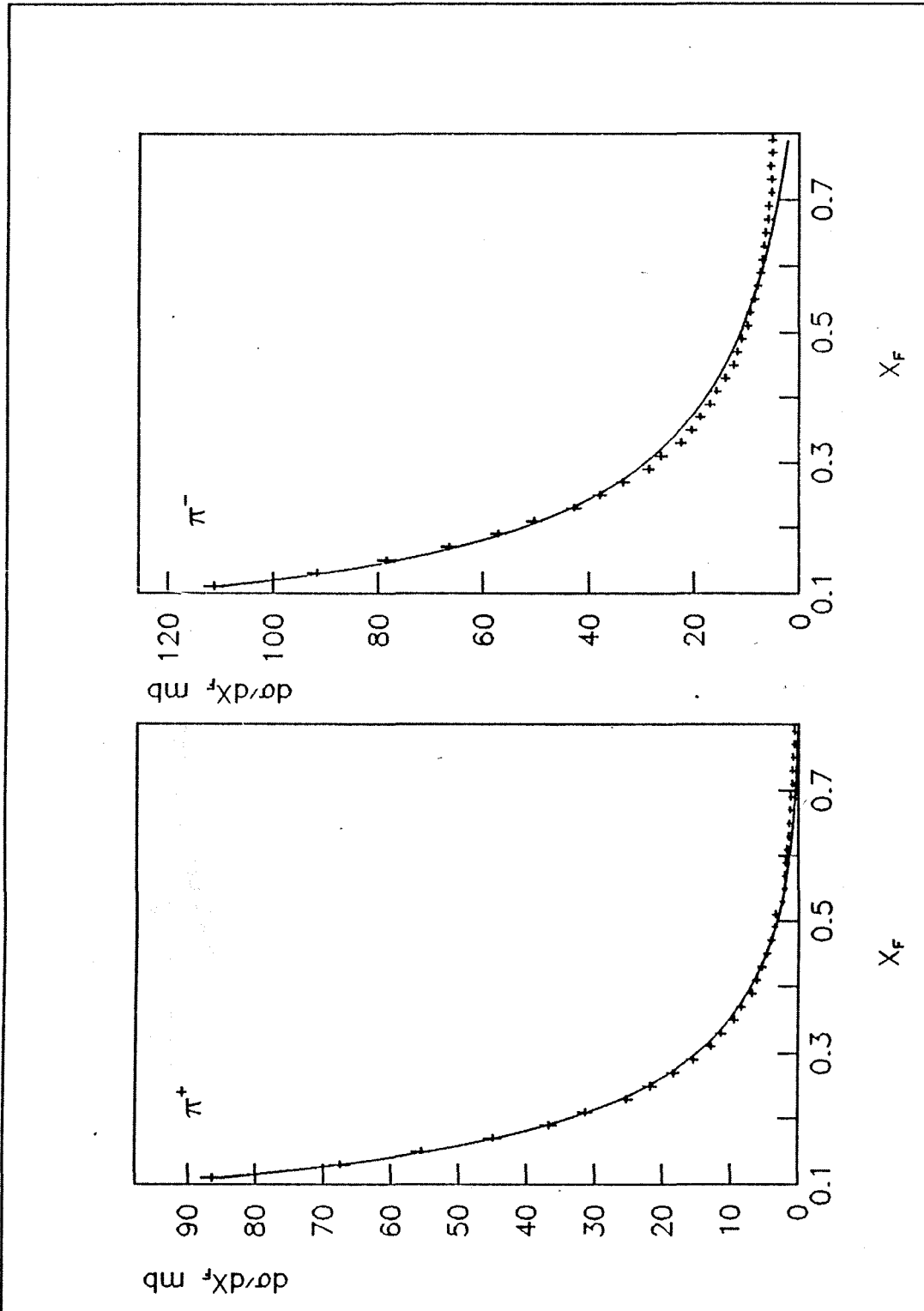


Fig. 5.4

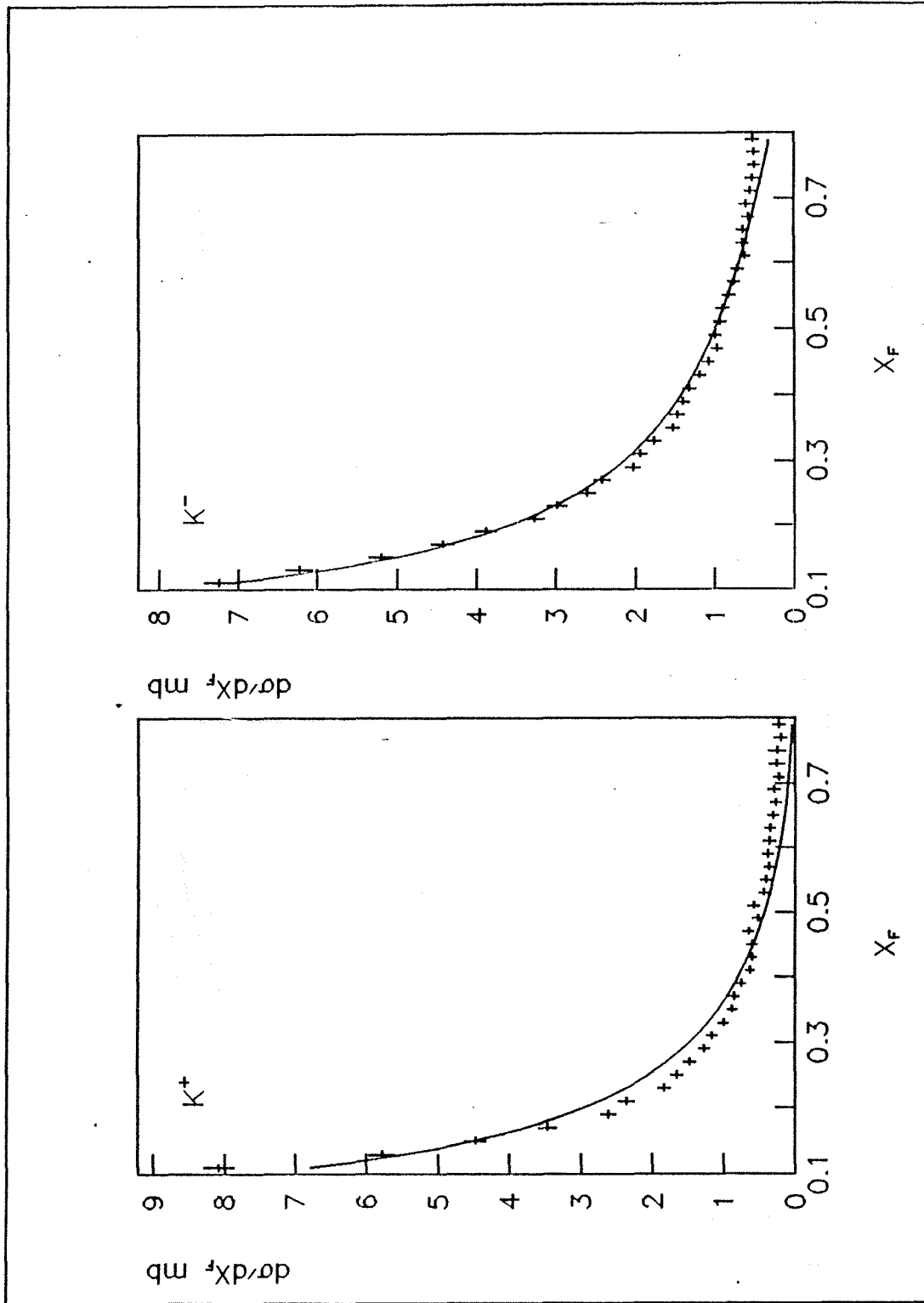


Fig. 5.5

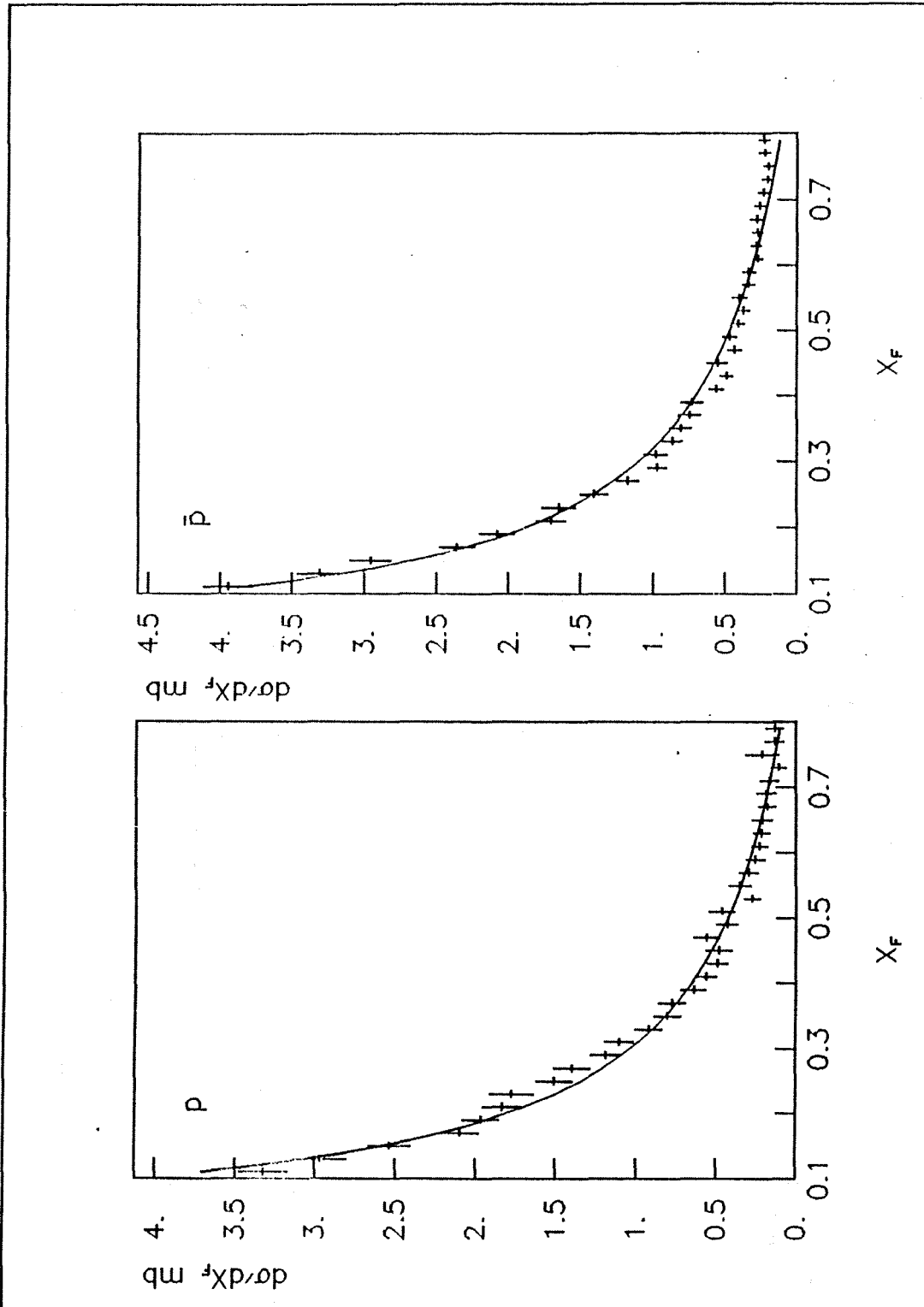


Fig. 5.6

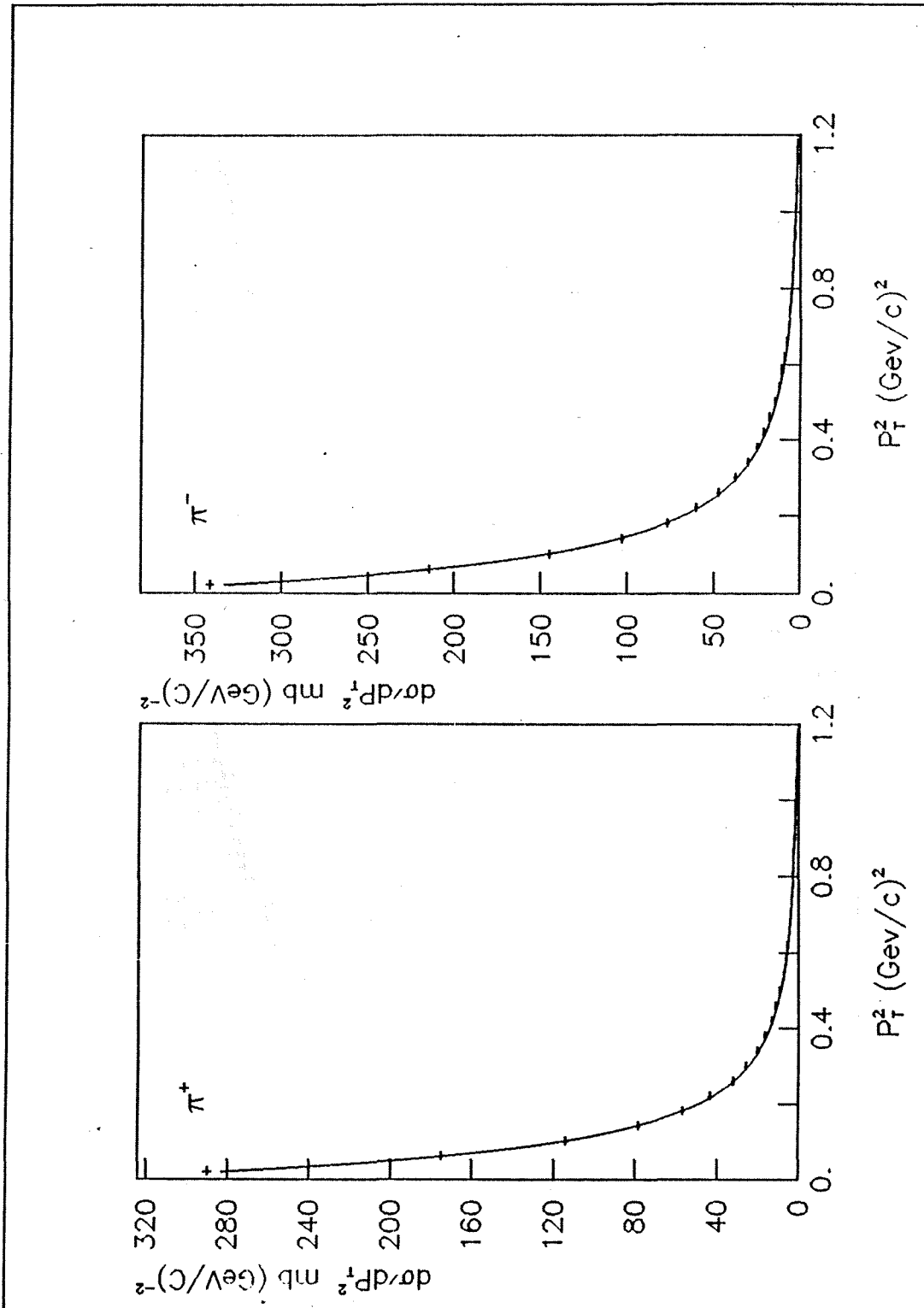


Fig. 5.7

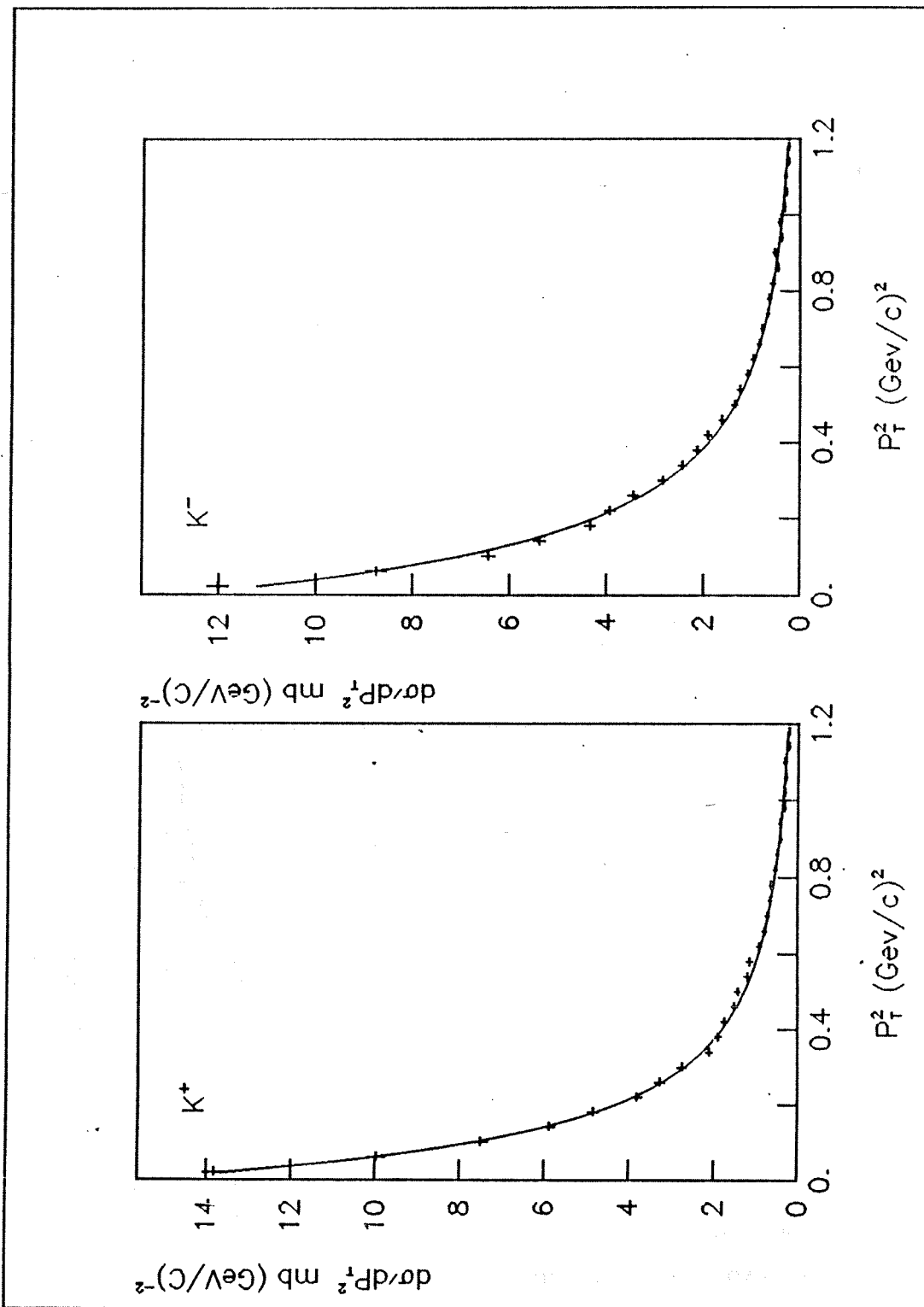


Fig. 5.8

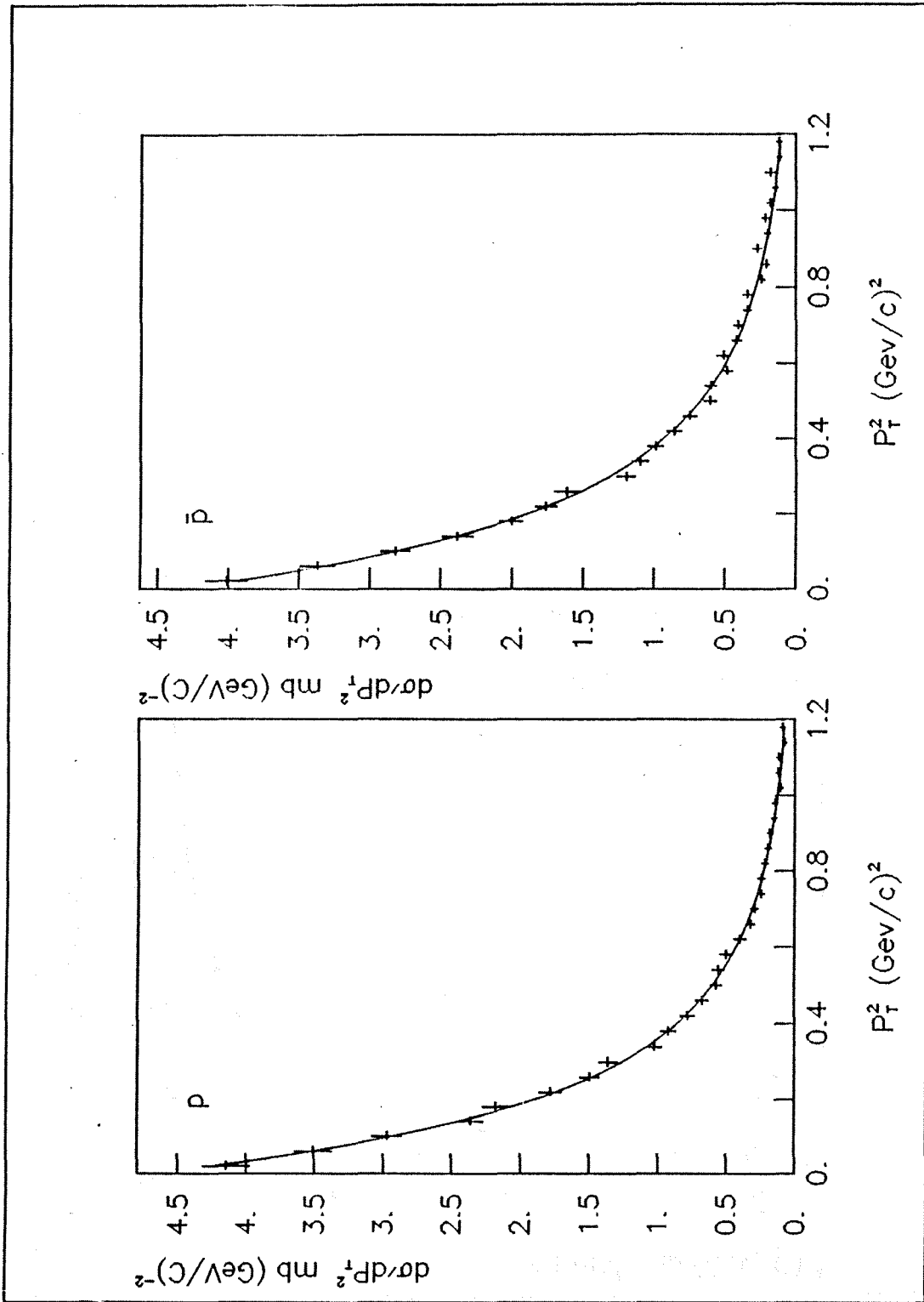


Fig. 5.9

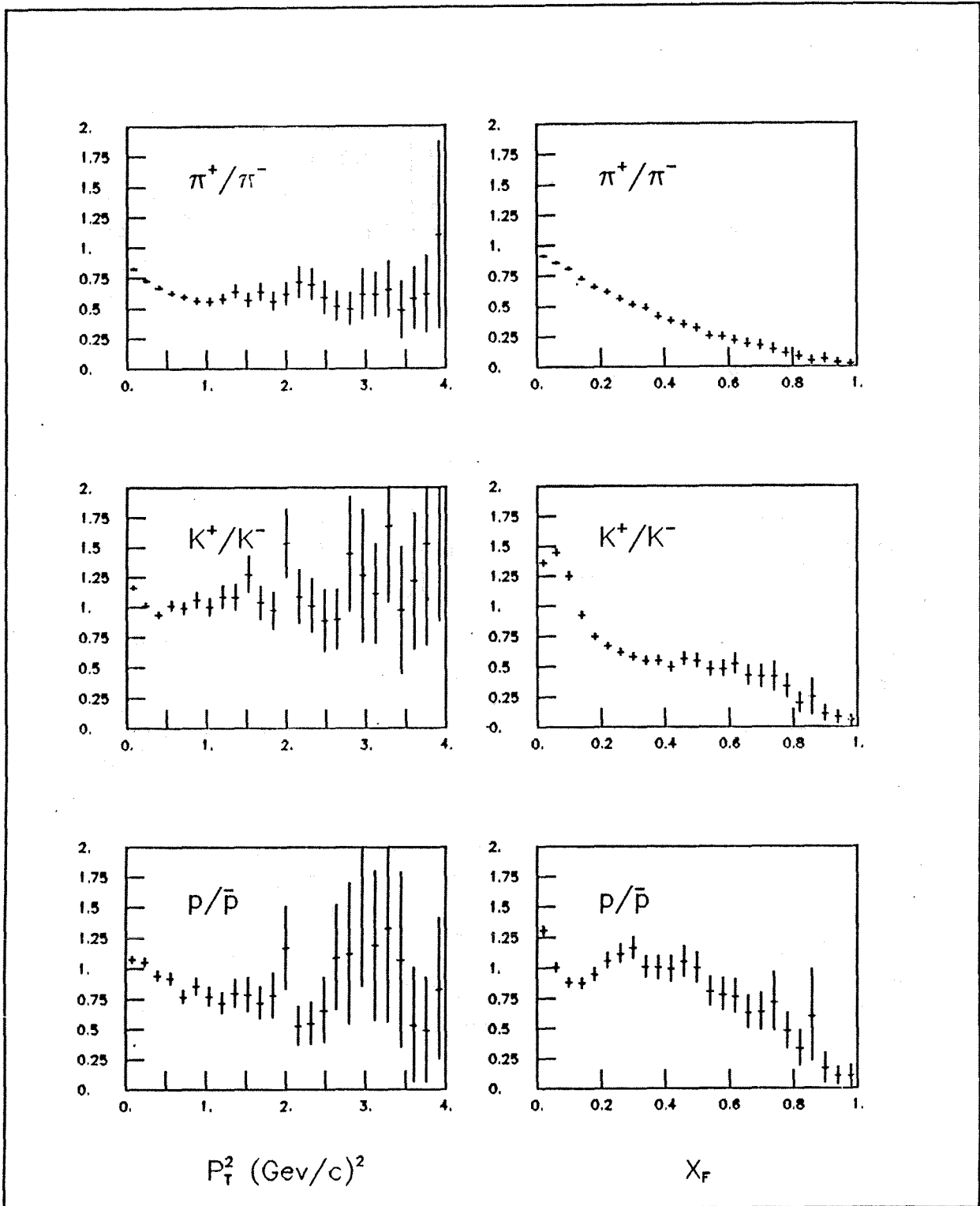


Fig. 5.10

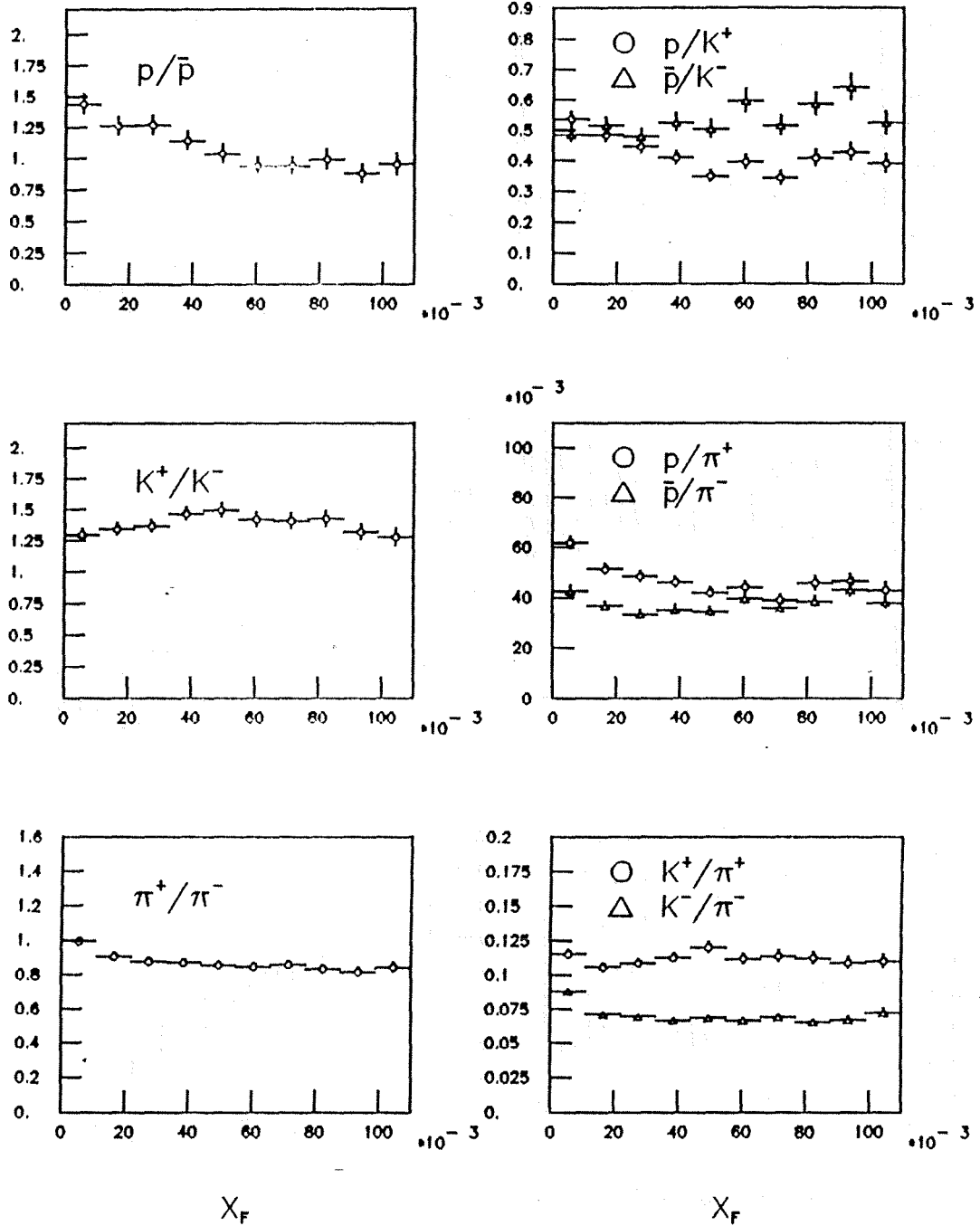


Fig. 5.11

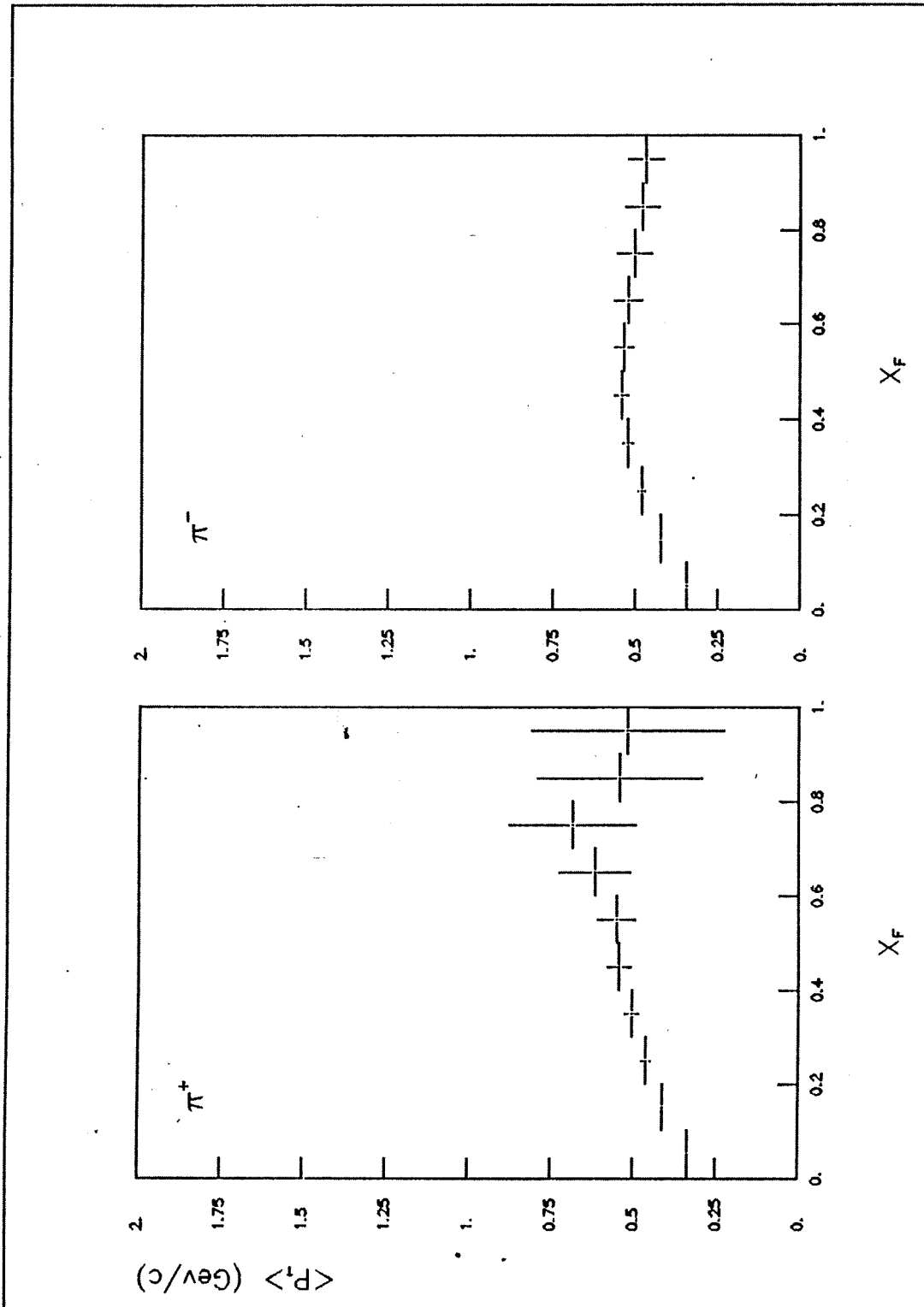


Fig. 5.12

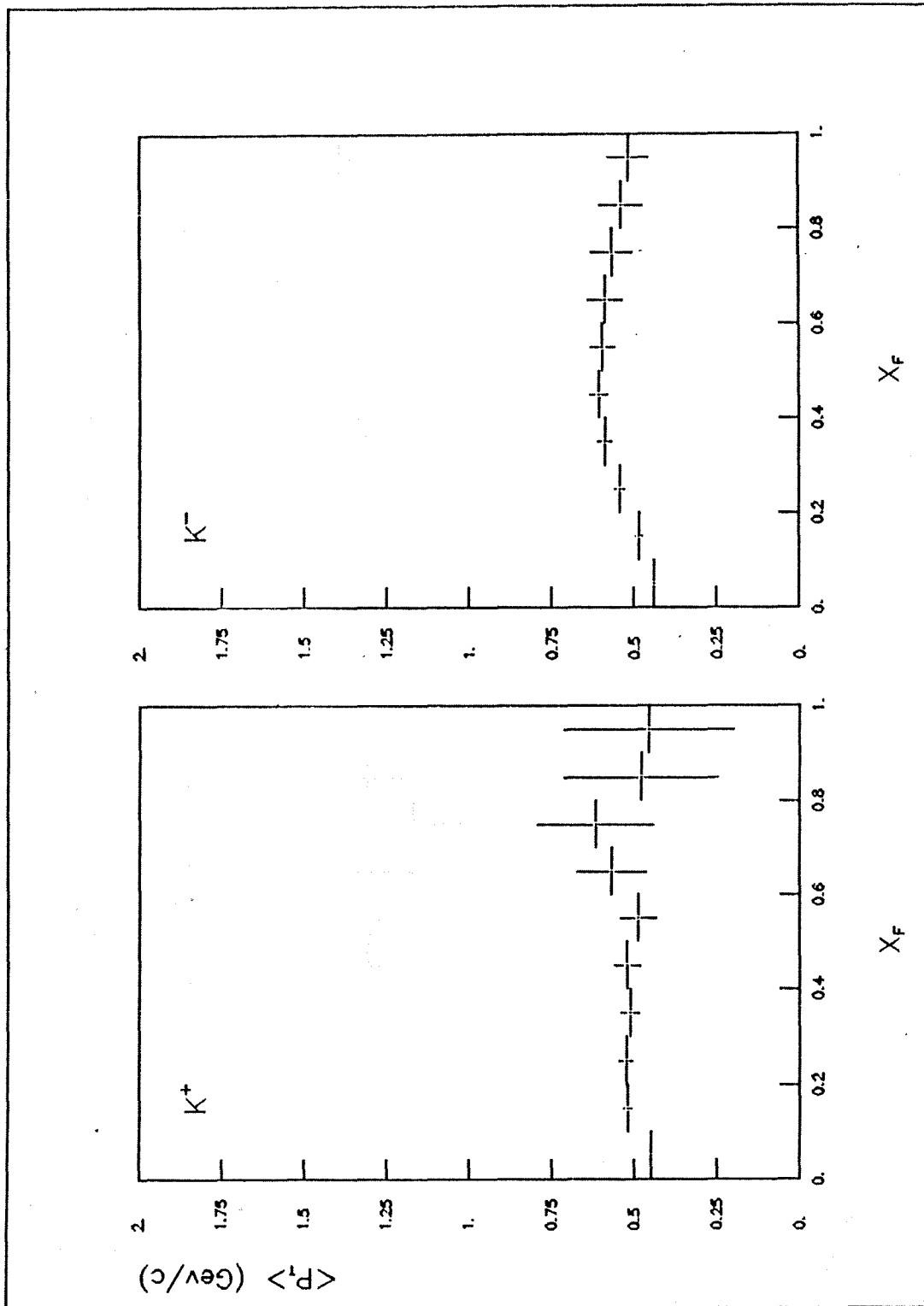


Fig. 5.13

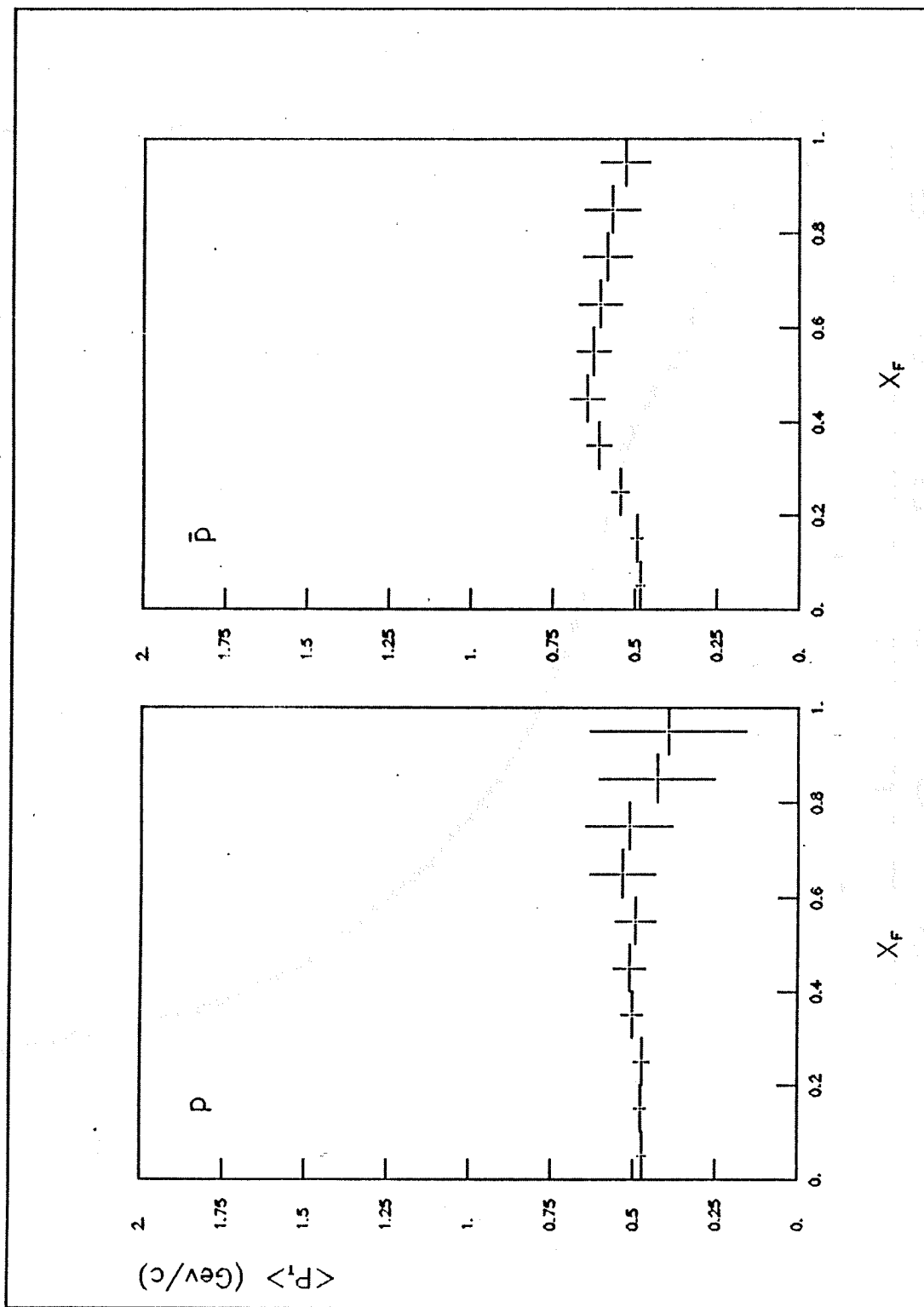


Fig. 5.14

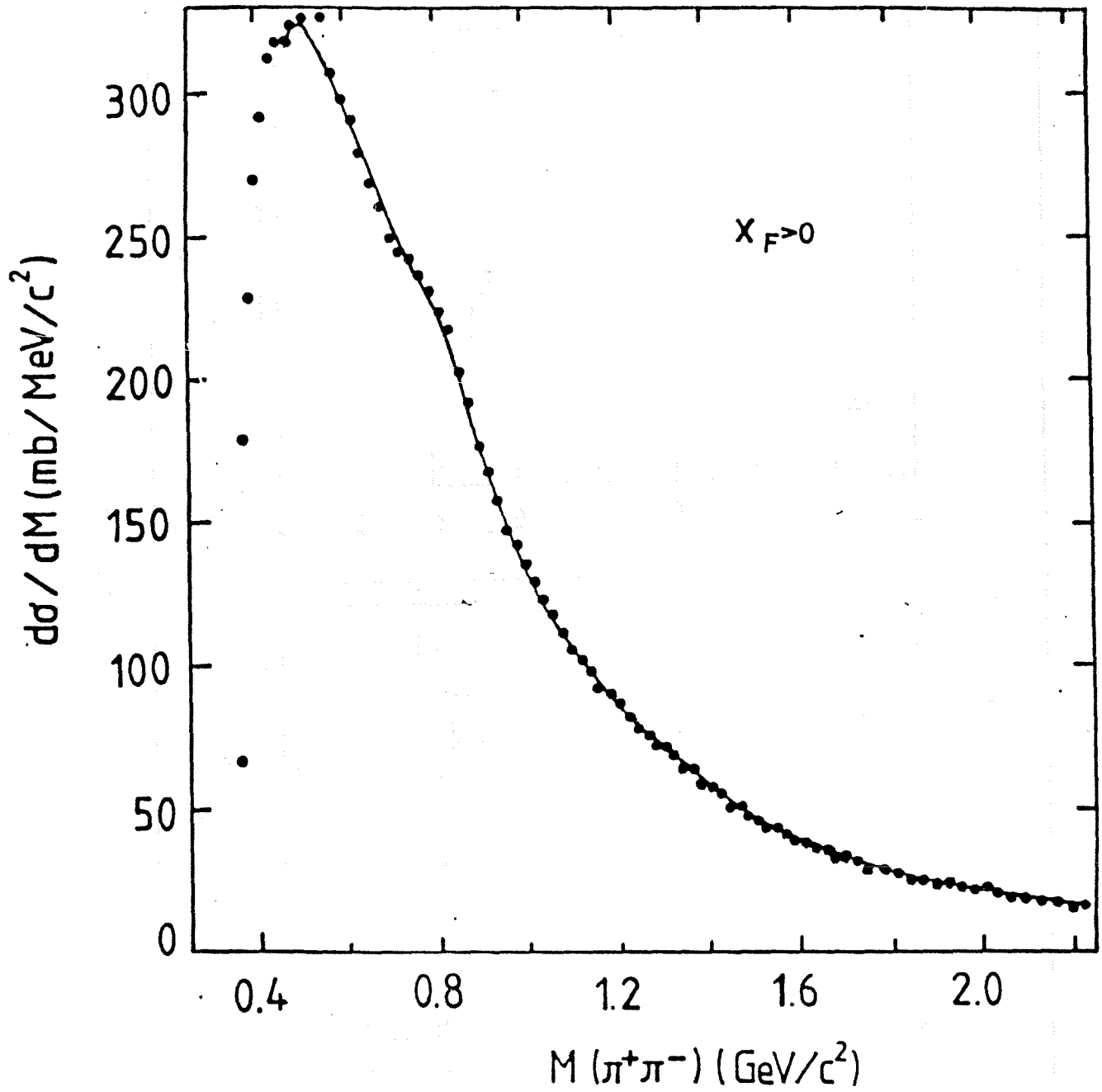


Fig. 5.15

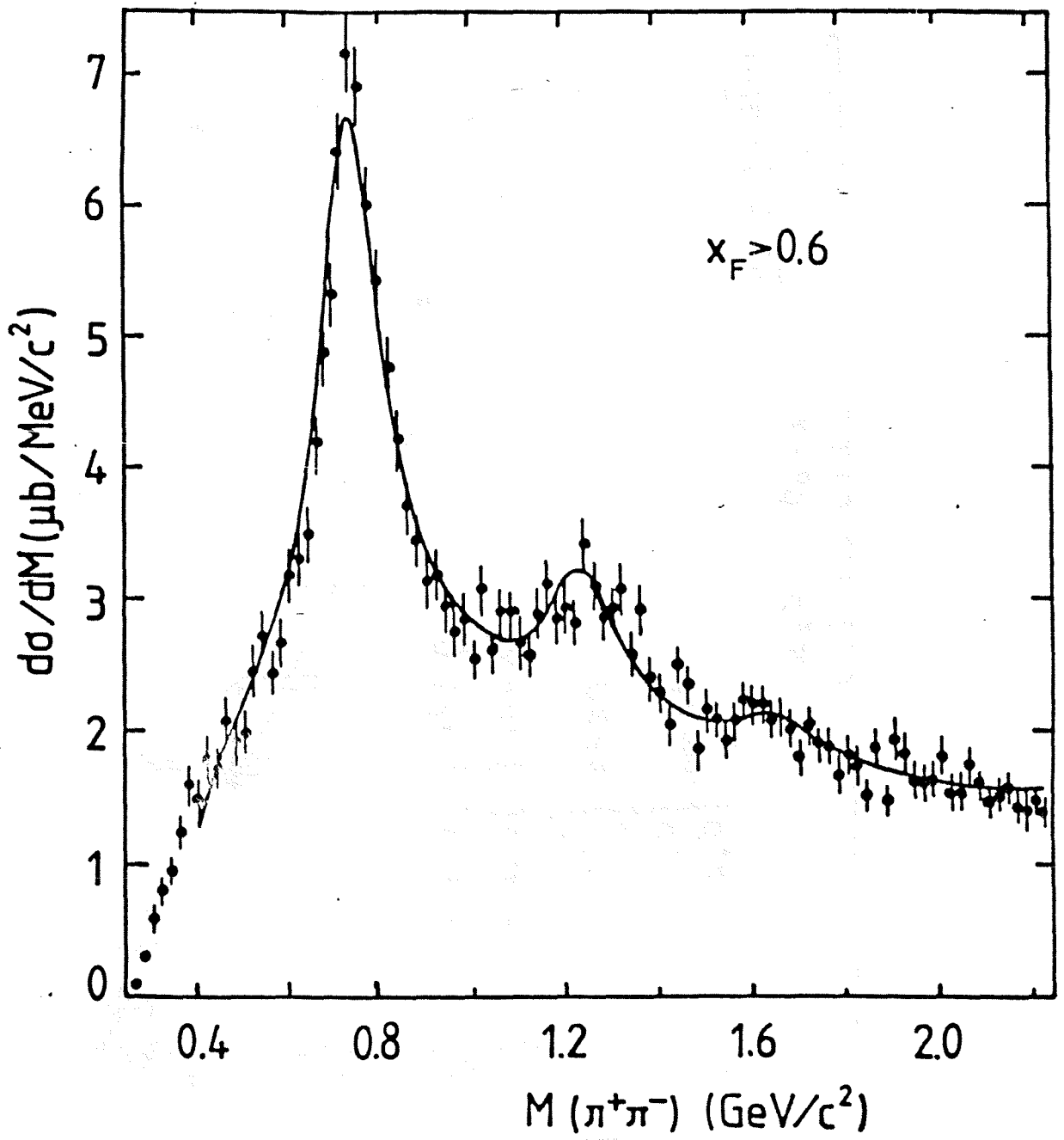


Fig. 5.16

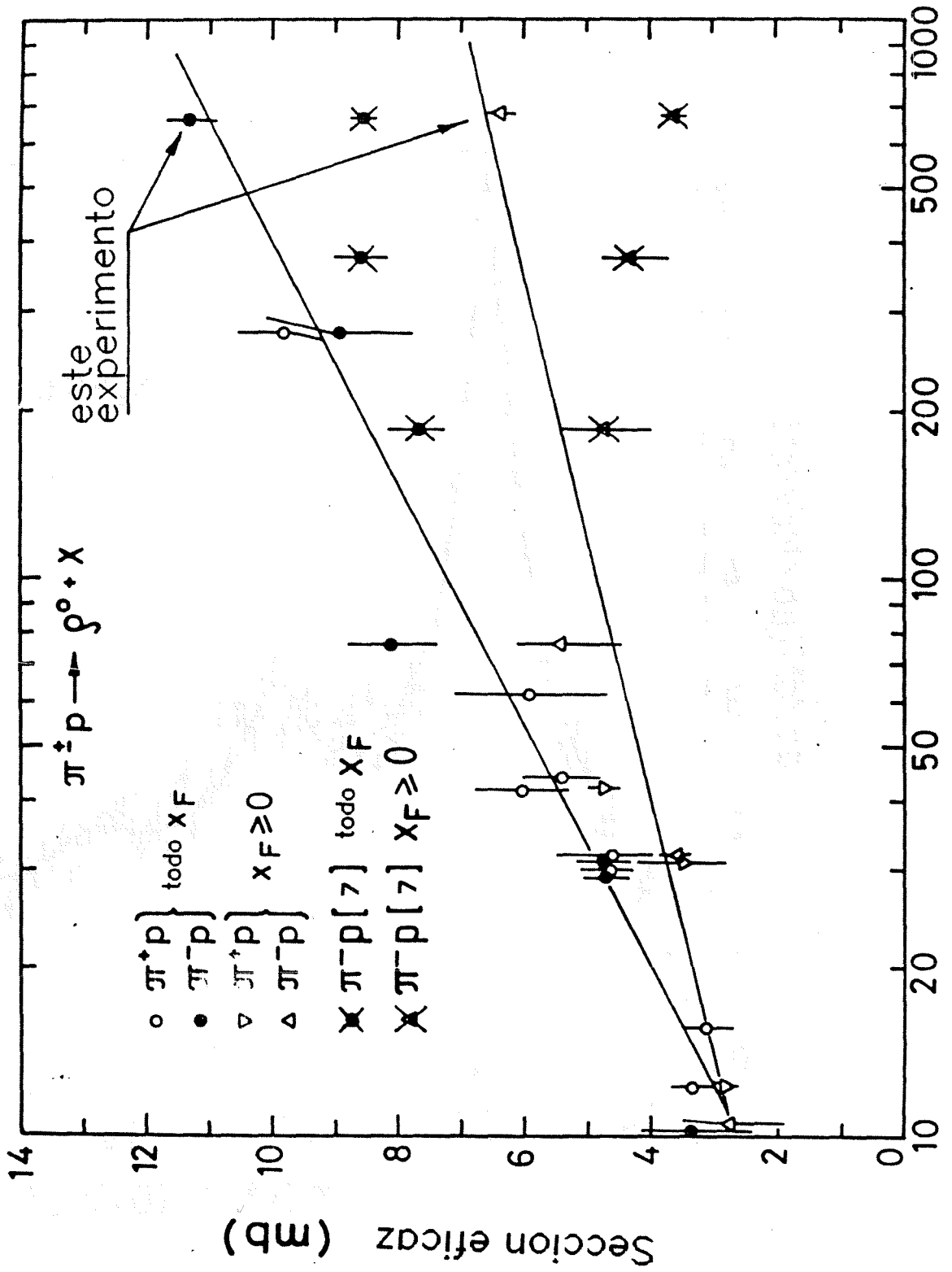


Fig. 5.17

s (GeV^2)

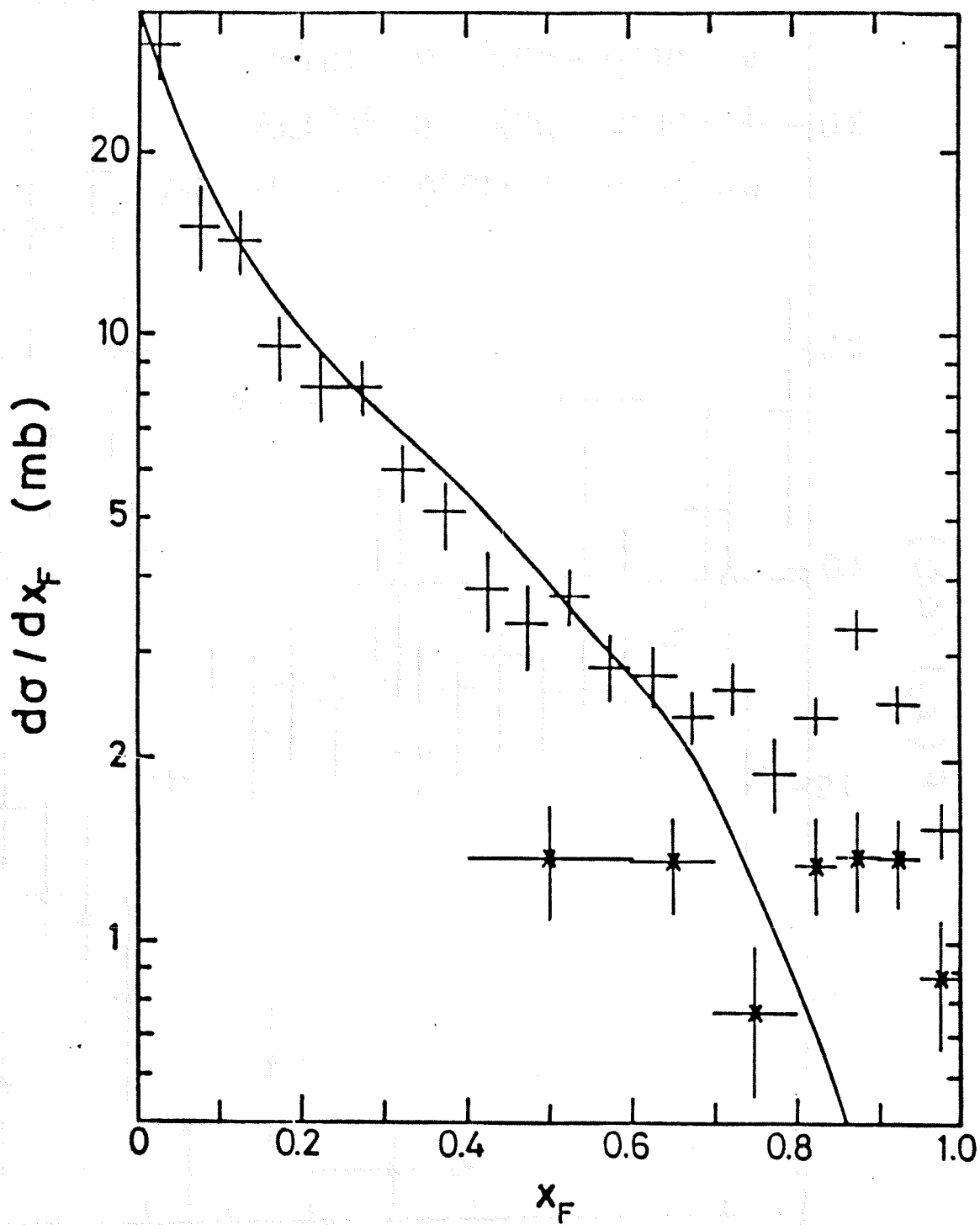


Fig. 5.18

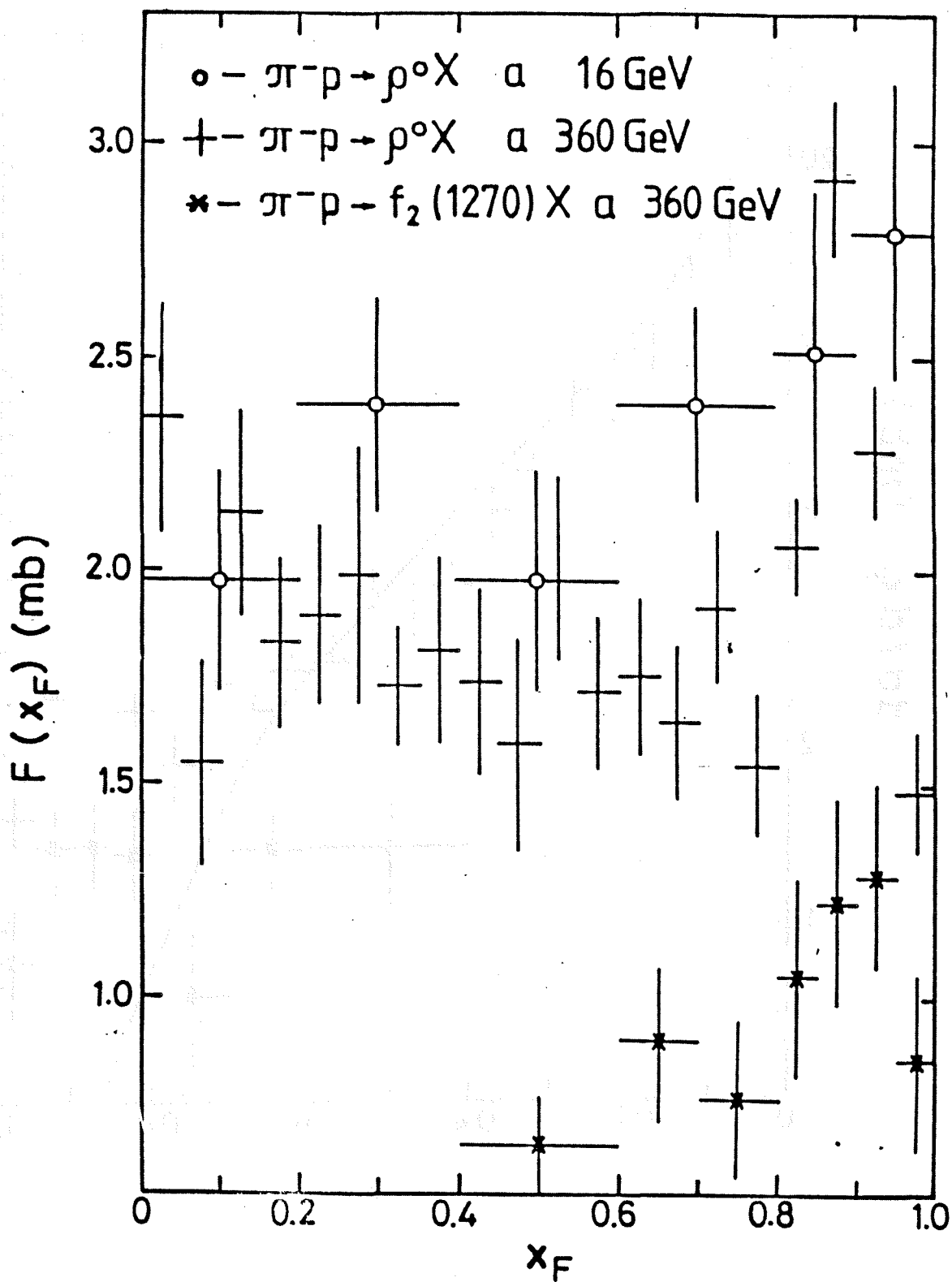


Fig. 5.19

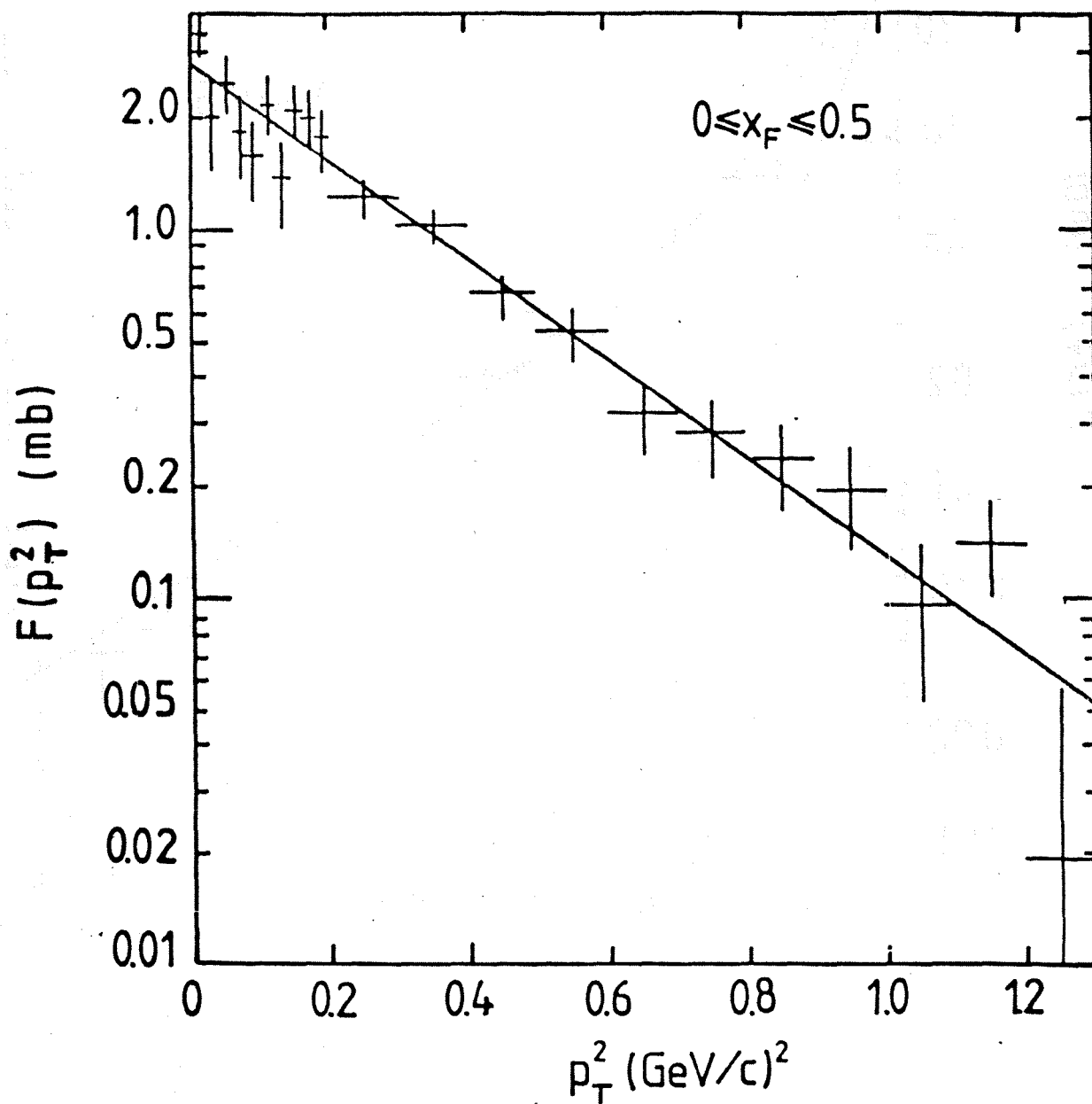


Fig. 5.20

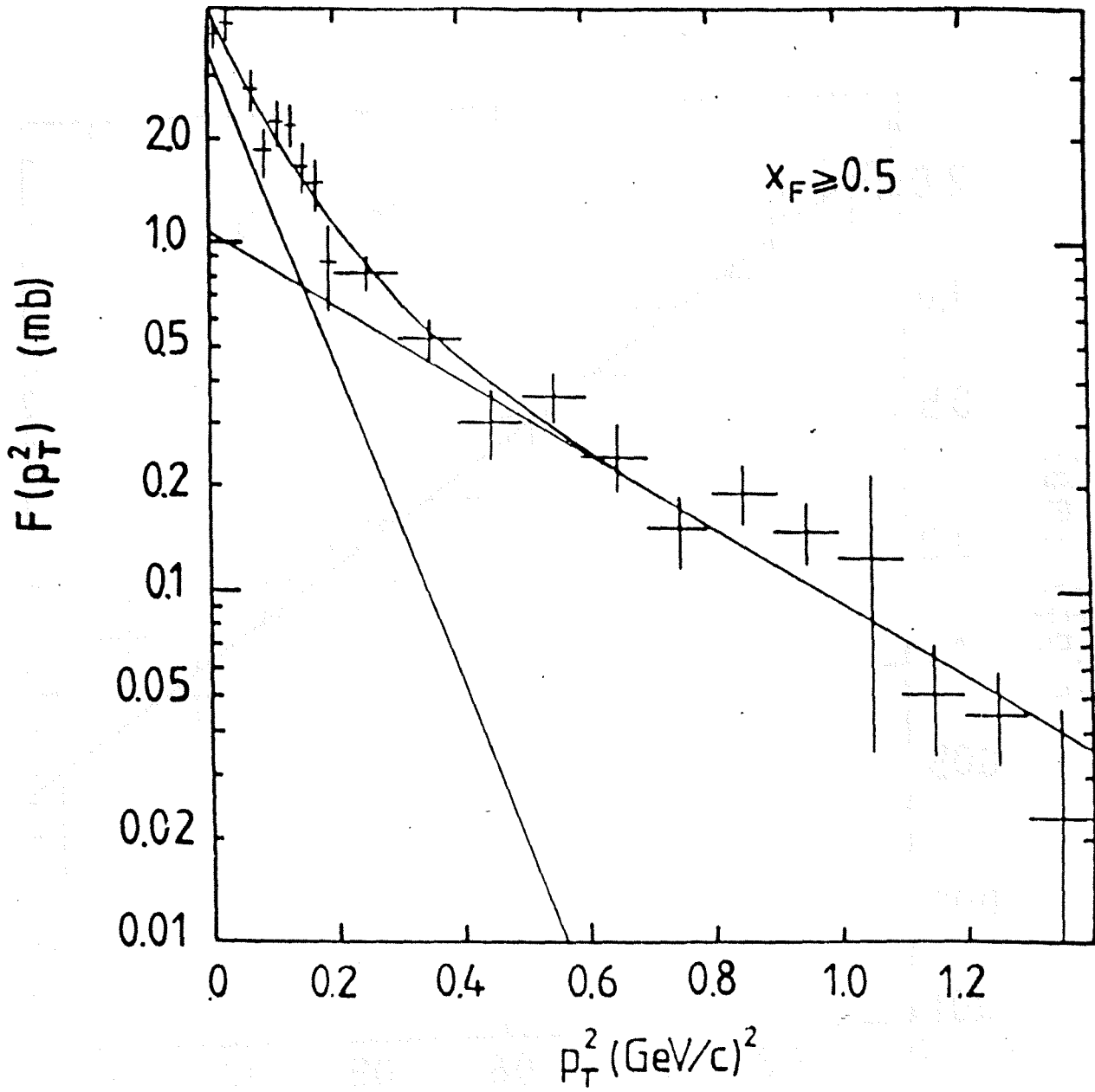


Fig. 5.21

Capítulo 6

Conclusiones

CAPITULO 6

CONCLUSIONES

Los resultados principales del trabajo presentado en esta memoria pueden resumirse de la forma siguiente:

1. Se ha desarrollado un procedimiento técnico que permite reconstruir las trayectorias cargadas originadas en colisiones $\pi^- p$ a 360 GeV/c a partir del vértice de la interacción primaria medido en la cámara de burbujas LEBC (LEXAN BUBBLE CHAMBER) y de la información electrónica registrada en los diversos detectores del EHS (EUROPEAN HYBRID SPECTROMETER).
2. A partir de una selección de 175032 sucesos obtenidos en el experimento NA27 ("An experiment to Measure Accurately the Lifetime of the D^0 , D^\pm , F^\pm , Λ_c Charm Particles and to Study their Hadronic Production and Decay Properties") con un trigger de interacción, se han reconstruido 397224 trayectorias con carga positiva y 465389 trayectorias con carga negativa. La eficacia de reconstrucción es muy alta en la región cinemática definida por $x > 0$ y $p_T < 2$ GeV/c y está afectada mínimamente por efectos sistemáticos.
3. La explotación de la información suministrada por el detector ISIS (IDENTIFICATION OF SECONDARIES BY IONISATION SAMPLING) ha permitido, mediante una extensión del formalismo de máxima verosimilitud, extraer muestras de π^\pm , K^\pm , p^\pm a partir de las cuales se han obtenido secciones eficaces totales inclusivas, secciones eficaces longitudinales (en las variables x e y) y transversas, frecuencias relativas de producción de partículas de diverso tipo y correlaciones.
4. El estudio de las distribuciones longitudinales muestra que, en la región central, los piones cargados positiva y negativamente se producen con aproximadamente igual intensidad, siendo ésta inferior a la frecuencia de producción de piones neutros en un 30%. Esta observación sugiere una importante producción central de mesones η y η' . Los meso-

nes K^+ y K^- se producen con secciones eficaces similares pero a través de mecanismos de producción diferentes. No se observa diferencia significativa en la producción de protones y antiprotones, requiriendo la frecuencia de producción observada en el hemisferio $x > 0$ una supresión de la presencia de diquarks en el mar inferior a la observada en aniquilaciones electrón positrón.

5. La forma de las distribuciones longitudinales puede parametrizarse con la expresión derivada en el contexto de las "quark counting rules" aunque las predicciones para el valor del exponente no se satisfacen de forma sistemática.
6. Las distribuciones inclusivas transversas pueden reproducirse con expresiones empíricas que incluyen 3 parámetros libres.
7. Se han observado correlaciones en las variables x y p_T que son función del tipo de partículas considerado.
8. Los modelos de fragmentación comunmente considerados reproducen sólo parcialmente las distribuciones longitudinales y transversas estudiadas.
9. Los estados finales obtenidos en interacciones $\pi^- p$ a 360 GeV/c están dominados por la producción de piones. Las frecuencias de producción y su dependencia en las variables cinemáticas es sólo parcialmente explicada por los modelos de fragmentación.
10. Se han medido secciones eficaces inclusivas totales y diferenciales para los mesones ρ^0 , f_2 y ρ^0_3 , a partir de las distribuciones de masas efectivas del sistema $\pi^+\pi^-$, y estudiado la dependencia con la energía.
11. Se ha medido una importante señal de producción de mesones ρ^0 para valores altos de x que puede estar originada por la desintegración de estados resonantes producidos difractivamente.
12. La magnitud de la señal difractiva es del mismo orden que la obtenida en interacciones K^+p .

La extensión normal del trabajo aquí presentado es la medida de similares magnitudes (secciones eficaces totales y diferenciales, correlaciones...) en las interacciones protón-protón a 400 GeV/c, que ya han sido analizadas por la Colaboración LEBC-EHS para extraer información precisa sobre las propiedades de producción y desintegración de partículas con encanto. La colaboración dispone en estos momentos de cerca de 600000 intera-

cciones reconstruidas, de las que aproximadamente 100000 se han procesado en el CIEMAT. La comparación de los resultados inclusivos en interacciones π^-p a 360 GeV/c y pp a 400 GeV/c y una más amplia investigación de las propiedades de producción de resonancias mesónicas y bariónicas debe constituir una interesante aportación a la mejor comprensión fenomenológica de la producción inclusiva de partículas a alta energía. Los datos presentados en esta memoria ponen de manifiesto la ausencia de una descripción teórica detallada y sistemática de las características relevantes de los procesos hadrónicos a alta energía.

Apéndice 1

Proposición Presentada al SPSC

CERN/SPSC 81-86
SPSC/P 169
16 November 1981

PROPOSAL TO MEASURE ACCURATELY THE LIFETIME OF THE D^0 , D^\pm , F^\pm , Λ_c

CHARM PARTICLES AND TO STUDY THEIR HADRONIC PRODUCTION AND DECAY PROPERTIES

Aachen¹-Brussels²-Bombay³-Collège de France⁴-CERN⁵-Genova⁶-Liverpool⁷-
Madrid⁸-Mons⁹-Oxford¹⁰-Padova¹¹-Paris¹²-Roma¹³-RHEL¹⁴-Serpukhov¹⁵-Stockholm¹⁶-
Strasbourg¹⁷-Tokyo¹⁸-Trieste¹⁹-Tennessee-Rutgers²⁰-Vienna²¹ Collaboration

M. Aguilar-Benitez⁵, W. Allison¹⁰, P. Bagnaia¹³, W. Bartl²¹, P. Beillière⁴,
Yu. Belokopytov¹⁵, G. Bertrand-Coremans², A. Bettini¹¹, R. Bizzarri¹³,
H. Brand¹², H. Braun¹⁷, F. Bruyant⁵, C. Caso⁶, E. Castelli¹⁹, D. Cauz¹⁹,
P. Checchia¹⁹, Y. Chiba⁵, P. Chliapnikov¹⁵, G. Ciapetti¹³, R. Contri⁶,
D. Crennell¹⁴, M. Cresti¹¹, L. De Billy¹², M. Deutschmann¹, E. Di Capua¹³,
H. Dibon²¹, C. Dionisi¹³, J. Dolbeau⁴, J. Dumarchez⁵, T. Emura¹⁸,
W. Evans⁷, A. Ferrando⁸, C. Fischer¹², Yu. Fisjak¹⁵, F. Fontanelli⁶,
A. Forni¹³, J. Fry⁷, S. Ganguli³, U. Gasparini¹¹, S. Gentile⁵, F. Grard⁹,
A. Gurtu³, R. Hamatsu¹⁸, L. Haupf¹⁶, S. Hellman¹⁶, J.A. Hernandez⁸,
Ph. Herquet⁹, A. Hervé⁵, S. Hirose¹⁸, S.O. Holmgren¹⁶, M. Houlden⁷,
J. Hrubec⁵, M. Iori¹³, E. Johansson⁵, S. Kaneko¹⁸, E. Kistenev¹⁵,
I. Kita¹⁸, S. Kitamura¹⁸, H. Kono¹⁸, N. Kurtz¹⁷, P. Ladrón de Guevara⁸,
M. Laloum⁴, J. Lemonne², H. Leutz⁵, R. Llosa⁸, P.F. Loverre¹³, L. Lyons⁹,
M. MacDermott¹⁴, P. Malhotra³, G. Marel¹³, F. Marzano¹³, P. Mason⁷,
M. Matsumoto¹⁸, M. Mazzucato¹¹, A. Michalon¹⁷, M. Michalon¹⁷, N. Minaev¹⁵,
T. Moa¹⁶, L. Montanet⁵, H. Muirhead⁷, J. Mulvey¹⁰, G. Neuhofer²¹,
H.K. Nguyen¹², S. Nilsson¹⁶, G. Otter²¹, G. Patel⁷, L. Peruzzo¹¹,
P. Pilette⁹, B. Piljgroms⁵, G.C. Piredda¹³, C. Poirét⁹, A. Poppleton⁵,
P. Poropat¹⁹, P. Porth²¹, M. Regler²¹, S. Reucroft⁵, J. Richardson⁵,
H. Rohringer²¹, P. Rossi¹¹, J.A. Rubio⁸, J. Salicio⁸, G. Sartori¹¹,
H. Schluetter¹, M. Schooten⁵, A. Schrankar³, R. Schulte¹, B. Sellden¹⁶,
M. Sessa¹⁹, S. Squarcia⁵, V. Stopchenko¹⁵, W. Struczinski¹, A. Subramanian³,
K. Takahashi¹⁸, S. Tavernier², O. Tchekilev¹⁵, D. Doet⁵, U. Trevisan⁶,
C. Troncon¹⁹, G. Van Homweghen², M. Van Immerseel-Van Homweghen²,
L. Ventura¹¹, P. Vilain², A. Vorobjev¹⁵, B. Whyman⁷, J. Wickens²,
P. Wright⁵, T. Yamagata¹⁸, L. Zanello¹³, W. Zielinski¹², P. Zotto¹¹
and G. Zumerle⁵

ABSTRACT

We propose to use the EHS with the hydrogen bubble chamber HOLEBC equipped with classical optics to accumulate statistics of several hundred fully reconstructed D^0 and D^\pm and several tens of F^\pm and Λ_c decays produced by 360 GeV/c π^- and 360 GeV/c proton beams. The main aim of the experiment is to determine accurately the lifetime of these particles. Interesting information will also be obtained on branching ratios, decay modes and hadronic production mechanisms.

This goal would be achieved with thirty days (15 π^- , 15 p) of data acquisition preceded by a few days of setting-up, and would need a scanning-measuring analysis effort of the order of one year.

1. INTRODUCTION

We have learnt from the attempts made in the last few years to determine the decay properties of the charm particles that three conditions must be met to make a good experiment:

- (a) The charm particle decay must be directly observed with a detector giving a spatial resolution of at least 50 μm .
- (b) The decays must be reconstructed with the maximum kinematical constraints in order to remove ambiguities and reject efficiently the background. This means that a powerful multitrack spectrometer, charged particle identification and π^0 reconstruction are necessary.
- (c) A powerful software tool must be available to hook, match, fit and reconstruct the decays.

The results of NA16 justify these assertions. NA16 used a small bubble chamber (LEBC) as vertex detector, providing a resolution of 40 to 50 μm . It also used the EHS spectrometer which has been designed, from the start, to reconstruct multiparticle events with a momentum resolution of $\Delta p/p \sim 1\%$ over the full momentum range covered at SPS energies, the γ detectors IGD and FGD, and a prototype version of ISIS for particle identification.

The set of software programs prepared for the EHS experiments was successfully used, after some modifications had been introduced to take into account the specific geometrical arrangement of the detectors used for NA16.

Results on charm particle lifetimes were presented within a year of data acquisition [1].

The main weaknesses of NA16 are:

- (a) Limited spatial resolution (40 to 50 μm), which reduces the efficiency for the detection of F_c^\pm and Λ_c^+ decays assuming lifetime $\sim 2 \times 10^{-13}$ s.
- (b) Poor contrast of the bubble chamber pictures, making the scanning a rather difficult and lengthy operation.

- (c) Very limited charged particle identification.
- (d) The trigger efficiency was limited to 50% (one useful interaction every two pictures).
- (e) Poor spectrometer efficiency for particles with low momentum.

We now propose to take data with a set-up (fig. 1), which preserves the good features of NA16 (EHS spectrometer and γ detectors), introducing the following modifications to cope with the weaknesses listed above:

- (i) LEBC will be replaced by HOLEBC, a hydrogen bubble chamber equipped with two high resolution cameras providing a resolution of $\sim 20 \mu\text{m}$.
- (ii) The illumination of HOLEBC provides a contrast of higher quality than that of LEBC (fig. 2).
- (iii) SAD (a silica-aerogel Cerenkov) and ISIS2 will be used for charged particle identification in the first lever-arm of EHS. FC (a forward Cerenkov) and TRD (transition radiation detectors) may also be operational after a few days of setting-up in March 1982. This set of detectors should provide particle identification for a large fraction of the charm decay products.
- (iv) A more sophisticated interaction trigger should increase the trigger efficiency from 50 to $> 70\%$.
- (v) The EHS spectrometer will be reinforced, between HOLEBC and W_2 , with two high precision wire chambers, W_0 and W_1 , and PIC, a two-plane inclined wire chamber used in a drift chamber mode which will provide good two-track resolution. The six plane wire chamber W_2 and the drift chambers D_1 and D_2 , will be upgraded to increase the spectrometer efficiency.

SAD and ISIS have already been successfully operated during the ten days of NA23 data acquisition in August 1981. HOLEBC, the trigger counters, the wire chambers and PIC have been tested in October 1981; the performance of the new version of the spectrometer is being evaluated on a sample of events from this run.

We propose to use this experimental set-up to take data with incident 360 GeV/c π^- and 360 GeV/c p for \sim 15 days each in order to collect several hundreds of well-reconstructed D^0 and D^\pm decays, as well as several tens of F^\pm and Λ_c decays.

Our Collaboration has the scanning-measuring capacity to achieve this goal within one year.

2. EXPERIMENTAL CONFIGURATION

The experimental set-up shown in fig. 1 consists of:

- 2.1 A small liquid hydrogen bubble chamber HOLEBC [2], using two cameras equipped with two CERCO lenses [3]. These lenses offer the possibility of reaching a spatial resolution of the order of 20 μ m over a depth of field of several millimetres. Moreover, the contrast achieved with HOLEBC is sharper than that obtained using LEBC. Tests made during period 7C, have shown that with a bubble chamber not optimized for classical optics (holographic tests were also being made), and with lenses not specifically designed for the chamber, a resolution of the order of 20 μ m was achieved with excellent contrast (fig. 2).
- 2.2 A trigger composed of scintillation counters, silicon detectors and two high resolution wire chambers (W_0 , W_1). These define the fiducial volume trigger with which to take pictures and data when an interaction occurs in the liquid hydrogen. A sketch of this trigger is shown in fig. 3. Tests of the trigger were made during period 7C; the results obtained are encouraging and are now being analyzed off-line. An overall efficiency for the trigger of the order of 70% is expected.
- 2.3 A beam chopper and kicker magnet which eliminate the beam during the non-sensitive periods of HOLEBC and once a useful interaction has been detected. These manipulations of the beam limit space charge problems in the spectrometer and ISIS, and provide clean pictures (with at most one interaction/picture).

- 2.4 A proportional inclined chamber, PIC, installed in M_1 , which helps to match tracks between HOLEBC and the spectrometer.

PIC consists of two planes inclined at 35° to the vertical with wires at $\pm 10^\circ$ to the horizontal axis and pitch of 2 mm.

The sensitive area is $1.0 \times 0.8 \text{ m}^2$. The precision and resolution are improved over standard proportional chambers by adding drift chamber read-out. Preliminary results obtained during the tests made in period 7C indicate that a spatial resolution of $75 \text{ }\mu\text{m}$ can be achieved with a good two-track resolution.

- 2.5 The EHS Spectrometer, i.e. a six-plane proportional chamber W_2 installed at the exit of M_1 , the three large drift chambers $(4 \times 2) \text{ m}^2$ D_1 , D_2 , D_3 and three additional drift chambers D_4 , D_5 and D_6 installed in the second lever arm of the spectrometer.

This spectrometer has been used for NA23 data acquisition in August 1981 and found to be efficient and accurate for multitrack reconstruction. W_2 and two of the drift chambers, which were not fully efficient in August 1981, will be improved.

- 2.6 Gamma detectors, IGD and FGD, which were found to be very useful for the analysis of NA16.

- 2.7 Charged particle identification, with SAD and ISIS. For NA16, only a prototype of ISIS was available, giving a limited charged particle identification. With ISIS2, which was already used for NA23 in August 1981, the resolution (FWHM) should go from 17% to 8%, allowing for the identification of a larger fraction of charm decay products.

In March 1982, additional charged particle identification may be expected after the running in of the Forward Cerenkov and of the Transition Radiation Detector. These detectors would however need more setting-up time than the remaining part of the spectrometer since they would be operated for the first time.

3. ESTIMATED EVENT RATES

3.1 General Considerations

The numbers given in this section are based on the results obtained by NA16. There is, therefore, experimental justification for these estimated event rates.

We assume that HOLEBC will take two view classical optics pictures with resolution $\sim 20 \mu\text{m}$. This is approximately a factor two improvement over that using LEBC for NA16. The corresponding scanning detection efficiency to observe charm decays is given in table 1.

TABLE 1

	HOLEBC Detection efficiency (resolution $\sim 20 \mu\text{m}$)	NA16 Detection efficiency (resolution $\sim 40\text{-}50 \mu\text{m}$)
$8 \cdot 10^{-13} \text{ s } (D^{\pm})$	80%	50%
$3 \cdot 10^{-13} \text{ s } (D^0)$	50%	20%
$2 \cdot 10^{-13} \text{ s } (F^{\pm}, \Lambda_c^+)$	40%	10%

The effective sensitivity for a 15 day run can be estimated on the following basis:

- 30 Hz bubble chamber frequency (cameras at 15 Hz);
- 2 s SPS flat top with a 12 s cycle;
- bubble chamber gate of 500 μs ;
- $8 \times 10^4 \pi^-$ (p)/spill, giving a maximum of 20 tracks/picture;
- 10 cm useful track length;
- 15 mb π^- and 20 mb proton trigger cross section;
- 50% overall efficiency;

$$30 \times \frac{2}{12} \times 3600 \times 24 \times 15 (20) \times 20 \times 10 \times 0.5 \times \frac{15}{30 \times 1000}$$

= 320 000 π^- interactions and 430 000 proton interactions.

With a trigger efficiency of 70%, we would take ~ 500 K pictures and ~ 600 K pictures, respectively during two 15 day runs, at a rate of 10 to 15 pictures/spill.

In both cases, the sensitivity is ~ 20 events/ μb .

3.2 π^-

Assuming that the total charm cross section is $25 \mu\text{b}$, we would expect 500 charm pairs produced giving 1000 charm decays. Assuming 10% F^\pm , 45% D^\pm and 45% D^0 at production and using the detection efficiencies given above, this would give $\sim 40 F^\pm$, $\sim 360 D^\pm$, and $\sim 220 D^0$ decays detected in HOLEBC. Assuming a reconstruction efficiency based on that seen in NA16 but taking into account expected spectrometer and software improvements, this would correspond to $\sim 20 F^\pm$, $\sim 100 D^\pm$ and $\sim 100 D^0$ reconstructed decays.

3.3 Proton

The NA16 proton data have not yet been fully studied; however, at this stage in the analysis the proton induced total charm production cross section is not inconsistent with the π^- value of $\sim 25 \mu\text{b}$.

If we assume a Λ_c^+ production cross section of $25 \mu\text{b}$, most of it being in the channels charm baryon plus meson, the proton exposure would yield a sample of charm mesons equal to 50% of that discussed for the pion exposure. In addition, there will be 500 Λ_c^+ of which 200 are detected in HOLEBC (assuming a lifetime of $\sim 2 \times 10^{-13}$ s). Even without identifying and reconstructing the neutral strange particles which decay outside HOLEBC, one should expect to reconstruct $> 15\%$ of such decays. The analysis programs are presently being modified to reconstruct these V^0 decays in the spectrometer and we can therefore confidently expect to reconstruct $\sim 40\%$ of the detected Λ_c^+ . In any case it will be possible to make a precise determination of the Λ_c^+ life-time.

In addition, this exposure will allow a direct measurement of the cross section, x_F and p_t distributions of the produced charm particles thus allowing a more direct interpretation of the beam dump results and providing a low energy comparison point for the ISR measurements.

4. SUMMARY

We believe that, with the experimental set-up as described above and successfully tested in October 1981, and the software tools developed for NA16 and NA23, our Collaboration can achieve the aim outlined in the introduction. We will obtain precision measurements of the lifetimes of D^0 , D^\pm , F^\pm and Λ_c^+ and derive important results on their decay and production properties.

We believe that the only way to achieve this goal is to form a unique collaboration for the data acquisition and the preparation of the software. For the data analysis, we shall organize our Collaboration, as we did for NA16, into two or more data centres to optimize the data analysis (17 laboratories were involved in NA16 and 4 data centres were formed for the analysis).

We therefore request a few days of setting-up followed by thirty days of data acquisition during which half the allotted running time will be dedicated to an incident π^- beam and the other half dedicated to a p beam. We require both beams to have the same incident momentum of 360 GeV/c which will allow comparison of cross section measurements etc. at approximately the same \sqrt{s} . The expected cost of the film is estimated to be 150 KSF. The Collaboration agrees to pay for 2/3 of this cost.

REFERENCES

- [1] M. Aguilar-Benitez et al., "Contribution to Lisbon Conference", 1981.
- [2] H. Leutz, private communication, 1981.
- [3] R. Bizzarri, CERN/EP/EHS/PHYS 81-12.
- [4] D. Treille, Lepton Conference, Bonn 1981.

FIGURE CAPTIONS

- Fig. 1 Layout
- Fig. 2 HOLEBC picture taken during tests at SPS (28 October 1981).
- Fig. 3 Sketch of the fiducial volume trigger.

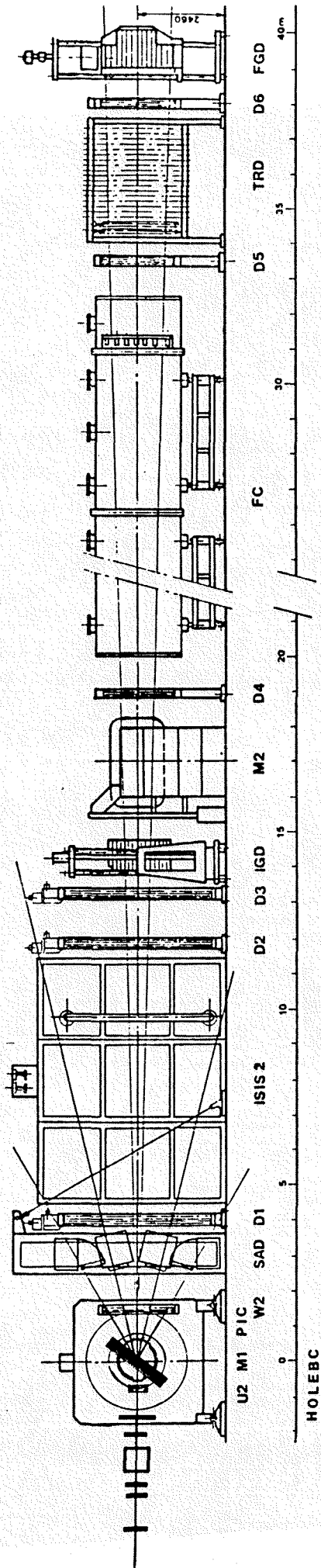


FIG. 1

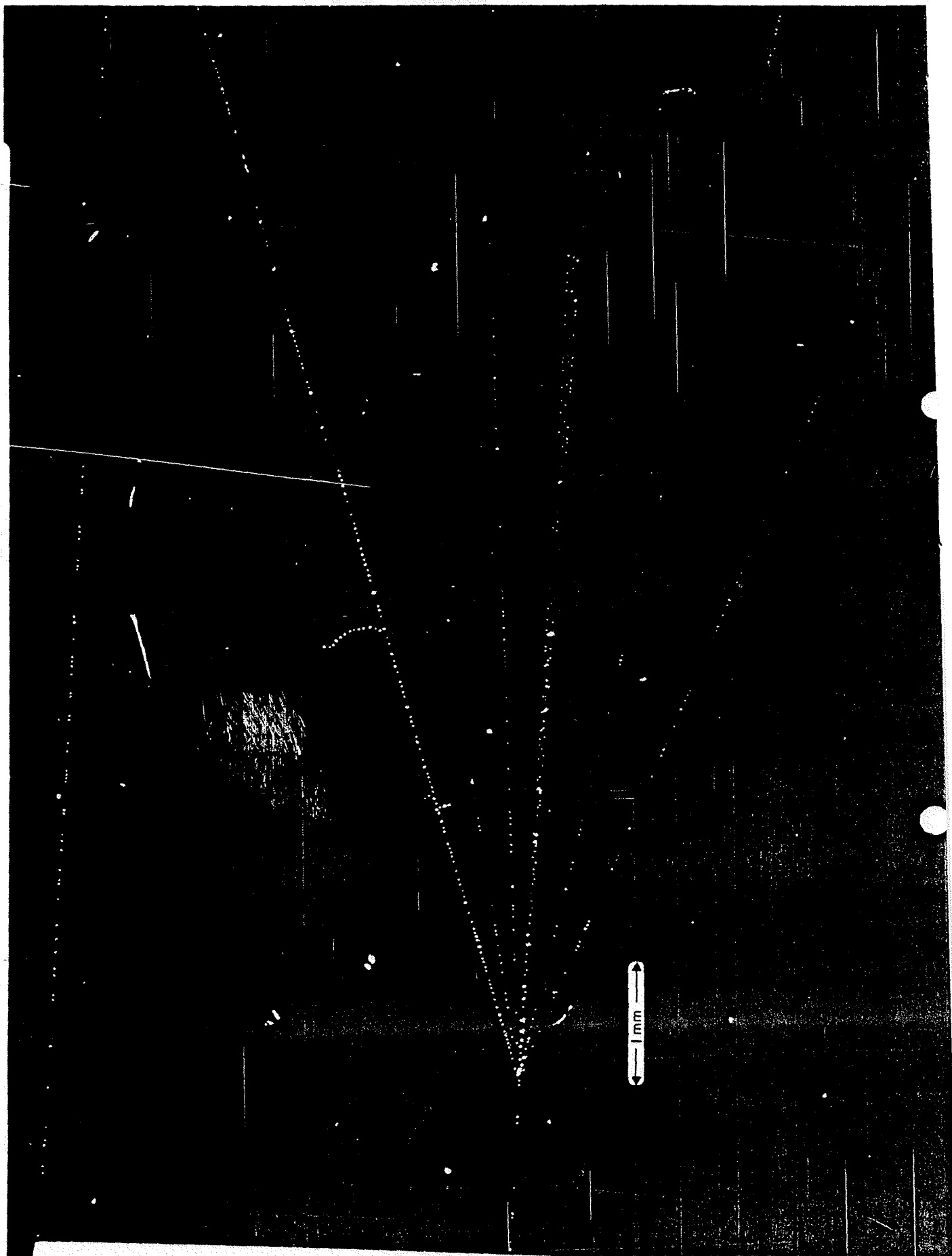


Fig 2

Plane view

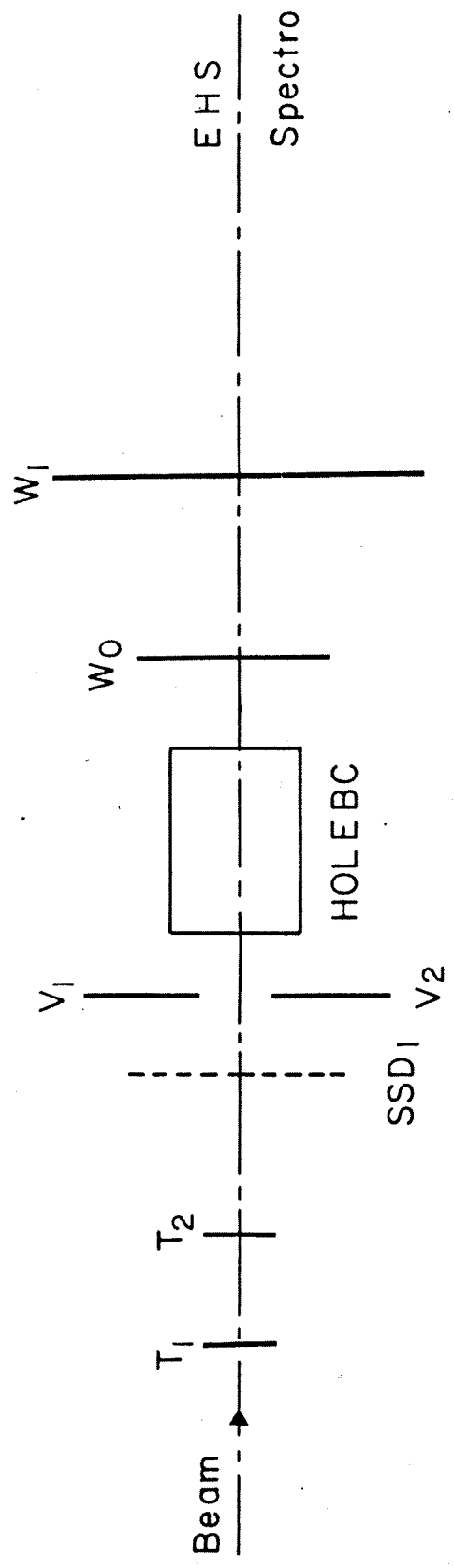


FIG. 3

Apéndice 2

Resumen de los Parámetros de los Detectores del EHS

APENDICE 2. RESUMEN DE LOS PARAMETROS DEL EHS

Se resumen en este apéndice los parámetros mas importantes de los detectores del EHS. Las figuras y algunas tablas de las incluidas en este apéndice están también en otros lugares de la memoria pero se repiten aquí para poder consultar los datos principales de los detectores en un solo lugar.

La figura A2.1 es una representación esquemática de la situación de todos los detectores del EHS. En la figura A2.2 se representan los detectores que rodean mas próximamente a la cámara de burbujas LEBC.

La tabla A2.1 contiene la posición en metros, relativa al centro de la cámara de burbujas LEBC, de todos los detectores del EHS, su area sensible en cm^2 , dada en la forma $Z \times Y$ donde Y es la altura y Z la anchura, y la longitud de cada detector en la dirección del haz. Se han incluido en la misma tabla los imanes M1 y M2.

Los parámetros de las cámaras de hilos, incluidas las que forman parte del TRD (detector de radiación de transición) están contenidos en la tabla A2.2.

En la tabla A2.3 se resumen los parámetros de las cámaras de deriva.

La tabla A2.4 resume los parámetros de los calorímetros electromagnéticos y hadrónicos.

Los parámetros de los detectores Cerenkov (SAD y FC) están contenidos en la tabla A2.5.

Las tablas A2.6 y A2.7 contienen las condiciones de funcionamiento de los detectores de bandas de Silicio (SSD0 y SSD1) y de la cámara de burbujas LEBC respectivamente.

Finalmente en la tabla A2.8 se dan las dimensiones y posición de los centelleadores para definición del "trigger".

Tabla A2.1 Posición y dimensiones de los detectores del EHS

Detector	Posición(m)	Area sensible(cm ²)	Longitud(cm)	
U1	-27.29	26x36	12	
U2	-16.25	igual		
U3	- 2.21	igual		
SSDO	- 3.43	3x1	0.5	
SSD1	- 1.69	igual		
LEBC	0.0	7x5	12	
W0	0.33	8x10	4	
MDC1	0.45	14x16	16	
W1	0.85	32x32	5	
MDC2	1.00	30x30	20	
PIC34	1.2	50x64	7	
PIC12	2.7	50x128	7	
M1	2.7	82	415	(a)
W2	4.28	120x215	20	
D1	6.86	210x430	20	
D2	14.53	igual		
D3	15.55	igual		
SAD	5.2	120x290	60	(b)
ISIS	10.7	200x400	512	(c)
IGD	15.0	200x180	42	(d)
INC	15.9	160x160	85	(e)
M2	18	50x100	180	(f)
D4	22.01	130x200	16	
D5	36.33	igual		
D6	40.52	igual		
FC	28	100x200	1200	
TRD	37	100x200	1080	
FGD	39	120x210	75	
FNC	42	150x300	114	

- (a) Separación y longitud en el centro
 (b) SAD tiene 70 cm de hueco centrado alrededor del haz
 (c) El centro de ISIS está 15 cm por encima del eje del haz
 (d) IGD tiene un hueco de 35x85 cm²
 (e) INC tiene un hueco de 40x100 cm²
 (f) Longitud de la separación entre polos

Tabla A2.2 Parámetros de las cámaras de hilos

	n° de planos	orientación (°)	separación (mm)	alta tensión (kV)	eficacia (%)
U1	5	60,60,0,-60,-60(a)	2	4.9	99.5(b)
U2	como U1				
U3	como U1(c)				
W0		0(vertical)	0.5	3.75	98.6
W1		0	1.0	5.4	99.5
W2		0,-90,60,80			
TRD	0(d)	-80,-60,90 90(horizontal)	19		

- (a) Los planos a $\pm 60^\circ$ estan escalonados dos a dos
 (b) La alta tensión se controla individualmente en cada plano
 (c) U3 es igual que U1 pero está rotada 90° alrededor del haz
 (d) 20 modulos con un plano cada uno. Cada tres hilos van conectados a un preamplificador.

Tabla A2.3 Parámetros de las cámaras de deriva

	n° de planos	orientación (°)	separación (mm)	longitud de deriva(a) (mm)
MDC1	9	0(vertical)	0.	8
MDC2	19	0	0.5	8
PIC12	2	-80,80(b)	2	8
PIC34	como PIC12			
D1	4	74,84,-84,-74	48/46	24
D2	como D1			
D3	como D1			
ISIS	1	90(horizontal)	16(c)	2000
D4-D6	como D1-D3			

- (a) la región de deriva de cada hilo es el doble del valor dado
 (b) en el plano de hilos que esta inclinado 35° respecto de la vertical
 (c) cada dos hilos con 16 mm de separación van conectados a un preamplificador

Tabla A2.4 Parámetros de los calorímetros

	n° de celdas	material	granularidad (cmxcm)	longitud de radiación/interacción
IGD	1139	vidrio de plomo	5x5	15
FGD	28	vidrio de plomo	60x15	5
convertidor	375	plexipop	1.5 ancho	-
hodoscopio	112	vidrio de plomo	15x15	24
absorbente				
INC	24	hierro/plexipop	41x16	4
FNC	200	hierro/plexipop	15x15	5

Tabla A2.5 Parametros de los detectores Cerenkov

	n° de modulos	radiador	tamaño de la celda (cmxcm)	indice de refracción
SAD	18	aerogel	23x55	1.031
FC	14	helio	29x52	1.000035

Tabla A2.6 condiciones de funcionamiento de los detectores de banda de Silicio

	SSD0	SSD1	
voltaje de activacion	+90	+90	V
corriente de activacion	5	5	A
eficacia	97.5	86	%
tamaño del cluster(a)	1.03	1.04	
relacion señal/ruido	2	2	

(a) el tamaño del cluster da el numero medio de hilos que dan señal por impacto real

Tabla A2.7 Parámetros de operación de LEBC

Temperatura del Hidrógeno	29.0	K
Presión estática del Hidrogeno	8.3	bar
Presión mínima durante expansión	3.9	bar
Desplazamiento del pistón	0.5	mm
Duración del ciclo de expansión	6	ms
Puerta del haz en el mínimo de presión	300	μs
Frecuencia de ciclaje	30	Hz
Máxima frecuencia de ciclaje de las cámaras	15	Hz
Densidad de burbujas	80	cm ⁻¹
Objetivo	SERCO	
Distancia focal	288	mm
Reducción	1:0.89	
Angulo estereo	13°	
Profundidad de campo nominal	1.5	mm
Tiempo de crecimiento de burbujas (flash delay)	70	μs
Diámetro de burbujas (resolución de dos trazas)	17	μm
Precisión en la medida	2	μm

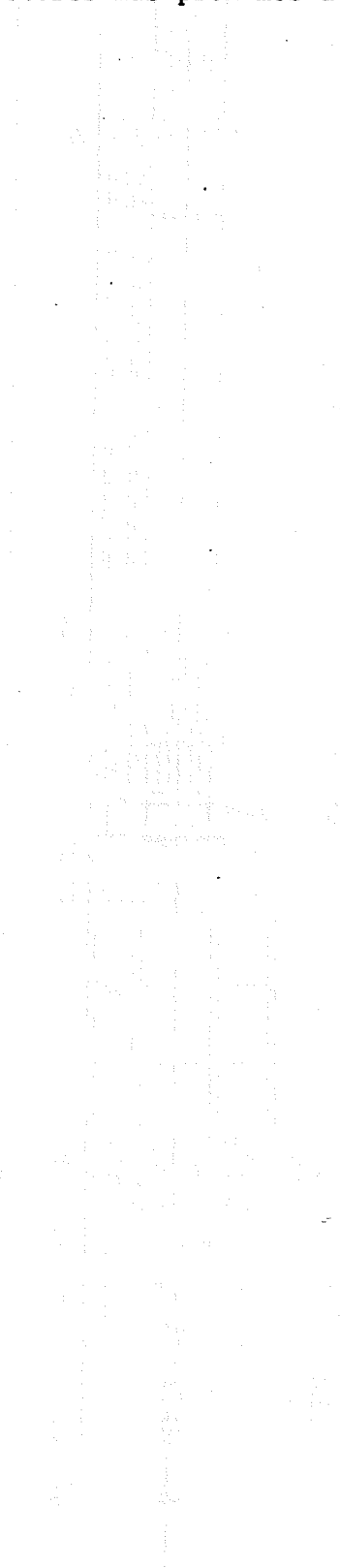
Tabla A2.8 parámetros de los centelleadores

	Anchura (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)	Posición (cm)
T1	10	25	0.6	3000
T2	10	25	0.6	290
T3	0.2	10	0.2	115
T4	10	3	0.5	271
V1	15	35	0.6	66
V2	15	35	0.6	66

DESCRIPCION DE FIGURAS

Fig. A2.1 Representación esquemática del EHS.

Fig. A2.2 Posición de los detectores mas próximos a la cámara de burbujas LEBC.



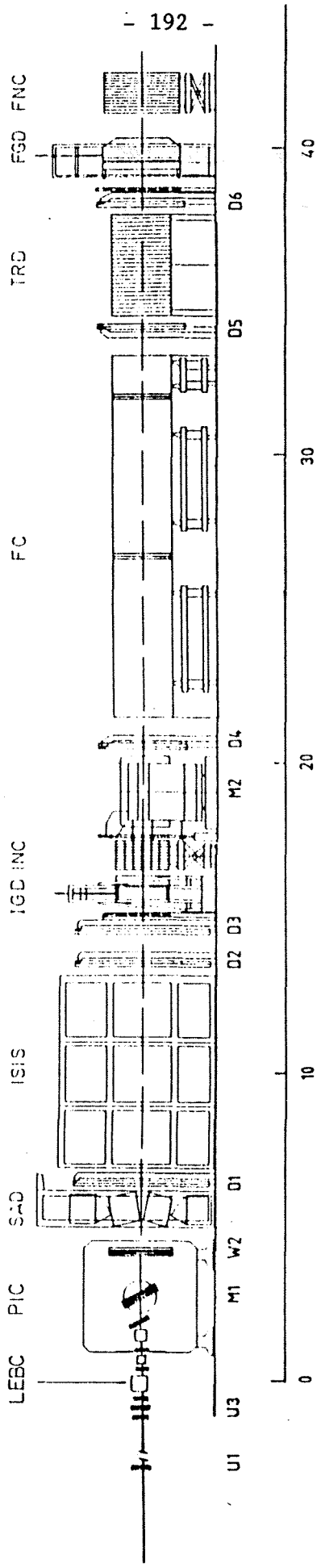


FIG. A2.1

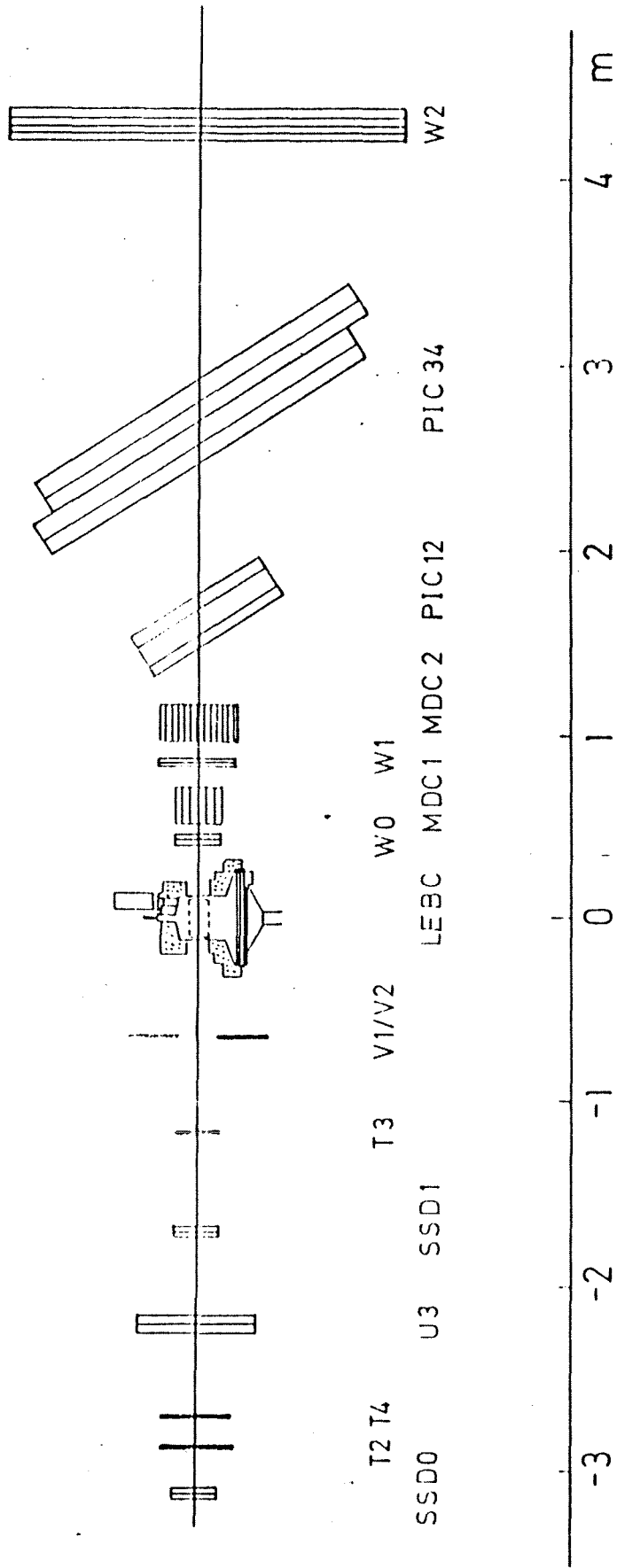


FIG. A2.2

Apéndice 3

Criterios de Escrutinio

APENDICE 3. CRITERIOS DE ESCRUTINIO PARA NA27- π^-

A3.1 INSTRUCCIONES GENERALES

a) El escrutinio se hará utilizando los dos aumentos y las dos vistas en las mesas MILADY ($\times 15.4$, $\times 43.7$).

b) La traza incidente, correspondiente a la interacción, se buscará con las predicciones dadas en la lista de escrutinio. Las distancias en ambas vistas se dan con respecto a la cruz n° 1 (ver figura A3.1). Una traza incidente se considerará correspondiente a la predicción cuando esté a una distancia de ± 0.75 mm (en la foto) de esta (≈ 1.16 cm en la vista de menor aumento) y sus burbujas sean pequeñas. En el caso de que exista mas de una predicción se considerará solo la última de la lista.

c) Solo se buscarán vértices secundarios cuando el vértice primario de la interacción se encuentre en la región fiducial, definida en la vista 1 (figura A3.1). El comienzo de la región fiducial, en la entrada de la cámara, se define exigiendo que el vértice primario sea visible en las dos vistas.

d) En cada rollo se anotará el número de fotos "utilizables" para el cálculo de secciones eficaces. Una foto es utilizable si tiene buena visibilidad en la región fiducial de la vista 1. No se decidirá sobre la posibilidad de medir una foto en esta etapa del escrutinio.

e) El vértice primario se analizará cuidadosamente en las dos vistas y con los dos aumentos, buscando actividades secundarias asociadas y dentro de la caja de escrutinio (ver apartado A3.2 y figura A3.2). El vértice secundario debe estar dentro de la caja en ambas vistas. La presencia de una actividad secundaria puede apreciarse por crecimientos súbitos de la ionización, por trazas que no apunten al vértice primario o por trazas que se crucen.

f) Para aquellos sucesos con alguna actividad secundaria dentro de la "caja" se hará un escrutinio completo, buscando alguna otra actividad secundaria. En particular se buscarán cuidadosamente trazas que no apunten al vértice primario. Para ello se utilizará una regla de plástico transparente, en la que se habra dibujado una línea recta de una anchura aproximada a la mitad de la anchura de una traza. Se ajustará la línea recta sobre una traza y se mirará el parámetro de impacto de la misma (distancia perpendicular del vértice primario a la línea ajustada). Una traza se considerará perteneciente a una desintegración secundaria cuando su parámetro de impacto sea superior al doble de la anchura de una traza.

g) Para todas las fotos se realizarán dos escrutinios (el segundo solo en aquellas que presenten una actividad primaria) y todas las fotos con alguna actividad secundaria serán examinadas por un físico después del segundo escrutinio, para decidir en los casos de interpretación difícil. La comprobación ("checking"), por parte de un físico, debe ser hecha antes de iniciar la fase de medida.

A3.2 CLASIFICACION DE LAS FOTOS

Todas las fotos se clasificarán de acuerdo con los siguientes criterios (incluso si la predicción está fuera del volumen fiducial):

- Tipo 1. Foto con interacción primaria en la región fiducial y actividad secundaria dentro de la "caja".
- Tipo 2. Foto con interacción primaria en la región fiducial y sin actividad secundaria dentro de la "caja".
- Tipo 3. Foto sin interacción primaria en la región fiducial pero "utilizable".
- Tipo 4. Foto no utilizable (foto donde no se distingue ningún tipo

de información).

A3.3 CLASIFICACION DE LOS VERTICES

Cada vértice se clasificará de acuerdo con su tipo y multiplicidad. La multiplicidad del vértice primario solo sera anotada en el caso de que exista una actividad secundaria dentro de la "caja de escrutinio". Si una traza presenta una ionización cláramente superior al mínimo y en ninguna de las dos vistas se puede resolver se contará como dos trazas (excepo en los casos de momento bajo). No se forzará lá multiplicidad del vértice primario a un valor par.

Si por alguna causa (calidad de la foto, interacciones o desintegraciones cerca del extremo de la foto, vértices primarios y secundarios próximos, etc.), solo se puede establecer un límite mínimo de la multiplicidad de un vértice (primario o secundario, se añadirá 50 al número de trazas contadas. Se recuerda la conveniencia de no abusar de este método.

Los electrones (definidos mas adelante) no se tendrán en cuenta en la multiplicidad del vértice primario, pero si se contarán (a menos que se trate de un claro rayo δ o de la conversión de un γ en electrones) en la multiplicidad de los vértices secundarios. Se anotará la existencia de una traza identificada como electrón.

A3.3.1 VERTICE PRIMARIO

a) Tipo: B

b) Multiplicidad: M (solo se registrará cuando exista alguna actividad secundaria en la "caja de escrutinio").

- Si los vértices secundarios son cláramente visibles:

M = n° total de trazas que apuntan al vértice.

- Si los vértices secundarios no son claramente visibles:

$$M = n^{\circ} \text{ total de trazas} - n^{\circ} \text{ de trazas que no apuntan.}$$

A3.3.2 VERTICES SECUNDARIOS

- Vertices secundarios claramente visibles


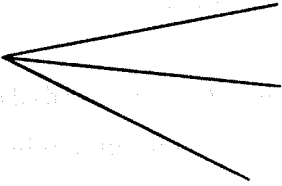
a) Tipo: V - Vértices secundarios neutros con multiplicidad par o impar (>1) y sin una traza cargada de conexión con otro vértice anterior. Puede apuntar o no al vértice primario.


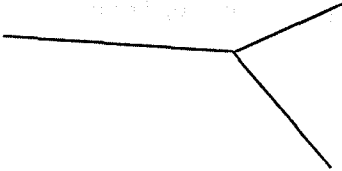
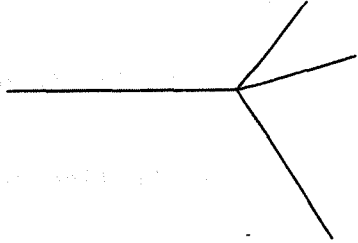
G - Vértice secundario neutro con dos trazas superpuestas (ionización doble del mínimo) y apuntando al primario sin una traza cargada de conexión.

D - Vértice cargado con multiplicidad par o impar y una traza cargada de conexión con el vértice anterior.

b) Multiplicidad $M = n^{\circ}$ de trazas que parten del vértice.

Ejemplo:

Tipo V M = 2	Tipo V M = 3
	

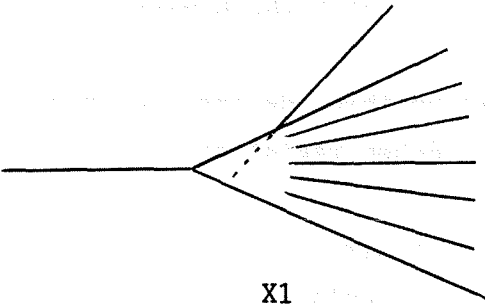
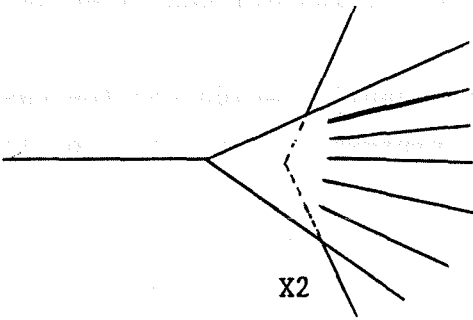
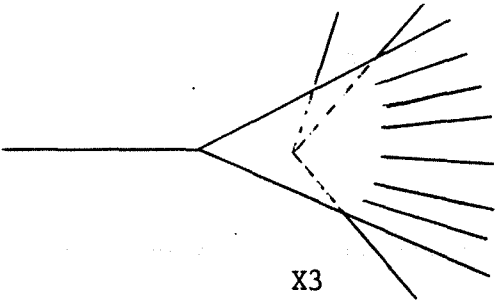
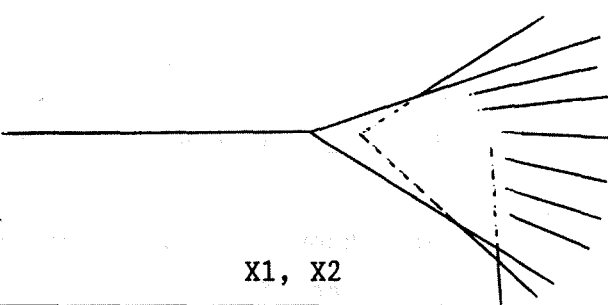
Tipo D M = 1	Tipo D M = 2	Tipo D M = 3
		

- Vértices secundarios no visibles

a) Tipo: X Una o mas trazas proceden de una región confusa y no apuntan al vértice primario. Si varias trazas pudieran proceder de un punto único dentro de la región confusa se asignarán todas ellas a un solo vértice.

b) Multiplicidad: $M = n^{\circ}$ de trazas que no apuntan al vértice primario y parecen proceder de un mismo punto dentro de la región confusa.

Ejemplo:

 X1	 X2
 X3	 X1, X2

A3.4 MAGNITUDES QUE SE HAN DE REGISTRAR

- En las fotos de tipo 3 y 4 sólo se anotará el tipo.

- En las fotos de tipo 1 se registrará:

a) Vértice primario:

* Tipo multiplicidad

* Coordenadas X e Y del vértice primario (respecto del sistema de referencia que tiene su origen en la cruz n° 1. La coordenada X está en la dirección del haz incidente y la Y en la línea de unión de las cruces 1 y 2 (figura A3.1).

* Número de vértices secundarios.

b) Vértices secundarios:

* Coordenadas X e Y del vértice (respecto al sistema de referencia que tiene su origen en el vértice primario). Coordenada X en la dirección del haz, Y en la dirección perpendicular a ella.

* Identificación (en los casos que sea posible) de las trazas que emergen del vértice. Los tipos que se deben registrar son:

E: Electrón: traza con ionización mínima, con una sagita de 100 μm en 5 cm de traza sobre la película.

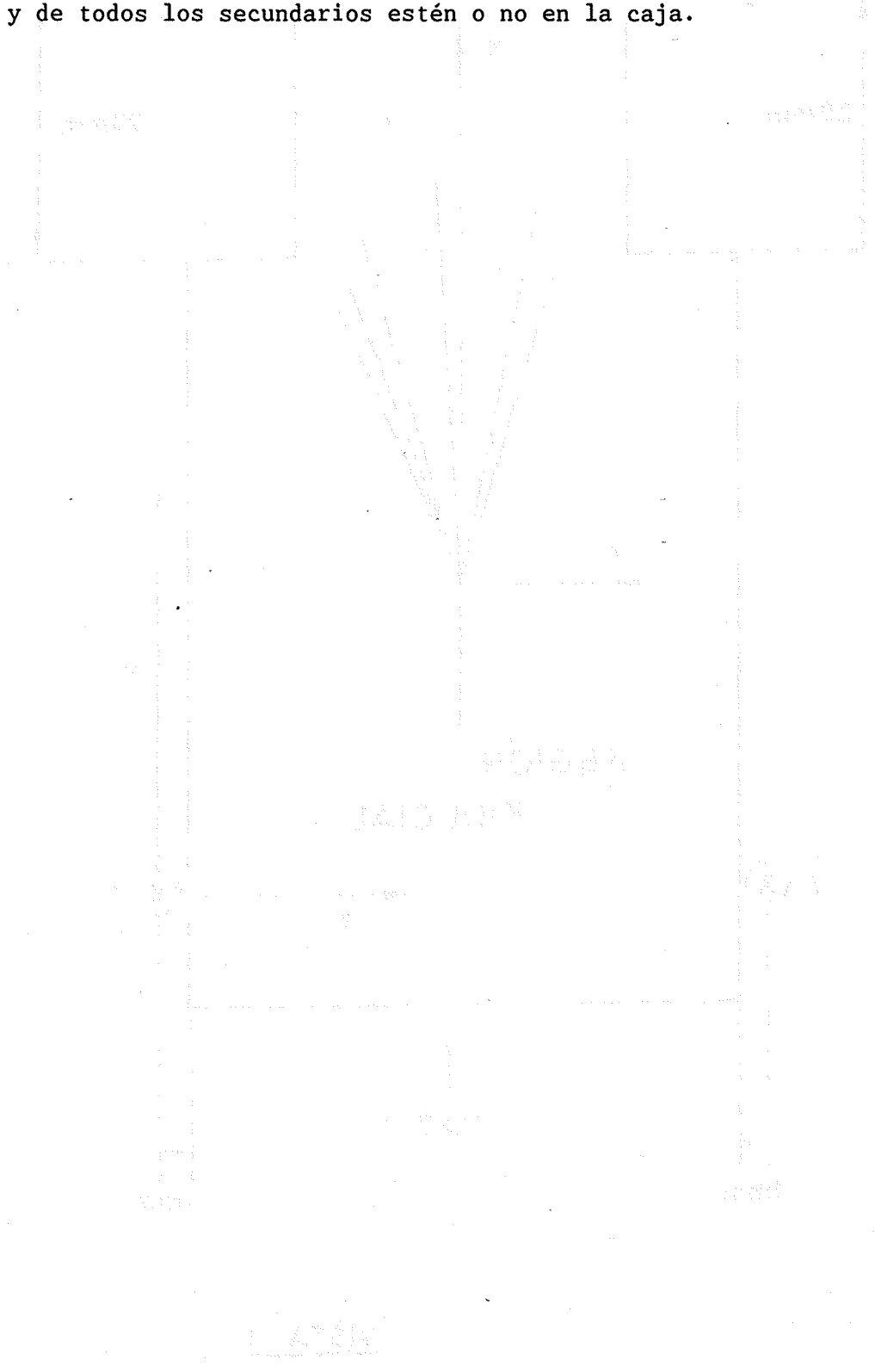
P: Protón: traza que se para dentro de la cámara.

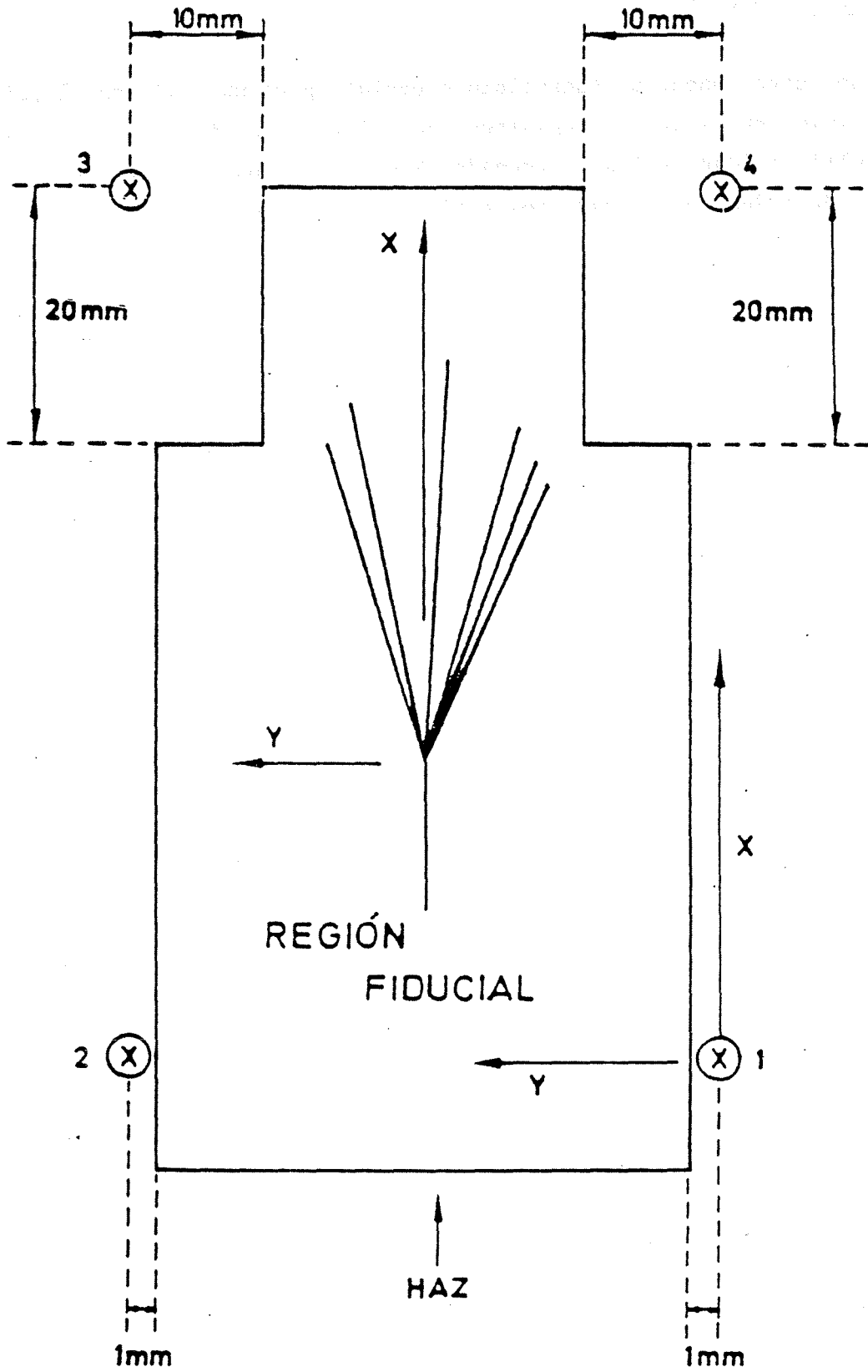
H: Hadrón: traza que interacciona.

M: Muón: traza que va ionizando cada vez mas y acaba en un electrón.

A3.5 ESCRUTINIO ESPECIAL

Se debe hacer un escrutinio especial, para un rollo en el primer escrutinio, en el que se registren, para fotos del tipo 1 y 3, el tipo, la multiplicidad y las coordenadas X e Y de todos los vértices primarios y de todos los secundarios estén o no en la caja.





VISTA 1

Apéndice 4

Descripción del Sistema ERASME

APENDICE 4. EL SISTEMA ERASME

A4.1 INTRODUCCIÓN

El sistema ERASME fué diseñado en los años 70-71 en el CERN debido a la necesidad previsible de medir grandes cantidades de fotogramas procedentes de las nuevas cámaras de burbujas (BEBC) que iban a ser utilizadas en los experimentos futuros.

Existían en aquella época dos sistemas de medida (HPD y LSD) que se decidió no utilizar debido a la gran lentitud en la digitización de los fotogramas y a la gran cantidad de memoria de ordenador necesaria para el almacenamiento de los datos.

Se eligió para el sistema ERASME un sistema basado en un tubo de rayos catódicos (CRT) en contraposición a los sistemas mecánicos del HPD y LSD debido a la alta velocidad y flexibilidad en el manejo del haz luminoso en los tubos de rayos catódicos.

El sistema ERASME (Electron Ray Scanning and Measuring Equipement) fué diseñado para realizar el escrutinio y la medida de fotogramas: un operador hace el escrutinio del film sobre una proyección óptica y una vez encontrada la interacción de interés el operador ayudado por el sistema de rayos catódicos procede a la medida del suceso en todas las vistas sucesivamente.

A4.2 DESCRIPCION DEL PROCESO DE MEDIDA

Una sesión de medida se desarrolla normalmente de la manera siguiente:

El operador utilizando un sistema de posicionamiento mueve una proyección del fotograma sobre una mesa hasta hacer coincidir el vértice principal de la interacción con una cruz luminosa fija proyectada sobre la mesa y, utilizando un teclado de funciones, transmite a la memoria del ordenador las coordenadas del vértice referidas al origen

del sistema de posicionamiento y escribe una etiqueta en un teclado alfanumérico que distingue a este vértice de los que serán medidos posteriormente de modo similar. Esta misma operación es realizada en cada una de las vistas del suceso para todos los vértices presentes en la interacción. Utilizando de nuevo el teclado funcional el operador pasa al "canal de medida" en el que se activa un monitor de televisión donde se observa una imagen aumentada de una pequeña zona del fotograma alrededor del vértice principal de la interacción en una de las vistas y, utilizando de nuevo el teclado funcional, el operador elige uno de los modos posibles de medida, que serán descritos posteriormente, y procede a medir cada una de las trazas de cada vértice. Cuando esta operación acaba, el operador vuelve a realizarla en todas las otras vistas. Cuando este proceso finaliza toda la información acumulada se escribe en un fichero a una orden dada por el operador en el teclado funcional.

Para entender cómo funciona el sistema ERASME es necesario conocer los elementos que lo componen y los programas que los controlan. En los apartados siguientes se hace una breve descripción de ambos.

A4.3 DESCRIPCIÓN DEL "HARDWARE DE ERASME"

El sistema ERASME consta de las siguientes partes que están representadas en el diagrama de bloques de la figura A4.1(a):

- Sistema óptico y mecánico.
- Unidad para el posicionamiento del transporte de film y para el posicionamiento de las películas.
- Unidad para el control del tubo de rayos catódicos.
- Unidad para el tratamiento de las señales de traza.

- Unidad para la digitización y control de la banda de escrutinio.
- Unidad de mando con diálogo bidireccional.
- Unidad de televisión.
- Ordenador PDP11 y link paralelo con el ordenador UNIVAC.

A4.3.1 SISTEMA OPTICO Y MECANICO

Consta de tres partes: la estructura central, los soportes de las bobinas de fotogramas y el canal de proyección. En la figura a4.1(b) se representan esquemáticamente.

- ESTRUCTURA CENTRAL

Sirve de soporte al tubo de rayos catódicos, al carro de posicionamiento del film y a casi todos los componentes del canal de proyección. Está construida en acero y apoyada en cimentación independiente de la del edificio en que está instalado el sistema para reducir al mínimo las vibraciones mecánicas que afectarían a la precisión de la medida.

En la parte superior de la estructura central está instalado el soporte para el tubo de rayos catódicos, los fotomultiplicadores de referencia para la luminosidad del tubo de rayos catódicos, la lente de precisión para el haz luminoso producido por el tubo y las lentes del canal de proyección.

En la parte inferior están situados el carro de posicionamiento, el fotomultiplicador detector de traza y la fuente luminosa.

El sistema de detección de trazas está formado principalmente por el tubo de rayos catódicos, una lente de gran precisión y el fotomultiplicador detector de trazas.

El tubo de rayos catódicos produce un haz luminoso de tamaño inferior a $15 \mu\text{m}$ con una respuesta espectral con un único pico centrado en 500 nm . La lente de precisión está corregida para una longitud de onda de 500 nm para la que se consigue una transmisión del 85%.

Los fotomultiplicadores han sido elegidos de modo que su eficiencia cuántica máxima esté alrededor de 500 nm (520). Para el fotomultiplicador detector de traza se requirió además que su sensibilidad fuese mayor que $120 \mu\text{A/lumen}$ para que pudiesen ser detectadas las variaciones de intensidad luminosa cuando el haz de luz producido por el tubo atraviesa una traza. Los otros cuatro fotomultiplicadores, llamados de referencia, reciben directamente la luz procedente de la pantalla del tubo y, utilizando circuitos electrónicos especialmente diseñados, detectan y corrigen las variaciones de luminosidad producidas por la microestructura de la pantalla del tubo o por cualquier otro motivo distinto de la transparencia del film.

- SOPORTES DE LOS CARRETES DEL FILM

Son dos estructuras situadas a ambos lados de la central de modo que un trozo de película queda suspendido entre la estructura central y los soportes con el objeto de que la película no esté sometida a tensiones. Cada una de estas dos estructuras soporta 4 bobinas correspondientes a las cuatro vistas. Estas bobinas son movidas por cuatro motores independientes. La tensión de la película se mantiene constante mediante un brazo con resortes y una lógica electrónica que controla, mediante microinterruptores, el movimiento del brazo y del carrete de la película.

- CANAL DE PROYECCION

El canal de proyección permite ver la imagen de la película proyectada sobre la mesa de medida para poder realizar el escrutinio de las fotografías que posteriormente serán medidas en el canal automático.

El sistema de iluminación está formado por una lámpara parabólica de halógeno de 100 W que proyecta sobre un espejo frío que puede girar alrededor de dos ejes perpendiculares entre sí de modo que la luz sea dirigida siempre a la zona de la fotografía que está siendo proyectada sobre la mesa. Dos motores independientes, controlados por una electrónica analógica que tiene en cuenta las posiciones de los contadores de posición, mueven este espejo. Encima de la lámpara y del espejo frío están colocados dos sistemas de lentes de Fresnell que se intercambian activados por la electrónica mencionada anteriormente según se requiera aumento grande o pequeño.

El canal de proyección dispone de dos sistemas de lentes, uno con pequeño aumento que permite ver toda la fotografía proyectada sobre la mesa y otro con gran aumento que permite ver con más detalle una pequeña zona de fotografía. Estos dos sistemas se desplazan en dos direcciones perpendiculares activados por una electrónica que responde a acciones del operador. Este sistema permite movimientos en el plano del film, de modo que se puede ver proyectada sobre la mesa cualquier parte de este.

Una vez que la luz atraviesa las lentes de Fresnell pasa por la película y después por uno de los sistemas de lentes mencionados anteriormente, que proyectan sobre un sistema de espejos, obteniéndose finalmente una imagen sobre la mesa.

Sobre la mesa se proyecta también, simultáneamente, una cruz luminosa que sirve de referencia para la medida. Esta cruz es producida por un cañón luminoso solidario con la estructura central.

A4.3.2 UNIDAD DE CONTROL LOGICO PARA TRANSPORTE DE FILM Y POSICIONAMIENTO DE LAS PELICULAS

Controla el movimiento del film sobre el carro que lo soporta de modo que los carretes se van desenrollando en uno de sus soportes y enrollando en el opuesto. Esta operación se hace de manera que el film no sufra tensiones y sincronizada en todas las vistas. Esta unidad

controla también el movimiento de las pletinas X e Y cuando el operador mueve la bola de trazas. La unidad está alojada en un armario que contiene las fuentes de alimentación para la electrónica, el control de la fuente luminosa, los servoamplificadores para el movimiento de las pletinas X e Y, los servoamplificadores para los espejos de la fuente luminosa y un cajón CAMAC con 18 módulos que contienen la lógica de control del transporte de film, del posicionamiento del carro y de las pletinas X e Y.

En el funcionamiento de esta unidad hay tres cosas a destacar:

a) La sincronización en los cabrestantes que mueven el film, pasando-lo de un rollo al opuesto se consigue mediante señales que son enviadas a la lógica electrónica por unas levas en estrella que accionan unos microinterruptores. Cuando se quiere que la película avance se envía corriente a los cuatro motores. Cuando uno de ellos conecta su microinterruptor se interrumpe la corriente que le llega hasta que los cuatro cabrestantes se encuentran en la misma posición consiguiéndose así la sincronización deseada.

b) El posicionamiento preciso del carro que soporta el film sobre el canal de televisión o sobre la mesa, para cada una de las vistas, se consigue mediante un motor cuya velocidad es medida por un taquímetro de precisión que envía señales a la lógica electrónica. Un captador óptico colocado en el carro lee las señales procedentes de una regla de trazos HIDDENHAIN solidaria a la estructura central y las envía a la electrónica. Cuando se ha conseguido la posición deseada la electrónica envía una señal a un freno neumático que fija la posición del carro.

c) El movimiento del sistema de proyección se consigue mediante dos husillos accionados mediante dos motores que reciben impulsos procedentes de una bola (bola de trazas) suspendida en un colchón neumático que acciona, al girar, dos ruedas de trazos. Dos captadores ópticos reciben los impulsos generados y los envían a la electrónica que calcula la corriente que debe ser enviada a los motores de las pletinas X e Y sobre las que están colocados los objetivos de proyección.

Puesto que los impulsos musculares y las sensaciones de movimiento que estos nos provocan están relacionados logarítmicamente, según la ley de Fechner, se ha programado en la electrónica un algoritmo que es una buena aproximación. Si m y n son las frecuencias producidas en la bola, las frecuencias transmitidas por la electrónica a los motores son:

$$X=m[A-B(m^2-n^2)]$$

$$Y=n[A-B(m^2-n^2)]$$

donde A y B son dos constantes que se deben optimizar para el sistema.

Es destacable que la dirección del movimiento de la bola y de la imagen siempre coincide ya que

$$X/Y=m/n$$

El mismo sistema se utiliza también para el control de la deflexión en el tubo de rayos catódicos.

A4.3.3 UNIDAD ANALÓGICA DE PRECISIÓN PARA EL CONTROL DEL HAZ DEL TUBO DE RAYOS CATÓDICOS

La medida en el sistema ERASME se realiza mediante la proyección, sobre el film, del haz luminoso producido por el tubo de rayos catódicos. Este haz después de atravesar el film es recogido por el fotomultiplicador de trazas. Como la precisión de la medida ha de ser grande se necesita un haz luminoso muy fino y una electrónica que controle con una gran precisión el movimiento y posicionamiento del haz de electrones del tubo.

El tubo, que se muestra en la figura A4.2 tiene estructura de tetrodo con cátodo de caldeo indirecto. El haz de electrones es acelerado primeramente por un potencial de 2000 V y después por 25000 V.

Tiene varias bobinas de focalización, de centrado y astigmatismo y de ajuste estático y dinámico del foco. Con este conjunto se consigue un haz luminoso en la pantalla de $\approx 13 \mu\text{m}$ de diámetro. Finalmente, muy próximas a la pantalla, están situadas las bobinas de deflexión que están controladas por un DAC (convertidor digital analógico) de 16 bits. Los campos electrostáticos para acelerar los electrones son producidos por fuentes de alimentación de gran estabilidad. Se ha puesto también gran atención en la estabilidad de las corrientes que alimentan las bobinas y el filamento de caldeo del cátodo para que estas no influyan en la estabilidad general.

A4.3.4 UNIDAD PARA EL PROCESO DE LA SEÑAL DE TRAZA

Esta unidad detecta las variaciones de intensidad de la luz que recibe el fotomultiplicador de trazas y suprime las distorsiones introducidas por el fósforo de la pantalla del tubo separando los impulsos de las trazas del fondo de la fotografía.

Para compensar las distorsiones provocadas por el fósforo de la pantalla el sistema dispone de cuatro fotomultiplicadores llamados de referencia dispuestos frente a la pantalla del tubo recibiendo la luz directamente. La señal del fotomultiplicador de traza es dividida en un circuito electrónico por la media de la señal producida por los cuatro de referencia consiguiéndose suprimir las variaciones producidas por el fósforo.

Para separar los impulsos de las trazas el sistema dispone de dos filtros, uno para las frecuencias altas y otro para las bajas.

Para las altas frecuencias un filtro de THOMSON sen^2 se ajusta de manera que produce una señal en sen^2 cuando recibe una señal cuadrada cuyo ancho coincide con el de las trazas mas estrechas.

Para las frecuencias bajas el sistema dispone de un filtro no lineal de modo que cuando la pendiente de la señal sobrepasa un cierto

valor regulable, la frecuencia de corte del filtro pasa de 300 Hz. a 30 Hz. de manera que los impulsos no son practicamente afectados mientras que el fondo se filtra con una constante 10 veces mayor.

A4.3.5. UNIDAD DE DIGITIZACIÓN Y CONTROL DE LA BANDA DE ESCRUTINIO

La unidad de digitización funciona como un periférico del ordenador PDP-11 con acceso directo a la memoria de este y a cualquier periférico conectado al unibus del PDP-11. Para realizar la operación de medida el sistema ERASME hace barridos con el haz luminoso producido por el tubo. Los barridos son paralelos entre si y aproximadamente perpendiculares a la traza medida. A partir de las señales encontradas en estos barridos (llamados banda de escrutinio) se hace un histograma con la intensidad luminosa y se detecta con gran precisión el punto central de la traza. Los parámetros que definen una banda de escrutinio (origen, longitud del barrido, ángulo, distancia entre barridos y numero de barridos) son cargados desde el ordenador PDP en función de los datos suministrados por el programa de medida (instalado en el UNIVAC - 1100/80). La unidad de digitización envia estos datos a un DAC de 16 bits y se posiciona el origen del barrido. Cuando se detecta una traza el procesador de la señal de traza envia un impulso de manera que se puede determinar en que línea del barrido se ha producido y en que posición dentro de la línea. Una vez completada la banda de escrutinio, la unidad de digitización envia a la memoria del PDP-11, secuencialmente, para cada línea, el numero de trazas encontradas, su anchura y la posición en que fueron encontradas de modo que el programa hace los histogramas y calcula con gran precisión el centro de cada traza.

A4.3.6 UNIDAD DE MANDO CON DIALOGO BIDIRECCIONAL

La misión de esta unidad es ofrecer al operador la posibilidad de acceso e intervención en el proceso de medida.

El sistema dispone en la mesa de medida de un terminal gráfico, de un teclado funcional y de un teclado alfanumérico. El teclado funcional

tiene 48 teclas de las cuales 10 son números y el resto funciones programadas.

El teclado alfanumérico sirve para modificar parámetros del programa cuando este está funcionando o para enviar mensajes al siguiente operador con información sobre el último suceso medido o sobre detalles en el funcionamiento del sistema.

El terminal gráfico es de pantalla persistente y en el se visualizan resultados de la medida y se reciben mensajes del programa.

A4.3.7 UNIDAD DE TELEVISION

En esta unidad se visualizan simultáneamente la imagen analógica de un trozo de film que se produce al desplazar sobre el una ventana luminosa producida por el tubo de rayos catódicos y la imagen digital de los datos almacenados en la memoria del PDP-11 correspondientes a las trazas y vértices ya medidos. La ventana luminosa puede desplazarse a cualquier parte del film moviendo la bola de trazas que acciona unos contadores que hacen mover el origen del barrido del tubo de rayos catódicos.

La unidad de televisión consta de tres partes: el generador de la ventana luminosa, el controlador de la imagen gráfica y el multiplexor analógico.

La imagen analógica se obtiene generando una ventana luminosa mediante un barrido de 512 líneas. Estas mismas señales se envían al aparato de televisión al mismo tiempo que las producidas por el procesador de la señal de traza.

El controlador de la imagen gráfica está construido mediante módulos CAMAC. Sus salidas X, Y y Z se envían a la televisión mediante cables blindados. Por su otra entrada va conectado al ordenador PDP-11 que tiene almacenados en su memoria los datos correspondientes a la fotografía que se está analizando.

Puesto que las dos imágenes, la analógica procedente de la señal del fotomultiplicador detector de traza y la digital procedente de la memoria del PDP11 deben aparecer simultáneamente en la pantalla de televisión, el sistema dispone de un multiplexor analógico para enviar a la pantalla de televisión en intervalos de tiempo distintos, la señal analógica y la digital. El control del multiplexor se lleva a cabo mediante el controlador de la imagen gráfica que cada 25 ms pide control al PDP11, espera a que la parte analógica termine el barrido de la línea que está ejecutando y en ese momento empieza a representar la información acumulada en la memoria del PDP11. Cuando ha terminado de representar esta información devuelve control a la parte analógica que sigue representando las siguientes líneas del barrido. La repetición de este ciclo hace que las dos imágenes aparezcan superpuestas.

A4.3.8 EL ORDENADOR PDP11 Y EL LINK CON EL UNIVAC 1100/80

El control de todas las partes descritas del sistema ERASME es realizado por un ordenador PDP11/34. El programa de medida debido a su gran tamaño está instalado en el UNIVAC. La comunicación entre los dos ordenadores se consigue mediante un link paralelo rápido DAS-11-UA-LD de la casa Digital. Su misión es conectar un canal de palabra del UNIVAC con el bus del PDP11. Su velocidad de transmisión es de 640000 bits/s.

El funcionamiento del sistema puede ser resumido como sigue:

En el ordenador UNIVAC está funcionando un programa de medida. Este programa envía por el link a otro programa que está funcionando en el PDP la orden de que realice una determinada tarea, enviando también los parámetros necesarios. Cuando el PDP ha realizado la tarea envía al UNIVAC los resultados obtenidos; el programa del UNIVAC calcula, en función de estos resultados, unos nuevos parámetros y vuelve a enviar al PDP la orden de ejecutar la tarea con los nuevos parámetros. De este modo el programa instalado en el UNIVAC maneja el proceso de medida y consigue que la electromecánica realice las tareas previstas mediante la intervención del ordenador PDP11 directamente conectado a las elec-

trónicas de control del sistema ERASME.

A4.4. SOFTWARE DEL SISTEMA ERASME

La comunicación entre el PDP11/34 y el UNIVAC 1100/80 se realiza como se ha dicho anteriormente mediante un link paralelo rápido DAS11-UA.

El manejo del "hardware" del sistema ERASME desde la UNIVAC se realiza mediante unidades de operación llamadas tareas. Cada una de ellas es una unidad bien definida en el PDP11/34 y otra paralela en la UNIVAC.

Existen actualmente 21 tareas instaladas en el sistema ERASME. Cada tarea dispone, en la UNIVAC, de un buffer para enviar datos al PDP y otro para recibir datos del PDP. El programa instalado en la UNIVAC controla la ejecución de las tareas de manera secuencial, es decir, no se inicia una tarea hasta que la anterior no está terminada. Las rutinas de comunicación y las correspondientes a las tareas están contenidas en una gran unidad escrita en ensamblador del UNIVAC. El programa correspondiente en la PDP está escrito en lenguaje macro del PDP. Se describen a continuación las partes más importantes de estas rutinas en la UNIVAC.

- RUTINAS LNKSND y WAICMD

La rutina WAICMD es la intermediaria entre las tareas y LNKSND. LNKSND establece la comunicación desde la UNIVAC a través del manejador ARBITRARY DEVICE HANDLER que forma parte del sistema operativo de la UNIVAC.

La primera parte de LNKSND construye la función a enviar a la PDP con los datos suministrados por WAICMD. Una vez preparada la función con sus datos se hace una petición al sistema operativo de la UNIVAC para que envíe el paquete a la PDP mediante la instrucción ER IOADH\$

que llama a los programas de control del ARBITRARY DEVICE HANDLER.

De todas las rutinas que componen el paquete LNKSNDFILTRO, 23 de ellas activan tareas del PDP. Una de las mas importantes es KEYBD. Es la rutina mas compleja de todo el paquete. Su principal misión es comunicar con el operador mediante los teclados funcional y alfanumerico. El programa selecciona la aplicación deseada llamando a esta rutina por una entrada que pone variables logicas determinadas a los valores verdadero o falso. Despues entra de nuevo en el subprograma por una de las rutinas KEYBD, CURTRA, KEYFOL, KEYHIT, KEYBD2 o KEYSSET. Los argumentos que figuran en estas entradas representan teclas del teclado funcional de ERASME que se iluminan al ejecutarse la tarea. El operador oprime una de ellas elegida según la función que desée realizar.

- **EL FILTRO**

Se llama filtro al software del sistema ERASME en el PDP11 y en el UNIVAC que realiza el trabajo normal en el sistema. Se pueden distinguir en él dos fases:

- **INICIALIZACION**

El operador suministra al filtro, utilizando los teclados, la identificación del carrete, foto, operador, etc. y comienza la ejecución. El programa lee las constantes de calibración del aparato y los titulos correspondientes al experimento y, en el caso de que la medida se haya interrumpido en un suceso, la información parcial acumulada en los ficheros de medida.

- **MEDIDA**

Hay cuatro procedimientos de medida en el sistema ERASME. Uno de ellos es manual y los otros tres automáticos. En el procedimiento manual el operador efectúa manualmente las medidas superponiendo el cursor (en la mesa o en la televisión) sobre el punto a medir y pulsa las teclas V o P según este determinando un vértice o un punto sobre una

traza. Las coordenadas son trasferidas al filtro.

El filtro es el primero de los procedimientos automáticos. El operador señala un punto sobre la traza a medir y otro a una cierta distancia del primero. El programa determina la circunferencia que pasa por estos dos y por el vértice del que procede la traza y partiendo de un punto que el programa estime próximo a la traza, se explora un entorno sobre el radio que pasa por el. Este proceso conduce en general a encontrar otro nuevo punto sobre la traza. Utilizando este y los dos últimos determinados continua la búsqueda de modo automático hasta que no se encuentran mas puntos. El proceso queda visualizado en la pantalla de televisión y el operador puede modificar los resultados si es necesario.

Otro modo automático se llama "ROAD". El operador señala dos puntos sobre la traza y otro intermedio. El programa busca puntos de la traza situados entre los dos primeros calculando el centro de la circunferencia que pasa por los tres puntos dados y realizando bandas de escrutinio sobre radios igualmente espaciados en ángulo. Los puntos que se obtienen son los intermedios que se buscaban.

El tercer modo automático de medida instalado en ERASME es el "CRUSH POINT". El operador señala un solo punto sobre la traza y el programa construye dos octogonos concéntricos con centro en este punto y realiza exploraciones a lo largo de cada uno de los lados. Se obtienen varios puntos situados sobre las distintas trazas. Siguiendo un criterio de seleccion preestablecido se elige una de ellas y se determinan sus puntos de intersección con los lados de los octógonos y utilizando el modo "ROAD" el programa mide los puntos interiores al octógono y sigue el resto de la traza utilizando el modo FILTRO.

A4.4.1 TESTS DEL SISTEMA ERASME

Dado que el sistema es complejo y de gran precisión existen varias rutinas para comprobar el funcionamiento de las distintas unidades que lo componen y para realizar calibraciones.

La comunicación con el operador se realiza mediante el paquete KEYBD descrito anteriormente que controla los teclados.

Los test principales son:

EXKEBD.- Comprueba el funcionamiento de los teclados.

EXDSP.- Comprueba el funcionamiento de la pantalla de televisión y del Display gráfico.

EXFTR.- Comprueba los mecanismos del transporte de film en las cuatro vistas.

EXSTG.- Comprueba el funcionamiento de las pletinas X e Y y controla su correlación con la televisión.

EXREST.- Comprueba la estabilidad mecánica del sistema. Para ello mide repetidamente una cruz en una rejilla de calibración y almacenando las coordenadas resultantes calcula la suma de las desviaciones cuadráticas y si esta es superior a un valor prefijado el test imprime un mensaje de error.

EXVID.- Determina el retardo de la señal de video realizando varios escrutínios sobre una recta vertical u horizontal.

EXLIN.- Comprueba la linealidad haciendo escrutínios a diferentes distancias sobre una recta horizontal o vertical determinando la constancia de la velocidad del pincel luminoso.

EXANG.- Busca una de las cruces de la rejilla haciendo escrutínios con diferentes angulos y determinando para cada án-

gulo el punto de intersección de las aspas de la cruz y las compara con las almacenadas en el programa.

EXSYM.- Comprueba la simetría de pincel luminoso haciendo escrutinios perpendiculares a una recta para distintos niveles de discriminación.

EXDAC.- Comprueba los convertidores digitales analógicos de las bobinas de deflexión del tubo de rayos catódicos.

EXDFT.- Comprueba la deriva del sistema haciendo repetidas veces y con diferentes intervalos de tiempo la medida de tres cruces suficientemente separadas.

EXFOC.- Test de precisión del enfoque del tubo de rayos catódicos.

EXHYST.- Mide el ciclo de histéresis del sistema de deflexión.

EXSCC.- Envía señales al tubo para ajustar el enfoque y la corrección dinámica de astigmatismo. El ajuste se hace manualmente, mediante 270 potenciómetros.

EXFLM.- Permite medir puntos de manera manual y acumularlos en un fichero.

EXOTRA.- Comprueba las transformaciones ópticas y calcula los parámetros de una nueva transformación si el sistema ha sufrido modificaciones.

EXCAL.- Es el test de calibración. Mide todos los puntos de intersección de las líneas de la rejilla de calibración y calcula las correcciones para cada zona de la rejilla. Los resultados se escriben en un fichero que será utilizado posteriormente en el programa de medida.

A4.5 PROGRAMA DE ESCRUTINIO

En la época de realización del escrutinio del experimento NA27-p surgió la necesidad de realizar algunas tareas adicionales de escrutinio. Fué entonces necesario instalar en ERASME un sistema de escrutinio similar al que ya funcionaba en nuestra unidad de escrutinio BESSYMATIC. Este programa se diseñó de modo que los operadores realizaran las mismas operaciones que en BESSYMATIC. El resultado del escrutinio es un fichero ASCII en la UNIVAC. El contenido del fichero consiste básicamente de unas etiquetas para identificar el suceso, las coordenadas del conjunto de cruces fiduciales, las coordenadas de los vértices de las interacciones y unas etiquetas para identificar estos.

El programa de escrutinio en ERASME se ha construido utilizando la estructura del programa de medida e incluyendo en ella algunas modificaciones que hacen que el flujo del programa pase por las nuevas rutinas que controlan las tareas de escrutinio.

- DESCRIPCION FUNCIONAL

Al iniciar la sesión de escrutinio el operador activa el programa. Este lee un fichero de predicciones que contiene las coordenadas de un punto sobre la traza del haz que puede haber tenido una interacción de interés. La cruz de referencia del sistema ERASME se posiciona automáticamente sobre la traza, el operador observa la interacción y, siguiendo unos criterios de selección que se describen en el apéndice 3, pone unas etiquetas al suceso y graba las coordenadas de los vértices pulsando en el teclado funcional la tecla "V" y posicionando la cruz de referencia del sistema ERASME sobre el vértice deseado. Una vez acabado el suceso, el operador pulsa la tecla "FR" y el sistema escribe el suceso en un disco del ordenador UNIVAC, busca en el fichero de predicciones el siguiente suceso, avanza el transporte de film una fotografía y se posiciona sobre la traza del haz con posible interacción interesante, repitiéndose entonces las operaciones descritas anteriormente. En todo momento de este proceso el operador tiene la posibilidad de pasar por una fase de verificación en la que puede ver en un terminal

toda la información acumulada sobre el suceso que esta siendo escrutado. Tiene también la posibilidad de definir nuevos vértices o puntos sobre las trazas o borrar cualquiera de ellos pulsando teclas específicas en el teclado funcional.

- ESTRUCTURA DEL PROGRAMA

Básicamente el programa de escrutinio es el mismo que el de medida con rutinas adicionales específicas para la tarea de escrutinio y con algunas bifurcaciones en el flujo de modo que no se realicen la mayor parte de las tareas de medida.

El conjunto consta de un programa principal que hace una petición de tiempo real al sistema operativo del UNIVAC, una inicialización de los registros del PDP11 realizada por una rutina llamada INITAL contenida dentro de un paquete de rutinas escritas en lenguaje ensamblador del UNIVAC y una inicialización general realizada por una rutina llamada INIT que inicia el manejador de memoria del sistema HYDRA (rutina MQINIT), lee las constantes de calibración y electromecánicas del sistema (rutina RDINIT) y hace la inicialización del carro donde están colocadas las películas y de las pletinas X e Y de modo que el fotograma se observa en la mesa en la vista 1 (rutina RNINIT).

Esta última rutina (RNINIT) llama a otra (R2INIT) que lee la cabecera del último suceso escrutado que ha quedado grabado en un fichero llamado PRODF-SCR al acabar la anterior sesión de escrutinio. Esta última rutina llama a:

- RSTART que acaba de leer el suceso grabado en el fichero PRODF-SCR.

- SCAIN que pone dentro del banco de datos HYDRA de cada vértice un cero en la palabra 11 y el número de orden del vértice en la palabra 12; pone además en un common llamado ETI etiquetas para distinguir el vértice ficticio de la predicción de los demás vértices.

- SETLE que hace una transformación del sistema de referencia del suceso grabado en el fichero al sistema de referencia de ERASME, de modo que en el resto de la sesión de escrutinio se utiliza este nuevo sistema y los vértices se posicionan adecuadamente en la mesa de escrutinio.
- DPPRNT que imprime información en la pantalla para mostrar al operador los vértices que existen en el momento inicial y el número de carrete, suceso y operador actuales.

Después vuelve a R2INIT en donde se llama a la rutina EOPEN que busca en el fichero de predicciones el suceso que el operador haya indicado hasta que lo encuentra. Llama después a otras rutinas implicadas en el proceso de medida (del programa original de ERASME) llegando a la rutina TATV que controla todo el proceso de escrutinio.

DESCRIPCION DE LA RUTINA TATV

Esta rutina controla todo el proceso de escrutinio. Es básicamente la misma que la del programa de medida. Se ha utilizado solamente la parte correspondiente a la medida en la mesa y se ha saltado la parte de la medida en televisión. Las acciones que toma esta rutina dependen de las teclas que pulse el operador en el teclado funcional. Las teclas que el operador ha pulsado son detectadas por una rutina llamada KEYBD en ensamblador de la UNIVAC que forma parte del paquete LINKSEND. Cualquiera que sea la acción que la rutina haya realizado se acaba volviendo a ella.

Se describen ahora las acciones que la rutina TATV realiza en función de las teclas pulsadas por el operador:

- Tecla DP

Se llama a la rutina DPPRNT que imprime la información actual y se vuelve a empezar disponiendo el teclado del mismo modo que antes de haber pulsado DP.

- Tecla EXIT

Se cierra el fichero de salida y mediante la llamada a la rutina JBEXIT se prepara el programa para acabar, salvando la información actual en el fichero PRODF-SCR, pero el programa no acabará hasta la segunda vez que se pulse la tecla EXIT de manera que siempre se puede recomenzar el proceso en las mismas condiciones que antes de pulsar la tecla.

- Tecla VTX

Cuando se pulsa esta tecla es llamada la rutina VXLIFT(TKBX,TKBY) que crea un nuevo vértice en la cadena de datos de HYDRA con las coordenadas TKBX,TKBY que marcan los contadores de ERASME en el momento de pulsar la tecla.

- Tecla SP

Se pulsa cuando el operador ha decidido que el suceso no es de interés. El programa pone en el common ETI, en la parte correspondiente al vértice actual, la etiqueta 3- que despues distinguirá a los sucesos sin interés. Se llama también a la rutina DPPRNT para imprimir en el terminal la información actual sobre el suceso.

- Teclado Alfanumérico

Cuando el operador escribe en el teclado alfanumérico el programa hace un test sobre si el segundo caracter escrito es un guión que es el simbolo por el que se reconoce que el operador ha escrito la multiplicidad del vertice. Si el test es cierto el programa pone la etiqueta que el operador ha escrito en el common ETI y se imprime en la pantalla el resultado. Si el test es falso se vuelve al lugar de comienzo, quedando el teclado dispuesto para nuevas operaciones.

- Tecla **CHG**

Cuando esta tecla es pulsada se cambian las coordenadas almacenadas en memoria para el vertice actual a las nuevas del punto sobre el que está posicionada la cruz de referencia del aparato y se imprime el resultado en la pantalla.

- Tecla **DELETE**

El programa suprime de la estructura de vértices el actual llamando a dos rutinas (**DELETE** y **RENUM**). La rutina **RENUM** reordena los vértices en la estructura de escrutinio.

- Tecla **RXY**

Posiciona la cruz de referencia en el vértice actual e imprime en la pantalla la información correspondiente a dicho vertice.

- Tecla **FRAME**

Cuando esta tecla es pulsada se hace un test de existencia en la cadena de vértices de uno etiquetado como vértice principal. Si este no existe el programa envía un mensaje al operador y no le permite escribir el suceso. En caso contrario el sistema escribe el suceso y avanza una foto (rutinas **ADVFLM**, **ENDEVT** y **WREVNT**).

La rutina **WREVNT** investiga si el fichero sobre el que se va a escribir existe o no. En el último caso se crea el fichero y se escribe el suceso en el. En el primer caso se investiga si la foto que se va a grabar esta ya en el fichero. Si la foto existe el programa advierte al operador y se recomienza el proceso. Cuando se han tomado estas precauciones para no destruir la información previamente acumulada se escriben en el fichero los datos correspondientes a la foto actualmente escrutada, se avanza una foto y se lee del fichero de predicciones la información correspondiente al suceso siguiente volviendo a la rutina **TATV** a través de la cual el operador puede realizar cualquiera de las

operaciones anteriormente descritas.

- Tecla VER

La rutina ESCAVER es llamada para realizar una fase de verificación en la que se le muestra al operador la información completa disponible para el suceso actual y se le ofrece la posibilidad de cambiar el número de carrete, de foto o de operador escribiendo estos en el teclado alfanumérico.

A4.6 PROGRAMA DE ESCRUTINIO GRAFICO

Dada la gran multiplicidad de los sucesos producidos en los experimentos a alta energía y la producción casi siempre a pequeños ángulos con respecto a la dirección del haz, se consideró útil instalar en ERASME un programa que pudiese hacer representaciones gráficas de los fotogramas en la pantalla de un terminal gráfico o en un plotter con un gran aumento en la dirección perpendicular al haz para conseguir que las trazas de las partículas producidas se viesen con un ángulo más abierto y se pudiesen distinguir trazas de partículas que desintegrasen muy cerca del vértice principal con ángulos parecidos a las demás trazas procedentes del mismo vértice.

Se instaló dicho programa en el sistema ERASME aprovechando las rutinas de manejo del tubo de rayos catódicos y del fotomultiplicador de traza.

La estructura del programa es idéntica a la del programa de escrutinio anteriormente descrito. La única diferencia consiste en que al llegar el flujo del programa a la rutina TATV se añade al teclado funcional la posibilidad de pulsar la tecla TV que desencadena el proceso de escrutinio gráfico llamando a la rutina CRTPER(TKBX,TKBY) con argumentos que son las coordenadas indicadas por los contadores de posición en el momento de pulsar la tecla TV.

Con esta modificación el programa de escrutinio se convirtió en el

programa de escrutinio gráfico. Se describe a continuación su funcionamiento.

El programa cubre con bandas de escrutinio (vease A4.3.5) una zona rectangular alrededor del punto indicado por la cruz de referencia en la mesa. El proceso se desarrolla del modo siguiente:

El programa, después de todas las inicializaciones descritas en el programa de escrutinio, entra en la rutina TATV y el canal de proyección es el de la mesa. El operador, utilizando la bola de trazas, posiciona la cruz de referencia en el punto que quiera ver con más claridad y pulsa la tecla TV en el teclado funcional. La rutina TATV llama a la rutina CRTPER que controla el escrutinio gráfico. Esta rutina comprueba si es llamada por primera vez. Si esto sucede se llama a la rutina CRTINI que inicia el manejo de las bandas de escrutinio, lee las constantes de calibración del sistema e inicializa el manejo de la televisión. Se llama después a la rutina VWCHG que posiciona el carro en el canal de televisión en la misma vista que estaba en la mesa y a la rutina CRTWAR con argumentos NX, NY, S1, T, FL, SP, L, NSTART y NACT. NX y NY son las coordenadas de los contadores trasladadas unas cantidades LOFSX y LOFSY que están relacionadas con la posición relativa de las pletinas X e Y y del tubo de rayos catódicos, S1 es la anchura en cuentas de la base del rectángulo que será cubierto por el escrutinio, T es la relación de aspecto Y/X, FL es el número de líneas de escrutinio, SP es el espaciado entre líneas, L es el paso en la coordenada X, NSTART es el paso en que se encuentra la variable X y NACT indica si durante el proceso el operador ha pulsado alguna tecla de los teclados funcional o alfanumérico. La rutina CRTWAR envía siempre los resultados a la pantalla gráfica y los escribe además en un fichero mediante la llamada a la rutina CRTPLO si se pulsa la tecla DP. Se describen a continuación las rutinas principales del paquete de escrutinio gráfico.

- **SUBROUTINA CRTPER**

Llama a CRTWAR que se encarga de preparar las bandas de escrutinio que cubren toda la zona indicada por los parámetros que le son transmitidos como argumentos. La rutina CRTWAR devuelve la variable NACT que toma valores desde 0 hasta 6 según el operador no haya pulsado ninguna tecla o haya pulsado las teclas RET, PAR, RD, DP, F, o L respectivamente. Se toman en cada caso las siguientes decisiones:

- NACT=0 o 1 . Se ha pulsado la tecla RET o no se ha pulsado ninguna. Se vuelve a la mesa y la cruz de referencia se posiciona sobre el punto donde se había comenzado.
- NACT=2 . Se ha pulsado la tecla PAR. El programa imprime la sensibilidad del fotomultiplicador, el valor del discriminador, el número de líneas de barrido, los parámetros S1 y T y enciende en el teclado funcional las teclas RET y NUMER y la parte numérica y se prepara para recibir información del teclado alfanumérico. Si en ese momento se pulsa la tecla RET se vuelve a llamar a CRTWAR, se borra la pantalla del terminal gráfico y el dibujo recomienza desde el principio. Si se pulsa la tecla NUMER precedida de un número, el nivel de discriminación se pone al valor indicado por el número escrito mediante la llamada a la rutina SLDISC, se optimiza el valor de la sensibilidad del fotomultiplicador para este nivel de discriminación y se vuelve a poner el teclado en la disposición RET, NUM, ALFA. Si se escribe en el teclado alfanumérico se investiga si el primer carácter escrito es alguna de las letras P, D, L, S. Si lo es se activa la parte numérica del teclado funcional para transmitir a memoria los valores deseados del discriminador, fotomultiplicador, número de líneas del barrido, anchura del rectángulo y relación de aspecto volviéndose a situar el teclado en la disposición RET, NUM, ALFA. Si el primer carácter no es uno de los reseñados el programa imprime un mensaje en la pantalla y se vuelve a colocar en la disposición RET, NUM, ALFA.

- NACT=3 . Se ha pulsado la tecla RD. Se pone a 1 la relación de aspecto y se llama a CRTWAR.
- NACT=4 . Se ha pulsado la tecla DP. Se llama a la rutina CRTPL0 para escribir en un fichero los resultados del escrutinio para poderlos dibujar posteriormente en papel.
- NACT=5 . Se ha pulsado la tecla F. El espaciado en la coordenada X se hace igual a 2 y el dibujo aparece en la pantalla al doble de velocidad y con la mitad de líneas.
- NACT=6 . Se ha pulsado la tecla L. El dibujo recomienza con el paso en la coordenada X igual a 1.

RUTINA CRTWAR

Se encarga de realizar las bandas de escrutinio necesarias para cubrir la zona indicada por los argumentos. Primero hace una transformación de las coordenadas del sistema a las del tubo de rayos catódicos mediante la llamada a la rutina TRANS que utiliza unos coeficientes de transformación calculados en el programa de calibración. Después borra la pantalla del terminal gráfico y llama a la rutina PERSCA para calcular los coeficientes de un cambio de escala para ajustar el tamaño de la pantalla del terminal gráfico a la zona prevista por los argumentos. Esta operación se realiza cuando la variable NSTART es nula, es decir, cuando ha habido un cambio de mesa a televisión. Después se llama a la rutina TV11SL que activa la televisión y dispone el teclado funcional con las teclas RET, PAR, RD, DP, F y L activas. Las funciones de estas teclas han sido descritas en la rutina CRTPER. Se hace después una iteración para recorrer la variable X (la altura del rectángulo) y se llama a las PERSMO y TRANS que calculan el punto donde debe empezar cada barrido y lo transforman al sistema del tubo. Después se llama a las rutinas TVRNGU que fija la escala en la televisión y a las SMLINI, SMLSET, SMLLG, SMLSA y SMLSND que inician y realizan las bandas de escrutinio.

RUTINA CRTPLO

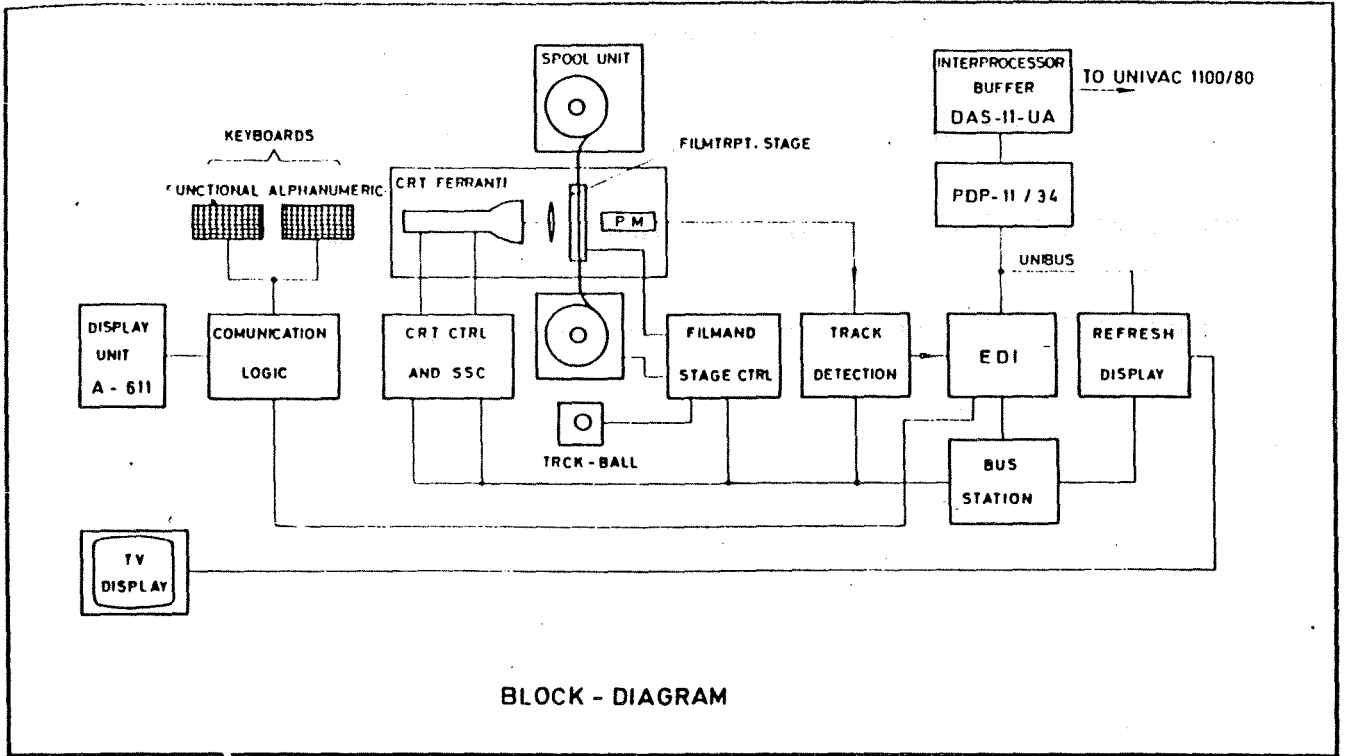
Su estructura es similar a la de CRTWAR. La diferencia mas importante es que escribe las coordenadas de los puntos del barrido en un fichero. Estas coordenadas están almacenadas en el common DIGS (digitizaciones) despues de haber llamado a las rutinas SLINLG y SLSCAN que realizan el escrutinio. Estas coordenadas son sometidas a unas transformaciones para que en la pantalla aparezcan las digitizaciones en el tamaño adecuado y se escriben en un fichero para poderlas representar en papel mediante un programa independiente.

DESCRIPCION DE FIGURAS

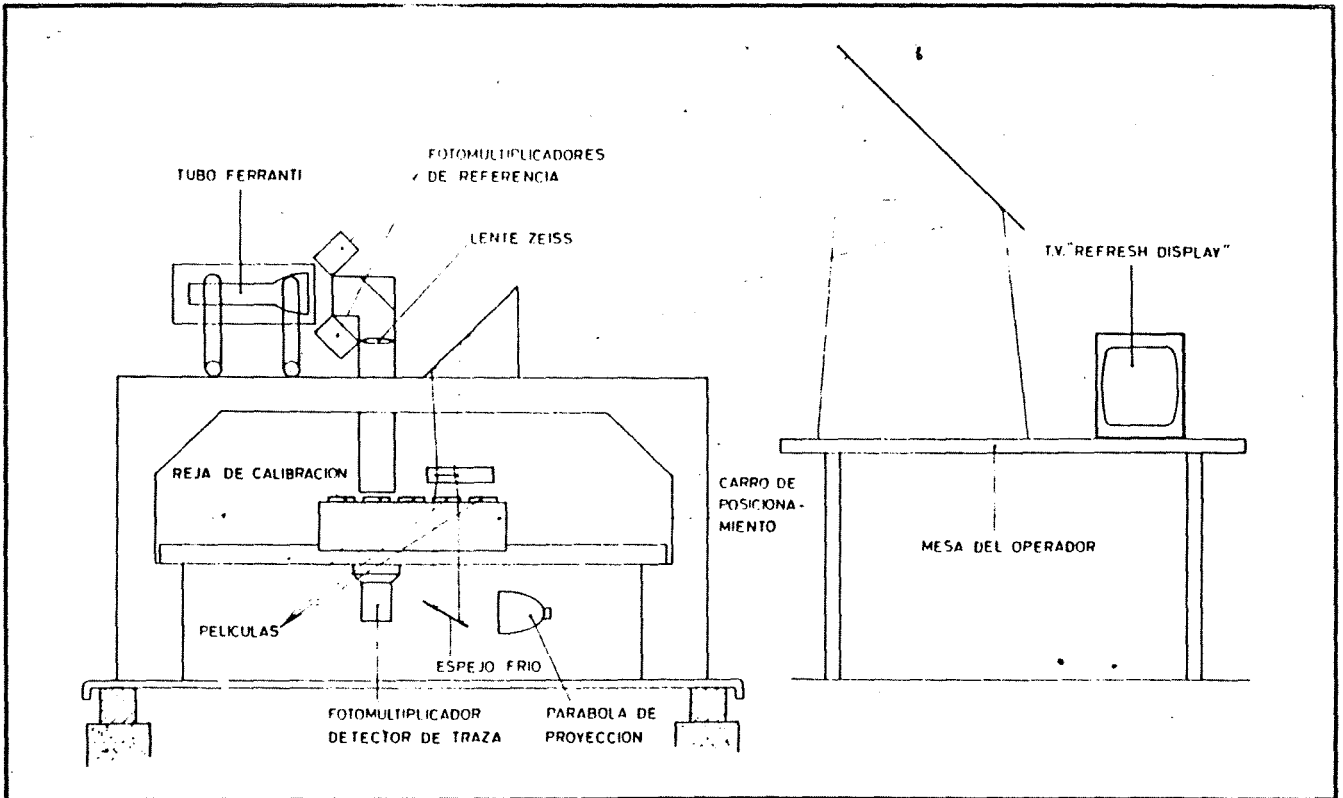
Figura A4.1(a) Diagrama de bloques del sistema ERASME.

Figura A4.1(b) Esquema de la estructura central de ERASME.

Figura A4.2 Esquema del tubo de rayos catódicos.



(a)



(b)

Fig. A4.1

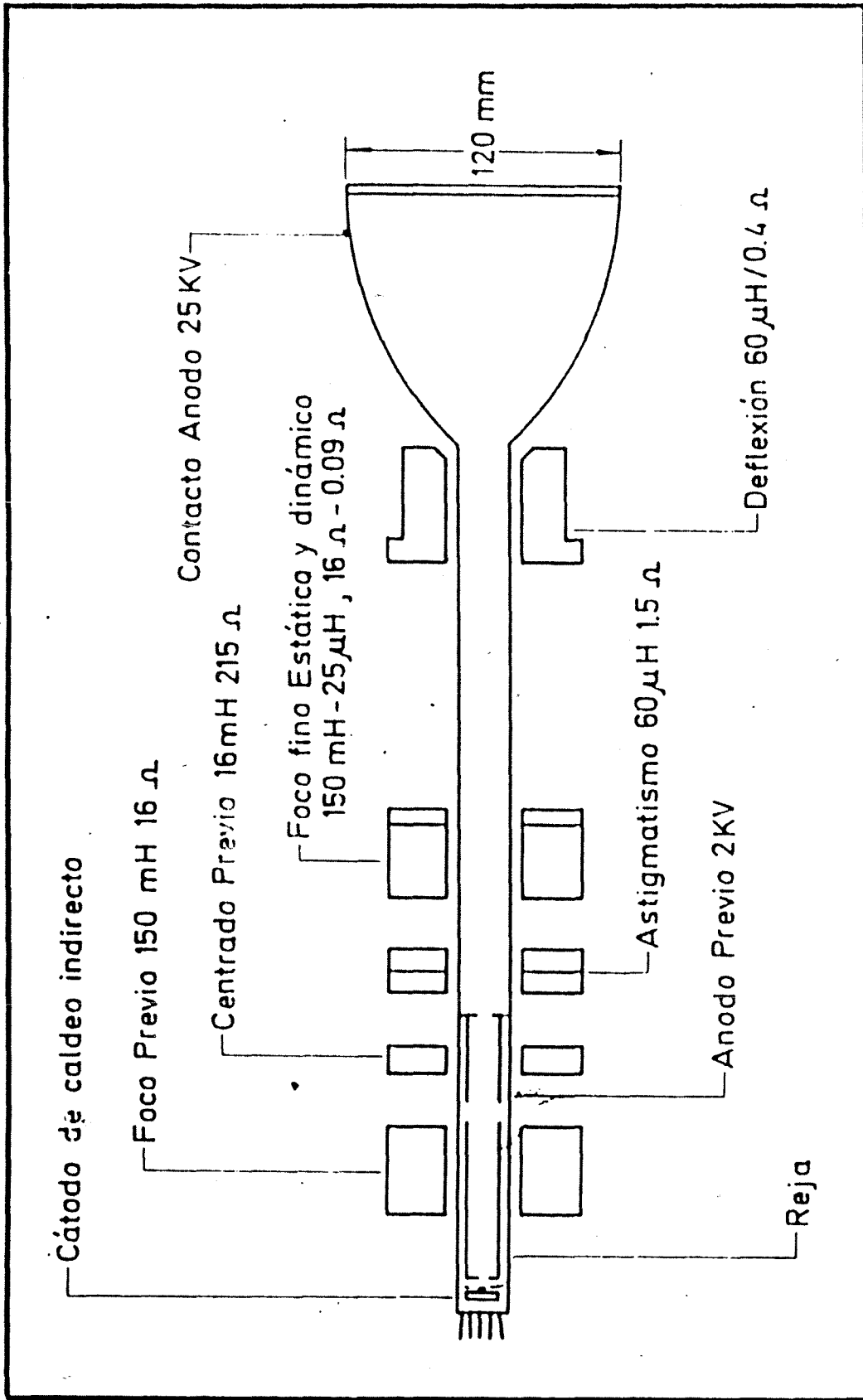


Fig. A4.2