UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

DEPARTAMENTO DE FÍSICA

TESIS DOCTORAL

INTERACCIÓN VIENTOS-CORRIENTES EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS. UN MODELO PARA LA COSTA ESTE DE GRAN CANARIA

ESTHER PÉREZ MARTELL

Las Palmas de Gran Canaria, Julio de 1988

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Título de la tesis:

INTERACCIÓN VIENTOS-CORRIENTES EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS. UN MODELO PARA LA COSTA ESTE DE GRAN CANARIA

Thesis title:

INTERACTION WINDS-CURRENTS IN REDUCED DEPTHS. A MODEL FOR THE EAST COAST OF GRAN CANARIA

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Universidad Politecnica de Canarias
Departamento de Fisica
Facultad de Ciencias del Mar

INTERACCION VIENTOS-CORRIENTES EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS. UN MODELO PARA LA COSTA ESTE DE GRAN CANARIA

Autora: Esther Perez Martell
Director Dr. D. Luis Tejedor Martinez
Julio, 1988

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Departamento de Física Facultad de Ciencias del Mar

Universidad Politécnica de Canarias

TESIS DOCTORAL

INTERACCION VIENTOS-CORRIENTES EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS. UN MODELO PARA LA COSTA ESTE DE GRAN CANARIA.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Autora: Esther Pérez Martell

Director: Prof. Dr. Luis Tejedor Martínez

Julio 1988

Universidad Politécnica de Canarias
Departamento de Física

DON LUIS TEJEDOR MARTINEZ, CATEDRATICO DE UNIVERSIDAD EN EL AREA DE FISICA APLICADA DEL DEPARTAMENTO DE FISICA DE LA UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CANARIAS

CERTIFICA:

Que la memoria titulada "INTERACCION VIENTOS-CORRIENTES EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS. UN MODELO PARA LA COSTA ESTE DE GRAN CANARIA", ha sido realizada por Dª Esther Pérez Martell bajo mi dirección en el Departamento de Física de la Universidad Politécnica de Canarias. Esta memoria constituye la Tesis que presenta para optar al grado de Doctor en Ciencias del Mar.

Las Palmas, a 17 de Junio de 1988

V° B°

EL DIRECTOR DEL DPTO. DE FISICA

Luis Tejedor Martínez

EL DIRECTOR DE TESIS

Fdo: Luis Tejedor Martínez

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Prof. Dr. D. Luis Tejedor Martínez, Director de este Trabajo de Investigación, que se presenta para alcanzar el título de Dra. en Ciencias del Mar. Sin su ayuda, apoyo y orientación no hubiese sido posible llevar a cabo el trabajo. Desearía destacar que su actuación hacia mi persona, ha sido tanto en el aspecto científico y académico, como de estímulo moral, en los momentos de desaliento.

Agradezco también la colaboración y apoyo de los miembros, compañeros y amigos, del Departamento de Física (grupo de Ciencias del Mar) los cuales, de una forma u otra, han prestado su colaboración en la realización de este trabajo.

Asímismo, quiero expresar mi agradecimiento y gratitud a la **FUNDACION UNIVERSITARIA de LAS PALMAS** y de forma especial a la **FAMILIA MEGIAS MARTINEZ** por la ayuda concedida, en forma de beca, para la realización de parte de este trabajo. Otra parte del mismo se enmarca en un proyecto de investigación más amplio, para el cual el Departamento ha sido subvencionado por la Consejería de Educación, Cultura y Deporte del Gobierno Autónomo de Canarias.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Mi reconocimiento al Centro de Tecnología Pesquera de Taliarte por las facilidades dadas para la instalación de algunos de los equipos utilizados en este trabajo.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

A Paco.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

INDICE

CAPITULO 0: INTRODUCCION.

0.1: Oceanografía Física.....1

0.2: Oceanografía de Costas.....3

0.3: Oceanografía Costera de las Islas Canarias.....5

0.4: Objetivo del presente trabajo.....8

0.5: Estructura y Resumen del trabajo.....9

CAPITULO 1: CLIMATOLOGIA GENERAL DE CANARIAS.

1.1: Factores determinantes de la Climatología.....17

1.2: Características del tiempo atmosférico
en Canarias.....20
1.2.1 Condiciones normales.....20
1.2.2 Perturbaciones del tiempo atmosférico...24

1.3: Elementos climáticos.....29
1.3.1 Vientos.....29
1.3.2 Temperatura.....31

1.4: Características oceanográficas en Canarias....33

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 2: TRATAMIENTO TEORICO DE LAS CORRIENTES.

2.1: Ecuaciones fundamentales.....39

2.2: Aproximaciones.....43

2.3: Corrientes de viento.....54

2.4: Corrientes de marea.....61

2.5: Tratamiento estadístico.....71

CAPITULO 3: ADQUISICION DE DATOS: INSTRUMENTACION Y CAMPAÑA DE TOMA DE DATOS.

3.1: Instrumentación.....82

3.1.1 Estación meteorológica.....82

3.1.2 Correntímetro autónomo.....87

3.1.3 Mareógrafo.....91

3.1.4 Correntímetro manual.....93

3.1.5 Sonda CTDS.....95

3.1,6 Lectora de cintas.....97

3.1.7 Ecosonda.....97

3.2: Proceso de datos.....99

3.2.1 Estación meteorológica.....99

3.2.2 Correntímetro autónomo.....103

3.2.3 Mareógrafo.....108

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

3.2.4 Correntímetro manual.....111

3.2.5 Sonda CTDS.....111

3.3: Campañas de toma de datos.....114

3.3.1 Localización del tramo de estudio.....114

3.3.2 Incidencias de las campañas.....117

CAPITULO 4: TRATAMIENTO DE DATOS DE GANDO.

4.1: Introducción.....128

4.2: Estudio general del período 76-85.....129

CAPITULO 5: TRATAMIENTO DE DATOS DE TALIARTE.

5.1: Meteorología.....156

5.2: Corrientes.....188

5.3: Niveles.....205

CAPITULO 6: MODELO DE CIRCULACION.

6.1: Introducción.....221

6.2: Corrientes producidas por el viento.....224

6.3: Corriente de marea.....230

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

6.4: Corrientes residuales.....241

CONCLUSIONES.....259

BIBLIOGRAFIA.....263

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 0: INTRODUCCION.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

La Oceanografía es el estudio de las aguas oceánicas del planeta, desde las aguas profundas, en mar abierto, hasta las costeras.

En el concepto genérico de Oceanografía tienen cabida prácticamente todas las ciencias, desde la Física, Química, Biología, Matemáticas y Geología hasta otras como Economía, Sociología y varias ramas del Derecho y de la Ingeniería..

Incidiremos aquí en la parte relacionada con la Física que es la que nos interesa.

0.1.- Oceanografía Física.

La Oceanografía Física, se suele dividir en Descriptiva y Dinámica, según el tipo de tratamiento que desarrolle. La primera, se encarga fundamentalmente de las observaciones y medidas de datos oceanográficos conducentes, por ejemplo, a la confección de cartas sinópticas. La Oceanografía Dinámica tiene como objetivo los estudios teóricos, partiendo de las leyes de la Física, que harán posible la descripción del comportamiento y movimiento de las masas de agua.

La interdependencia entre ambas ramas es clara y necesaria, cuando la descriptiva era la prepotente (por

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

desconocimiento de la dinámica) se pretendía, y de hecho en algunas ocasiones se conseguía, realizar predicciones. Esto es posible porque en la práctica, las características de las masas oceánicas no suelen cambiar mucho con el tiempo, ó bien lo suelen hacer en forma periódica, con lo cual una descripción del presente puede aplicarse (con cautelas) para el futuro. Los riesgos de equivocaciones son evidentes.

Pero por parte de la rama Dinámica también existen riesgos. Cuando se intenta expresar en términos analíticos la relación causa-efecto, es imprescindible admitir una serie de hipótesis simplificadoras para que la resolución de las ecuaciones obtenidas sea factible. Es decir, el fenómeno real se idealiza por simplificaciones sucesivas y se obtiene un modelo que evidentemente representa sólo parcialmente la realidad. Por consiguiente, para verificar la relación modelo - realidad, es necesario recurrir a la descriptiva.

Así pues, vemos que las predicciones de la Oceanografía Dinámica necesitan forzosamente ser avaladas por la Oceanografía Descriptiva e igualmente, los resultados que se obtienen de ésta sólo pueden ser explicados por la Dinámica.

Los estudios de Dinámica Marina se han desarrollado ampliamente debido a la importancia que

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

tienen, y en la actualidad se encuentran divididos en dos ramas, la tradicional Dinámica Oceánica y la moderna Dinámica de Costas, ésta última muy relacionada con la Ingeniería de Costas y la Ingeniería Oceanográfica.

El estudio de la Oceanografía Costera, aplicado al entorno del Archipielago y de forma más especifica a la Isla de Gran Canaria, constituye una de las líneas de investigación del Departamento de Física de la Universidad Politécnica de Canarias y, uno de sus aspectos, constituye el objetivo del presente trabajo.

Hoy en día, y dentro de la Oceanografía, está cobrando, también, importancia el uso de satélites para la medida de parámetros de interés oceanográfico (Remote Sensing). Tal rama se le denomina Oceanografía por Satélite y constituye otra de las líneas de investigación que desarrolla el Departamento de Física.

0.2.- Oceanografía de Costas.

La Oceanografía Costera se desarrolla en el ámbito de la plataforma continental. Durante muchos años, los estudios se llevaron a cabo en alta mar principalmente, y los descubrimientos más relevantes estaban en esa zona. Pero llegó un momento en el que el hombre mostró

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

un gran interés en los problemas costeros, por su importancia en el estudio del Medio Ambiente y las implicaciones económicas que ésto conlleva.

Dadas las características que se presentan en las aguas costeras (poco profundas, presencia de la línea de costa,...), hacen que el comportamiento oceanográfico sea muy diferente al de áreas en mar abierto. Por ejemplo, la presencia del fondo en las aguas someras hace que el movimiento general de las masas de agua esté más limitado que el que puede existir en aguas más profundas, siendo por tanto más importantes los términos de fricción. No obstante, los fenómenos en ambas zonas están muy relacionados (1). Así, las mareas que producen elevaciones y descensos del nivel del mar en las áreas costeras, se generan en las profundidades oceánicas; como éste, existen otros ejemplos de la dependencia zona de altamar-franja costera.

Por otra parte, los fenómenos costeros son muy diferentes de unas zonas del litoral a otras, debido tanto a la configuración geográfica, como a la geomorfológica del terreno.

El espectacular crecimiento, desde hace unas décadas, de las poblaciones urbanas, y lo que ésto conlleva en cuanto a vertidos, tanto urbanos como industriales, así como el auge del turismo, y de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

actividades para el ocio que se desarrollan en este sector, hacen de vital importancia el conocimiento de las condiciones oceanográficas costeras, para una planificación de su uso.

En definitiva, se puede decir que es precisamente en la zona costera donde la Dinámica Marina tiene más aplicaciones prácticas. G.T.Csanady (2) justifica la importancia de estos nuevos estudios, no sólo para conseguir un mayor conocimiento de la Dinámica Marina, sino fundamentalmente porque son la base imprescindible para la resolución de los problemas específicos del litoral.

0.3.- Oceanografía Costera de las Islas Canarias.

En el área cercana a las Islas Canarias, marco de nuestro estudio, se han desarrollado varios trabajos cuyo objetivo principal era el estudio del "upwelling" que tiene lugar en el NW de la costa africana (3, 4, 5, 6, 7, 8). Desde el punto de vista de la Oceanografía Física, en concreto de la corriente de Canarias, existen otros trabajos en los que se trata ésta a partir de estaciones hidrológicas; y que a través del método geostrófico intentan calcular las velocidades de la corriente en superficie y otros niveles de profundidad, respecto de un nivel cero o de no movimiento (9, 10, 11,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

12). Aparte de estos últimos, y anteriores a ellos, existen desde hace tiempo unos mapas de corrientes, fruto de la observación visual de los marinos que atraviesan los mares numerosas veces y que a nivel global describen la situación real excepto, según parece, en lo referente a intensidades de la corriente, debido quizás a que no son valores medios (13, 14). En la actualidad, existe una descripción más detallada de corrientes, con datos procedentes de correntímetros que se han fondeado en diversas estaciones del Atlántico Central (14, 15, 16, 17). En resumen, los trabajos desarrollados en el área del Archipiélago han sido a macroescala y en aguas oceánicas.

En el campo de la Oceanografía Costera existen algunos trabajos restringidos a zonas particulares de alguna de las islas (19, 20, 21). Mientras que en Dinámica Costera no conocemos ningún trabajo oceanográfico en el litoral de Canarias, aún a pesar de la gran importancia que tiene esta zona, desde diversos puntos de vista. Sí se han realizado estudios oceanográficos conducentes a conocer la dinámica de una franja de costa muy en particular, por algún motivo específico, como puede ser la construcción de un puerto, la actuación en una playa, etc., pero dichos resultados no están publicados.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Al estudiar el comportamiento dinámico de las masas de agua,hemos de tener presentes todas las fuerzas que actúan sobre el sistema y entre ellas está, como sabemos, la acción del viento sobre la superficie del mar. Debido a la importancia de la interacción atmósfera-océano, el conocimiento del régimen de vientos será fundamental en nuestro estudio.

Respecto a los datos meteorológicos, éstos sí son más abundantes en todas las Islas, aunque en unas se tienen series temporales más largas que en otras. En Gran Canaria, el Instituto Nacional de Meteorología tiene varias estaciones a lo largo de toda la geografía insular. De ellas, la serie más larga y completa corresponde al observatorio que tiene instalado en el Aeropuerto (Gando), en el que se registran datos de intensidad y dirección del viento, temperatura y presión atmosférica, en cuatro instantes a lo largo del día: 1, 7, 13 y 18 horas. Tenemos que indicar que dicha estación ha cambiado de ubicación dentro del recinto del Aeropuerto varias veces y también que en algunas ocasiones se ha variado la orografía del terreno (se quitó una pequeña montaña cercana al aparato para la construcción de una nueva pista), por tanto y debido a la especial incidencia del factor orográfico (22, 23) existen pequeñas variaciones, especialmente en los datos

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

de vientos, desde los primeros registros hasta la actualidad y que pueden ser achacables a este motivo.

0.4.- Objetivo del presente trabajo.

En el trabajo que presentamos a continuación, hemos tratado una serie de intensidades y dirección del viento, correspondientes a los años comprendidos entre 1.976 y 1.985, del Observatorio de Gando. También aunque con menos tiempo, hemos trabajado con la temperatura en una época determinada. Los partes mensuales de información diaria, a las horas de muestreo, que proporcionó el Instituto Nacional de Meteorología indican la velocidad del viento en km/h y su dirección en dieciseis sectores, cada uno de 22'5 grados, y centrados en el Norte geográfico, es decir que de la dirección del viento sabemos el sector en el que está soplando éste, pero no exactamente la magnitud en grados. En 1986, en los partes de observaciones que nos suministró el Instituto Nacional de Meteorología, observamos que la dirección del viento venía indicada en 36 sectores, numerados del 1 al 36, y centrados igualmente en el Norte geográfico, y sin conocerse tampoco los grados exactos de la dirección. Debido a que el cambio en la nomenclatura dificultaba el tratamiento posterior, decidimos tratar únicamente el periodo indicado.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

El trabajo que exponemos seguidamente se desarrolla en el campo de la Oceanografía Costera. El objetivo del trabajo es desarrollar un modelo oceanográfico, que de cuenta del sistema de corrientes que tiene lugar en la costa Este de Gran Canaria (zona de Taliarte).

Se ha elegido esta zona por la importancia que tienen los alisios en el régimen de vientos en las Islas Canarias. Estos son vientos que soplan procedentes de direcciones en el primer cuadrante durante todo el año, pero son especialmente significativos durante los meses comprendidos entre Abril y Septiembre. Así pues, es en la costa Este de las Islas donde se deben producir las corrientes de intensidad mayor, al igual posiblemente, que en la zona Norte. Mientras que en el Sur no serán tan importantes, por la presencia de la Isla.

El resultado de nuestro trabajo, con el fin expuesto, lo hemos estructurado de la siguiente forma.

0.5.- Estructura y resumen del trabajo.

En el primer capítulo hacemos una descripción basada en la bibliografía general existente (22, 23), acerca de la climatología del Archipiélago Canario. Comenzamos describiendo la situación normal del tiempo

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

atmosférico en las Islas, durante los diferentes meses del año, para posteriormente ver cuáles son las causas de las principales alteraciones que se producen y sus efectos, desde un punto de vista general. Finalizamos este apartado con las características generales oceanográficas que aparecen en la bibliografía (9, 11, 12) y que ya hemos comentado que es escasa en cuanto a estudios de microescala.

En el capítulo segundo incluímos el tratamiento teórico de las corrientes. Comenzamos de forma breve con el planteamiento físico-matemático de la circulación marina, en el que considerando las hipótesis de Reynolds acerca del movimiento turbulento, llegamos a plantear el sistema de ecuaciones que en general hemos de resolver.

Las soluciones particulares de dicho sistema que nos interesan son las producidas por el viento y las debidas a las mareas, que son tratadas a continuación.

Finalizamos este capítulo con una breve descripción del análisis espectral y del tratamiento estadístico que hemos aplicado.

En el apartado siguiente, capítulo tercero, pasamos a tratar todo lo relacionado con la adquisición de datos. Comenzamos con la descripción de los sistemas de toma de datos. Después describimos el área en que

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

hemos desarrollado el estudio, atendiendo a sus características geográficas y topográficas, necesarias para justificar los emplazamientos de nuestros aparatos. También en este capítulo resumimos las diversas campañas de toma de datos, que hemos efectuado y las incidencias por las que hemos pasado.

El cuarto capítulo corresponde al tratamiento que hemos hecho a los datos de viento del Instituto Nacional de Meteorología, en el período 1976 - 1985. El motivo por el que hemos recurrido a estos datos se debe a que nuestra intención es obtener el régimen de corrientes de la zona de Taliarte, conocido el de vientos en el mismo lugar. Dado que únicamente podemos disponer de los datos de nuestra estación meteorológica durante un año (1987), y como la información que se requiere, para establecer el régimen normal de vientos, ha de ser una serie temporal de mayor duración, hemos tenido que basarnos en los datos de Gando y correlacionar ambos regímenes, para que posteriormente el régimen de corrientes obtenido sea representativo. A partir de los registros diarios, en cuatro horas diferentes, de velocidad y dirección del viento, hemos representado las series temporales, los histogramas (escalares y direccionales), las curvas de distribución de la velocidad, las rosas de vientos, los regímenes

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

escalares, y las direcciones en aquellas direcciones con frecuencia mayor, para cada uno de los años. A partir de todos ellos, construimos un año, que llamamos año total, y del que representamos también lo recien indicado, demostrando que dicho año se puede considerar el normal de Gando, que será el que compararemos con el obtenido en Taliarte.

El quinto capítulo corresponde al tratamiento de los datos obtenidos con nuestros aparatos. Para el desarrollo del modelo de corrientes y dada la importancia que tienen los vientos en la zona, instalamos una estación meteorológica que estuvo registrando datos de intensidad y dirección del viento, temperatura y presión atmosférica durante un periodo de un año, prácticamente completo, en Taliarte. Los resultados registrados nos han servido para correlacionar nuestros datos con el año normal, que hemos obtenido con los facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología para el Observatorio de Gando durante el período 1976 - 1985.

Los resultados obtenidos para la correlación entre ambas series, nos permiten trabajar con el régimen de vientos del año normal y será éste con el que operemos para establecer el régimen de corrientes en la zona.

En el apartado siguiente del mismo capítulo,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

describimos los resultados de las corrientes medidas. Como nuestro objetivo principal era el estudio de la circulación marina en la zona Este de la isla de Gran Canaria, pensamos inicialmente en que dicha circulación podía responder a un fenómeno tricapa, y que además coexistirían varios tipos de corrientes (de vientos, de marea, la circulación general, etc). Para contrastar lo previsto, decidimos instalar tres correntímetros autónomos, el primero en los 3-5 m. de profundidad y los otros a 20 y 40 m. Con el cercano a superficie se determinaría la corriente en la capa superficial donde predominará la corriente producida por el viento; con los otros dos se estudiarían la capa intermedia donde predominan las corrientes rotatorias, típicas de la marea, y la capa inferior donde es importante el rozamiento por fondo, así como poder registrar las corrientes de pendiente, en caso de que existan. De esta manera la zona intermedia nos podría servir para evaluar lo que sucede en la superior, a partir de la diferencia entre ella misma y la intermedia. Análogamente, la diferencia entre la capa del medio y la inferior nos aportará información de lo que ocurre estrictamente por efecto del fondo.

En función de lo comentado, el fondeo de los correntímetros se llevó a cabo en una columna de agua

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

con una profundidad aproximada de 60 m. Unicamente se instalaron dos, a 20 y 40 m., debido a que el fondeo en los primeros metros de la capa de agua, presentaba las dificultades propias de la posible pérdida o robo, o problemas tales como los sucedidos en el primer fondeo del año anterior, en que estuvo ilocalizable durante nueve meses. Para solventar la carencia de datos en una capa tan importante como la superficial, realizamos las medidas con un correntímetro manual en el punto de estudio y varios más cercanos a él. La instalación de los correntímetros no la hemos hecho en zonas más profundas, por dos motivos. En primer lugar, debido a que la plataforma continental cae fuertemente a grandes profundidades con lo cual existe cierto peligro de no poderse recuperar los instrumentos, y por otra parte porque puede estar sometido a la corriente general, lo cual perturbaría nuestro modelo de circulación costera.

El tiempo en que estuvieron instalados los correntímetros no fue mucho, pero sí resultó suficiente para establecer el modelo. Las razones por las que se limitó temporalmente la instalación están comentadas en el capítulo tercero. Así pues, las corrientes en la capa superficial se estudiaron al medir perfiles de velocidad y dirección, mientras que en la zona más profunda se hizo con dos correntímetros autónomos instalados a 20 y 40 metros.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Ante la posibilidad de tener que relacionar nuestras corrientes rotatorias con la marea, fondeamos un mareógrafo autónomo en la zona de nuestro estudio. De los datos obtenidos hemos deducido la serie temporal a partir de la cual hemos calculado las constantes armónicas. De la carrera de marea y de dichas constantes podemos predecir la marea en un instante determinado y por tanto es posible realizar estudios de correlación con las corrientes rotatorias.

El tiempo en que estuvo fondeado el mareógrafo fue aproximadamente de dos meses. En este periodo podemos deducir las componentes armónicas necesarias para una correcta predicción de la marea.

Otro propósito tenido en cuenta para realizar la instalación, fue la posibilidad de detectar posibles ondas largas asociadas entre islas, así como poder determinar la posible elevación del nivel de la superficie del mar originado por el viento.

La recogida simultánea de datos de los tres aparatos (estación meteorológica, correntímetro y mareógrafo) no fue posible por fallo en la primera ubicación de la estación y posteriormente por otros motivos. Aún así, es posible un estudio completo con los datos obtenidos, tal como comentamos.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

El sexto capítulo es en el que describimos el modelo de circulación que proponemos para la coste Este de Gran Canaria, a partir de los resultados obtenidos, y la verificación que se ha hecho en otros puntos cercanos a este litoral.

Como ya hemos comentado, hemos considerado fundamentalmente dos capas, la superior donde la influencia del viento es predominante sobre las corrientes de marea y la inferior donde estas últimas son las más importantes. La onda de marea en su propagación de Sur a Norte al contornear la isla sufre el efecto del fondo y origina unas fuertes corrientes de entrante y otras, débiles, de saliente. Los vientos reinantes del primer cuadrante originan unas corrientes superficiales de dirección opuesta a la entrante y por consiguiente favoreciendo la saliente. Este sistema de circulación costera fue nuestro objetivo fundamental, por pensar que la corriente general de Canarias está fundamentalmente localizada en la zona intermedia de las islas, es decir en zonas de alta profundidad, donde puede ser posible que las de mayor intensidad sólo estén localizadas en la zona intermedia.

Finalmente, comentaremos los resultados obtenidos, estableciendo algunas conclusiones sobre la validez definitiva del modelo propuesto.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 1: CLIMATOLOGIA GENERAL DE LAS ISLAS CANARIAS.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

1.1.- Factores determinantes de la climatología.

Las Islas Canarias se encuentran en la zona dominante de los alisios, presentándose la estratificación típica de las regiones tropicales y subtropicales donde soplan estos vientos. Es decir, una capa inferior húmeda a la que se superpone otra seca, produciendose entre ambas una inversión de temperatura. El límite de la capa húmeda es visible por presentarse con frecuencia los característicos estratocúmulos, que no pueden ascender por la inversión térmica que impide todo desarrollo vertical conducente a la producción de lluvias. Sólo en los lugares muy favorecidos orográficamente, pueden tener lugar precipitaciones ligeras.

Otro factor determinante de la climatología de las Islas Canarias es la orografía, tanto por las variaciones normales de las diferentes magnitudes físicas con la altura, como por las que pueden haber a un mismo nivel según sea la configuración orográfica del lugar y su exposición a las corrientes de aire. Este factor no sólo es importante en relación a los vientos dominantes, sino también respecto a las irrupciones de masas de aire distintas, gobernadas por las perturbaciones del tiempo. Así, en la circulación normal del alisio, los lugares situados a barlovento (que en

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

este caso coincidirá con el Norte) se encuentran sometidos a la influencia del mismo, con la característica capa de estratocúmulos y el viento NNE. En los lugares situados a sotavento (que en este caso coinciden con la dirección Sur) el cielo se encuentra despejado y no se deja sentir la influencia del viento, por lo que la temperatura es algo mayor.

El clima local está definido por la altura del lugar sobre el nivel del mar, por su exposición a los vientos dominantes y por el factor orográfico circundante. Como consecuencia de la variabilidad de estos factores en el Archipiélago y a lo accidentado de su relieve, sobre todo en Tenerife y Gran Canaria, las condiciones climáticas y atmosféricas varian mucho de un lugar a otro.

La influencia del mar se manifiesta en una estrecha capa costera, atemperando las temperaturas máximas diurnas en los meses estivales. Hacia el interior, las temperaturas en el verano deberían ser generalmente mayores de las que realmente se presentan, pero esta circunstancia sólo se presenta en algunas zonas del Sur de las islas, que están resguardadas del viento del Norte y donde la insolación es mayor.

Estas condiciones de dominio del alisio se pueden

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

romper bruscamente, debido a que las Islas Canarias se encuentran en una región abierta a las perturbaciones de la zona templada y de la zona subtropical. Las principales perturbaciones que se dejan sentir en Canarias son:

a) Perturbaciones típicas de las regiones templadas.

Que pueden ser debidas a una o varias de las causas siguientes:

- Irrupciones de aire polar marítimo.
- Depresiones frías.
- Depresiones derivadas del frente polar.

b) Perturbaciones de la zona subtropical.

Debidas a uno o varios de los factores siguientes:

- Ondas en la corriente del Este.
- Depresiones derivadas del frente intertropical.
- Invasiones de aire caliente africano.

A continuación presentamos un resumen de las características del tiempo bajo las condiciones normales y las distintas perturbaciones que se presentan, así como la frecuencia de los mismos a lo largo del año (22).

Después, se considerarán algunos de los distintos elementos que definen el clima, como es la temperatura, para las distintas localidades de Gran Canaria, zona

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

donde hemos realizado nuestro estudio y Tenerife, para poder apreciar semejanzas y anomalías entre ambas islas.

1.2.- Características del tiempo atmosférico en Canarias.

1.2.1.- Condiciones normales.

a) Isobaras medias en superficie.

La situación de presiones atmosféricas medias en el mes de Enero corresponde a la situación en la que se combinan anticiclones polares con atlánticos. Se presenta un núcleo anticiclónico al Norte de Canarias y otro al Sur de las Azores; entre ambos hay una vaguada. Estos núcleos anticiclónicos se debilitan progresivamente hasta el mes de Abril, en el que sólo aparece el núcleo anticiclónico del Sur de las Azores. Las altas presiones apreciables en Enero en el Noroeste de Africa, no son perceptibles en Abril.

En el mes de Julio la situación es de anticiclón en las Islas Azores y una baja presión situada sobre Africa (características del alisio), debilitandose el anticiclón del Atlántico hasta llegar a la situación de Enero.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

b) Circulación del alisio.

En el mes de Enero las Islas Canarias se encuentran en el límite septentrional de la región de los alisios que soplan en la dirección NW. En verano el límite se desplaza al Norte, presentando en Junio su límite en la posición septentrional. En invierno los alisios soplan con una frecuencia superior al 50 %; en verano, al encontrarse Canarias en el seno de la región del alisio, la frecuencia está comprendida entre el 90 y 95 %.

Este predominio del régimen de los alisios en las Islas Canarias, con una variación anual tan marcada, tiene una importancia extraordinaria en el clima y tiempo atmosférico del Archipiélago Canario. Al alisio propiamente dicho, es decir, al que corresponde a la circulación en torno del anticiclón subtropical, le acompaña un tipo de tiempo de características bien determinadas: aire nítido y fresco, y temperaturas agradables con cielos más o menos cubiertos, debido a la característica capa de estratocúmulos a barlovento y cielos despejados a sotavento.

c) Influencia de las aguas frías de la corriente oceánica de las Islas Canarias.

La combinación de los alisios con la corriente

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

marítima determina las agradables temperaturas veraniegas e influye, de forma definitiva, en el clima y tiempo de Canarias.

El gradiente de temperatura superficial del mar es de 3 grados centígrados, por cada variación de 10 grados en la latitud en Enero, y casi nulo en Julio.

En Enero, la temperatura del mar en superficie es aproximadamente de 18'5°C y en Julio de 21'5°C, similar esta última a la de las Azores e incluso más baja. Esta distribución de temperaturas de la superficie del mar es debida a la corriente fría de las Canarias.

d) Circulación monzónica.

En invierno las Islas Canarias quedan también bajo la influencia de cierta corriente monzónica que se establece entre el Norte de Africa y el Atlántico. En el mapa de presiones medias de Enero, hay un anticiclón en el Noroeste de Africa, el cual es generalmente menos intenso que el del Atlántico. No obstante, en ciertas ocasiones domina el anticiclón africano en cuyo caso se registra en el Archipiélago el viento monzónico.

Cuando en Canarias sopla el viento monzónico, desaparece la capa de estratocúmulos, y disminuye la humedad relativa, pero la temperatura no experimenta cambios sensibles.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

e) Capa inferior húmeda.

La estratificación de la troposfera en la región de Canarias presenta una capa inferior húmeda a la que se superpone otra seca, estando diferenciadas ambas por una inversión de temperaturas. Esta capa húmeda es más frecuente y menos alta en verano (90 % y 1.250 metros de media) que en invierno (58 % y 1.600 metros).

Esta estratificación es muy estable, quedando limitadas las turbulencias a la capa húmeda . Los estratocúmulos tienen su límite superior justo bajo la línea de inversión de temperaturas.

La mayor altura de la capa húmeda en invierno se debe a que a veces es reforzada por aire húmedo y frío del Norte. En cambio, cuando se establecen vientos del sector ESE, correspondiente a los anticiclones continentales, se reduce el espesor de la capa húmeda y desaparecen las nubes.

f) Circulación a altos niveles.

La circulación en los altos niveles tiene interés no sólo por la influencia que tiene en el tiempo atmosférico de la capa húmeda superficial, sino por incidir directamente en los lugares que están situados por encima de los 1.000 metros sobre el nivel del mar.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Podemos distinguir tres capas atmosféricas cuyos vientos dominantes son:

- Alisio del NE en la capa superficial húmeda cuyo límite está entre 1.000 y 1.500 metros.

- Viento seco del NW en la capa seca intermedia que comienza en el límite de la anterior y cuyo límite superior se sitúa entre los 2.500 y los 3.000 metros.

- Circulación del SW en la capa superior que suele mantenerse hasta por encima de los 8.000 metros.

Las frecuencias estivales del viento del SW (55 %) en la capa superior son menores que las del alisio en la húmeda, pero mayores que las del NW en la intermedia.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

1.2.2.- Perturbaciones del tiempo atmosférico.

a) Irrupciones de aire polar marítimo.

Ocupan el primer lugar de las perturbaciones del tiempo atmosférico que sufren las Islas Canarias, en cuanto a su frecuencia. La corriente general del NW sobre la capa húmeda inferior contribuye notablemente en otoño, invierno y primavera al establecimiento de irrupciones de aire frío procedente de altas latitudes

(máxima en Noviembre 25 %, máxima secundaria en Marzo y Abril). Estas advenciones de aire frío se notan mucho más claramente por encima de los 1.500 metros. En puntos situados en altitudes altas suelen ir acompañadas de fuertes descensos de temperatura y la fuerza del viento aumenta considerablemente. En niveles bajos, la velocidad del viento es mucho menor y la temperatura apenas desciende uno o dos grados. La inversión de temperatura desaparece, aumentando considerablemente el gradiente en altura, haciendo inestable la masa de aire marítimo polar o subpolar.

Esta inestabilidad, al ser liberada por el factor orográfico, se traduce en una actividad convectiva que da lugar a diversos hidrometeoros. En los lugares favorablemente situados, pueden tener lugar precipitaciones superiores a los 100 milímetros en 24 horas y en caso de advenciones intensas, se pueden sobrepasar incluso los 200 milímetros. Sin el concurso del factor orográfico, las precipitaciones son poco importantes, aunque en situaciones pueden llegar a 50 milímetros en 24 horas.

Durante las advenciones, el límite superior de la capa húmeda sube.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

b) Depresiones frías.

Las depresiones que pueden afectar a las Islas se suelen formar en latitudes medias. Cuando se combinan con una capa inferior muy húmeda, dan lugar a lluvias muy intensas, debido a advenciones del aire marítimo.

c) Depresiones derivadas del frente polar.

Durante el semestre invernal, principalmente en los meses de Diciembre y Enero, el Archipiélago puede quedar sometido a la acción de depresiones derivadas del frente polar.

Según sea la trayectoria de la depresión, las Islas pueden quedar sometidas bien sólo al flujo septentrional de la parte posterior de la depresión, ó primero a los vientos de componente Sur, para pasar luego a los de componente Norte. En ambos casos el factor orográfico puede dar lugar a lluvias importantes. Otra circunstancia muy importante a tener en cuenta, es la del viento en superficie, pues dichas depresiones son responsables de la mayor parte de los temporales de viento, que ocasionalmente causan graves perjuicios en los cultivos de las Islas.

d) Ondas en la corriente del Este.

La corriente del Este en las Islas Canarias

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

corresponde a la circulación de un extenso anticiclón en el lado meridional. Bajo estas condiciones reina normalmente en Canarias el buen tiempo, aunque también pueden originarse, según la época del año, "olas de calor" por la invasión de aire africano.

Ahora bien, ocasionalmente, el campo isobárico en la corriente del Este se deforma, apareciendo vaguadas más o menos definidas que se trasladan de Este a Oeste.

Si la vaguada es débil en superficie, el cambio en el tiempo suele quedar limitado a la aparición de nubes medias y a veces ligeras precipitaciones. En cambio, cuando queda bien marcada en el mapa de superficie, tiene lugar un rápido y considerable aumento en el espesor de la capa húmeda superficial, acabando por establecerse una importante actividad convectiva, la cual se traduce en lluvias muy importantes, que son acentuadas por el relieve en los lugares favorecidos. Dichas perturbaciones son responsables de algunos de los mayores temporales de lluvias que pueden registrarse en las Islas.

e) Depresiones derivadas del frente intertropical.

Se producen en verano en el frente que se forma entre la circulación monzónica y la masa de aire continental. Estas depresiones producen lluvias

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

convectivas en los lugares orográficamente favorecidos, lluvias que pueden ser ocasionalmente intensas, aunque de corta duración.

Los vientos del SE, son débiles en bajos niveles y fuertes en altos niveles.

f) Invasiones de aire caliente africano.

Uno de los cambios más radicales que pueden experimentarse en las condiciones meteorológicas de las Islas Canarias, tiene lugar cuando el Archipiélago es invadido por masas de aire seco y caliente procedentes del Sahara.

El ambiente agradable y tonificante del régimen de los alisios es sustituido por otro deprimente y opresivo, que al ir acompañado de vientos cálidos es sumamente perjudicial para los cultivos.

La característica más sobresaliente de las invasiones calientes es la temperatura alta muy superior a los valores normales. Otras características son: la sequedad del aire y el enturbamiento producido por una calima más o menos espesa y, menos frecuentemente, por polvo fino, pero lo suficientemente pesado para depositarse sobre el suelo.

Durante la ola de calor se produce una inversión

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

de temperatura, que se suele producir a una altitud inferior a la que tiene lugar durante la circulación normal del alisio. La capa húmeda superficial sigue manteniéndose, aunque disminuida de espesor.

En la costa del continente, debido a las aguas de la corriente fría de verano, se forma una barrera de aire frío, que las invasiones de aire caliente no pueden remover viéndose obligadas a remontar. En verano, después que la masa de aire caliente haya salvado la barrera de aire frío, puede entrar en contacto con la superficie del mar, enfriándose lo suficiente para que, al llegar a las Islas Canarias, de lugar a una importante inversión de temperatura sobre el nivel del mar. En otros casos más frecuentes, se mantiene el aire frío marítimo de la capa húmeda superficial, iniciándose la inversión térmica a unos centenares de metros sobre el nivel del mar. Debido a estos fenómenos las invasiones de aire africano se notan más en las localidades situadas a una cierta altura sobre el nivel del mar, que en las situadas en el litoral.

1.3.- Elementos climáticos.

1.3.1.-Vientos.

El régimen de vientos que describimos es el definido en el P.I.D.U. (23) y para el que se

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

utilizaron datos correspondientes al periodo 1967-77, del archivo del Instituto Nacional de Meteorología, para las estaciones situadas en Las Palmas y Gando en Gran Canaria y Santa Cruz, Los Rodeos e Izaña en Tenerife.

Los vientos reinantes en Canarias y que ya hemos comentado se refieren a atmósfera libre, teniendo en cuenta además, que la topografía local influye poderosamente en la configuración de la intensidad y dirección del viento en cada localidad.

En todas las estaciones, el viento reinante corresponde a las direcciones NW, N y NE derivadas directa o indirectamente de los alisios.

Los vientos más impetuosos y constantes se producen en los flancos de las islas, al contornear los alisios el perímetro de las mismas.

El resumen anual y del mes de Agosto, para el período indicado de los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología, es el que presentamos en la tabla 1.3-1.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Estación	Direcc. reinante	Resumen anual direcc.	%	Agosto direcc.	%
Las Palmas	NW,N	NW	34'72	NW	52'10
		N	24'95	N	25'70
		NE	10'40	NE	9'80
		SE	5'48		
		Calma	16'08	Calma	7'10
Gando	N	N	53'24	N	75'50
		NE	15'26	NE	17'90
		Calma	20'33	Calma	3'70
Santa Cruz	NW,N,NE	NW	18'20	NW	13'45
		N	13'98	N	12'23
		NE	13'88	NE	11'73
		E	12'21	E	18'82
		SE	7'59	SE	9'41
		Calma	18'81	Calma	21'45
El Médano	N,NE	N	20'80		
		NE	24'00		
		Calma	11'90		
Izaña	NW	NW	44'62	NW	39'27
		W	13'24	W	13'50
		Resto equilibrad (Vientos fuerte)		E	12'73
				N	9'77
		Calma	6'19	Calma	8'18
Los Rodeos	NW	NW	41'23	NW	55'75
		N	17'75	N	15'00
		W	10'44	W	15'90
		Calma	9'24	Calma	5'0

TABLA 1.3-1

1.3.2.- **Temperatura.**

Los datos de temperatura media anual y del mes de Agosto para el período 1950-77,en diversas estaciones termométricas de la isla de Gran Canaria, proporcionados

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

por el archivo del Instituto Nacional de Meteorología, los presentamos en la tabla siguiente:

	Temperatura media(°C)	
	Anual	Agosto
Gáldar	19,40	22,70
Las Palmas (Obras del Puerto)	20,70	23,70
Moya	17,90	22,70
Valleseco	13,80	20,10
Artenara (Tamadaba)	15,00	24,50
Tejeda	13,60	22,70
San Mateo	15,90	20,70
Gando	20,20	23,80
Cuevas del Pinar (San Bartolomé)	16,10	24,70
Aguimes	18,29	22,40
Mogán	18,50	25,50
Maspalomas	21,40	-----
Las Palmas (Puerto)	20,90	23,90

Observamos la escasa importancia que las diferentes alturas de las estaciones sobre el nivel del mar, tiene sobre las temperaturas medias del mes de Agosto en esta isla.

Toda la zona costera tiene una temperatura media anual comprendida entre 20°C y 21°C, que disminuye al adentrarnos en la Isla y aumentar la altura, hasta los 12°C correspondientes a los 1.600 metros de altura, que corresponden a una pequeña zona alrededor del pico de Las Nieves (1.949 metros de altura). En Agosto, la temperatura media de la costa está entre 23°C y 25°C, pero en algunas zonas del interior, en la mitad sur de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

la isla, tienen una temperatura media superior a 25°C, debido a la menor influencia del mar y a la presencia de olas de calor que se notan más en el interior.

1.4.- Características oceanográficas en Canarias.

El área del Océano Atlántico donde está enclavado el Archipiélago Canario ha sido ampliamente estudiada desde un punto de vista oceanográfico. Desde hace varias décadas, las zonas situadas al Oeste y Noroeste del continente africano han estado en el objetivo principal de muchos oceanógrafos. Esto se debe principalmente a que es ahí donde se producen fenómenos tan interesantes como: el giro anticiónico de un ramal de la Corriente del Golfo, con las implicaciones climáticas que este transporte de agua lleva consigo y que desarrollará posteriormente la Corriente de Canarias, ya en estas mismas islas; y por otra parte, al estudio del "upwelling" que tiene lugar en la costa occidental de Africa.

La circulación marina del Atlántico Central está estudiada a macroescala por diversos autores, siendo amplia la bibliografía que existe al respecto (24,25). En la zona cercana a Canarias, entre los 27°N y los 31°N se han desarrollado varias campañas oceanográficas, con el fin de describir la circulación en la zona. En

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

general los resultados que se tienen no son series temporales de correntímetros instalados, sino cálculos realizados por métodos dinámicos a partir de medidas de perfiles verticales de temperatura y salinidad, que nos dan una idea acerca de la circulación geostrófica (9, 10 26). En los últimos años, existen datos de correntímetros autónomos fondeados en el Atlántico Central, como son los del Institut für Meereskunde de la Universidad de Kiel, que han permitido tener una descripción más detallada de lo que ocurre a nivel global (15, 16, 17, 18).

Por el contrario, a microescala se han realizado estudios encaminados a describir fenómenos químicos y biológicos (19, 20, 21). Sin embargo, no existen resultados conocidos relativos a la circulación, lo cual es un grave inconveniente por ser estas últimas corrientes las más interesantes debido a su interacción con el litoral.

Las características más sobresalientes de las corrientes a macroescala en la zona de las Islas Canarias, recogidas de la documentación existente, las enunciamos seguidamente:

- La Corriente de Canarias es una corriente débil en dirección SW (13, 14).

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

- Se forma a partir de la corriente de Azores y la de Portugal, ambas ramas de la corriente del Atlántico Norte (27).

- Se presenta durante todo el año, presentando cierta variabilidad estacional (26) y en dirección N-S, llegando a presentar valores del orden de 75 cm/s (9).

- Es una corriente fría, con temperatura superficial por debajo de los 20°C, prácticamente en todo el año.

- Hacia el paralelo de 30°N, las intensidades superficiales son aproximadamente de 10 cm/s e incluso de 15 cm/s, (10, 12) y siempre en dirección SW.

- En las Islas, la complejidad de la Corriente de Canarias se hace patente, existiendo ramificaciones de componente N junto a las costas orientales de Fuerteventura y Lanzarote (12). Mientras que, en otra época diferente, en la parte occidental de estas islas la componente es hacia el NE (28), por lo que se deduce que en las Canarias orientales las corrientes son muy variables, probablemente influenciadas por el cercano "upwelling" que tiene lugar a poco más de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

100 km. de distancia.

- El transporte de agua de esta corriente es, según Sverdrup, alrededor de 16.10^6 m^3/s (Sv) (29). Otros valores que se han obtenido para este transporte muestran que el de Sverdrup es muy alto; por ejemplo para una sección entre las Islas Madeira y Cabo Ghir se obtiene un transporte neto de 6 Sv (12), superior a su vez al encontrado por Fedoseev, para la latitud de 31º 30'N, que resultó 3.10^6 Sv.

La documentación bibliográfica de la circulación a microescala es prácticamente inexistente tal como decíamos; el Plan Indicativo de Usos del Dominio Público Litoral (23) indica unas corrientes litorales de características preferenciales de vientos, por lo cual se puede inferir a la vista del régimen de vientos, que al dominar los del primer cuadrante, con fuerte intensidad, se pueden originar corrientes superficiales inferiores al nudo y con dirección SSW. Indudablemente estas corrientes están limitadas por las condiciones de contorno (es decir, por la costa), las cuales pueden originar contracorrientes locales compensatorias.

Los vientos del segundo y tercer cuadrante originan corrientes superficiales nunca superiores al

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

medio nudo, esta limitación está impuesta por el efecto bicapa originado por la corriente permanente. Las direcciones de estas corrientes suelen ser de dirección N y NNE, rotando en función de la persistencia de estos vientos hacia la dirección E.

Los vientos del cuarto cuadrante originan corrientes apreciables en la zona Oeste de las Islas, siendo su intensidad muy baja en la zona Este por el efecto pantalla.

La zona Sur de las Islas, suele presentar una serie de macroremolinos, emparejándose uno de tipo ciclónico y el otro anticiclónico, aunque no suelen ser compensatorios. Estos remolinos que desde el punto de vista teórico, se podrían estudiar identificándolos con remolinos tipo Von Karman, suelen ser variables en tamaño y posición dependiendo de la corriente general y del viento y oleaje dominante, por lo cual suelen bascular pudiendo llegar a mitigar o desaparecer su presencia en determinadas épocas del año. Estas zonas de convergencia y divergencia de masas de agua originan así mismo zonas de alta productividad biológica.

En resumen, podemos hacer las siguientes conclusiones obtenidas de la bibliografía:

Las Islas estan flanqueadas por la Corriente

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

General en dirección SSW; su intensidad no suele ser superior al medio nudo. En ocasiones se pueden originar fenómenos bicapa, que pueden modificar la corriente superficial drásticamente en dirección.

Las corrientes en la zona Sur del Archipiélago pueden originar convergencias y divergencias apreciables; con respecto de los mismos no existe en la bibliografía prácticamente ningún dato experimental. Su localización, hasta el momento, se ha realizado desde un punto de vista teórico, por aplicación de conceptos sobre la circulación, y por la mera observación visual. De ahí la importancia de incorporar datos experimentales, y su interpretación, al conocimiento de la oceanografía costera del Archipiélago.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 2: TRATAMIENTO TEORICO DE LAS CORRIENTES.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Los movimientos de las masas de agua en el mar pueden originarse por varias causas simultáneas. El movimiento resultante se suele estudiar mediante análisis espectral, descomponiéndolo en bandas de frecuencias características, las cuales se asocian a las causas productoras originales.

En el presente capítulo expondremos, de forma resumida, el planteamiento teórico básico para la resolución de la dinámica de nuestro sistema, es decir el conjunto de ecuaciones cuyas soluciones analíticas nos dan las corrientes oceánicas. Continuaremos con el tratamiento físico- matemático de las corrientes que en particular nos interesan, como son las producidas por el viento y las de marea, deteniéndonos en el desarrollo del análisis espectral, herramienta fundamental en nuestro trabajo, y finalizaremos con un breve comentario acerca del tratamiento estadístico que hemos desarrollado.

2.1.- Ecuaciones fundamentales.

La Hidrodinámica Clásica es el marco en el que se desarrollaron las ecuaciones de Navier-Stokes, para fluidos homogéneos en sistemas de referencia no rotatorios. A estas ecuaciones debemos imponerles una serie de condiciones para su correcta aplicación al

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

estudio del movimiento de las masas de agua en el mar. Estas condiciones se refieren fundamentalmente, a su aplicación en un sistema de referencia no inercial, con movimiento de rotación, ligado a la Tierra.

El sistema referencial no inercial con el que trabajamos tiene orientado el eje x_1 hacia el Este y es tangente al paralelo en el punto origen del sistema, el eje x_2 dirigido hacia el Norte y tangente al meridiano, y el eje x_3 en dirección radial hacia afuera.

Para el sistema de referencia definido la ecuación de Navier-Stokes, en notación tensorial, toma la forma:

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + 2\rho \varepsilon_{ijk} \Omega_j u_k = \\ = -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g \delta_{3i} + \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial \phi}{\partial x_i} \qquad (2.1)$$

donde el significado de cada uno de los diferentes términos es el siguiente:

u_i = componentes de la velocidad.
ρ = densidad.
t = tiempo.
p = presión.
Ω_i = componentes de la rotación en la superficie

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

terrestre.

σ_{ij} = componente de tensión debida a la viscosidad molecular.

$$\varepsilon_{ijk} = \begin{cases} +1; & \text{ijk en orden cíclico.} \\ -1; & \text{ijk en orden no cíclico.} \\ 0; & \text{si 2 ó los 3 índices tiene el mismo valor.} \end{cases}$$

$$\delta_{3i} = \begin{cases} 1; & i=3. \\ 0; & \text{resto.} \end{cases}$$

ϕ = potencial generador de marea.

El tensor de tensiones σ_{ij} se puede expresar en términos de la velocidad de deformación de un elemento de fluido en movimiento por:

$$\sigma_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \qquad (2.2)$$

siendo μ la viscosidad molecular del fluido.

Esta ecuación de Navier-Stokes expresa, en definitiva, el balance de las fuerzas actuantes (30):

Inerciales + Coriolis = - Fuerzas debidas al Gradiente de Presión + Gravitatoria + Fricción + Fuerzas debidas a la Marea

El sistema de ecuaciones (2.1) es un sistema indeterminado puesto que el número de incógnitas es

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

superior al de ecuaciones, por lo que para resolver este problema debemos aumentar el número de éstas a partir de las relaciones adicionales que proporcionan las leyes de la Física. Estas ecuaciones son:

* Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_j)}{\partial x_j} = 0 \qquad (2.3)$$

con la que expresamos la conservación de la masa.

* Ecuación de estado (relación entre densidad, temperatura y salinidad), en la que admitimos que el fluido es incompresible:

$$\rho = f(S,T)$$

y que para el rango de temperatura y salinidad del océano la podemos admitir dada por la relación:

$$\rho = 1 - aT + bS$$

siendo a y b constantes a determinar por la fórmula de Knudsen.

* Ecuación de conservación de la salinidad y temperatura:

$$\frac{\partial(\rho \varphi)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varphi u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial F_j}{\partial x_j} + q \qquad (2.4)$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

donde F_j son las componentes de la fuerza debida al flujo de la propiedad φ (este flujo es debido a procesos internos tales como la difusión) y q es la fuente interna de la propiedad.

2.2.- Aproximaciones.

Una vez descrito el sistema cerrado de ecuaciones, el problema del movimiento de la masa de agua debe estar resuelto, al menos desde un punto de vista teórico. Pero en la práctica se presentan ciertas dificultades, como es el hecho que dichas ecuaciones son no lineales por lo que sólo se pueden resolver exactamente, desde el punto de vista matemático, en casos extremadamente simples. Además hay que indicar que el movimiento del fluido que estamos estudiando es turbulento, lo cual complica aún más el problema.

Para solucionar el problema existen tres posibilidades:

a). Tratamiento matemático del sistema de ecuaciones básicas, admitiendo una serie de aproximaciones, precedido de un análisis de escala.

b). Uso de modelos físicos o matemáticos de varios tipos, en función de los términos predominantes en la ecuación, dependiendo del fenómeno a estudiar.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

c). Análisis, y posterior interpretación, de datos oceanográficos obtenidos "in situ".

Desarrollamos a continuación el primero de los procedimientos para resolver el sistema de ecuaciones.

Con objeto de obtener resultados prácticos de esas ecuaciones básicas debemos realizar una serie de simplificaciones, válidas por las características del sistema físico en estudio y por el orden de aproximación en que nos vamos a mover. El primer paso, dadas las características del movimiento, es separar las ecuaciones en un flujo medio y un flujo temporal, que representará la desviación en un instante determinado respecto al flujo medio. Por no ser las ecuaciones lineales no podremos obtener dos conjuntos de ecuaciones independientes, es decir cada conjunto tendrá términos representantes del flujo estacionario y temporal.

La ecuación de Navier-Stokes (2.1), admitiendo la incompresibilidad y teniendo en cuenta la expresión para el tensor de tensiones de la expresión (2.2) resulta:

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} + 2\rho\,\varepsilon_{ijk}\,\Omega_j\,u_k = \tag{2.5}$$

$$= -\frac{\partial p}{\partial x_i} - \rho g \delta_{3i} + \mu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_i \partial x_j} - \frac{\partial \phi}{\partial x_i}$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Para obtener las ecuaciones del flujo estacionario promediamos respecto al tiempo, recordando que:

$$\overline{\phi} = \lim_{T\to\infty}\left(\frac{1}{2T}\int_{-T}^{+T}\phi\ dT\right)$$

Para una mejor comprensión de la interrelación entre los términos del flujo medio y los del flujo temporal, podemos admitir siguiendo la idea de Reynolds que cada magnitud es la suma de la componente media y de la componente de fluctuación o componente dependiente del tiempo. Por tanto:

$$u_i = \bar{u} + u'_i$$

$$p = \bar{p} + p'$$

$$\rho = \bar{\rho} + \rho'$$

donde, por definición, $\bar{u} = 0$, $\bar{p}' = 0$ y $\bar{\rho}' = 0$.

En función de estas nuevas magnitudes podemos expresar los productos medios. Así:

$$\overline{\rho u_i u_j} = \bar{\rho}.\bar{u}_i.\bar{u}_j + \bar{\rho}.\overline{u'_i u'_j} + \overline{u}_i.\overline{\rho' u'_j} + \overline{u}_j.\overline{\rho' u'_i} + \overline{\rho.u'_i u'_j} \qquad (2.6)$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Como las variaciones de densidad en el océano son del orden de 0'1 % de la densidad media, mientras que las fluctuaciones de la velocidad son del mismo orden de magnitud que la velocidad media, los términos de correlación entre las fluctuaciones de densidad y velocidad serán pequeños comparados con los términos de correlación entre componentes de velocidad. Por tanto las fluctuaciones de densidad no serán significantes en los términos de la aceleración y las correlaciones entre ellos y la velocidad se pueden despreciar. Esta aproximación es la que se conoce como Hipótesis de Boussinesq (30).

En función de esta hipótesis, la ecuación (2.6) se puede aproximar por:

$$\overline{\rho u_i u_j} = \bar{\rho}.\bar{u}_i.\bar{u}_j + \bar{\rho}.\overline{u'_i.u'_j}$$

Por lo que la ecuación (2.5) se convierte en la conocida ecuación de Reynolds:

$$\bar{\rho}\,\bar{u}_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial(\bar{\rho}.\overline{u'_i u'_j})}{\partial x_j} + 2\,\varepsilon_{ijk}\Omega_j\,\bar{\rho}\,\bar{u}_k = \tag{2.7}$$

$$= -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \bar{\rho}\,g\,\delta_{3i} + \mu\frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \phi}{\partial x_i}$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

En esta expresión observamos que aún incluye términos correspondientes a la fluctuación de la velocidad, por lo que los estudiamos seguidamente.

Los términos de fluctuación (u'_i) son difíciles de medir en la práctica, por lo que es necesario desarrollar teorías que nos permitan tratarlos. Una de ellas es la desarrollada por Prandtl para la longitud de mezcla (31), que establece que ésta representa un valor apropiado de la velocidad de fluctuación:

$$u'_i \propto l \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i}$$

Por tanto:

$$\rho \overline{u'_i u'_j} = \rho l^2$$

que representa el transporte de momento por unidad de tiempo. Si hacemos:

$$\rho l^2 \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \right) = A_i \qquad (2.8)$$

siendo A_i un coeficiente de viscosidad virtual o turbulenta cuyas dimensiones son las mismas que las de la viscosidad dinámica (gr.cm^{-1}. s^{-1}), resulta que los términos de fluctuación son proporcionales a los gradientes de las velocidades medias, siendo el

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

coeficiente de proporcionalidad A_i.

$$\rho \overline{u_i' u_j'} = A_i \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} \right)$$

Estos términos de fluctuación se suelen englobar como términos del tensor de tensiones de Reynolds que son de la forma:

$$R_{ij} = -\bar{\rho} \ \overline{u_i' u_j'}$$

con lo cual la ecuación (2.7) resulta:

$$\bar{\rho} \ \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j} + 2 \varepsilon_{ijk} \Omega_j \bar{\rho} \ \bar{u}_k =$$

(2.9)

$$= - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \rho' g \delta_{3i} + A_i \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \phi}{\partial x_i}$$

donde hemos introducido el coeficiente de viscosidad turbulento en la expresión de la fuerza de fricción turbulenta.

De forma similar se obtiene la ecuación del flujo temporal:

$$\bar{\rho} \frac{\partial u_i'}{\partial t} + \bar{\rho} \ \bar{u}_j \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \bar{\rho} \ u_j' \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \frac{\partial R_{ij}'}{\partial x_j} +$$

(2.10)

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$+ 2\varepsilon_{ijk}\Omega_j \bar{\rho}\, u'_k = -\frac{\partial p'}{\partial x_i} - \rho' g \delta_{3i} + A_i \frac{\partial^2 u'_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \phi}{\partial x_i}$$

donde

$$R'_{ij} = -\bar{\rho}\left(u'_i u'_j - \overline{u'_i u'_j}\right)$$

En las ecuaciones del flujo estacionario, apreciamos que la interacción entre los términos del flujo medio y del flujo temporal los englobamos en el tensor de tensiones de Reynolds, R_{ij}. El problema de la interacción lo soslayamos, introduciéndolos en un término que en definitiva tendremos que determinar mediante la experimentación, y es a partir de este instante cuando encubrimos nuestro desconocimiento de los fenómenos interactivos entre los términos de ambos flujos, puesto que a pesar de tener una ecuación escrita en forma matemáticamente correcta, se plantean nuevos problemas experimentales.

El movimiento turbulento es en definitiva un mecanismo disipativo, su acción es compleja y no es posible tenerlo en cuenta en la ecuación del momento. Sin embargo, podemos simular cualitativamente su acción disipativa asumiendo que las tensiones de Reynolds son función de la velocidad media del flujo, que según hemos visto es la teoría de la longitud de mezcla de Prandtl.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

En resumen, lo que hemos intentado hacer es simplemente que el tensor de tensiones de Reynolds, donde englobamos la interacción de los términos medios y temporales, resulte proporcional a una característica media del fluido, con lo cual, desde el punto de vista matemático es muy cómodo, pero desde el punto de vista físico hemos trasladado el problema a la constante de proporcionalidad, que en definitiva no es tal constante ya que depende de los fenómenos de interacción, y que además su determinación experimental puede resultar bastante complicada. No obstante, el concepto de viscosidad turbulenta es muy útil al aplicarlo a fenómenos de disipación simples, pero su uso deberá realizarse con suma precaución.

Si efectuamos un análisis de escalas, en el océano son totalmente distintas la horizontal y la vertical, luego parece lógico introducir dos coeficientes de viscosidad turbulentos, el horizontal A_H y el vertical A_v.

La relación entre ambos es según Saint-Guily (32):

$$R_{ij} = A(j)\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + A(i)\frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

donde $A(i)$, $A(j)$ son iguales al coeficiente de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

viscosidad turbulento lateral (A_H), para i, j ≠ 3 y el vertical (A_v) para i, j = 3.

Así pues en la ecuación de Reynolds, los términos de las componentes del tensor de tensiones se escriben:

$$-\frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j} = -\frac{\partial(\bar{\rho}\,\overline{u_i' u_j'})}{\partial x_j} = \frac{\partial\left(A_{xj}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}\right)}{\partial x_j} =$$

$$= \frac{\partial\left(A_{x1}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_1}\right)}{\partial x_1} + \frac{\partial\left(A_{x2}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_2}\right)}{\partial x_2} + \frac{\partial\left(A_{x3}\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_3}\right)}{\partial x_3} \qquad (2.11)$$

o bien para situaciones en las cuales deseemos distinguir sólo entre los cambios verticales y horizontales:

$$-\frac{\partial(\bar{\rho}\,\overline{u_i' u_j'})}{\partial x_j} = \frac{\partial\left(A_H \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j}\right)_{j=1,2}}{\partial x_j} + \frac{\partial\left(A_v \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_3}\right)}{\partial x_3} \qquad (2.12)$$

Estos coeficientes de viscosidad turbulenta tienen dimensiones $M.L^{-1}.T^{-1}$. o, con más significado físico, $M.L / T.L^{-2}$, es decir, momento por unidad de área, equivalentes a la viscosidad molecular.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Hemos de tener presente que la viscosidad molecular es una propiedad del fluido y generalmente varía poco en función de los parámetros de éste. La viscosidad turbulenta no es una constante física del fluido pues depende del tipo y escala del movimiento considerado, su grado de estratificación y de la interacción entre ellos y suele variar considerablemente de una parte a otra de la zona del fluido.Por consiguiente, se suelen admitir diferentes valores de la viscosidad turbulenta en la misma zona del fluido y en el mismo tiempo, cuando la escala temporal del proceso de la media cambia.

En la actualidad, no se conoce una función entre A y cualquiera de los factores mencionados. Por tanto para determinar el coeficiente de viscosidad turbulento, se suelen realizar medidas para un conjunto de situaciones diferentes y se determina su valor para estas situaciones y después se confía en poder identificar situaciones específicas con las determinadas previamente, así se consigue obtener al menos el orden de magnitud. Aunque esto parezca una pobre aproximación, sin una base física determinante, es la contribución que se paga por disponer de ecuaciones que se puedan resolver analítica o numéricamente.

Lo cierto, es que lo único que podemos decir con

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

seguridad acerca del coeficiente de viscosidad turbulento (33) es lo siguiente:

1.- Su magnitud se incrementa con la escala del fenómeno estudiado.

2.- Su magnitud es tanto mayor cuanto mayor es la velocidad de corte.

3.- Debido a la estabilidad vertical de los océanos, $A_H > A_V$.

Los coeficientes suelen ser del orden de 10^2 gr.cm^{-1}.s^{-1}. para A_V y de 10^6 gr.cm^{-1}.s^{-1} para A_H (34). Si se les compara con el orden de magnitud de 10^{-2} gr.cm^{-1}.s.$^{-1}$. de la viscosidad molecular, se comprende que en forma general las tensiones moleculares se desprecien frente a las turbulentas.

Por consiguiente, con las hipótesis indicadas, las ecuaciones medias del movimiento son las expresadas a continuación para las componentes x,y,z de nuestro sistema de referencia:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u}\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - f\bar{v} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial x} +$$

$$+ \frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(A_H\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(A_H\frac{\partial \bar{u}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(A_V\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)\right] + \frac{\partial \phi}{\partial x}$$

$$\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u}\frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v}\frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w}\frac{\partial \bar{v}}{\partial z} + f\bar{u} = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial y} + \frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(A_H\frac{\partial \bar{v}}{\partial x}\right) +\right.$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$+\frac{\partial}{\partial y}\left(A_H\frac{\partial \bar{v}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(A_V\frac{\partial \bar{v}}{\partial z}\right)\Big]+\frac{\partial \phi}{\partial y}$$

$$\frac{\partial \bar{w}}{\partial t}+\bar{u}\frac{\partial \bar{w}}{\partial x}+\bar{v}\frac{\partial \bar{w}}{\partial y}+\bar{w}\frac{\partial \bar{w}}{\partial z}-2\Omega\cos\theta\,\bar{u}=-\frac{1}{\rho}\frac{\partial \bar{p}}{\partial z}+\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(A_H\frac{\partial \bar{w}}{\partial x}\right)+\right.$$

$$\left.+\frac{\partial}{\partial y}\left(A_H\frac{\partial \bar{w}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(A_V\frac{\partial \bar{w}}{\partial z}\right)\right]-g+\frac{\partial \phi}{\partial z}$$

Las soluciones para el sistema de ecuaciones que acabamos de describir (ecuaciones de Reynolds, de continuidad, de estado, y de conservación para S y T), nos permiten conocer las corrientes oceánicas. Dado que la bibliografía referente a éstas es muy amplia, nos referiremos únicamente a las corrientes producidas por el viento y a las de marea, puesto que son las que nos encontraremos fundamentalmente en el problema que abordamos.

2.3.- Corrientes de viento.

La presión que ejerce el viento sobre la superficie del mar es uno de los orígenes fundamentales de la circulación en zonas costeras. La acción del viento afecta directamente a la capa superficial de la columna de agua. El efecto se transmite a las aguas más profundas a través de las tensiones internas del fluido.

Una de las teorías que explica el mecanismo de estas corrientes es la debida a Ekman. Su modelo de profundidades infinitas ha sido uno de los grandes avances en Oceanografía, a pesar de considerar una serie

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

de hipótesis que no se ajustan a la realidad. El desarrollo posterior a profundidades finitas da unos valores cercanos a los reales.

Los resultados de la teoría de Ekman son bastante conocidos, por lo que no nos pararemos aquí a tratarlos. Comentamos a continuación la expresión de la tensión del viento en la superficie y otras relaciones útiles en ese tipo de corrientes.

De acuerdo con la notación empleada por Newton, la componente x de una fuerza tangencial es:

$$T_x = \mu \frac{\partial u}{\partial z}$$

es decir, proporcional al gradiente vertical de la componente de la velocidad en esa misma dirección, siendo la constante de proporcionalidad el coeficiente de viscosidad molecular.

De forma análoga en el flujo turbulento:

$$T_x = A_z \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$$

y la fuerza de fricción para ese caso será:

$$R_x = A_z \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2}$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Teniendo en cuenta el valor de A_z de la ecuación (2.8), la fuerza tangencial resulta:

$$T_x = \rho \ell^2 \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2$$

en el que ℓ representa la longitud de mezcla de la teoría de Prandtl, que ya hemos comentado.

Si el flujo turbulento tiene lugar a través de una superficie de contorno la longitud de mezcla decrece linealmente con la distancia, es decir $\ell = K_0 z$, donde $K_0 = 0'4$ es la constante de Kárman.

En las inmediaciones de la superficie, supuesta lisa, la tensión tangencial se hace independiente de la longitud de mezcla y está sólo determinada por la viscosidad, es en definitiva la capa límite laminar. En el Océano las condiciones de contorno, fondo o superficie suelen tener discontinuidades, es decir tienen una cierta rugosidad por lo cual para $z=0$ la longitud de mezcla tiene un valor distinto de cero, es decir valdrá z_0 y por tanto:

$$\ell = K_0 (z + z_0)$$

Por lo que teniendo en cuenta ésto, la fuerza tangencial a la superficie del fluido T_x es:

$$T_x = \rho K_0^2 (z+z_0)^2 \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right)^2$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

es decir:

$$\left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial z}\right) = K_0^{-1} (z+z_0)^{-1} \left(\frac{T_x}{\rho}\right)^{1/2}$$

donde $(T_x/\rho)^{1/2}$ tiene dimensiones de una velocidad y se le suele denominar velocidad de fricción (u*).

Si integramos la ecuación anterior, teniendo en cuenta que para z=0 es u=0 se obtiene:

$$\bar{u} = \frac{1}{K_0} \left(\frac{T_x}{\rho}\right)^{1/2} \ln \left(\frac{z+z_0}{z_0}\right)$$

y por consiguiente:

$$T_x = \rho K_0^2 \bar{u} \left[\ln \left(\frac{z+z_0}{z_0}\right)\right]^{-2}$$

La tensión tangencial según sabemos, es muy difícil medirla directamente, por lo cual se suele poner en función de una cantidad adimensional C_D, que llamamos coeficiente de arrastre.

$$K_0^2 \left[\ln \left(\frac{z+z_0}{z_0}\right)\right]^{-2} \equiv C_D$$

que representa el papel de un coeficiente de fricción, en función del cual:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$T_x = \rho C_D \bar{u}^2$$

o como suele aparecer en la literatura, tanto de Meteorología como de Oceanografía (1) en la forma:

$$\tau = \rho C(z) W^2(z)$$

Los valores del coeficiente de arrastre presentan cierta variabilidad, según los diferentes autores. Resumimos algunos de ellos a continuación:

En un principio Safaire (1959) consideraba C(z) constante, es decir, independiente de la propia velocidad del viento y de la altura y su valor experimental estaba comprendido entre $2'47.10^{-6}$ a 5.10^{-4}.

Leonibus (1961) demuestra que C(10) puede incrementar o disminuir con la velocidad del viento en función de la propia estabilidad atmosférica.

Smith y Bake (35) obtienen para velocidades del viento comprendidas entre 3 y 21 $m.s^{-1}$ la ecuación:

$$10^3\ C(10) = 0'63 + 0'066\ W(10) \pm 0'23$$

Amorocho and De Vries (36) dan los valores

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

siguientes, dependiendo de la intensidad del viento:

$$C(10) = 1'6 \cdot 10^{-3} \qquad (W \leq 7\ m.s^{-1})$$

$$C(10) = 2'5 \cdot 10^{-3} \qquad (W \geq 10\ m.s^{-1})$$

Resultando que entre 7 y 10 $m.s^{-1}$ existe una transición para valores del coeficiente de arrastre.

Los trabajos de Wu (37) demuestran, sin ninguna duda, que C(z) es función del viento. En su publicación acota su valor, para velocidades del viento inferiores a 15 $m.s^{-1}$, con la fórmula

$$C(10) = 0'5 \cdot W^{1/2} \cdot 10^{-3}$$

Para velocidades del viento superiores a 15 $m.s^{-1}$ el valor C(10) se aproxima asintóticamente a $2'4 \cdot 10^{-3}$.

Uno de los últimos trabajos publicados se debe a Safaire (38) que obtiene para velocidades del viento comprendidas entre 2 y 30 $m.s^{-1}$ la ecuación:

$$C(10) = 5'2 \cdot 10^{-4} \cdot W_{10}^{0'44}$$

Como se puede apreciar todos los esfuerzos están orientados a la determinación experimental de un coeficiente, C(z), el cual indudablemente presentará muchas dificultades de ser cuantificado, ya que en

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

definitiva esta evaluación experimental encubre un desconocimiento, aún muy profundo, de la transferencia de energía de la atmósfera a la superficie del mar.

Conocida la expresión para la tensión tangencial que ejerce el viento sobre la superficie del mar, veamos qué relación existe entre las dos intensidades, la del viento y la de la corriente superficial que se produce como consecuencia. Para obtenerla hemos de establecer en la interfase aire-agua, el equilibrio entre ambas tensiones, la que ejerce el viento y la tensión que se produce en el seno del agua (39) y suponer que ambos coeficientes son del mismo orden. Es decir:

$$\tau(\text{aire}) = \rho_{\text{aire}} \cdot C_D \, W_{10}^2$$

$$\tau(\text{agua}) = \rho_{\text{agua}} \cdot C_D \cdot V_0^2$$

Por tanto:

$$\frac{V_0}{W_{10}} = \left(\frac{\rho_{\text{aire}}}{\rho_{\text{agua}}} \right)^{1/2} \simeq 0'03$$

Es decir, que la velocidad superficial de la corriente es aproximadamente del orden de un 3% de la velocidad del viento. Por supuesto que el factor del 3% no es preciso, existe un rango de valores experimentales, pero en general oscilan entre el 1% y el 4%.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Aparte de esta sencilla relación entre ambas velocidades, existe un método gráfico para obtener la intensidad de la corriente en función de la del viento, de la persistencia de éste y de la longitud del "fetch" (39).

Hasta el momento no hemos hecho referencia acerca del angulo de desviación de la corriente en superficie respecto de la dirección del viento. El conocido valor de 45° a la derecha del viento, dado por Ekman en su modelo para profundidades infinitas , se convierte en unos 20°(hacia la derecha en el hemisferio Norte) para las profundidades finitas. En general, este valor coincide aproximadamente con medidas experimentales, por lo que se puede tomar como válido.

2.4.- Corrientes de marea.

En las zonas de profundidad reducida de los océanos, las corrientes principales que se observan son las rotatorias, asociadas con las mareas en las plataformas continentales. Estas corrientes se caracterizan porque el vector que representa a la corriente rota 360° en un período de tiempo que coincide prácticamente con el de rotación de la Tierra. Las partículas de agua durante el ciclo tienen un movimiento descrito por una elipse, si es debido exclusivamente a

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

la marea , hecho que raramente ocurre. En general, existen otros factores que inciden sobre el movimiento de las partículas y que hace que las trayectorias de éstas no sean elípticas puras.

Las corrientes de marea responden a los movimientos periódicos del mar , que son originados por el potencial generador astronómico, principalmente debidos al Sol y a la Luna, estando afectado por factores locales. Para el estudio de las mareas existen dos teorías. Por una parte, está la teoría Estática de Newton y por otra la teoría Hidrodinámica de Laplace. Respecto de la primera únicamente decir que es la más sencilla, puesto que a partir de unas hipótesis que no se ajustan a la realidad (se desprecia la fricción), se reduce el problema dinámico a uno estático, pero a pesar de esta restricción nos proporciona una idea de la teoría de las mareas.

El método de análisis armónico de Laplace se emplea para la predicción de la marea a partir de las elevaciones del mar. Las predicciones se realizan basandose en el hecho de que la marea está compuesta por un número finito de componentes, caracterizándose cada una por una amplitud, un período y un ángulo de fase. El período de las componentes es conocido por Astronomía y está tabulado en varias publicaciones (40,41), mientras

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

que la amplitud y la fase se obtienen a partir del análisis armónico aplicado a los registros de marea.

Veamos a continuación cómo aplicar el tratamiento armónico a nuestras series de corrientes ya que como hemos indicado, presentan una fuerte componente de marea.

El análisis armónico se fundamenta en la hipótesis de que las magnitudes físicas son variables aleatorias con una distribución de probabilidad asociada. El conjunto de estas variables aleatorias, para el tiempo de muestreo, con sus respectivas distribuciones de probabilidad asociada es un proceso estocástico. Los procesos estacionarios han de cumplir las condiciones de estacionariedad y ergodicidad.

El primer paso que se suele seguir en el análisis espectral es el aplicarle un filtrado a la serie temporal, obteniendo una nueva con el fin de eliminar efectos ajenos a los que en realidad interesa. Los filtrados que se pueden aplicar a una serie son de varios tipos, pero en general el que nos va a interesar es aquel en el que hacemos que actúe un operador sobre la serie original (en el dominio temporal o en el de las frecuencias).

Para el tratamiento de las corrientes de marea

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

seguiremos el desarrollo propuesto por Prandle (42) para este tipo de corrientes.

Prandle plantea bajo una serie de hipótesis (tales como que se desprecia la componente vertical del movimiento y los efectos de densidad) las ecuaciones de movimiento horizontal, resolviendolas y expresando las soluciones como combinación lineal de funciones armónicas. Esas componentes u y v serán las componentes del vector de la corriente de marea, el cual tiene una hodógrafa que es una trayectoria elíptica según comentabamos anteriormente y que conviene descomponer en dos movimientos circulares, uno que rote en sentido horario y otro en antihorario.

El vector velocidad de la corriente de marea en cualquier instante de tiempo se puede escribir en la forma compleja según:

$$\vec{R} = u + iv$$

Expresando esas componentes cartesianas de la velocidad en términos de un vector de amplitud constante $(|\vec{R}_1|)$ y que rote en sentido antihorario y de otro vector igualmente de amplitud constante $(|\vec{R}_2|)$ pero en sentido horario, quedaría descrita así la descomposición de la corriente de marea en estos dos últimos

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

movimientos, por lo que:

$$\vec{R} = \vec{R_1} + \vec{R_2}$$

Así pues el movimiento antihorario y horario quedarían descritos sustituyendo estas expresiones en la ecuación fundamental del movimiento:

$$i(f+w)\vec{R_1} = \vec{G_1} + \frac{\partial}{\partial z}\left(A_z \frac{\partial \vec{R_1}}{\partial z}\right) \qquad \text{(Antihorario)}$$

$$i(f-w)\vec{R_2} = \vec{G_2} + \frac{\partial}{\partial z}\left(A_z \frac{\partial \vec{R_2}}{\partial z}\right) \qquad \text{(Horario)}$$

siendo $\vec{G_1}$ y $\vec{G_2}$ las componentes rotacionales de los gradientes de la elevación $-g\frac{\partial \xi}{\partial x}$ y $-g\frac{\partial \xi}{\partial y}$.

Veamos a continuación el tratamiento espectral que aplicamos a las series temporales de datos de los diferentes aparatos.

Consideremos que las series de datos vamos a poder representarlas en forma compleja, es decir con una componente real y otra imaginaria que pueden ser nulas o no serlo. En general podemos expresar la serie temporal por el desarrollo en serie de Fourier de manera que,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$z(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \alpha_k \, e^{i \lambda_k t}$$

siendo Z(t) la serie temporal a tratar y los α_k los coeficientes de la combinación lineal que obtenemos por la transformada inversa de Fourier de la serie Z(t):

$$\alpha_k = \mathcal{F}^{-1}\left[z(t)\right] = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} z(t) \, e^{-i \lambda_k t} \, dt$$

obteniendose con esto la descripción espectral de nuestra serie temporal, y cada coeficiente α_k será la densidad espectral correspondiente a la banda k.

La función de distribución espectral o función de distribución de la densidad de energía espectral es según (43):

$$F(\lambda) = \int_{-\infty}^{\lambda} \alpha_k \, d\lambda_k$$

La serie temporal de la variable que estamos estudiando Z(t), es una serie de N valores de manera que podemos escribirla como,

$$\left\{ z_k \, , \; k = 0, 1, \ldots\ldots, N \right\}$$

Estas series vamos a suponer que son estacionarias y ergódicas, con valor medio nulo.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Si el intervalo de muestreo es Δt, su frecuencia será pues:

$$f_m = \frac{1}{\Delta t}$$

La frecuencia de Nyquist (f_N) o frecuencia máxima observada para tener una componente periódica es de acuerdo con el teorema de Shannon (44):

$$f_N = \frac{1}{2\,\Delta t}$$

y la frecuencia angular de Nyquist: $\omega_N = 2\pi f_N$.

En función de ésto, los coeficientes del desarrollo de Fourier corresponden a las N pulsaciones que hay entre $\omega_{-N/2}$ y $\omega_{N/2}$, y las integrales de esos desarrollos pasan a ser sumas discretas de N sumandos. Por tanto, resulta que la integral infinita de Fourier pasa a estar limitada al intervalo temporal de valores $0 \leq t < N$ y además, la integral con esos límites se puede expresar como un sumatorio.

Es decir que trabajaremos con la función $Z_1(t)$ en lugar de hacerlo con la serie original Z(t), siendo

$$Z_1(t) = Z(t)\ V_r(t)$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$V_r(t)$ es lo que llamamos la ventana rectangular (filtro) y que dependiendo de los valores de t, tiene diferentes valores:

$$V_r(t) = \begin{cases} 0 & , \quad -\infty < t < 0 \\ 1 & , \quad 0 \leq t < N \\ 0 & , \quad N < t < \infty \end{cases}$$

Los sumatorios que resultan de la discretización de las integrales de Fourier, son para los coeficientes del desarrollo (α_k) y para z_k, de la manera siguiente:

$$\alpha_j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N} z_k \, e^{-i \omega_j k}$$

$$z_k = \sum_{j=-(N-1)/2}^{N/2} \alpha_j \, e^{i \omega_j k}$$

Aplicando el tratamiento espectral a las corrientes de marea, obtendremos información muy útil de éstas. Según Prandle (42), las series temporales de los datos de corrientes se pueden descomponer en forma compleja. Así pues, la serie Z(t) se expresa en este caso por:

$$Z(t) = u(t) + i\, v(t)$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

siendo u(t) la serie temporal de la componente longitudinal de la velocidad y v(t) la serie temporal de la componente transversal.

Si consideramos que ambas series (u(t), v(t)) son procesos estacionarios con valor medio nulo, las podemos expresar en términos de Fourier de manera que,

$$u(t) = A \cos \omega t + B \operatorname{sen} \omega t$$
$$v(t) = A' \cos \omega t + B' \operatorname{sen} \omega t$$

de forma que la serie Z(t) será pues:

$$z(t) = (A + iA') \cos \omega t + (B + iB') \operatorname{sen} \omega t$$

y también:

$$z(t) = \left(\frac{A+B+i(A'+B')}{2}\right) e^{i\omega t} + \left(\frac{(A-B)+i(A'+B')}{2}\right) e^{-i\omega t}$$

La descripción espectral del espectro cruzado se puede agrupar en dos componentes, la horaria (con frecuencias negativas, parte $e^{-i\omega t}$) y antihoraria (frecuencias positivas, parte $e^{i\omega t}$), y entonces:

$$\alpha_{xy}(\omega) = R_+(\omega) + R_-(\omega)$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

siendo el espectro horario:

$$R_{-}(\omega) = \frac{1}{8}\left[\alpha_{uu} + \alpha_{vv} - 2Q_{uv}\right]$$

y el espectro antihorario:

$$R_{+}(\omega) = \frac{1}{8}\left[\alpha_{uu} + \alpha_{vv} + 2Q_{uv}\right]$$

donde Q_{uv} es el cuadriespectro.

Conocidos los espectros R_{+} y R_{-}, obtenemos las características de la elipse de corriente para cada ω_j:

Amplitud máxima (semieje mayor): $\left|\,|R_{+}| + |R_{-}|\,\right|$

Amplitud menor (semieje menor) : $\left|\,|R_{+}| - |R_{-}|\,\right|$

Excentricidad: $$e = \frac{\frac{|R_{+}|}{|R_{-}|} - 1}{\frac{|R_{+}|}{|R_{-}|} + 1}$$

siendo, $e > 0$ para giro antihorario.

Coeficiente rotatorio : $$\frac{R_{+} - R_{-}}{R_{+} + R_{-}} = 1 - e$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

2.5.- Tratamiento estadístico.

Una vez tratados los fundamentos teóricos de las corrientes producidas por el viento y las producidas por la marea, introducimos a continuación los parámetros necesarios para el tratamiento estadístico que hemos aplicado a nuestros datos.

Como sabemos los parámetros geofísicos que definen el clima son muy variables tanto local como temporalmente. Ante esta perspectiva nos podemos plantear una serie de cuestiones y que pasamos a comentar seguidamente.

¿Podemos deducir, del conjunto de las observaciones, algunas conclusiones medias, ó al menos, representativas en forma local y temporal?. Sin una contestación a esta pregunta, de poco nos servirá realizar costosas medidas.

Por otra parte, dada la variabilidad local ó geográfica y la temporal, y posiblemente cíclica ¿son estas observaciones totalmente aleatorias ó por el contrario, presentan tendencias específicas?.

Las variaciones locales se pueden dividir en dos grandes grupos, las originadas por las condiciones microclimáticas que son características de cada entorno y las producidas por la representatividad del

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

emplazamiento de la estación de medida, respecto al entorno que se desea estudiar. Es decir, si las medidas que se realizan en el punto elegido no son valores exepcionales en comparación con los valores reinantes en los alrededores.

Respecto a esto último, existe una amplia bibliografía en los tratados de Meteorología y alguna en Oceanografía, que especifican las condiciones necesarias para minimizar este aspecto.

En cuanto a las condiciones microclimáticas, son características del entorno elegido. Las dificultades surgen cuando se desean realizar extrapolaciones a otros entornos con microclimas distintos; los estudios de correlación entre ambos entornos permitirán deducir la homogeneidad.

Respecto a la variabilidad temporal de un elemento geofísico suele obedecer a tres causas fundamentales: la anual, la diurna y una tercera aleatoria representativa del elemento.

En cuanto a las dos últimas, se pueden considerar como fluctuaciones en torno a un régimen medio ó permanente que llamaremos régimen normal, para distinguirlo del régimen real de ese elemento que es cambiante de un día a otro y de un año a otro.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Para poder definir el régimen normal de un elemento meteorológico es imprescindible acudir a los métodos estadísticos que nos proporcionarán unos parámetros significativos del conjunto ó serie estadística que se estudia. Estos parámetros son: un índice de centralización, uno de dispersión y uno de asimetría. Ahora bien, cada elemento climático puede dar lugar a varias series estadísticas de lo cual se deduce que el número de parámetros aumente de forma alarmante. Prestemos atención por ejemplo a la temperatura. Tenemos una máxima, una mínima, una temperatura media, unas oscilaciones diurnas y otras mensuales, y aún otras anuales e hiperanuales y estas series pueden ser para cada hora del día, cada día del año, etc... ¿Cómo obtener ese valor normal?. Promediando en el tiempo ó en el espacio. Si admitimos que disponemos de una estación cuyas medidas son representativas del entorno, sólo tendremos que promediar la variable geofísica definidora del fenómeno ($\emptyset = \emptyset(t)$) en el tiempo. La realización de este promedio nos condicionará a obtener resultados temporales sólo superiores al del intervalo de tiempo en el cual hemos promediado.

De lo anteriormente enunciado se deduce que podemos imaginar el comportamiento de un elemento climático como el resultado de la suma de dos

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

componentes: uno permanente, el valor normal, y otro variable, la perturbación. Es decir, cada serie estadística se puede imaginar descompuesta en dos partes, su valor normal y la perturbación que se deducirá como diferencia entre el valor observado y el valor normal.

La definición de valor normal se debe identificar con el de máxima probabilidad de una muestra, que temporalmente deberá ser lo suficientemente extensa para conseguir la estabilidad de los parámetros que definen dicho valor normal. Se suele admitir, por la Organización Mundial de Meteorología, que una serie de treinta años proporciona estimaciones aceptables tanto en la media como en la desviación tipo, por lo que se las suele llamar normales internacionales.

Los datos experimentales correspondientes a los elementos significativos en nuestro estudio: el viento, las corrientes y el oleaje, suelen ser escasos, tal como hemos comentado, debido a lo costoso que resultan sus mediciones, especialmente los dos últimos. Así pues, en la práctica nos debemos conformar con periodos de tiempo mucho más cortos, de diez, cinco y aún menos años. Por esta razón las estimas obtenidas no serán totalmente estables y nos veremos obligados a darlas en función de una banda de confianza ó nivel de probabilidad.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Aún en el caso hipotético de deducir el régimen normal a un cierto nivel de probabilidad ¿cómo se distribuye la variable estudiada respecto a la media?, ¿es estable esta distribución?, ¿cómo se pueden extrapolar los datos respecto al tiempo de observación?. Ante estas cuestiones necesitamos unas respuestas, puesto que sin ellas nuestros estudios quedarían reducidos a un cierto intervalo de tiempo con un predeterminado nivel de probabilidad. Así pues, intentamos contestar a ésto con una teoría que sirva tanto para el viento, como para las corrientes ó para el oleaje originado por áquel.

Los aparatos de medida registran los datos en forma continua o discontinua. En el primer caso, en un periodo de tiempo Δt con una cierta cadencia de muestreo, así en el oleaje suele ser un registro de veinte minutos cada tres horas. En el registro discontínuo, para cada periodo de tiempo T, se registran los parámetros medios en ese tiempo de muestreo; así en el caso del viento y de las corrientes se suele obtener cada media hora la velocidad media, la máxima y la mínima.

La diferencia básica entre ambos procedimientos es que con el registro contínuo se puede obtener espectros

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

energéticos que proporcionan una mayor información que en el caso discreto.

Sea cual sea el procedimiento utilizado, en definitiva se obtiene de cada muestra unos parámetros característicos que serán función del tiempo, $\emptyset = \emptyset(t)$, que denominaremos según la terminología para el oleaje, propuesta por Suárez Bores (45), "curvas de estado del elemento" en cuestión y así nos referiremos "curvas de estado del mar", "curvas de estado del viento", etc.

De las curvas de estado del elemento se puede deducir información a corto y largo plazo de tiempo siendo complementarias las unas de las otras.

De la información a corto plazo se pueden deducir:

1.- La curva de probabilidad de ocurrencia del parámetro característico del elemento en el tiempo de medida.

2.- El número de horas en el tiempo de medida, que exceden un valor predeterminado del parámetro característico del elemento.

En definitiva, es equivalente a obtener en estadística la curva de función de la densidad de probabilidad y la función de distribución de una variable.

De la información a largo plazo, se puede obtener:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

1.- El régimen normal del elemento en cuestión.

2.- La función de distribución extremal del elemento, es decir, la probabilidad de que un valor cualquiera del parámetro o variable no sea superado (ó no sea minorado) en un intervalo de tiempo dado.

Cuando la unidad básica en el tiempo de medida es el año, la función de distribución del elemento en el año medio es el régimen del elemento, y la distribución de los máximos anuales del elemento es el Régimen de Máximos ó de Temporales según definición de Suárez Bores (46) para el oleaje y de Tejedor (47) para otros elementos.

Como es conocido, los parámetros fundamentales de una muestra son los cuatro tipos siguientes:

- Indice de centralización (media aritmética, mediana y moda) que reflejan la tendencia a la concentración revelada por la existencia de un sólo máximo.

- Indice de dispersión (desviación típica, desviación media, desviación probable) que denota el grado de concentración central.

- Indice de asimetría, que pone de manifiesto la mayor ó menor discrepancia con relación a la distribución

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

simétrica.

- Indice de agudez ó curtosis, que sirve para ponderar el predominio de los términos próximos ó de los términos lejanos (colas de la distribución).

A estos parámetros nos referiremos continuamente en nuestro trabajo. Dado que en la bibliografía especifica de Climatología suele haber discrepancia en algunos de estos índices, introduciremos expresiones que hemos utilizado en este trabajo.

Indices de centralización. La media muestral está definida por la fórmula:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} x_i$$

para datos sin agrupar. En caso de datos agrupados:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{m} n_j x_j}{\sum_{i=1}^{m} n_j}$$

con $N = \sum_{i=1}^{m} n_j$.

El segundo índice de centralización es la mediana. Si se ordenan por magnitud creciente los términos de la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

muestra sin agrupar, el término que ocupa el punto medio es la mediana. Si el número de términos es par se toma la media aritmética entre los dos términos medios consecutivos.

Finalmente, el tercer índice de centralización es la moda, que es el término al que corresponde la probabilidad máxima. Para variables contínuas es la abscisa del máximo de la curva.

Referente a esto hemos de decir que en Meteorología es usual, al tratar los vientos, emplear los términos de viento reinante y viento dominante. El viento reinante es el que sopla con mayor frecuencia y el dominante es el viento que sopla con mayor intensidad.

Indices de dispersión. Nos indican la mayor ó menor concentración de los términos hacia el centro de la distribución. El más importante es la varianza V(x), definida por:

$$V(x) = \sum_{i=1}^{N} \frac{x_i^2}{N} - \overline{x^2}$$

$$V(x) = \sum_{i=1}^{N} \frac{(x_i - \overline{x})^2}{N}$$

Otro estimador mejor de la varianza poblacional es:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$V'(x) = \sum_{i=1}^{N} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{N-1}$$

en el cual se ha tenido en cuenta el concepto de grados de libertad. Una muestra tiene tantos grados de libertad como términos la constituyen, descontando tantas unidades como relaciones independientes se puedan establecer entre ellos, en este caso la media aritmética, pues cuando se conocen N - 1 términos, se puede calcular el restante a partir de la media. Indudablemente para N grande, ambas definiciones tienden a coincidir.

Aparte de la varianza, se suele trabajar con la desviación típica, definida como la raiz cuadrada positiva de la varianza, es decir:

$$\sigma = \sqrt{V(x)}$$

Indices de asimetría. El coeficiente de asimetría con el que hemos trabajado es el debido a Fisher y que viene dado por:

$$\text{coef. asimet.} = \sum_{i=1}^{N} (x_i - \bar{x})^3 \Big/ N\sigma^3$$

Indice de apuntamiento. El coeficiente de curtosis con el que trabajamos es el definido por la relación

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

siguiente:

$$\text{Curtosis} = \sum_{i=1}^{N} (X_i - \bar{X})^4 / (N \sigma^4 - 3)$$

El grado de apuntamiento se toma en relación a la distribución normal. Si la distribución presenta un apuntamiento relativo alto, la curva se llama leptocúrtica y en tal caso el coeficiente de curtosis es positiva. Si la curva es más achatada se llama platicúrtica y le corresponde una curtosis negativa. Mientras que si la curva no es ni muy achatada ni apuntada, distribución normal, la curva se llama mesocúrtica y su curtosis es nula.

Una vez que hemos descrito el tratamiento teórico al que nos referimos, estamos en disposición de expresar las medidas experimentales efectuadas y el tratamiento aplicado a las mismas.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 3: ADQUISICION DE DATOS: INSTRUMENTACION Y CAMPAÑA DE TOMA DE DATOS.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

La adquisición de datos está íntimamente relacionada con la instrumentación empleada, por lo cual hacemos, en primer lugar, una descripción de los principales aparatos utilizados (características, métodos de medida y registro de datos) para pasar a continuación a definir el tratamiento de los mismos, en el capítulo siguiente.

3.1.- Instrumentación.

3.1.1.- Estación meteorológica.

La estación meteorológica que disponemos es de la marca Aanderaa DL-2, número de serie 1044, formado por cuatro captadores, con sus respectivos adaptadores, sistema de programación de velocidad de muestreo, módulo de codificación y registro digital de datos.

Los datos se obtienen a intervalos regulares, definidos por la velocidad de muestreo, en binario puro y se registran en cinta magnética que se leen posteriormente mediante un lector de cintas.

Los cuatro captadores utilizados permiten determinar las siguientes magnitudes:

- Temperatura del aire.
- Presión atmosférica.
- Velocidad máxima y media del viento.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

- Dirección del viento (referida al Norte magnético)

El sistema de medida y registro "DATA LOGGER DL -2", está formado por un "scanner" con:

1 vía para medir la temperatura.
4 vías para datos climatológicos.
1 vía para medir presión atmosférica.
Convertidor analógico digital, o codificador.
Registrador magnético.
Reloj de cuarzo.

Tal como se indica en el apartado correspondiente, hubo necesidad de alquilar una estación meteorológica también de la casa Aanderaa DL-1, con número de serie 623, y en la que las características técnicas son similares a las indicadas para la estación con número de serie 1044. En cuanto a las constantes necesarias para la conversión a dato físico de los diferentes canales, se especifican posteriormente.

Características técnicas.

Medida:Puente auto equilibrado en 10 pasos sucesivos.
Duración de cada medida: 4 segundos por vía.
Tensión del puente: -6 V.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Resolución: 1/1023 (10 bits) de la amplitud de medida abarcada por el Data Logger, pudiéndose tomar únicamente una parte del rango total del captador.

Reloj: Precisión ± 2s/día; autonomía 1 año.

Intervalos de registro: 1,2, 2½,5,10,15,20,30,60, 120 y 240 segundos, 10,20,30 y 60 minutos.

Alimentación: Pilas de 9 voltios (63x50x50 mm); para el reloj, pilas de 4'2 voltios (16'6 x 21 mm).

Sensor de temperatura.

Está constituido por una sonda de platino de 500 Ω, con una precisión de 0'1 grado. Con este captador se puede utilizar, sin adaptación, cable de hasta 50 m. de longitud.

Rango de medida: -44°C a 49°C.

Precisión : ± 0'1°C.

Sensor de presión atmosférica.

Está constituido por un transductor de presión de tipo potenciométrico.

Rango de medida: 920 mb a 1080 mb.

Precisión : ±0'2 mb.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Sensor de velocidad del viento.

Está constituído por un molinete de tres copas sobre un eje vertical, en cuyo extremo inferior tiene un imán, que a cada revolución cierra un microinterruptor: un recipiente estanco, de PVC, contiene el circuito electrónico que cuenta el número de impulsos entre dos registros, permitiendo la lectura del codificador.

Los parámetros del sistema electrónico de cuenta de impulsos, se puede modificar según se ajuste la cadencia de registro, ya que el sistema está contando contínuamente, pudiendo seleccionar el tiempo de registro.

La alimentación corre a cargo de la batería general.

El sensor da como registro de salida la velocidad media o la velocidad máxima, a través del número total de vueltas.

Rango superior a 60 m/s.

Precisión: ± 2 %

Velocidad umbral: 30-50 cm/s.

El sensor de velocidad de la estación meteorológica mide la intensidad del viento directamente.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Tal como se ha dicho consta de tres radios horizontales, de igual longitud, fijos a un eje vertical que gira libremente. En cada uno de los radios, en su extremo, hay una cazoleta ó semiesfera hueca dirigida de forma que una presente la concavidad y la otra la convexidad al viento. Dado que la presión que ejerce éste es mayor en la parte cóncava, los radios girarán siempre en el mismo sentido.

La velocidad del viento se tiene directamente según se comentó, ya que la velocidad periférica media de las cazoletas, debe ser proporcional a la intensidad del viento.

El número de vueltas del aparato se conoce por un contador de engranaje y se registra en un registrador que hay en el interior.

Sensor de dirección del viento.

Está formado por un timón móvil de un eje vertical, arrastrando un imán que a su vez, por acoplo magnético, arrastra al limbo de una brújula.

Para que el rozamiento no perturbe la medida, el contacto entre aguja y limbo sólo se efectúa en el momento de medida, mediante una bobina que en el instante adecuado fija la aguja en la posición correcta.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Los cambios bruscos en la dirección del viento son amortiguados en el eje de giro por medio de una amortiguación con aceite de silicona.

Precisión mejor que ± 5°.

Velocidad de muestreo

Las cadencias de muestreo elegidas han sido, en general, de 30 minutos. Tal como se indica en el apartado correspondiente, durante un periodo de tiempo se cambió la velocidad de muestreo a 10 minutos para obtener mucha más información en el mismo periodo en que se intalaron unos correntímetros, y también incluso a 60 minutos, pero esta vez por un error involuntario.

3.1.2.- Correntímetro autónomo.

Este instrumento (Aanderaa, modelo 4) consiste en una unidad de grabación y un mecanismo de medida introducidos en una caja presurizada, pudiendo sujetarse la línea de anclaje a una boya de superficie o de profundidad.

La velocidad de la corriente se mide por un rotor, cuyo giro se transfiere mediante un acoplamiento magnético y una caja de reducción a un potenciómetro. La dirección de la corriente se mide por una brújula con

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

salida eléctrica.

La medida de la velocidad es promediada durante el tiempo de muestreo, mientras que la dirección es instantánea. Un reloj incorporado pone el sistema en marcha a intervalos regulares.

El tiempo de autonomía es superior a 6 meses.

El funcionamiento está basado en un codificador rotatorio para la medida y para la grabación de los datos en cinta magnética de 1/4".

Los dos correntímetros empleados en el desarrollo del presente trabajo responden a las mismas características técnicas, por lo que se describirán de forma común. Evidentemente los números de series de ambos sí son diferentes, correspondiendo el número 8142 al correntímetro propiedad de este Departamento y el número de serie 8522 al que se alquiló durante un periodo de tiempo.

Características técnicas.

Unidad de grabación: 13'7 Kg.

Profundidad máxima: 2000 m.

Cilindro de presión en 95 % Cu, 3'5% Ni, 0'9% Si; los demás materiales expuestos al agua en acero inoxidable.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

Sistema de grabación: palabras binarias de 10 bit en serie, grabadas en una cinta magnética de 1/4".

El ciclo de medida se establece mediante un reloj de cuarzo. Los datos en cintas de 1/4" se recogen en 6 canales: referencia, temperatura, conductividad, presión, dirección de la corriente y velocidad de ésta.

Veamos a continuación las especificaciones técnicas de cada uno de los sensores.

Sensor de temperatura.

Termistor dentro de un bulbo que penetra en el agua.

Rango: -2'46°C a 21'40°C, 10'08°C a 36'0°C, -0'34°C a 32'17°C; posibilidad según la resistencia utilizada.

Precisión: ± 0'05°C

Resolución: 0'1 % del rango elegido.

Sensor de conductividad.

Célula de conductividad de tipo inductivo.

Rango: 0 a 77 mohm/cm.

Resolución: 0'1 % del rango.

Sensor de presión.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Consiste en un potenciómetro.

Rango: hasta 100,200,500,1000 ó 3000 PSI.

Precisión: ± 1 % del rango.

Resolución: 0'1 % del rango.

Sensor de dirección.

Compás magnético. La medida de la dirección es instantánea.

Resolución: 0'35°

Precisión: ± 7'5° para corrientes de velocidades comprendidas entre 2'5 a 5 cm/s, ó de 100 a 200 cm/s y ± 5° para velocidades comprendidas entre 5 y 100 cm/s.

Sensor de velocidad.

Rotor que transfiere magnéticamente las revoluciones a un contador electrónico. Da la velocidad de corriente como una velocidad promediada en el intervalo de muestreo.

Rango: 2'5 a 250 cm/s.

Precisión: ± 1 cm/s.

Velocidad umbral: 2'0 cm/s.

Reloj de cuarzo.

Precisión: mejor que ± 2 s/día dentro de un

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

rango de temperatura 0°C a 20°C.

Intervalos de muestreo: 0'5,1,2,5,10,15, 20,30,60 y 180 minutos.

3.1.3.-Mareógrafo.

El registrador del nivel de mar con el que hemos desarrollado el trabajo es también de la casa Aanderaa, modelo 5 (WLR5), y su número de serie es el 945.

Este medidor cuenta con un sensor de presión capaz de filtrar el efecto producido por el oleaje, promediando las medidas a intervalos de 40 segundos.

Los datos obtenidos a intervalos regulares son grabados en cinta magnética en binario puro, que posteriormente leemos con la lectora de cintas.

Aparte de la presión, el aparato mide también la temperatura del agua de mar por un termistor que tiene.

Características técnicas.

Peso: 5'9 kg.

Profundidad máxima: 270 m.

Cilindro de presión en aleación de aluminio 6061/T6.

Sistema de grabación: palabras binarias de 10 bit en serie, grabadas en cinta magnética de 1/4".

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Alimentación: 9 voltios en corriente continua, suministrados por una batería de 63x50x80mm^3, que proporciona hasta un año de autonomía.

El ciclo de medidas se establece mediante un reloj de cuarzo. Los datos se recogen en 4 canales, el de referencia, temperatura y dos de presión, siendo 4 segundos la duración del ciclo de medida.

Sensor de presión de cuarzo.

El mareógrafo WLR5 cuenta con un sensor de presión "Paroscientific" modelo 2400 A/2900 A, que tiene una exactitud 10 veces superior a los sensores de presión convencionales.

Se basa en un cristal oscilante que da una frecuencia de salidas entre 40 KHz y 36 KHz, dependiendo de la presión.

Rango: 0 a 400 libras por pulgada cuadrada.

Resolución: ± 0'001% de la escala total.

Sensor de Temperatura.

Es un termistor Fenwall, modelo GB32JM19 como elemento sensible, y de un oscilador incluido en el panel electrónico. La frecuencia de salida oscila entre 2048 Hz y 4096 Hz según la temperatura. Para

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

temperaturas fuera de rango se registra un cero en el canal correspondiente.

Rango: -3°C a 35°C.

Reloj de Cuarzo.

Consiste en un oscilador patrón basado en un cristal de cuarzo que oscila a 32768 Hz.

Intervalos de muestreo: 1,2,5,10,15,20,30,60 y 180 minutos.

Precisión: ± 0'5 s/día.

3.1.4.- Correntímetro manual.

El correntímetro que disponemos es de la casa VALEPORT, serie 1000, y cuyo número de serie es el 1923.

En él, la corriente mueve una hélice que mediante un acople magnético, abre y cierra un relé Reed situado en el interior del aparato. Cada impulso en el relé corresponde a una revolución de la hélice.

La medida de la dirección de la corriente se obtiene mediante una brújula incorporada, suspendida de una única articulación inmersa en silicona. Al cerrar el contacto de la brújula, un mecanismo magnético hace que se incline y haga conexión con uno de los 36 contactos de una placa de circuito impreso, lo que da una

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

tolerancia en la medida de la dirección de ± 5°.

Características técnicas.

Alimentación: 12 voltios en corriente contínua, 2 baterías de 6 voltios.

Consumo: 100 mA.

Peso: 46 kg.

Lastre: opcional, hasta 90 kg.

Duración del ciclo de lectura: 4 segundos.

Sensor de velocidad.

Rango de medida: 0'03 a 5'00 m/s.

Precisión: mejor que 1'5 %.Resolución: ± 0'01 m/s.

Sensor de dirección.

Rango de medida: 0° a 360°

Precisión: mejor que 1°.

Resolución: mejor que 1°.

Sensor de profundidad.

Profundidad máxima: 1000 metros.

Resolución: 0'5 m.

Sensor de temperatura.

Temperatura de funcionamiento: -5°C a 40°C.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

3.1.5.- Sonda CTDS.

La sonda CTDS que disponemos es la sonda VALEPORT serie 600, número de serie 1524.

Esta sonda permite las medidas "in situ" de conductividad, temperatura, profundidad y salinidad.

Características técnicas.

Sensor de conductividad.

El sensor es de tipo inductivo y consta de dos espirales, una de las cuales emite una señal a la otra espiral a través del agua. El agua actúa como medio en la inducción. La magnitud de la señal detectada en la segunda espiral es proporcional a la conductividad del agua de mar y por lo tanto los problemas asociados con el recubrimiento de los electrodos.

Rango: hasta 60 mohm/cm.

Precisión: 0'1 mohm/cm.

Sensor de temperatura.

El sensor es un termistor linealializado, que da una señal alta de salida lineal y estable. Está montado en una pequeña cápsula situada dentro de la célula de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

conductividad.

Rango: -5°C a 40°C.

Precisión: ±0.1°C.

Sensor de profundidad.

La profundidad se obtiene a partir de un sensor de presión montado también en la célula de conductividad. Se utiliza para la conversión una densidad de 1026 kg/m^3 y un valor de g = 9'806 m/s^2 en toda la columna de agua.

Rango: 10 a 200 metros.

Precisión: ±1 %.

Sensor de salinidad.

La salinidad se obtiene a partir de las señales de los sensores de conductividad y temperatura. No se incorpora ninguna corrección de presión, ya que el aparato opera a profundidades donde esta corrección se considera despreciable.

Rango: 0 a 40 ppt,

Precisión: ±0'35 ppt entre 10 % y 35 % y
entre 5°C y 35°C

La sonda está unida a la unidad de superficie mediante un cable que transmite las señales recogidas. El cable está recubierto de una funda de poliuretano.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

3.1.6.- Lectora de cintas.

La lectora de cintas es de Aanderaa Instruments, modelo 2650, número de serie 307. Las cintas magnéticas que lee son las de 1/4" en un código binario de 10 bits.

Para la traducción de los datos, dispone de una salida RS232C para conexión con el ordenador. Los datos leídos de la cinta se convierten primero a un código binario de 10 bit paralelo, y después a un código en serie ASCII que consta de siete caracteres.

La cinta corre de manera contínua a una velocidad de 6'1 cm/s.

Características Técnicas.

Rango en baudios: seleccionable de 50 a 9600 baudios.

Formato de los datos: 7-bit ASCII, paridad seleccionable y bits de parada.

3.1.7.- Ecosonda.

En los trabajos de reconocimiento del fondo, hemos trabajado con una ecosonda de la marca Furuno, modelo FE-881 MARK.

El sistema se compone de una unidad de superficie,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

un transductor de señal eléctrica en onda sonora, una fuente de alimentación de corriente continua y un generador de 220 voltios de corriente alterna.

El registro de las características geométricas del fondo se realizó de modo continuo sobre papel seco electrosensible.

El sistema de medida consiste en la emisión de una señal ultrasónica que, tras rebotar sobre el fondo es devuelta al transductor.

La ecosonda proporciona una idea bastante aproximada de la naturaleza del fondo debido a su diferente capacidad de penetración en los diversos tipos de suelos.

Características técnicas

Rango de profundidades: 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 metros.

Profundidad mínima medible: 1 m. en las escalas de 5, 10, 20 y 50 m.

Exactitud: ± 1% para velocidad del sonido de 1500 m/s.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

3.2.- Proceso de datos.

3.2.1.- Estación meteorológica.

Los datos de la estación meteorológica se encuentran grabados en cinta magnética digital en binario de 10 bits/dato,según palabras de 12 datos por muestras con bit final de sincronismo. Dichos datos se pasan a cinta en ASCII, compatible con el Micro-VAX-II que los lee y procesa.

Los canales de información en los que se registran datos son los siguientes:

Canal 1: Referencia.

Canal 2: Velocidad máxima del viento.

Canal 3: Velocidad media del viento.

Canal 4: Dirección del viento.

Canal 5: Temperatura del aire.

Canal 8: Presión atmosférica.

Los listados de datos correspondientes a estos canales se presentan como se indica a continuación:

Columna	Información	Canal
1	Número de registro	1
2	Fecha (día,mes,año) del registro	-
3	Fecha (hora.minuto) del registro	-

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

4	Velocidad máxima del viento	2
5	Velocidad media del viento	3
6	Dirección del viento	4
7	Temperatura del aire	5
8	Presión atmosférica	8

Los datos grabados han de ser convertidos a las magnitudes físicas mediante unos polinomios de ajuste, cuya entrada es N, número de muestras del codificador de la estación, y su salida, el parámetro buscado. Dichos polinomios son específicos de cada medidor, como se verá a continuación. Para la estación meteorológica con número de serie 1044, se tiene.

a.1): Canales 2 y 3: Velocidades máxima y media del viento.

El polinomio para la conversión a datos físicos del sensor de velocidad del viento (2740) en la estación meteorológica utilizada, es:

$$V(m/sg) = 0'0746.N$$

siendo N la grabación del sensor de velocidad en el canal 2 ó en el canal 3.

b.1): Canal 4: Dirección del viento.

Para el sensor de dirección del viento (2750), el polinomio a utilizar es:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$D(\text{grad.sexag.}) = 1'5 + 0'349.N$$

c.1): Canal 5: Temperatura.

Para el sensor 2775 utilizado en la estación meteorológica se tiene:

$$T(°C) = (A+a) + (B+b).N + c.N^2$$

siendo:

$A = -45'216$

$a = 1'552$

$B = 9'058.10^{-2}$

$b = -9'473.10^{-3}$

$c = 9'614.10^{-6}$

d.1): Canal 8: Presión atmosférica.

El sensor 2810 que mide la presión atmosférica en la estación meteorológica, convierte el dato registrado en dato físico por el siguiente polinomio:

$$p(mb) = A + B.N$$

siendo:

$A = 8'95977.10^2$

$B = 2'01154.10^{-1}$

Para la estación meteorológica Aanderaa DL-1, número de serie 623, en los diferentes canales se tienen

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

los coeficientes que se indican a continuación:

a.2): Canales 2 y 3. Velocidades máxima y media del viento.

En esta estación el sensor de velocidad del viento es el 2740 y el polinomio para la conversión a dato físico es:

$$V(m/sg) = 0'0746.N$$

siendo N la grabación del sensor de velocidad en el canal 2 ó en el canal 3.

b.2): Canal 4. Dirección del viento.

Para el sensor (2750) de dirección del viento, el polinomio es:

$$D(grad.sexag.) = 1'5 + 0'349.N$$

siendo N la grabación del sensor en el canal 4.

c.2): Canal 5. Temperatura.

En este caso para el polinomio de conversión:

$$T(^{o}C) = (A+a) + (B+b).N + c.N^2$$

Las constantes que se tienen en este sensor son:

$$A = -45'580$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$a = 1'552$$

$$B = 9'055.10^{-2}$$

$$b = -9'473.10^{-3}$$

$$C = 9'614.10^{-6}$$

siendo N la grabación del sensor de temperatura en el canal 5.

d.2): Canal 8. Presión atmosférica.

El polinomio que convierte a dato físico el sensor de presión 2810 es el siguiente:

$$p(mb) = A + B.N$$

donde

$$A = 9'089.10^{2}$$

$$B = 1'803.10^{-1}$$

siendo N la lectura del canal.

Con los datos obtenidos en los diferentes canales se ha realizado un tratamiento cuyos resultados se muestran en un capítulo posterior.

3.2.2.- Correntímetro autónomo.

El correntímetro autónomo nos permite trabajar con el método euleriano, dando información local con gran cobertura en el tiempo.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Se ha trabajado básicamente con un correntímetro. Dado que este correntímetro es un equipo de la casa Aanderaa al igual que la estación meteorológica, el codificador es el mismo y por tanto, la extracción de la información y el sistema de grabación es muy similar en ambos.

En el caso del correntímetro los canales de información son los siguientes:

Canal 1: Referencia.

Canal 2: Temperatura del agua.

Canal 3: Conductividad.

Canal 4: Presión.

Canal 5: Dirección de la corriente.

Canal 6: Velocidad media de la corriente.

Los listados de datos se presentan por columnas de la siguiente manera:

Columna	Información	Canal
1	Número de registro	1
2	Fecha (día,mes,año)	-
3	Fecha (hora,minuto)	-
4	Temperatura	2
5	Salinidad	-
6	Presión	4

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

7	Dirección	5
8	Velocidad media	6

Los datos registrados vienen en número de cuentas N, para el intervalo de muestreo elegido, y han de convertirse en valores físicos del parámetro deseado, lo cual se realiza en sistema de proceso antes de obtenerse el Banco de Datos. Dicho paso se realiza mediante unos polinomios de ajuste con coeficientes específicos para cada correntímetro y cada transductor.

El polinomio general de ajuste es:

$$P = (A+a) + (B+b)N + c.N^2 + d.N^3$$

N es el dato bruto registrado en el canal correspondiente y P es el dato físico en la unidad de medida que se indica.

Los coeficientes para cada uno de los canales se dan a continuación para el correntímetro número 8142.

a.1). Canal 2: Temperatura.

$$P = T(^oC)$$

$$A = -2'681$$

$$a = 1'830.10^{-1}$$

$$B = 2'332.10^{-2}$$

$$b = -5'100.10^{-4}$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$c = -1'344.10^{-6}$

$d = 1'937.10^{-9}$

b.1). Canal 3: Conductividad.

$P = C(mmho/cm)$

$A = -0'07283$

$B = 0'07383$

c.1). Canal 4: Presión.

$P = p(kg/cm^2)$

$A = -4'490$

$B = 0'07732$

d.1). Canal 5: Dirección.

P = dirección (grados sexag.) referida al N magnético.

$A = 1'500$

$B = 3'490.10^{-1}$

e.1). Canal 6: Velocidad.

$\bar{p} = V(cm/s)$

$A = 1'100$

$B = 1'0422.10^{-1}$ para $\Delta t = 30$ minutos.

Para el correntímetro 8522 los coeficientes de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

cada uno de los canales son:

a.2). Canal 2: Temperatura.

$$P = T(^{\circ}C)$$

$$A = -2'692$$

$$a = 1'830.10^{-1}$$

$$B = 2'327.10^{-2}$$

$$b = -5'100.10^{-4}$$

$$c = -1'344.10^{-6}$$

$$d = 1'937.10^{-9}$$

b.2). Canal 3: Conductividad.

$$P = C(mmho/cm)$$

$$A = -2'190.10^{-1}$$

$$B = 7'300.10^{-2}$$

c.2). Canal 4: Presión.

$$P = p(kg/cm^2)$$

$$A = -7'816.10^{-1}$$

$$B = 1'533.10^{-2}$$

d.2). Canal 5: Dirección.

P = dirección (grado sexag.) referida al N magnético.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$A = 6'697.10^{-1}$$

$$B = 3'507.10^{-1}$$

$$c = -7'621.10^{-6}$$

$$d = 8'720.10^{-9}$$

e.2). Canal 6: Velocidad.

$$p = \bar{V}(cm/s)$$

$$A = 1'100$$

$$B = 0'3100 \text{ para } \Delta t = 10 \text{ minutos.}$$

La salinidad se obtiene a partir de la medida de conductividad del canal 3. Los valores de S se calculan a partir de unos polinomios en los que hay que tener en cuenta la lectura simultánea del canal de temperatura y la presión media del fondeo.

3.2.3.- Mareógrafo.

Cada grabación de datos del mareógrafo, a los intervalos de tiempo prefijados, se compone de cuatro datos y un bit final de sincronismo. Al igual que en el correntímetro y la estación meteorológica, los datos se pasan a código ASCII compatible con el Micro Vax II que los lee y procesa.

Los canales de información son los siguientes:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Canal 1: Referencia

Canal 2: Temperatura

Canal 3: Presión (parte más significativa)

Canal 4: Presión (parte menos significativa)

Los listados de datos físicos presentan cinco columnas:

Columna	Información	Canal
1	Número de registro	1
2	Fecha (día, mes, año)	-
3	Fecha (hora, minutos)	-
4	Temperatura	2
5	Presión Total	3 y 4

Los valores de las magnitudes físicas, temperatura y presión, se tienen mediante unos polinomios de ajuste que, pasamos a describir a continuación:

a). Canal 2: Temperatura.

El polinomio para el termómetro modelo 2907, y en el rango ya indicado es:

$$T(^{\circ}C) = A + B.N + C.N^2 + D.N^3$$

siendo N la lectura del canal y los coeficientes:

$A = -2'662$

$B = 3'501.10^{-2}$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$C = -4'827.10^{-6}$$

$$D = 9'309.10^{-9}$$

El cálculo de la temperatura debe ser previo al de la presión con objeto de determinar los coeficientes que se deben aplicar al cálculo de la presión.

b). Canales 3 y 4: Presión.

El polinomio de conversión es el siguiente:

$$P(\text{libra/pulgada}^2) = A + B.N + C.N^2 + D.N^3$$

El valor de N se obtiene a partir de las lecturas de los canales 3 y 4.

$$N = N_3.1024 + N_4$$

Mientras que los coeficientes del polinomio tienen un valor diferente, dependiendo del rango de temperatura en que estemos trabajando.

	T (0°C-10°C)	T (10°C-20°C)	T (20°C-30°C)
A	-85'32472	-85'19446	-85'22795
B	$2'641932.10^{-3}$	$2'640097.10^{-3}$	$2'640273.10^{-3}$
C	$-8'815403.10^{-10}$	$8'725745.10^{-10}$	$-8'736445.10^{-10}$
D	$1'685765.10^{-16}$	$1'534974.10^{-16}$	$1'513244.10^{-16}$

La profundidad real del agua que tenemos se obtiene según la expresión:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$D \text{ (metros)} = 6'89476 \ (P - P_a) \ \frac{1}{d} \ . \ \frac{1}{g}$$

siendo P la presión total medida, P_a la presión atmosférica, d la densidad del agua y g la gravedad (m/s^2) en el lugar de medida.

3.2.4.- Correntímetro manual.

La obtención de los datos es instantánea, se transmiten por cable a una unidad de superficie donde se obtienen ya como datos físicos.

3.2.5.- Sonda CTDS.

La obtención de datos es instantánea, transmitida por cable a una unidad de superficie en forma de datos físicos.

El proceso por el que pasan los datos desde el instante en que se produce la grabación hasta el momento en que analizamos los resultados, queda reflejado en el cuadro que presentamos a continuación.

A partir de las medidas registradas por el sistema de grabación del equipo que se trate, procedemos a la lectura de los datos codificados mediante la lectora de cintas, en el caso de datos provenientes de la estación

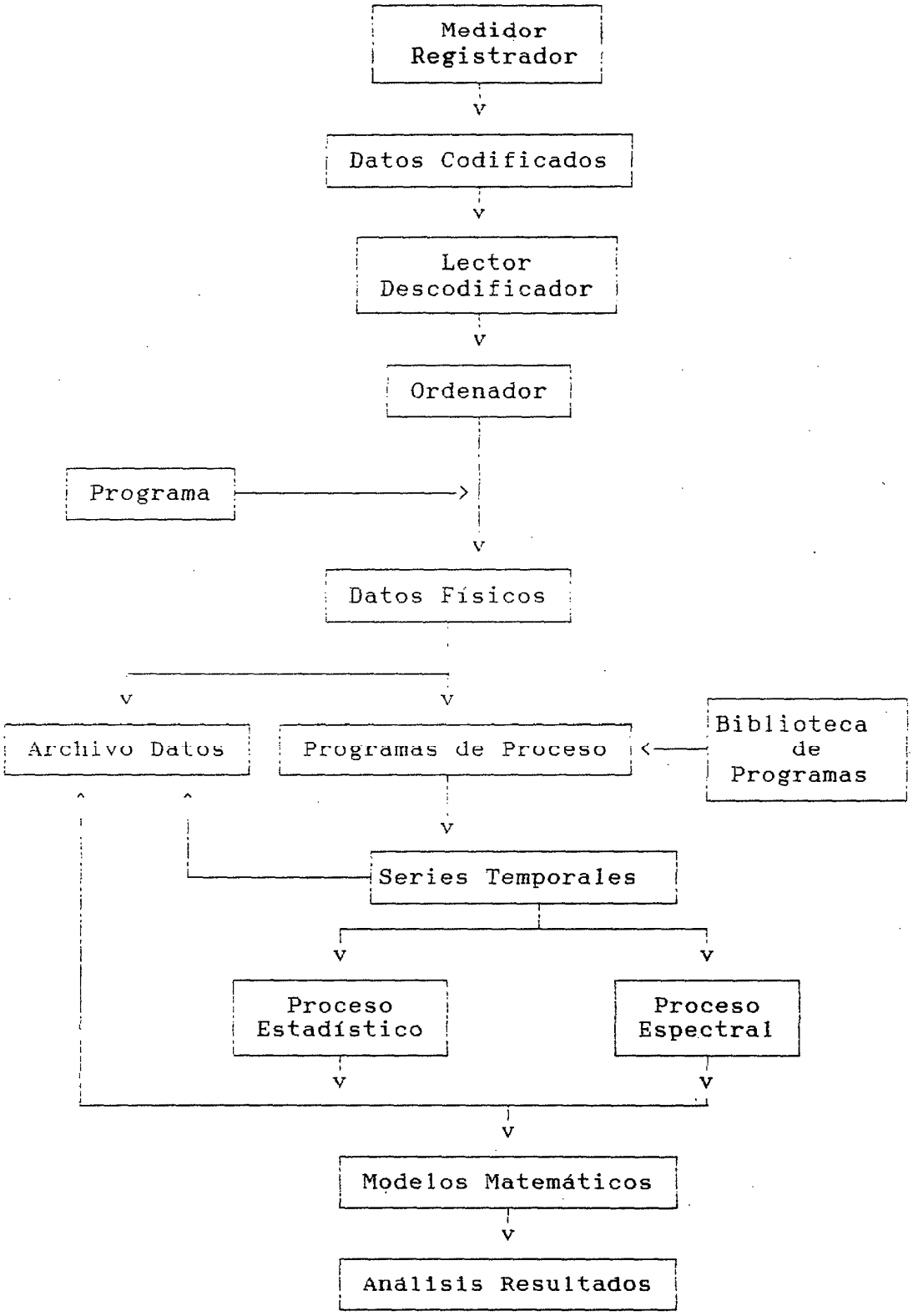
© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

meteorológica, correntímetro autónomo ó mareógrafo.

Leídos los datos brutos de grabación, procedemos a la conversión a dato físico mediante los polinomios anteriormente indicados. Este paso se realiza por medio de unos programas desarrollados por el Departamento de Física para el equipo informático con el que hemos trabajado (Micro-Vax II, Digital).

Por un lado, las series temporales de las diferentes magnitudes medidas pasan a formar parte del banco de datos oceanográficos y por otra parte pasan a ser tratados mediante los programas de tratamiento de datos, estadístico y espectral. Los resultados obtenidos junto con la aplicación de los modelos matemáticos que convengan en cada caso, serán lo que nos permitirá pasar a la etapa final del trabajo, analizar los resultados del problema que estamos abordando.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

3.3.- Campaña de toma de datos.

3.3.1.- Localización del tramo de estudio.

La isla de Gran Canaria está situada entre los 27° 43'5 minutos y 28° 11'4 minutos de latitud (N) y los 15° 21'5 minutos y 15° 50'de longitud (W), en el Océano Atlántico, según observamos en la figura 3.3-1, con 237 Km de longitud de costa y una superficie aproximada de 1532 Km^2. La altura máxima de la isla se encuentra en la zona centro y es de 1950 m.

En la isla hay dos zonas con geología y clima muy dispares, que vienen separadas por el diámetro NE-SW.

El área donde hemos desarrollado nuestro estudio se encuentra en la costa Este de la isla, como queda reflejado en la figura 3.3-2 en los alrededores de un lugar llamado Taliarte situado geográficamente por las coordenadas siguientes:

Latitud: 27°59 minutos - 27° 59'5 minutos (N)
Longitud: 15°21 minutos - 15° 22 minutos (W)

La elección de esta zona como referencia para el trabajo la hemos hecho por dos motivos principalmente. Por un lado, la costa en la que está situada está fuertemente influenciada por la presencia de los vientos alisios, presentes durante todo el año en las Islas, y

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

por otra parte, porque se nos facilitaba la instalación de aparatos y su vigilancia, ante la cercanía del Centro de Tecnología Pesquera.

La costa en este sitio es un acantilado bajo con rasas, limitando al Norte y al Sur se tienen varias playas de arena separadas por cantiles bajos, como son la playa del Hombre y las de Melenara y Salinetas.

Para estudiar la batimetría del área en la que trabajamos, realizamos varias pasadas con la ecosonda durante una de las campañas de toma de datos. Estos reconocimientos del fondo los hicimos tanto en dirección transversal como en dirección paralela a la costa. Los resultados de la ecosonda y las cartas naúticas, nos han permitido trazar con cierta precisión las isobatas de la zona (fig. 3.3-3).

En un mapa como el que acabamos de comentar, hemos representado las cinco radiales y tres longitudinales en las que hemos trabajado fundamentalmente (fig. 3.3-4). Sus coordenadas geográficas son las siguientes:

Radial R_1 (latitud: 27°59'25" N; longitud: 15°21'50" W- 15°21'00" W)

Radial R_2 (latitud: 27°59'18" N; longitud: 15°22'10" W- 15°21'00" W)

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Radial R_3 (latitud: 27°59'11" N; longitud: 15°22'23" W- 15°21'00" W)

Radial R_4 (latitud: 27°59'5" N; longitud: 15°22'23" W- 15°21'00" W)

Radial R_5 (latitud: 27°58'55" N; longitud: 15°22'23" W- 15°21'00" W)

Longitudinal L_1 (longitud: 15°21'54" W; latitud: 27°59'25" N- 27°58'55" N)

Longitudinal L_2 (longitud: 15°21'46" W; latitud: 27°59'25" N- 27°58'55" N)

Longitudinal L_3 (longitud: 15°21'38" W; latitud: 27°58'55" N- 27°51'55" N)

Los perfiles batimétricos que resultaron del registro de la ecosonda para cada una de estas radiales y longitudinales, los representamos gráficamente en las ocho gráficas siguientes, considerando una escala horizontal 1:10.000 y la vertical 1:1.000 en todos ellos (fig. 3.3-5, ..., 3.3-12). De ellos observamos que el área de Taliarte y hasta alcanzar los 100 m de profundidad la pendiente es uniforme, creciendo rápidamente hasta los 500 m, para volverse a tener pendientes algo más suaves. Los fondos junto a la zona costera son de arena y un poco más alejado de ésta ya

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

son de arena y piedra.

3.3.2.- Incidencias de las campañas.

Con respecto a la toma de datos, hay que indicar que debido a su propia naturaleza (series temporales) las dificultades que surgen por la medición en sí, como por ejemplo un funcionamiento incorrecto del aparato, no se aprecian en el instante en que se efectua la medición, sino una vez que se procesan, por lo que debido a esto hemos tenido bastantes problemas.

a) Datos meteorológicos, obtenidos por medio de la estación meteorológica.

La instalación de la estación meteorológica (Aanderaa DL-2, número de serie 1044) se llevó a cabo en una explanada de tierra, que existe cerca del edificio que alberga al Centro de Tecnología Pesquera de Taliarte del Excmo. Cabildo Insular de Gran Canaria (fig. 3.3-3). Sus coordenadas son:

Latitud: 27° 59'5 minutos (N)

Longitud: 15° 22 minutos (W)

con lo cual quedaba el sistema de medida en la zona que se quería estudiar y a la vez bajo la atención del vigilante nocturno que tiene dicho Centro. Pero por

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

problemas ajenos a la instalación no se pudo realizar en dicha explanada, teniendo que hacerse en una zona más cercana al edificio y que en principio parecía buena también, según la opinión de los técnicos de la casa que procedieron a su instalación.

El 13 de Mayo de 1986 comenzó la grabación de la cinta de la estación meteorológica. El intervalo de muestreo fue de 30 minutos y los parámetros medidos fueron temperatura del aire, presión atmosférica, velocidades máxima y media del viento, así como su dirección. Esta cinta, que llamaremos a partir de ahora E130586, atendiendo a la nomenclatura utilizada, se recogió en el mes de Septiembre, y en ella el número de datos registrados fué de 5333. La forma de denominar las cintas, como por ejemplo la recien enunciada: E130586, nos indica por la letra que la inicializa el aparato que se trata. Así E corresponde a estación meteorológica, C a correntímetro y M al mareógrafo. Y a continuación los números que siguen corresponden a la fecha en que comienza dicha grabación, con las dos primeras cifras para el día del mes, otras dos para el mes, y las últimas para el año. Así 130586 nos indica la cinta que comenzó el 13 de Mayo de 1986. Este número aparece también en las gráficas, tal como se verá más adelante, para indicar el fichero o cinta de la que se representan gráficamente los resultados. Posteriormente se procedió

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

a la lectura y al procesamiento de la cinta, tras numerosos problemas derivados de la puesta a punto de la nueva instrumentación y de los programas de conexión y de tratamiento. Es en este momento cuando a la vista de los resultados obtenidos se observa que los datos de dirección del viento diferían de las direcciones predominantes que tiene el viento en esa zona. Pensando en una mala ubicación de la estación, se coloca ésta en la azotea del edificio y se empiezan a registrar datos el 13 de enero de 1987 tras innumerables problemas en la nueva instalación. Para esta cinta (E130187) el intervalo de muestreo fue también de 30 minutos, registrándose 3776 datos y recogiéndose el 1 de Abril. El proceso de datos se llevó a cabo poco después, comprobándose que los resultados sí eran conformes a los conocidos en la zona.

Una vez comprobado que la nueva ubicación no presentaba problemas, se pasó a colocar una nueva cinta (la tercera), el día 2 de Abril, que llamaremos E020487, también a 30 minutos de velocidad de muestreo, en la que se tienen 3926 datos, recogiéndose para la lectura y procesamiento el día 16 de junio de 1987.

Por otra parte, para aprovechar los datos recogidos en la primera cinta se alquiló una estación meteorológica Aanderaa DL-1 número de serie 623, cuyas

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

características técnicas se han dado anteriormente, para situarla en el primer emplazamiento y teniendose, en tal caso, datos de ambas estaciones, registrados cada uno en el mismo intervalo de tiempo. De este modo se podría proceder posteriormente a una correlación entre las dos series temporales, corrigiendose los problemas de la dirección en la primera mediante el factor de correlación que resulte. La instalación se efectuó el mes de Junio, empezando la grabación el 23 de dicho mes y con un intervalo de muestreo de 30 minutos en ambas estaciones. Las cintas se recogieron el 9 de Julio. Como resultado del procesamiento de la cinta correspondiente a la estación alquilada, sólo se obtuvieron valores de temperatura y presión atmosférica ya que el registrador del sensor de vientos estaba en malas condiciones según se comprobó al cabo de los días de muchas verificaciones. En cuanto a los datos registrados por la otra estación, se desecharon los datos de los días 23 y 24 de Junio por ser erróneos. Esta cinta es la que se ha llamado E250687 grabada a una velocidad de 30 minutos y contiene 696 datos.

Después de estos sucesos se continuó con la toma de datos, iniciándose una nueva cinta el día 11 de Julio de 1987 (E110787). El período de muestreo se cambió a 10 minutos porque se hizo coincidir con la velocidad de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

muestreo de los correntímetros fondeados, y dado que se necesitaba un mayor número de datos se disminuyó el tiempo de grabación. Esta cinta estuvo hasta el día 28 de Agosto, observándose que la grabación se había detenido porque las pilas se acabaron bastante antes de lo previsto. Así pues la cinta E110787, con 3960 datos, consideramos que finalizó el día 7 de Agosto en lo referente al tratamiento de datos del viento, pero los datos de presión y temperatura fallaron antes, por lo que sólo se pudo tratar hasta el día 4 de Agosto.

La grabación de datos continuó con una nueva cinta el día 31 de Agosto, E310887, y en la que se mantuvo, por olvido, la velocidad de muestreo a 10 minutos. Los problemas volvieron a surgir con las pilas y se decidió cambiar pilas y cinta. El día 9 de Septiembre a primeras horas de la mañana se efectuó el cambio, teniendose en la cinta que se había quitado 1335 datos.

La E090987 estuvo grabando desde el 9 de Septiembre hasta el 23 de Octubre, siendo la velocidad de grabación de los datos de 60 minutos, ya que al ir a cambiarse al reloj el tiempo de muestreo, se cometió un error en el manejo. Los datos que se tienen en esta cinta son 1062.

Finalmente, la última cinta que se ha tratado de la Estación Meteorológica es la que se instaló el 28 de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Octubre del mismo año, finalizando la grabación el 27 de Diciembre. Se corrigió la velocidad de muestreo, volviéndose a registrar datos cada 30 minutos y teniéndose en total 2881 datos.

b) Medidas de corrientes, registradas con un correntímetro autónomo.

El correntímetro Aanderaa (número de serie 8142) se fondeó a una distancia de, aproximadamente, 500 metros de la bocana del Puerto de Taliarte (fig. 3.3-3). Las coordenadas geográficas de dicho punto son las que damos a continuación:

Latitud: 27° 59'2 minutos (N)
Longitud: 15° 21'5 minutos (W)

La primera instalación del equipo se llevó a cabo en la misma época que la de la estación meteorológica, el 14 de Mayo de 1986. La cinta de grabación la denominamos de manera análoga a la de los otros aparatos, la letra inicial corresponde a una C, es decir del correntímetro y seguidamente la fecha en la que se inicializó la grabación. En este caso se trata de la cinta C140586. La profundidad de fondeo del aparato fué de unos 40 metros, siendo de 30 minutos la velocidad de muestreo.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

En la instalación del correntímetro se dejaron, en la superficie del mar, un par de boyas de señalización que permiten la localización del aparato sumergido para así dirigirnos hacia donde se encuentra y recuperarlo por medio de una señal acústica que emite la unidad que se tiene en cubierta (a la que se llama "accoustic release"), que lo libera del fondeo que se ha puesto y hace que emerja a superficie.

Al cabo de algunas semanas de la instalación se produjo el robo de las boyas, con lo que se perdió la señal visible de superficie, pero atendiendo a que el liberador acústico se tenía en buen estado, según se comprobó en pruebas realizadas antes de la instalación definitiva, se esperó a que una vez finalizado el verano del año 86, el volumen de datos hiciera que tuvieramos una serie temporal de datos de corrientes durante unos cuantos meses.

Una vez transcurrido este tiempo se intentó, por medio del liberador acústico que el aparato saliese a superficie, pero inexplicablemente el sistema no funcionaba. Las salidas a la zona de instalación eran prácticamente diarias, utilizándose la zodiac de la Cruz Roja de la playa de Melenara, con la que se trabajaba, dada la falta de embarcación propia.

Pasado un tiempo y vistos los resultados de la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

búsqueda, pensamos que las pilas del ancla de liberación podrían haberse agotado y fuese ese el motivo por el que no respondiese a la señal emitida, por lo que se abandonó este procedimiento.

Para continuar, se hicieron arrastres con dos barcos, resultando negativos todos los intentos. También se contrataron a unos buzos profesionales que tampoco encontraron el aparato; desestimándose que continuaran con la búsqueda por la carestía que representaban.

Hacia el mes de Diciembre se contactó con el Equipo de Actividades Subacuáticas de la Comandancia de la Guardia Civil de Las Palmas, que desinteresadamente nos prestaron su valiosa ayuda, resultando infructuosa, una vez más, la búsqueda.

En el mes de Enero, gracias a un ecosonda de gran resolución que estuvo en Las Palmas durante una temporada para realizar unos trabajos de batimetría, se llevaron a cabo unas pasadas por la zona en que presuntamente se encontraba y un poco alejado de ella se vislumbraron unas manchas que podían corresponder al correntímetro. Se volvieron a intentar por aquella zona los arrastres con barco y las inmersiones del equipo de submarinistas de la Guardia Civil, resultando que se localizó el aparato al cabo de nueve meses desde la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

instalación.

Lo que ocurrió fué que al estar sin señalizar en superficie, por la desaparición de las boyas, los pescadores que faenan por los alrededores echaron unas redes para desarrollar sus labores de pesca y éstas atraparon y enredaron a la paleta que indica la dirección de la corriente de tal manera que cuando recibía la señal acústica le era imposible subir a la superficie del mar.

De la serie temporal correspondiente a esa primera cinta, C140586, sólo se pudieron aprovechar parte de los datos, los registrados antes de que fuera atrapado por las redes para los canales de velocidad y dirección, mientras que los datos de temperatura y salinidad no se vieron afectados. En esta cinta el número de datos registrados fué de 4091, calculándose que hacia el día 9 de agosto finalizó la grabación.

Una vez procesados los datos y analizados los resultados obtenidos, pensamos en verificar la idea que se tenía acerca del modelo de corrientes en la costa de Taliarte. Para ello alquilamos un correntímetro también de la casa Aanderaa (número de serie 8522), instalándose ambos en la misma vertical pero a diferentes profundidades. Hacia los 20 m. se instaló el correntímetro nº 8522 y más abajo, 40 metros, el número

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

8142 (fig. 3.3-13). El punto en el que se realizó esta instalación fue, aproximadamente, el mismo en que se había trabajado la vez anterior.

Ambos correntímetros empezaron a registrar datos el 23 de Junio de 1987 y a intervalos de grabación de 10 minutos, estando hasta el 22 de Julio fondeados, tomaron unos 4100 datos. LLamaremos a cada una de las cintas que resultan C230687-20m y C230687-40m.

c) Medidas obtenidas con un mareógrafo.

El mareógrafo Aanderaa con el que hemos realizado las medidas del nivel del mar, sólo se pudo instalar en la zona de Taliarte durante un período de casi dos meses, por dedicarse posteriormene a trabajos de invesigación en otros emplazamientos. La grabación de datos comenzó el 14 de Mayo de 1986 y el lugar de fondeo fue el mismo del correntímetro, separados unos 30 metros entre sí; siendo la profundidad de instalación, aproximadamente la misma (fig. 3.3-3). La velocidad de muestreo de los datos era de 15 minutos, obteniendose cerca de 4800 datos en la cinta de grabación M140586.

d) Otras medidas.

Nos referimos en este apartado a los datos obtenidos con el correntímetro manual y la sonda.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

En el área de trabajo y con la malla que hemos definido anteriormente, formada por las cinco radiales y las tres transversales (fig.3.3-4), realizamos en los vértices del reticulado perfiles de velocidad y dirección de la corriente, salinidad y temperatura durante varias campañas, ampliandose ocasionalmente el muestreo a otros puntos en dirección a la playa de Salinetas y hacia mar abierto. Con las medidas realizadas en estos puntos, recogimos información de lo que ocurre en los primeros metros de la capa superficial del océano.

En esos puntos se midieron perfiles de corrientes, en las primeras decenas de metros de la capa superficial y también medidas de salinidad y temperatura a las mismas profundidades, con la sonda.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 4: TRATAMIENTO DE DATOS DE GANDO.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

4.1.- Introducción.

En el marco del objetivo principal del trabajo, el modelo de circulación costera en Gran Canaria, hemos mencionado ya, que el agente causante de las corrientes en la capa superficial es, fundamentalmente el viento.

Por tanto, si pretendemos predecir la circulación en una zona costera nos es imprescindible disponer del régimen de vientos en esa zona y para ello, se requieren series largas de tiempo de la intensidad y dirección del viento.

Según comentamos anteriormente, los únicos datos existentes en el momento de realizar el estudio son los del Instituto Nacional de Meteorología.

La serie temporal más larga y completa de datos, de las estaciones meteorológicas de Gran Canaria, corresponde al observatorio que tienen instalado en el Aeropuerto de Gando y es a ella a la que nos referiremos.

Los datos que nos interesan para nuestro estudio son los de velocidad y dirección del viento. El sistema de toma de datos en la estación del Aeropuerto no registra en contínuo, sino que los datos se graban en instantes prefijados. Las horas a las que corresponden

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

los datos tratados son las 1, 7, 13 y 18 horas. Los partes meteorológicos que distribuye el Instituto Nacional de Meteorología, en los que se recogen las observaciones a las horas citadas, nos indican que la intensidad se registra en Km/h, y la dirección del viento, viene únicamente el nombre de uno de los dieciseis sectores en que sopla aquel. También, tanto en velocidad como en dirección, aparecen datos registrados como calmas.

El período de tiempo que hemos dispuesto para el estudio fue el comprendido entre los años 1976 y 1985, ambos inclusive.

Esta serie temporal de vientos la estudiamos de varias maneras. Primeramente tratamos lo que le sucede a cada uno de los años y al conjunto de los 10 años en lo que llamamos inicialmente "año total". Paralelamente vamos observando que el viento presenta unas características diferentes de unos meses a otros, por lo que tratamos cada mes, resultante de los 10 años.

4.2.- Estudio general del período 76-85.

Las representaciones gráficas que tenemos son las siguientes, para cada año, la serie temporal de velocidades y dirección, los histogramas de intensidades y direcciones y las rosas de vientos de 16 puntas. La

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

anchura de los intervalos de velocidad, es de 2 m/s, eligiéndose dicho valor para mantener la coherencia con la anchura que hemos escogido en el tratamiento de nuestra estación meteorológica. También, para cada uno de los años, estudiamos la distribución de velocidad del viento, con idéntica anchura de intervalo, así como el régimen escalar y los direccionales, en aquellas direcciones cuyo porcentaje sea significativo.

A partir de los datos anuales del periodo 76-85, hemos construido un año "total", para el que también representamos las series temporales de velocidad y dirección del viento, los histogramas de intensidad y de dirección, la rosa de vientos, así como la distribución de la velocidad, el régimen escalar y los regímenes direccionales en las direcciones N, NNE y NNW. Dicho año lo hemos construido de manera que resume toda la información referente a los 10 años. Así pues, el número de datos tratados es de 14612 y respecto de ellos existe un 14'84 % de calmas.

En el tratamiento que aplicamos a los datos del Instituto Nacional de Meteorología, hay que tener en cuenta que los que aparecen como calmas, tanto en intensidad como en dirección del viento, corresponden a velocidades inferiores a 1 km/hora (0'28 m/s). Es decir, que en los regímenes escalares y direccionales, no

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

tenemos en cuenta dichos valores por lo que estaremos tratando con velocidades mayores ó iguales a dicho mínimo y no coincidiendo los ceros. Aún así, la diferencia entre el tratamiento de los regímenes sin incluir las calmas e incluyendolas, bajo la hipótesis de que a cada dirección le asignamos un número de calmas inversamente proporcional a su velocidad media, sólo es significante en aquellas direcciones en que el número de calmas sea de un porcentaje importante (48).

Igualmente, en los histogramas (de intensidad y de direcciones) y en las curvas de distribución de la velocidad el porcentaje de calmas no figura representado, aunque sí se indica explícitamente su valor. Este hecho provoca un truncamiento en los regímenes y en las funciones de distribución que deberá tenerse en cuenta el compararlas con otros datos procedentes de otras fuentes de información.

En las gráficas que nos referimos, indicamos el porcentaje de calmas en el período representado

Pasamos a continuación a resumir lo que se ha analizado en este periodo de diez años de datos de vientos, de acuerdo con lo tratado en el capítulo teórico del presente trabajo.

Si observamos la serie temporal de la velocidad

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

del viento para los diez años, representada en la figura 4.2-1, se desprende a primera vista un comportamiento similar de la velocidad en el transcurso de los años. En estos gráficos de series temporales de velocidad, el eje horizontal representa el tiempo, expresado en día, mes y año y la hora de medición, mientras que en el eje vertical la escala de intensidades va desde los 0 m/s hasta los 25 m/s, representando en un centímetro la velocidad de 2'275 m/s.

La elección de esta escala de velocidades viene impuesta por el dimensionado del eje en los programas de dibujo con los que hemos trabajado.

Dado que en esta gráfica no podemos apreciar la distribución de las calmas a lo largo de los años, sí podremos hacerlo en las series temporales por año (figs. 4.2-2, ..., 4.2-11). En la tabla 4.2-1, presentamos de forma resumida las características y parámetros estadísticos, de las series anuales de intensidad del viento, en el período 1976-1985 que estamos estudiando.

En la columna que sigue a la del año tenemos indicado el número de datos anual (N), a continuación la velocidad media expresada en m/s. Las tres columnas siguientes corresponden a la desviación estandard, la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

curtosis y el coeficiente de asimetría de la serie temporal de velocidades. Finalmente, en las dos últimas columnas indicamos para cada año el porcentaje de calmas registrado respecto del número de datos N y la dirección del viento que incide con mayor frecuencia (viento reinante) así como su porcentaje.

AÑO	N	(m/s)	σ	Curtosis	Coef.Asimetría	Calmas (%)	Dir(%)
1976	1464	7'08	4'56	-0'88	-0'07	17'62	N(37'02)
1977	1460	7'41	4'86	-0'90	-0'02	17'19	N(48'70)
1978	1460	7'17	4'64	-0'94	-0'16	18'84	N(48'31)
1979	1460	7'46	4'33	-0'86	-0'23	14'11	NNE(39'52)
1980	1464	7'04	4'43	-0'93	-0'15	17'01	NNE(42'49)
1981	1460	6'86	4'12	-0'85	-0'09	13'22	NNE(40'68)
1982	1460	7'10	3'96	-0'83	-0'26	10'96	NNE(38'97)
1983	1460	6'37	3'89	-0'98	-0'22	15'55	NNE(38'42)
1984	1464	7'58	3'85	-0'61	-0'42	9'70	NNE(45'70)
1985	1460	6'54	4'04	-0'91	-0'06	14'18	NNE(39'93)

TABLA 4.2-1

De forma general podemos observar en dichas figuras, que las calmas aparecen justamente y con mucha mayor frecuencia en los meses de Enero, Febrero, Noviembre y Diciembre, y son prácticamente inapreciables en el periodo de Mayo a Agosto. Esta apreciación visual

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

la comentamos y posteriormente, detallamos presentando los resultados en la tabla 4.2-2 para cada uno de los doce meses, resumen de los 10 años de observaciones. En dicha tabla, en la columna que indicamos con N nos referimos al número de datos de intensidad que tiene el mes en el período de los diez años. Los tres valores que aparecen a continuación hacen referencia a la velocidad registrada en el período, en primer lugar la mayor de las registradas, la sigue la velocidad más pequeña y a continuación la velocidad media del conjunto de los diez años en el mes correspondiente. La sexta columna es la desviación estandard, y la séptima y octava los parámetros estadísticos curtosis y coeficiente de asimetría. En las dos últimas columnas tenemos la direción reinante en el mes y el porcentaje con el que se presenta, y el tanto por ciento de calmas en el mismo período.

Observamos asímismo, una variación en las velocidades medias mensuales registradas en los 10 años. En los meses en que la aparición de calmas es frecuente, las velocidades disminuyen frente a los valores que tienen en los meses con mucha menor frecuencia de calmas (fig. 4.2-12). Así por ejemplo, en el mes de Diciembre en que la velocidad media es la de valor inferior en el año total, el porcentaje de calmas que se presenta es el de mayor tanto por ciento (29'19).

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Lógicamente, este resultado que observamos en esta última gráfica influirá a la hora de representar los regímenes escalares del viento para cada uno de los meses resumen de la década 76-85. Es decir, que meses como Enero, Noviembre y Diciembre en que las calmas son considerablemente importantes, no tienen el mismo peso que el resto de los meses.

La serie temporal de la dirección del viento en los diez años de observaciones (fig. 4.2-13) indica una clara importancia de los sectores, N, NNE y NE. Ya en la tabla 4.2-1 veíamos que los vientos reinantes en la década están en la dirección del primer cuadrante. Este comportamiento, así como el hecho ya comentado de la aparición de las calmas y la poca variabilidad de la dirección en el periodo Mayo-Agosto son hechos que se observan con mucha mayor claridad en las gráficas correspondientes a la serie temporal de dirección, para cada uno de los años (figs. 4.2-14, ..., 4.2-23, inclusives).

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

MES	N	Velocidad (m/s)			σ	Curtosis	Coef. Asimetria	Direc. reinante (%)	Calmas (%)
		V mayor	V menor	V media					
Enero	1240	18'06	1'11	4'93	3'76	-0'54	0'31	N(25'16)	23'95
Febr.	1132	17'50	1'11	5'46	3'97	-0'93	0'09	N(27'74)	22'88
Marzo	1240	22'22	1'11	7'09	4'23	-0'66	-0'13	N(35'24)	14'36
Abril	1200	20'00	1'11	6'70	4'30	-0'82	-0'02	N(30'75)	15'92
Mayo	1240	20'00	1'11	6'41	3'86	-0'28	-0'31	N(41'45)	5'97
Junio	1200	18'06	2'83	9'01	3'82	-0'09	-0'68	NNE(46'25)	5'58
Julio	1240	18'61	2'78	10'86	3'02	1'40	-0'84	NNE(59'35)	1'37
Agosto	1240	19'44	1'11	10'24	3'36	1'31	-0'85	NNE(55'00)	3'07
Sept.	1200	18'89	2'28	7'53	3'64	-0'24	-0'49	NNE(44'42)	9'25
Oct.	1240	15'00	1'11	5'50	3'59	-0'91	-0'16	NNE(32'90)	18'87
Nov.	1200	16'11	1'11	4'51	3'61	-0'93	0'22	N(24'83)	28'33
Dic.	1240	18'06	0'56	4'25	3'57	-0'62	0'40	N(22'82)	29'19

TABLA 4.2-2

En la tabla 4.2-3 que tenemos a continuación se indica para cada año, los porcentajes de las dieciseis direcciones en que trabajamos en los datos de viento, calculados respecto del número total de datos anuales dados en la tabla 4.2-1 de este mismo apartado.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

AÑO	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW
1976	37'02	25'27	4'17	0'68	0'34	0'20	0'55	0'82	1'43	0'89	0'34	0'14	0'61	0'20	0'75	8'95
1977	46'70	19'59	2'60	0'89	1'58	0'34	0'68	1'30	1'92	0'69	0'48	0'14	0'07	0'14	0'75	2'74
1978	48'01	22'67	1'78	1'03	0'96	0'14	0'55	0'41	1'44	0'55	0'41	0'27	0'07	0'14	0'27	2'47
1979	30'07	39'52	6'85	2'62	0'41	0'34	0'27	0'48	1'99	2'33	3'41	0'14	0'55	0'21	0'21	1'51
1980	24'11	42'49	7'17	1'91	1'16	0'55	0'34	0'89	1'57	0'96	0'48	0'20	0'0	0'07	0'41	0'68
1981	27'19	40'68	7'53	2'12	1'03	0'41	0'55	0'89	1'92	1'30	0'34	0'62	0'48	0'0	0'41	1'30
1982	27'81	38'97	10'48	1'51	1'30	0'34	0'68	1'51	1'44	0'62	0'96	0'27	0'34	0'48	0'27	1'85
1983	19'25	36'42	13'77	1'30	1'92	0'75	1'16	1'23	1'51	1'10	1'10	0'62	0'41	0'14	0'41	1'16
1984	24'59	45'76	10'59	1'09	1'09	0'20	0'20	0'61	1'23	1'37	1'78	0'55	0'34	0'07	0'07	0'82
1985	15'96	39'93	8'56	2'19	0'96	0'48	0'07	1'51	1'78	1'23	0'68	0'0	0'27	0'14	0'41	1'64

TABLA 4.2-3

Atendiendo a los resultados obtenidos para cada uno de los meses (tratando los correspondientes a los diez años en conjunto) apreciamos una diferencia notable en la dirección del viento, y que resumimos a continuación. Durante los dos primeros meses del año la dirección reinante es la N seguida a continuación de la NNE, con una ligera diferencia en los porcentajes y ya con menor frecuencia la dirección NE; cada uno de estos dos meses tiene, aproximadamente, un 55 % de los vientos en estas tres direcciones, y los porcentajes de calma dados en la tabla 4.2-2, resultando que hay cerca de un 22 % de vientos en otras direcciones.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

En el mes de Marzo, van disminuyendo las calmas así como los vientos en otras direcciones diferentes a la reinante (dirección N, NNE y NE), teniendo solamente un 11 % en las otras direcciones, y aumentando hasta un 35'24 y 32'34 % en las direcciones N y NNE. Análogos resultados se presentan en Abril.

A partir del mes de Mayo y hasta Agosto, observamos que la dirección del viento presenta unas características muy marcadas y con clara diferencia de los meses anteriores y posteriores a los recientemente citados. En este periodo de tiempo, las calmas tal como se tienen en la tabla 4.2-2, disminuyen muchísimo y además, las direcciones N, NNE y NE aumentan considerablemente sus porcentajes, disminuyendo casi hasta desaparecer los vientos en las restantes direcciones. En el mes de Junio la dirección reinante pasa a ser la NNE manteniendose hasta Octubre, y volviendo a la dirección N en los dos últimos meses del año.

En Septiembre, desaparece el comportamiento anterior aunque se sigue teniendo una gran influencia de las mismas direcciones, pero empiezan a registrarse más calmas así como otras direcciones diferentes a las tres mayoritarias. Continua en Octubre aumentando considerablemente el porcentaje de calmas, así como la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

aparición de vientos en distintas direcciones, y ya en los últimos meses, Noviembre y Diciembre, en que la dirección reinante pasa a ser la N y aumentan las calmas con bastante frecuencia.

Resumimos los porcentajes anteriormente comentados en la tabla 4.2-4 de resultados. Para cada mes correspondiente a la serie de 10 años tratada conjuntamente, hemos representado las rosas de vientos para una mejor visualización de lo anterior (figs. 4.2-24, 4.2-25, ..., 4.2-35).

Mes (10 años)	N (%)	NNE (%)	NE (%)
Enero	25'16	20'89	7'26
Febrero	27'74	24'47	5'65
Marzo	35'24	32'34	6'29
Abril	30'75	28'42	9'58
Mayo	41'45	37'26	9'35
Junio	33'83	46'25	10'92
Julio	33'87	59'35	4'76
Agosto	35'16	55'00	4'84
Septiembre	32'67	44'92	9'17
Octubre	30'81	32'90	7'02
Noviembre	24'83	22'08	6'25
Diciembre	22'82	19'11	6'94

TABLA 4.2-4

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Los resultados que hemos obtenido y que acabamos de relatar, tanto en intensidad como en dirección de los vientos, coinciden con la climatología de la zona en que los vientos alisios, de mayor velocidad y soplando en dirección NNE hacen su aparición hacia el mes de Mayo siendo muy raros los vientos en otras direcciones ocurriendo esto hasta el mes de Agosto. Mientras, el resto del año aunque se mantiene la dirección Norte muy marcada, surgen vientos, con relativo porcentaje, en otras direcciones y siendo importantes las calmas registradas (23).

Seguidamente pasamos a la representación de los histogramas de la velocidad del viento considerando una anchura de intervalo de 2 m/s. y tal como se ha dicho, sin considerar las calmas en el primer intervalo representado, (figs. 4.2-36,..., 4.2-46). El primer histograma de estos corresponde a los diez años y los restantes a cada uno de ellos. Para esa misma anchura de intervalo y sin tener en cuenta el porcentaje de calmas en la representación, tenemos los gráficos de las distribuciones de la velocidad para el resumen de los diez años tratados (fig. 4.2-47) y para cada uno de ellos (figs. 4.2-48,...,4.2-57). Observándolos, hemos apreciado una diferencia en la forma que tiene la curva de distribución en el período de tiempo tratado.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Comentemos detenidamente las gráficas de la distribución de la velocidad del viento. En todas ellas (figs. 4.2-47,...,4.2-57) reprcscntamos con una línea de trazo contínuo la distribución escalar de la velocidad en el período que se indica en cada una de las figuras.

Las diez curvas de distribución de frecuencias presentan unas características comunes:

- Tienen una asimetría con sesgo negativo, es decir, que la distribución tiene la "cola" izquierda más larga que la derecha, respecto del máximo. Por tanto, la velocidad media anual será más pequeña que la moda. El coeficiente de sesgo de Pearson definido por la siguiente expresión:

$$\text{Sesgo (Pearson)} = \frac{\bar{V} - \text{moda}}{\sigma}$$

y aplicado a cada año, teniendo en cuenta que tomamos la moda como el valor central del intervalo de mayor frecuencia (9 m/s), resultan los valores siguientes:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Año	Sesgo (Pearson)
1976	-0'42
1977	-0'33
1978	-0'39
1979	-0'35
1980	-0'44
1981	-0'52
1982	-0'48
1983	-0'68
1984	-0'37
1985	-0'61

- Son distribuciones bimodales con un máximo centrado durante todos los años en 9 m/s y otro en el intervalo de 3 m/s en los años 1982, 1983 y 1985 y el resto de los años en el intervalo de 5 m/s.

Según los resultados de la tabla 4.2-3 para cada uno de los años, observamos que existen unas direcciones preferenciales que contienen un alto porcentaje de los datos totales. Esto nos indica claramente que el viento reinante (aquel en el que tenemos mayor frecuencia) con sus dos sectores próximos asociados, son la característica esencial en estas curvas de distribución de frecuencias, es decir son el régimen de vientos característico de la zona (alisio) con altas intensidades centradas en el intervalo de clase 9 m/s. Superpuesto a este régimen reinante, se suele presentar otro régimen secundario sin direcciones muy definidas,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

que denominamos "residual" y de baja intensidad, generalmente centrado en el intervalo de 3 m/s. La superposición de ambos regimenes produce una distribución de velocidades de claras características asimétricas con sesgo negativo. La rama negativa, cola izquierda, suele tener un máximo secundario (distribución bimodal) que es representativa del régimen reinante residual. Por el contrario, la rama positiva no experimenta ninguna variación apreciable, debido a la baja intensidad del régimen residual.

Estas conclusiones pueden comprobarse en las figuras 4.2-58 y 4.2-59, correspondientes a una media del mes de Enero, en el que los alisios son de escasa significación, y al mes de Julio donde son claramente significativos. En el primer caso se presenta una distribución bimodal, con el máximo (viento reinante) centrado en el intervalo de 5 m/s y el secundario en 9 m/s. Mientras que en Julio (mes típico de alisios) es una distribución prácticamente simétrica centrada en el intervalo de 11 m/s. Para el mes de Julio resulta lógico a la vista de la figura 4.2-59, que la curtosis sea positiva (distribución leptocúrtica), mientras que en Enero no debe ocurrir tal cosa. Si volvemos a la tabla 4.2-2, observamos que efecivamente ocurre así, por lo que la curva de frecuencias del mes de Agosto debe ser igualmente leptocúrtica y la del resto de los meses

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

platicúrticas de mayor ó menor manera. En esa misma tabla, el coeficiente de asimetría de Fisher es positivo en los dos primeros y los dos últimos meses del año y negativo en el resto. En el primer caso la velocidad media mensual es mayor que la moda de la distribución, y al contrario para los coeficientes negativos.

Con objeto de poder poner de manifiesto estas conclusiones, hemos representado en las figuras comprendidas entre la 4.2-47 y la 4.2-57, la curva de distribución de frecuencias de la velocidad escalar para el año total y para cada uno de los años del período que estudiamos. Por otra parte hemos representado las distribuciones de los regímenes direccionales reinantes y de sus asociados, la distribución suma de ellos y la distribución residual, como diferencia entre esta suma y el régimen escalar anual, con cierta asimetría y sesgo positivo. Esta representación pone en evidencia en forma determinante que el régimen reinante y sus asociados, presenta una distribución más simétrica y claramente con moda 9 m/s, mientras que la residual está centrada en el intervalo de 3 m/s.

Este procedimiento determina en forma clara y sencilla el desglose de las dos distribuciones y como consecuencia, poder individualizar los dos regímenes de vientos.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

En definitiva podemos decir que el régimen reinante con sus dos sectores asociados es:

(i) N - NNE - NE

(ii) NNW - N - NNE

siendo los sectores, NE en el primero y NNW en el segundo de poca trascendencia. Las de este último, suelen ser distribuciones de tipo platicúrticas y por tanto de insegura definición de su moda.

Por consiguiente podríamos resumir los dos regímenes en uno centrado en las direcciones principales N - NNE, es decir el sector comprendido entre los 348'75° y los 33'75° (donde hemos considerado el N centrado en los 0°).

Resumimos en la tabla 4.2-5, que presentamos a continuación los porcentajes anuales de la direccion reinante, así como sus asociadas y de la distribución residual.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

AÑO	NNW (%)	N (%)	NNE (%)	NE (%)	Residual (%)
1976	8'95	37'02	25'27		11'14
1977		48'70	19'59		14'52
1978		48'01	22'67		20'48
1979		30'07	39'52	6'85	9'45
1980		24'11	42'49	7'17	9'22
1981		27'19	40'68	7'53	11'38
1982		27'81	38'97	10'48	11'78
1983		19'25	38'42	13'77	13'01
1984		24'59	45'70	10'59	9'42
1985		25'96	39'93	8'56	11'37
Año Total		31'27	35'33	7'35	11'21

TABLA 4.2-5

Las direcciones preferenciales se representan (figs. 4.2-47,...,4.2-57) con lineas de trazo discontinuo separados por distintas marcas según la dirección que se trate y aparecen en cada una de las gráficas. Igualmente se ha representado la distribución de velocidades correspondiente a la distribución suma de las direcciones mayoritarias de las que hemos hablado. Observamos que para todos los años esta última distribución se aproxima bastante a la distribución total escalar del año. Si además consideramos los porcentajes anuales de calmas, dados en la tabla 4.2-1, resultará como diferencia una distribución residual para cada año representada a la derecha de cada figura, por otra gráfica de distribución de la velocidad. Es decir, que la distribución escalar total, con un modo en 9 m/s en algunos años y otros con dos máximos, en 3 ó 5 m/s y

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

en 9 m/s, parece ser la resultante de dos distribuciones de velocidad. Una, que corresponde a las direcciones con porcentajes considerablemente altos que tienen siempre un máximo en la moda (9 m/s) y otra distribución escalar que hemos llamado residual que contiene la información del resto de las direcciones y con porcentajes que oscilan entre un 9'22 % para 1980 y un 14'52 % en el 77, y con la máxima frecuencia en la velocidad de 3 m/s.

Lo anteriormente expuesto se puede justificar atendiendo a la importancia que tienen, en el transcurso del año, los vientos de procedencia del Norte que son generalmente de intensidad alta y estos se combinan con vientos mucho más débiles procedentes de otras direcciones, destacandose entre ellos los vientos de sectores del Sur y Sureste, que soplan con menor frecuencia a lo largo del año.

Hemos escogido un año, 1982, para ajustar la curva para la variable tipificada, tanto para la distribución escalar anual, como para la distribución escalar de las direcciones principales y la distribución que hemos llamado residual (fig. 4.2-60). En la primera, desaparecen los dos máximos que existían (en 3 m/s y 9 m/s) pasando a ser 7 m/s al tipificarse. La distribución de velocidades de las direcciones principales, suaviza

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

mucho su aspecto manteniendose el máximo en 9 m/s. Y por último, la distribución residual, que al tipificarse mueve su máximo hacia la derecha (5 m/s).

Para contrastar lo anteriormente expuesto hemos representado la curva de distribución de la velocidad para los meses del año que hemos llamado "año total". Hemos escogido los meses de Enero y Julio porque en Canarias son dos meses que desde el punto de vista meteorológico son diferentes. El mes de Julio se caracteriza por estar las islas bajo la fuerte influencia de los alisios, mientras que en Enero no ocurre esto.

Observando las figuras 4.2-58 y 4.2-59, vemos rápidamente tal comportamiento. Mientras en Julio la distribución de velocidad conjunta de las direcciones N, NNE y NE, que representa un 97'98 %, se confunde prácticamente con la distribución total del mes, resultando por tanto para la distribución residual (otras direcciones) un 0'65 % de los datos, en el mes de Enero la distribución total es bimodal y además, considerando las distribuciones con mayor frecuencia, sólo alcanzamos el 57'99 % de los datos. Si a este añadimos las calmas mensuales, resulta que la distribución de velocidades residual llega a ser del 18'06 % lo que indica una cierta importancia del resto

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

de las direcciones. Tanto la distribución de velocidades de las direcciones principales y de las residuales, son bimodales. La primera, los picos están situados en los 5 y 9 m/sg., al igual que en la distribución mensual, y en la residual están en 3 y 9 m/sg.

Dada la forma característica de la curva representada en la figura 4.2-59, tipificamos la variable resultando una distribución que aparentemente es normal, pero que al aplicar el test x^2 no cumple con las condiciones de normalidad.

En la figura 4.2-61 se resume en un gráfico de histograma de dirección del viento, lo que ocurre en el conjunto de los años trabajados, y en otras, (fig. 4.2-62,..., 4.2-71, inclusives) el histograma correspondiente a cada uno de los diez años. Aquí también observamos una pequeña diferencia en el transcurso del periodo estudiado, y que comentamos a continuación. En los tres primeros años, la dirección reinante era la N, siguiendola en porcentaje la NNE y como tercera dirección la NNW, mientras que a partir de 1979 pasa a ser dirección reinante la NNE seguida de la N y a continuación la NE disminuyendo bastante la frecuencia en dirección NNW.

En las rosas de vientos de 16 sectores que hemos

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

representado, para el resumen de todos los años (fig. 4.2-72), así como para cada uno de ellos (figs. 4.2-73 a la 4.2-82) observamos claramente lo anteriormente expuesto.

Estas diferencias, tanto en los histogramas de intensidad como en los de dirección para cada año, nos hacen pensar, tal como ha ocurrido, que los sensores del Instituto Nacional de Meteorología en el Aeropuerto de Gando cambiaron de emplazamiento, con lo que se tiene una pequeña variación en las distribuciones debido al cambio en la orografía de los alrededores.

Para finalizar analizamos y resumimos los resultados obtenidos en el estudio de los regímenes escalares y direccionales del viento.

Los regímenes escalares anuales los tenemos en las figuras desde la 4.2-83 a la 4.2-92. Los mejores resultados para el ajuste los tenemos con la distribución normal, habiendose probado con la exponencial y la logarítmica. La recta ajustada a los puntos del régimen está representada considerando que debe pasar por los tres puntos siguientes. El primero que corresponde a una probabilidad del 50 % y se le asocia una ordenada equivalente a la velocidad media anual. El segundo y tercer punto tienen como abcisas el

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

16 % y el 84 % y como ordenadas la velocidad media más la desviación y menos la desviación, respectivamente. En general observamos que las mayores dispersiones para esta recta se presentan para velocidades altas.

El coeficiente de correlación (r) y el error típico de la estima (S_{yx}) para cada régimen escalar anual los tenemos en la tabla 4.2-6.

AÑO	r	S_{yx}
1976	-0'9772	1'0965
1977	-0'9835	0'9342
1978	-0'9427	2'1094
1979	-0'9765	1'1136
1980	-0'9752	1'1439
1981	-0'9847	0'7977
1982	-0'9799	0'9139
1983	-0'9884	0'6067
1984	-0'9813	0'8824
1985	-0'9818	0'8693

TABLA 4.2-6

Para las observaciones del Instituto Nacional de Meteorología y respecto a los regímenes direccionales, únicamente hemos representado aquellas direcciones en que el porcentaje de datos es considerable, como por ejemplo la N y la NNE.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Referente a la dirección Norte (N), a excepción de un año, los regímenes direccionales en esta dirección presentan un aspecto muy bueno, con prácticamente ninguna dispersión de los puntos respecto de la recta de ajuste (figs.4.2-93,..., 4.2-102, inclusives). Los coeficientes de correlación y el error típico de la estima para el régimen direccional N ajustado en cada año los tenemos en la tabla 4.2-7.

AÑO	r	S_{yx}
1976	-0'9737	1'1766
1977	-0'9855	0'8749
1978	-0'9481	2'0104
1979	-0'9861	0'7616
1980	-0'9766	0'9859
1981	-0'9662	1'1806
1982	-0'9856	0'6762
1983	-0'9932	0'3987
1984	-0'9794	0'8078
1985	-0'9850	0'6905

TABLA 4.2-7

Prácticamente se tienen resultados similares para el régimen direccional NNE, en el que representamos en las figuras comprendidas entre la 4.2-103 y la 4.2-112

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

los correspondientes a cada uno de los años de estudio.

En la tabla 4.2-8, tenemos para esta dirección NNE los valores obtenidos para el coeficiente de correlación y el error típico de la estima, de las rectas que representan al régimen normal.

AÑO	R	S_{yx}
1976	-0'9776	1'0858
1977	-0'9708	1'2397
1978	-0'9791	0'9320
1979	-0'9760	0'9988
1980	-0'9722	1'2091
1981	-0'9743	1'0320
1982	-0'9663	1'1800
1983	-0'9728	0'9258
1984	-0'9648	1'2056
1985	-0'9786	0'9436

TABLA 4.2-8

Finalizamos el estudio de los datos del Instituto Nacional de Meteorología, con los gráficos construidos para el conjunto de los diez años.

El régimen escalar (fig. 4.2-113) en la zona de velocidades pequeñas, debido a que no se consideran las calmas, se aleja ligeramente de la recta de ajuste del

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

régimen, pero para el resto de velocidades se ajustan muy bien. Para este conjunto de los 10 años, representamos mensualmente los regímenes escalares, (figs. 4.2-114 a la 4.2-125) que presentan en general ajustes buenos excepción de las velocidades bajas en meses tales como Julio. Los regímenes direccionales que presentamos (figs. 4.2-126 y 4.2-127) respectivamente en las direcciones N y NNE, que son las de mayor frecuencia en el periodo de los 10 años de tratamiento, tienen ajustes relativamente buenos tal como se observa.

Para terminar ya con este apartado presentamos en la tabla 4.2-9 los valores del coeficiente de correlación y del error típico para los regímenes escalar y direccionales (N y NNE) para el conjunto de los diez años. Y en la tabla 4.2-10, los correspondientes a los regímenes escalares de los meses obtenidos de la década completa.

	r	S_{yx}
R. escalar (10 años)	-0'9337	2'2637
R. dir. (N) (10 años)	-0'9321	2'2900
R. dir. (NNE) (10 años)	-0'9681	1'2939

TABLA 4.2-9

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Mes	r	S_{yx}
Enero	-0'9304	1'8924
Febrero	-0'9678	1'1539
Marzo	-0'9295	2'3322
Abril	-0'9686	1'2837
Mayo	-0'9750	1'1481
Junio	-0'9721	1'2105
Julio	-0'9613	1'4228
Agosto	-0'9641	1'3710
Septiembre	-0'9566	1'5054
Octubre	-0'9800	0'7965
Noviembre	-0'9491	1'4430
Diciembre	-0'9196	2'0283

TABLA 4.2-10

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 5: TRATAMIENTO DE DATOS DE TALIARTE.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

5.1.- Meteorología.

Tratamos a continuación los resultados obtenidos con la estación meteorológica (Aanderaa, número de serie 1044) instalada en Taliarte (Gran Canaria) y de cuyas características ya hemos hablado en un capítulo anterior.

El periodo en que ha estado instalado el aparato es desde el día 13 de Enero de 1987 hasta el 27 de Diciembre, es decir prácticamente durante todo el año. Por los problemas ya comentados, en determinadas épocas la grabación de datos sufrió algunas alteraciones debido a fallos en el funcionamiento del equipo: por esto en meses tales como Agosto, en el que sólo existen datos de los primeros siete días, los resultados pueden diferir ligeramente a los que se tendrían si el registro no se hubiese detenido, aunque es de esperar que no esencialmente.

El estudio de todas las variables obtenidas lo vamos a desarrollar por meses y no por cintas grabadas, teniendo en cuenta que en algunos casos el mes no está completo, bien porque en el intervalo de cambio de la cinta transcurrieron unos días en que estuvo parada la estación o por problemas de mal funcionamiento del aparato.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

La velocidad de muestreo para la grabación de datos fue siempre de treinta minutos, a excepción de las cintas E110787 y E310887 (según la nomenclatura empleada) en que variamos el intervalo a diez minutos, y tambien la E090987 en que se pasó a sesenta minutos por los motivos ya explicados.

Todo el tratamiento que hemos desarrollado lo hemos hecho para datos registrados cada treinta minutos. En las dos cintas en que el periodo es inferior (10 min.) hemos procedido a calcular los valores medios de cada tres datos para todas las variables, a excepción de la dirección del viento, por lo que el número de datos tratados será N/3, siendo N el número de datos totales que existen en la cinta. En cuanto a la dirección, dado que esta variable se registra en el instante prefijado por el reloj interno del aparato, lo que hacemos es seleccionar el valor correspondiente que se tiene en el instante deseado, por lo qe son valores reales y no promediados. Para la otra cinta que no se grabó a treinta minutos, E090987, hemos trabajado con los datos tal como se registraron (60 min.), sin ningún tipo de promedio.

Las variables atmosféricas registradas con la estación meteorológica son velocidad máxima y media del viento durante el tiempo de muestreo, así como su

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

dirección (referida al Norte magnético) en el instante de grabación. También se registran valores medios de temperatura y de la presión atmosférica, en el intervalo de tiempo entre dos medidas sucesivas.

Dado que según acabamos de comentar la dirección está referida al Norte magnético, hemos tenido en cuenta en el tratamiento de estos valores la declinación magnética en las Islas Canarias y que es de nueve grados apróximadamente. Es decir que estamos refiriendo nuestros datos al Norte geográfico.

Analizamos primeramente los resultados de intensidad (máxima y media) y dirección del viento para pasar a continuación a la temperatura y a la presión atmosférica. Finalizaremos este apartado con el estudio comparativo entre los datos de viento del Instituto Nacional de Meteorología, cuyo tratamiento ya hemos visto en el capítulo anterior, y los datos obtenidos con nuestra estación.

Ya hemos dado anteriormente las características técnicas de los sensores de la estación meteorológica, por lo que únicamente indicamos referente a la intensidad y dirección del viento, lo relacionado con las calmas. En el tratamiento de la serie de datos del Observatorio de Gando se consideraban las calmas como

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

los valores de velocidad inferiores a 1 km/hora (0'278 m/s). Atendiendo a esto, para la serie temporal registrada con nuestra estación meteorológica los valores que se tienen de calmas son escasos: en el mes de Febrero (siete datos), en Junio (tres datos), y en Septiembre (un dato) para la velocidad media, mientras que para la máxima no hay ninguno. Por tanto, como el porcentaje es tan pequeño los hemos incluidos en el tratamiento no influyendo prácticamente en los resultados obtenidos.

En las gráficas que vamos a comentar a continuación aparece una etiqueta que nos indicará en primer lugar el tipo de aparato del que se representan los datos, seguido del nombre del emplazamiento y que en el presente trabajo hemos comentado que es Taliarte. A continuación viene indicado el código de la cinta o fichero que se trata y el número de datos que contiene. En la tercera línea se indica el periodo de tiempo que se representa y el número de datos representados.

En las figuras comprendidas entre la 5.1-1 y la 5.1-16, representamos las series temporales de la velocidad máxima para los doce meses de 1987 en que estuvo instalada la estación. Téngase en cuenta que el número de gráficas es mayor que el número de meses, puesto que en algunas ocasiones el cambio de cinta se

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

hizo a mediados del mes, representandose éste en dos series.

Del estudio de las figuras, junto con los datos expresados en la tabla 5.1-1 deducimos el comportamiento de la velocidad máxima del viento que medimos en m/s. En principio, observamos en la gráfica 5.1-7 unos picos bastante acentuados respecto de las intensidades en las horas cercanas. Igualmente, en otras figuras como las 5.1-12 y 5.1-13, los máximos que se tienen son demasiado altos comparados con los registrados de antes y después. Por tanto podríamos considerar que dichos valores son registros erróneos del aparato. También en el mes de Noviembre (fig. 5.1-15) aparecen unos picos, algunos de ellos saltos bruscos, que nos hacen pensar en una posible anomalía en el sistema de registro. Como el número de posibles datos erróneos es muy bajo, los podemos eliminar sin ningún problema, ya que su porcentaje sobre los totales no es significativo.

En los meses desde Junio hasta Agosto, inclusives, observamos de la tabla 5.1-1 que el valor medio mensual de la velocidad máxima, así como la velocidad media, ha aumentado considerablemente respecto del resto del año. Este resultado coincide con lo que conocemos para el entorno en que nos encontramos, con fuerte inestabilidad atmosférica y alta turbulencia, como es la aparición y

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

posterior dominio de los alisios.

FECHA	Vmáx (mín.)	Vmáx (media)	Vmáx (máx.)	Vmedia (mín.)	Vmedia (media)	Vmedia (máx.)
Ene. (13-31)	1'1936	8'5347	20'8850	0'2984	6'1441	15'7406
Febr. (1-28)	0'5968	8'6534	17'3072	0'0746	6'4207	13'2042
Marzo (1-31)	0'8952	8'1332	18'2024	0'2984	5'9519	13'4280
Abril (2-30)	1'1936	9'5758	19'3960	0'2984	7'2768	15'3676
Mayo (1-31)	0'8952	8'9391	18'5038	0'3730	6'8680	13'4280
Junio (1-14)	0'5968	11'4594	19'6944	0'1492	8'5582	14'2486
Jun. (25-30)	10'1456	14'5462	23'0496	7'5346	11'1752	22'8276
Julio (1-9)	6'5648	12'1350	17'0088	5'6792	9'3711	13'2789
Jul. (11-31)	4'7744	12'7237	19'0928	3'4067	10'0339	15'8401
Agost. (1-7)	7'1616	13'2537	17'4087	5'0231	9'7279	15'0443
Sept. (1-9)	0'9952	9'2229	17'3072	0'2487	7'0985	13'7761
Sept. (9-30)	1'1936	8'9809	26'2592	0'3730	6'4284	21'3356
Oct. (1-23)	1'4920	8'5624	26'6322	0'3730	6'2440	17'9040
Oct. (23-31)	2'0388	6'8401	17'0088	0'7460	4'8415	12'6074
Novb. (1-30)	1'4920	8'4087	24'9910	0'3730	6'2397	19'8436
Dicb. (1-27)	1'1936	7'6039	21'4848	0'2984	5'1737	15'3676

TABLA 5.1-1

Analizamos a continuación las series temporales de la velocidad media del viento (fig. 5.1-17,..., 5.1-32).

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Observamos en el periodo del 25 al 30 de Junio (fig. 5.1-23) unos picos muy acentuados que se observaron también en la serie de la intensidad máxima del viento, exactamente en el mismo tiempo, y que tal como se dijo probablemente corresponda a un error en la medición. Otros posibles errores que se enunciaron para la velocidad máxima, aparecen en la velocidad media, como por ejemplo los picos de las gráficas 5.1-28, 5.1-29 y 5.1-31. Los valores numéricos de la tabla 5.1-1, nos muestran en cuanto a los valores de medias mensuales de la velocidad media del viento, el aumento a partir de Junio y hasta el mes de Agosto de dicha magnitud, para tener a partir de ese mes unas velocidades medias mensuales más pequeñas. Asímismo observamos que los registros mínimos de la velocidad media son superiores en el periodo Junio-Agosto que en el resto, en que se encuentran con más frecuencia valores inferiores.

Relacionado con la velocidad máxima y con la media introducimos a continuación el factor ráfaga para nuestra serie de datos.

Definimos el factor ráfaga como la relación que existe entre la velocidad máxima y la velocidad media del viento en un determinado intervalo de tiempo (49).

En lo referente a la duración del periodo temporal para promediar la velocidad del viento, no

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

existe unanimidad en cuanto a prefijar dicho valor. Por tanto, dado que además nuestros datos están registrados a diferentes intervalos de tiempo (10, 30 y 60 minutos, según la cinta de grabación) hemos calculado el factor ráfaga medio para todos los meses del año 1987, siendo los valores obtenidos los que presentamos a continuación, indicando el tiempo sobre el que se ha obtenido la velocidad media.

MES	FACTOR RAFAGA
Enero (30 min.)	1'57
Febrero (30 min.)	1'47
Marzo (30 min.)	1'48
Abril (30 min.)	1'42
Mayo (30 min.)	1'37
Junio (30 min.)	1'37
Julio (10 min.)	1'27
Agosto (10 min.)	1'27
Septbr. (60 min.)	1'53
Octubre (60 min.)	1'47
Novbre. (30 min.)	1'45
Dicbre. (30 min.)	1'60

La serie temporal de dirección del viento está representada en las figuras que van desde la 5.1-33 hasta la 5.1-48. Observandolas atentamente vemos un comportamiento diferente en el periodo Junio-Agosto que en el resto del año.

En general, las direcciones que se presentan a lo

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

largo de todo el año son la N, NNW, y menos frecuentemente la NNE. En los meses comprendidos entre Enero y Abril, inclusives, surgen con relativa frecuencia vientos del segundo cuadrante (de procedencia africana). En Mayo, la aparición de estos es menor y ya a partir de Junio hasta Agosto, desaparecen por completo, para volverse a registrar con cierta frecuencia desde Septiembre hasta finales de año.

La representación que hemos adoptado permite determinar con cierta comodidad la persistencia del viento (50), es decir el tiempo durante el cual el viento sopla constantemente en un sector determinado. Este concepto fundamental en Oceanografía puede ser determinado a partir de estas representaciones de forma muy cómoda. Como ejemplo de lo anteriormente dicho exponemos en la tabla 5.1-2, la persistencia máxima expresada en horas y su correspondiente bisector.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

MES	PERSISTENCIA	BISECTOR
Enero	43	NNW-N
Febrero	53	N-NNE
Marzo	43	N-NNE
Abril	66	NNW-N
Mayo	102	NNW-N
Junio	196	NNW-N
Julio	195	NNW-N
Agosto	86	NNW-N
Septiembre	80	NNW-N
Octubre	57	N-NNE
Noviembre	60	NNW-N
Diciembre	37	NNW-N

TABLA 5.1-2

Si estudiamos conjuntamente las series temporales de velocidad media y dirección del viento, entendemos más claramente su comportamiento.

En general, cuando los vientos que soplan son los reinantes (provenientes del Norte) las velocidades medias registradas nos indican que son aproximadamente del orden de los 6-8 m/s, y cuando el viento es del segundo cuadrante, su intensidad disminuye, siendo vientos débiles de velocidades del orden de 2-3 m/s. En

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

el periodo Junio-Agosto, la época en que soplan los alisios como hemos dicho ya, los vientos aumentan su velocidad, teniendose como valor medio aproximado entre 9 y 11 m/s.

Continuemos con las series temporales de la temperatura (fig. 5.1-49,...,5.1-64). Hay que indicar que en la cinta E110787, los canales de temperatura y presión fallaron antes que los que registran la velocidad y dirección del viento, por lo que el registro de esas variables finaliza el día 4 de Agosto. Resumimos en la tabla 5.1-3 los valores máximos, mínimos y medios de la temperatura y la presión, para cada uno de los meses del estudio. Estos se han representado gráficamente en la figura 5.1-65. Observamos un comportamiento similar para las series de temperatura mínima mensual y media mensual a lo largo del año de muestreo. Los primeros meses del año se caracterizan por una temperatura muy similar, a partir de Abril aumenta gradualmente hasta el mes de Septiembre en que se registran los valores superiores de las temperaturas mínima y medias mensuales y posteriormente continua con una lenta disminución. En cambio, la temperatura máxima mensual se comporta de manera diferente. En el transcurso del año presenta unos altibajos más acusados en unos meses que en otros, así el registro de Septiembre tiene un valor muy elevado, igual que el

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

correspondiente a Marzo, que es una temperatura calurosa para el mes citado. Este puede deberse según observamos en la figura 5.1-35 de la serie temporal de dirección del viento en Marzo, que corresponde con la penetración de aire africano (más cálido) en las Islas.

La temperatura mínima registrada en el año corresponde al mes de Diciembre (13'49° C) y la máxima es en Septiembre (35'06° C), lo que resulta una oscilación extrema de 21'57° C. En cuanto a la temperatura media del mes más cálido (Septiembre) con 22.99° C y la del mes más frío (Febrero) con 17'55° C, dan una oscilación entre ambos de 5'44° C. En cuanto a la oscilación media diurna es generalmente menor en los meses de invierno que en los de verano, tal como observamos en las correspondientes gráficas.

En resumen podemos decir que el clima en la zona de Taliarte y durante el año 1987, corresponde a un invierno templado, con unas temperaturas mínimas moderadas y unas máximas suaves; los veranos son más calurosos, con valores altos, aunque no frecuentes,como máximos y los mínimos ligeramente suaves. En esta estación se suelen registrar valores altos de temperatura por las noches.

Las series temporales de la presión atmosférica,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

expresada en milibares, para los meses en que se registraron datos las tenemos desde la figura 5.1-66 hasta la 5.1-81. Al igual que hicimos en la temperatura, representamos en la figura 5.1-82 las series correspondientes a la presión mínima, media y máxima, por meses, para el año de muestreo. La variabilidad de la presión atmosférica en el transcurso del año es pequeña, por ejemplo para la presión media mensual la diferencia entre el menor valor (Septiembre) y el máximo (Febrero) es de aproximadamente de 9 mb.

En general, observamos que es en invierno cuando tenemos las presiones más altas, coincidiendo con la presencia en la zona del anticiclón de Azores, tal como comentamos anteriomente. Tambien en esta época se registran las presiones mínimas absolutas, debidas a las borrascas que desde el Atlántico Norte llegan a Canarias.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

FECHA	T min. (ºC)	T media (ºC)	T máx. (ºC)	P min. (mb)	P media (mb)	P máx. (mb)
Ene. (13-31)	15'1814	18'0178	21'5245	994'5425	1003'9557	1013'4509
Febr. (1-28)	13'7732	17'5528	25'0644	1001'1805	1009'5414	1016'0659
Mara. (1-31)	15'4636	18'7444	28'0505	992'9332	1005'1156	1015'2613
Abril (2-30)	16'1227	18'5813	24'1050	996'1517	1004'4497	1012'2440
Mayo (1-31)	17'0658	19'3271	22'7652	998'3644	1004'6446	1011'8417
Junio (1-14)	18'3895	20'9227	24'3926	999'5713	1004'8270	1009'6290
Jun. (25-30)	19'3373	20'4154	21'3339	1001'3817	1005'5772	1008'6232
Julio (1-9)	19'3373	22'7610	22'1922	1003'9794	1004'0911	1007'6174
Jul. (11-31)	19'8752	21'2073	24'3607	999'0962	1002'9195	1006'6118
Agosto (1-4)	20'5406	21'3300	22'7015	998'9678	1004'2502	1006'8129
Sept. (1-9)	19'7170	22'9930	35'0573	998'1633	1003'1672	1006'2764
Sept. (9-30)	19'8119	22'3599	33'4916	994'7436	1000'9453	1006'8129
Oct. (1-23)	18'1056	21'6083	25'2564	999'5713	1004'0423	1011'4394
Oct. (28-31)	17'5381	20'5164	23'9134	999'9736	1005'7807	1008'8244
Novb. (1-30)	16'7827	20'4500	25'8332	990'3182	1004'6933	1013'6521
Dicb. (1-27)	13'4920	18'7164	24'2009	991'9274	1003'3463	1010'8359

TABLA 5.1-3

Pasamos a continuación a comentar los resultados obtenidos desde la figura 5.1-83, hasta la 5.1-97, correspondientes a histogramas de la velocidad media, con una anchura de intervalo de 2 m/s.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Durante los tres primeros meses del año y en los tres últimos, la distribución de velocidades es muy similar. En general, observamos que el máximo del histograma corresponde a velocidades pequeñas del viento, comprendidas entre 2 y 4 m/s, teniendose un porcentaje considerable en el primer intervalo (0-2 m/s). A partir de los 4 m/s, los intervalos son de menor frecuencia, únicamente en Febrero y Marzo, se tiene un segundo pico en el histograma para velocidades superiores (intervalo 8-10 m/s). Este puede deberse a la influencia de vientos alisios, de velocidad mayor según comentabamos, que empiezan desde esas fechas a dejarse notar.

Ya desde Abril hasta Septiembre, los histogramas presentan un aspecto diferente a los obtenidos en otros meses y recién descritos. El intervalo con mayor frecuencia corresponde ahora a velocidades superiores, normalmente se situa entre los 8-10 m/s, e incluso en el mes de Julio (periodo del 11 al 31) está en el siguiente intervalo (10-12 m/s). Observamos en estos meses, como el número de datos de intensidad inferior a 2 m/s, va disminuyendo, teniendose en Julio que no se registran valores en ese intervalo.

Los histogramas correspondientes a la velocidad máxima del viento se representan desde la figura número

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

5.1-98 hasta la 5.1-112. La anchura de los intervalos es la misma que en los histogramas de velocidad media. El comportamiento mensual de la intensidad máxima es análogo al descrito para la media: un periodo en el que el máximo se encuentra en los primeros intervalos, concretamente en el de 4-6 m/s, y otra época (Abril-Septiembre) en el que el pico del histograma se ha trasladado a la derecha, en valores de 10-12 ó 12-14 m/s.

Para la dirección representamos los histogramas (figs. 5.1-113,...,5.1-127), considerandose 16 sectores cada uno con una anchura de 22'5°. En éstos vemos más claramente los comentarios que hicimos en las series temporales de dirección.

Los periodos de Enero, Febrero, Marzo y Abril (figs. 5.1-113, 5.1-114, 5.1-115 y 5.1-116, respectivamente) se caracterizan porque existen más direcciones en que sople el viento con porcentaje considerable, que en los meses siguientes.

En el mes de Enero (fig. 5.1-113), la dirección N es la reinante, seguida de la dirección NNW y la SSW es la dominante. En este periodo existen vientos procedentes de otras direcciones con frecuencias bastante considerables como son la S (14'64 %), la SSW con un 11'49 % y con un 11'26 % la dirección NW. Ya con

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

menor frecuencia se tienen vientos en el resto de las direcciones.

En Febrero (fig. 5.1-114) el viento de dirección N ha aumentado considerablemente, y la dirección NNE también. La dirección reinante y la dominante coinciden con la N. Se mantiene con una frecuencia de 15'70 % la NNW, mientras que disminuyen los vientos procedentes del S y del SSW.

Durante el mes de Marzo (fig. 5.1-115) la direccion reinante sigue siendo la N y la dominante es del NNE. En conjunto el histograma de direcciones es similar al del mes anterior, únicamente se incrementan ligeramente los vientos con componente E, NE, ENE y E.

En Abril (fig.5.1-116), los vientos reinantes y dominantes coinciden con las direcciones del mes anterior. En general, el histograma recuerda al de Marzo, aunque ahora los vientos provenientes del N han aumentado su porcentaje de aparición y también, aunque de manera menos evidente, ocurre lo mismo en el sector S.

En la figura 5.1-117 del mes de Mayo, observamos que el viento reinante es del N, sector en el que coincide la dirección dominante. Respecto de los meses anteriores se produce un aumento de cerca de un 6 % en

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

la frecuencia de datos observados en la dirección N y en la NNE el incremento es de casi un 5 %. Estas variaciones se justifican con la disminución en los porcentajes registrados en el resto de las direcciones, para el mes de Mayo frente al de Abril, desapareciendo casi por completo direcciones tales como las S, SSW y SW entre otras.

Los datos correspondientes al mes de Junio, para los días comprendidos entre el primero y el 14, y entre el 25 y el 30, tratados en el histograma de dirección se representan en la figura 5.1-118. La direccion reinante es la N y la dominante la NNW. Teniendo en cuenta la carencia de datos entre ambos periodos del mes, aún se sigue manteniendo el gran porcentaje de la dirección N. En cambio la dirección NNW aumenta bastante considerablemente el número de registros, mientras que la NNE disminuye en casi un 13 % su frecuencia de observaciones. Es decir, parece que en Junio se produce un ligero cambio en la dirección del viento respecto de los meses anteriores: seguimos con la dirección N como reinante pero influyen considerablemente los vientos que proceden del NNW.

Para el mes de Julio representamos los histogramas de dirección en dos gráficos. El primero (fig. 5.1-119) es el correspondiente a los nueve primeros días en el

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

que la cinta de grabación es la E250687 y 30 minutos es el intervalo de muestreo. El otro periodo (11-31 de Julio) corresponde a la cinta E110787, en el que la velocidad de grabación de los datos es de 10 minutos y el gráfico correspondiente a estas fechas es el 5.1-120, pero en el que se han representado los valores de la dirección cada media hora. El aumento que se produce en el porcentaje de la dirección N es bastante notable, llegandose a un 67'41 % . La dirección NNW disminuye a un 26'13 % su frecuencia mensual. El resto de las direcciones tambien disminuyen sus porcentajes, teniendose incluso que en direcciones que anteriormente se registraban, en el mes de Julio han disminuido por completo. Sólo se tienen vientos del N, NNE, NW y NNW, al igual que en los meses pasados la N es la dirección reinante y la dominante, la NNW.

Para el mes de Agosto sólo se registraron datos de velocidades y direcciones en los siete primeros días. El histograma de direcciones para este periodo es el que tenemos en la figura 5.1-121. En estos siete días la dirección reinante sigue siendo la N y la dominante coincide con ésta. Aún a pesar de los pocos datos registrados en este periodo frente a los otros meses el histograma nos indica un comportamiento muy similar del viento al de los meses pasados: una presencia muy

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

importante de las direcciones N y NNW, y prácticamente nula en el resto.

Los histogramas de dirección del mes de Septiembre se tienen en las figuras 5.1-122 y 5.1-123. La primera corresponde a los nueve primeros días del mes en que la velocidad de grabación de la cinta es de 10 minutos, aunque los datos se han tratado cada 30. La otra gráfica representa el histograma para el resto del mes,y se han tratado a la misma velocidad en que se tomaron (60 minutos). El sector N es donde tenemos en Septiembre el viento reinante y el dominante. La distribución de direcciones que observamos en ambas figuras, nos indica que se produce una disminución del porcentaje en las direcciones N y NNW, si comparamos con los meses de verano, además vuelven a registrarse con cierta frecuencia vientos de otros sectores. Es decir que tenemos un comportamiento similar al del periodo Enero-Abril.

En las figuras 5.1-124 y 5.1-125 representamos los histogramas para el mes de Octubre. En la primera tenemos los valores registrados cada 60 minutos, entre el 1 y el 23, mientras que en la segunda corresponde a los cuatro últimos días siendo la velocidad de grabación, nuevamente de 30 minutos. El viento procedente del N se sigue manteniendo como viento

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

reinante y tambien como dominante durante todo el mes. La frecuencia del N ha disminuido, aumentando bastante el porcentaje en la dirección NNE y en otras. Si hasta ahora hemos encontrado cierta similitud en los histogramas que hemos comentado, no ocurre lo mismo con el de la figura 5.1-125, en el que tenemos unos días en que el viento tiene una clara componente S y direcciones cercanas, pero que no resultan significantes en el mes completo por lo cual podemos resumir diciendo que el mes de Octubre es similar a Septiembre.

El histograma de direcciones para Noviembre es el representado en la gráfica 5.1-126. La dirección reinante cambia en este periodo a la NNW, y la dominante es la misma aún a pesar de haber disminuido su frecuencia de una manera muy importante. En cambio direcciones como la SSE, S, WNW, NW y NNW se registran en este mes de forma acusada.

Finalizamos los comentarios de los histogramas de dirección con el de Diciembre (fig. 5.1-127). El NNW es el sector en el que sopla el viento con mayor frecuencia y la S, la dirección dominante. Respecto del mes anterior vuelve a aumentar el porcentaje de las direcciones N, NNE, NNW y NW, disminuyendo por consiguiente los registrados en otras direcciones.

En resumen del año de muestreo en que estuvo la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

estación en Taliarte, se observa la importancia durante todo el periodo de los vientos procedentes del N, existiendo además dos épocas diferentes tal como observamos en los datos del Instituto Nacional de Meteorología en el Aeropuerto de Gando. El periodo Mayo-Agosto, en el que practicamente la procedencia de los vientos es del N y del NNW, y sectores cercanos con mucha menor frecuencia, y para el resto de las direcciones en que no se registran datos. Durante los otros meses del año, aunque se mantiene el sector N como el correspondiente a la dirección reinante, ya es posible encontrar vientos procedentes de cualquier dirección.

En la figura 5.1-128 se tiene representado el histograma de 16 direcciones anual. Hay que indicar que los datos registrados y tratados en el período del 9 de Septiembre al 23 de Octubre, son cada 60 minutos, a diferencia de los del resto del año que están tratados cada media hora. Esto lo hemos hecho así porque no es de esperar variaciones importantes en los resultados, si los datos en vez de cada 60 minutos se hubiesen obtenido a 30, a lo más existe una ligera diferencia en las frecuencias, pero el comportamiento del viento en el mes sería muy similar. Observamos en la representación la importancia de los vientos procedentes del N y del NNW,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

así como del NNE.

También para la velocidad media y máxima tenemos representado los correspondientes histogramas, para el año de datos (fig. 5.1-129 y 5.1-130, respectivamente). En el primero observamos que tiene dos máximos, uno situado en el intervalo de 2-4 m/s y el otro en el de 8-10. Para la otra representación, que también presenta dos picos, estos se han desplazado un intervalo más a la derecha de los recien citados.

Los histogramas de la temperatura, para cada mes del año de muestreo en Taliarte, se representan en las figuras comprendidas entre la 5.1-131 hasta la 5.1-145 inclusives, y para el año total el histograma es el representado en 5.1-146.

Para la presión los histogramas mensuales son los representados en las figuras 5.1-147,..., 5.1-161, y para todo el año es la gráfica 5.1-162.

Las rosas de vientos, de 16 sectores y anchura de 2 m/s por intervalo, se tienen en el conjunto de figuras entre la 5.1-163 y la 5.1-177. En las rosas, seguimos observando la diferencia en las dos épocas del año en cuanto a la dirección en que soplan los vientos, y además relacionado con la intensidad. En general, se aprecia que los vientos procedentes de la dirección

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

reinante y de las cercanas a ésta, son vientos con intensidades mayores que el resto de las direcciones, siendo éstos de velocidades bajas (unos 3 ó 4 m/s, aproximadamente).

De forma análoga a como se desarrolló el tratamiento de los datos de viento del Instituto Nacional de Meteorología, para el emplazamiento de Gando, continuamos con las representaciones gráficas de la curva de distribución de la velocidad del viento para cada uno de los meses y para el año de 1987, referidas a la estación meteorológica instalada en Taliarte. Estas son las figuras numeradas desde la 5.1-178 hasta la 5.1-191, correspondiendo esta última a la gráfica del año de muestreo.

Si las estudiamos detenidamente hay una clara diferencia entre ellas, en su forma, referido al mes que se trate en la representación. Así observamos que los meses comprendidos entre Enero y Abril, y entre Septiembre y Diciembre, las curvas son en general bimodales, unos meses más grande el pico de menor intensidad y otros en que ocurre al revés. Mientras que en el periodo intermedio (Mayo-Agosto) la función de densidad presenta un único modo. Tal diferencia en el aspecto de la curva concuerda con el hecho ya comentado de que en general, las funciones de frecuencia de la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

zona en que se está trabajando, están especialmente afectadas por los vientos provenientes del N y éstos son de intensidad mayor que los que proceden de direcciones "residuales" que se caracterizan por ser de menor velocidad. Así en el periodo eminentemente de alisios, en que ya comentamos la casi nula incidencia de vientos en cualquier otra dirección, la función de densidad está gobernada por aquellos, que son vientos de velocidades alrededor de los 8 ó 9 m/s. Mientras que en los otros meses, en que sí existen vientos en cualquier dirección, aunque siguen siendo más importantes los del Norte, se tiene una composición de velocidades provenientes, una distribución de los vientos N y otra de los vientos en otras direcciones. Dependiendo de la frecuencia de éstos en el mes, el primer pico será mayor o menor que el segundo. En definitiva podríamos imaginar que cuando los vientos alisios están totalmente definidos eliminan o "barren", con su alta persistencia, al resto de los posibles vientos que provienen de otras direcciones cuya persistencia está muy limitada por la propia configuración del anticiclón.

La figura 5.1-191, en que se tiene la función de densidad para el año completo, vemos que lógicamente según lo expuesto anteriormente, es bimodal.Un pico de la función se centra en la velocidad de 3 m/s y el otro en los 9 m/s.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

En las figuras comprendidas entre la 5.1-192 y la 5.1-205 representamos los regimenes escalares del viento, es decir la función de distribución o acumulativa, para cada uno de los meses del año en que se tomaron datos. En general, a exepción de algunos puntos correspondientes a velocidades altas, el ajuste que se tiene para el régimen escalar de velocidades es bastante bueno. La figura 5.1-197, correspondiente a los días registrados de Junio, muestra como a velocidades superiores a los 14 m/s,se alejan los puntos de la recta de ajuste del régimen. Esto mismo ocurre en el periodo del 9 al 30 de Septiembre (fig. 5.1-201), debido a una mayor dispersión de los valores a dichas velocidades.

En la figura 5.1-206 se tiene el régimen escalar de velocidades correspondiente al año completo, obtenido a partir de los resultados de los diferentes meses.

Los regímenes direccionales que hemos representado son en las dos direcciones en que se tiene un mayor porcentaje de datos: la N y la NNW.

En primer lugar, los regímenes en la direccion N se tienen en las gráficas desde la 5.1-207 hasta la 5.1-219, para todos los meses del año de muestreo. El ajuste de los puntos a las curvas del régimen suelen ser bastante buenos; únicamente las exepciones del mes de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Junio y la segunda parte grabada del mes de Septiembre, para velocidades altas, tienen una mayor dispersión. El régimen direccional N, para el periodo del 28 al 31 de Octubre, no se ha representado, ya que en esta dirección existen pocos datos comparado con las frecuencias del resto. La figura 5.1-220 es la representación del régimen direccional N para 1987. Tambien aquí hay una cierta dispersión de puntos en las velocidades altas, y que incluso no aparecen en el gráfico por estar fuera de la escala.

Para la dirección NNW tambien hemos representado el régimen direccional para cada uno de los meses (figs. 5.1-221 a 5.1-233) y el anual (fig. 5.1-234). Para ellos se tienen, por regla general buenos ajustes. Aparte del mes de Junio, al de Octubre le ocurre algo similar: a velocidades altas, los puntos representados se alejan considerablemente de la curva de ajuste. Para el régimen direccional (NNW) del año 1987, el ajuste se observa que es bueno.

Para todos los regímenes representados hemos calculado el coeficiente de correlación de la recta ajustada así como el error típico dela estima, valores que resumimos a continuación en la tabla 5.1-4.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

PERIODO	R. escalar		R. D. (N)		R. D. (NNW)	
	r	Syx	r	Syx	r	Syx
Enero (13-31)	-0'9775	0'8429	-0'9908	0'5404	-0'9872	0'5448
Febr. (1-28)	-0'9981	0'2067	-0'9614	0'9399	-0'9960	0'3060
Marzo (1-31)	-0'9964	0'2855	-0'9873	0'5422	-0'9810	0'7754
Abril (2-30)	-0'9926	0'4855	-0'9753	0'8334	-0'9970	0'2636
Mayo (1-31)	-0'9858	0'5739	-0'9633	0'9167	-0'9935	0'3886
Junio (1-14, 25-30)	-0'9302	2'3219	-0'9234	2'4203	-0'9293	2'3354
Julio (1-9, 11-31)	-0'9671	0'8684	-0'9821	0'5321	-0'9757	0'7486
Agosto (1-7)	-0'9369	0'9888	-0'9640	0'7521	-0'9275	0'6106
Sept. (1-9)	0'9931	0'4003	-0'9715	0'6704	-0'9966	0'2795
Sept. (9-30)	-0'9222	2'2219	-0'9313	2'0918	-0'9802	0'5598
Oct. (1-23)	-0'9627	1'2404	-0'9730	1'1133	-0'9602	1'2800
Oct. (28-31)	-0'9346	1'2148	---	---	---	---
Novb. (1-30)	-0'9318	1'8739	-0'9692	0'9853	-0'9571	1'4955
Dicb. (1-27)	-0'9442	1'3177	-0'9855	0'5802	-0'9823	0'6393
1987	-0'9134	2'5739	-0'9194	2'4882	-0'9177	2'5117

TABLA 5.1-4

Como resumen final diremos que las características más importantes detectadas a lo largo del año son las siguientes:

* Hay una periodicidad diurna correspondiente al

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

efecto brisa, disminuyendo en los meses con fuerte predominio de los alisios.

* La temperatura y la presión condicionan fuertemente el efecto brisa.

* Los vientos reinantes son claramente del Norte en todos los meses del año, excepto en Noviembre y Diciembre, que son NNW.

* La segunda dirección preferencial, muy baja respecto a la reinante es la NNW, excepto en Noviembre y Diciembre que es la N.

* La persistencia de los vientos es muy alta, su unidad se puede considerar en días.

* Por lo que respecta al viento podemos considerar dos estaciones claramente definidas, la correspondiente a los alisios dominantes y de muy alta persistencia (Junio, Julio, Agosto y Septiembre) y la correspondiente a la de dirección N más otras superpuestas.

* Los vientos procedentes del Sur son de baja persistencia aunque pueden tener altas velocidades.

Para finalizar este apartado correspondiente a los resultados meteorológicos, comparemos los obtenidos por la estación instalada en Taliarte con los datos del Observatorio de Gando y que ya tratamos en el capítulo anterior.

Nos centraremos en los resultados de la intensidad

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

y dirección del viento para el año de muestreo en Taliarte y el año calculado a partir del periodo 76-85 de registros de Gando.

En lo referente a las direcciones principales observamos que existe una pequeña diferencia entre ambas series. Para la primera serie de datos, tenemos que son los vientos procedentes del N los reinantes y la dirección NNW como segunda dirección principal. Mientras que en Gando la dirección reinante es la NNE seguida de la N. Si atendemos a la dirección del viento durante el transcurso del año, la coincidencia es prácticamente total. Tal como hemos dicho existen dos épocas claramente diferentes, los meses comprendidos desde finales de Septiembre hasta Marzo y por otra parte los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio y Agosto. Estos últimos corresponden a la época en que soplan los alisios sobre las Islas Canarias (vientos característicos procedentes del NNE) caracterizándose, además, estos meses por la ausencia casi absoluta de vientos de otras direcciones. Para el resto del año, aunque siguen siendo importantes los vientos procedentes de sectores cercanos al N, la aparición de otras direcciones es un hecho bastante común.

La diferencia existente en cuanto al comportamiento global del año puede justificarse en

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

parte por las características orográficas tan importantes en las Islas, sin olvidarnos que los sectores con los que trabajamos tienen una anchura de 22'5º, por lo que puede existir cierta falta de precisión en las medidas del Observatorio de Gando, dado que los datos se dan por sectores y no por su dirección en grados.

En cuanto a la velocidad del viento, observemos la figura 5.1-235 en la que representamos la curva de frecuencias de la intensidad para el año de registro en Taliarte. La representación que resulta es bimodal, con un pico centrado en la velocidad de 3 m/s y el segundo, de mayor frecuencia, en 9 m/s. Esto difiere ligeramente de la representación que teníamos para Gando (fig. 4.2-47) que sólamente tenía un modo en 9 m/s, aunque en el intervalo cuyo valor central es 3 m/s, parece empezar a formarse otro pico. Esta diferencia puede justificarse si tenemos en cuenta que la velocidad de muestreo en ambas series es distinta. En general, en los datos de Taliarte el intervalo es de 30 minutos, mientras que los registros de Gando son cuatro al día (1, 7, 13 y 18 horas), por lo que se puede estar encubriendo las velocidades más bajas. En cambio, la curva que hemos dibujado considerando las direcciones principales (la que llamamos suma) tiene un comportamiento muy similar,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

con un único modo en 9 m/s. Para la "residual" ocurre algo parecido, en ambos casos corresponde principalmente a vientos con velocidades bajas, aunque es más importante en Taliarte (20'93 %) que en Gando (11'21 %).

Terminamos la correlación entre ambas series de vientos, con el estudio de los regímenes.

En la figura 5.1-236 representamos de manera conjunta el régimen escalar de cada uno de los diez años que tratamos en Gando. Hemos ajustado los diez años de datos, resultando la recta representada en la gráfica 5.1-237. Los niveles de confianza asociados a cada valor medio de los diez datos se representan sobre esa misma recta, una vez que se han ajustado mediante el test de Student. El régimen escalar de Taliarte para 1987 es la línea de trazo discontinuo de esa figura. Observamos que en una primera aproximación el régimen de Taliarte entra en el límite de confianza de Gando, por lo que al nivel de probabilidad del 95 % podemos admitir que ambos regímenes no son significativos.

En la figura 5.1-238, representamos los regímenes direccionales de Gando y Taliarte, el ligero desajuste que se observa en las bajas velocidades queda justificado por la interpretación anteriormente realizada. Hemos representado sólo el régimen direccional del norte por ser el de mayor frecuencia en

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ambas series. El resto de las direcciones de frecuencia mucho menor no lo hemos representado por considerarlos no correlacionados y opinamos que ésto es debido a que las distribuciones no son comparables por la gran diferencia en el número de observaciones.

5.2.- Corrientes.

Tal como describíamos anteriormente en lo referente a las campañas de toma de datos, el registro de los datos de corrientes mediante los correntímetros autónomos pasó por varias vicisitudes debidas a causas externas en sí. Por dichas razones no se pudo instalar durante un año completo el aparato, tal como era inicialmente nuestro deseo. Así pues, los datos de corrientes de los que disponemos son los registrados en los fondeos que se han hecho en Mayo de 1986 y Junio de 1987. Veamos a continuación los resultados obtenidos tras el procesamiento de los datos.

La primera instalación del correntímetro fue el 14 de Mayo de 1986 en la posición dada por las coordenadas siguientes:

Latitud: 27° (59'2)' N

Longitud: 15° (21'5)' W

El punto elegido tiene una profundidad cercana a los 60 metros y la del fondeo fue de aproximadamente 40

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

metros.

La lectura de la cinta de grabación (C140586) una vez que se recuperó el aparato y se trataron los datos, nos indicó que hacia el 24 de Junio fue cuando se produjo el que la red atrapase al aparato impidiendo posteriormente su recuperación. Dado que las medidas de dirección y velocidad de la corriente quedaron afectadas a partir de este hecho, el tratamiento de los datos de esta primera cinta únicamente consideramos datos válidos hasta el día 23 de ese mes.

El intervalo de grabación en ese primer fondeo fue de 30 minutos, resultando que de los 4091 datos que contiene la cinta, los primeros 1953 corresponden al periodo citado.

Una vez procesados y tratados estos datos, y dado que el periodo de grabación de las otras series temporales de corrientes es de un mes, indicamos aquí para poder contrastar mejor los resultados este mismo intervalo temporal, considerando los treinta días comprendidos entre el 15 de Mayo y el 13 de Junio (1440 datos). Además, de los cinco canales de grabación discutiremos solamente los resultados relativos a la intensidad y dirección de la corriente, porque en los otros fondeos fallaron los registros de estos canales

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

según hemos indicado.

Para una mejor visualización gráfica de las series temporales de ambas magnitudes de la corriente, hemos dividido el período total tratado en tres. El primero corresponde a las fechas entre el 15 y el 24 de Mayo, el segundo entre el 25 de Mayo y el 3 de Junio, y por último al período entre el 4 y el 13 de Junio.

En las gráficas 5. 2-1, 5. 2-2 y 5. 2-3, representamos las series temporales de velocidad de la corriente para cada uno de los tres períodos. El origen del eje de intensidades es el cero (valor que no se registra en la grabación porque el umbral está en 1'1 cm/s), y el valor máximo de esta escala es 40 cm/s (los mismos límites en todas las series de intensidades), resultando que por imposición de la subrutina de dibujo, un centímetro de la escala de velocidad corresponde a 3'64 cm/s. Observamos que en general las velocidades son pequeñas (la velocidad mínima registrada es de 1'20 cm/s el día 6 de Junio), y que en los días cercanos al 25 de Mayo se registran los valores más altos del periodo (25'18 cm/s, el 26 del mes).

En estos días no sólo la velocidad media alcanza su máximo valor sino que se tiene las mayores variaciones entre la velocidad mínima y máxima diarias.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

La velocidad media calculada a partir de los 1440 datos registrados resulta de 6'12 cm/s y la desviación 3'81. Este alto valor que presenta la desviación está en parte justificado por ser corrientes preferencialmente de mareas y por consiguiente estarían relacionadas con la media y desviación de la carrera de marea, es decir con los propios coeficientes de marea en esa época.

Las series temporales de la dirección de la corriente se presentan en las figuras 5. 2-4, 5. 2-5 y 5. 2-6 para los mismos periodos de tiempo. En una primera impresión de estas series, hay periodicidad en la serie de dirección, unas veces más claramente que otras, y lo que sí se observa es una predominancia de direcciones en los sectores NE, ENE y por otro lado, aunque menos definido, las corrientes dirigidas hacia sectores cercanos al W.

Estos resultados conjuntos de intensidad y dirección de la corriente nos hace pensar en que a las profundidades del fondeo las corrientes son preferencialmente de tipo periódico originado por la marea. Para confirmar esta posibilidad contrastamos esta serie con los registros del mareógrafo, instalado en esa misma época a muy poca distancia del correntímetro como quedó indicado en la figura 3.3-3. Los resultados gráficos de la curva de marea y de dirección de la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

corriente mostraban una fuerte coherencia entre las direcciones asociadas a la entrante (NNE, NE y ENE), mientras que en vaciante la correspondencia con direcciones cercanas al SW. no era tan clara, teniendose incluso direcciones del NE y otros próximos. Es decir la entrante está claramente definida en permanencia, mientras que la vaciante queda limitada en ciertos casos a instantes muy definidos.

Las series de velocidades tienen también su explicación. Durante los días que se registran las velocidades más grandes, los coeficientes de marea son los máximos del periodo y para las otras los coeficientes son sensiblemente inferiores, aunque como es lógico existen ciertos desfases. Estos hechos ponen de manifiesto que puede existir una corriente, más o menos permanente de dirección Norte, que en el caso de vaciante debe ser sobrepasada, lo cual justifica una menor definición de ésta.

Estos resultados anunciados aquí, se tratarán más detalladamente en el capítulo siguiente, donde describiremos también el tratamiento espectral que hemos aplicado.

En las tres figuras siguientes (5. 2-7, 5. 2-8 y 5. 2-9), tenemos representada la serie vectorial de las corrientes que nos dan una idea de como va variando el

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

vector de la corriente con el tiempo.

Respecto del histograma de intensidades que representamos con una anchura de 3 cm/s (fig. 5.2-10), observamos que presenta un modo únicamente en el intervalo de 3-6 cm/s, resaltando la importancia de las bajas velocidades tal como comentabamos en la serie temporal.

El histograma de direcciones (fig, 5.2-11) nos reafirma lo comentado anteriormente. Las distribuciones que se tienen son típicas de las corrientes de marea. Para la entrante las direcciones asociadas son la NE y la ENE, y para la vaciante los sectores W, WNW. En nuestro caso ambas están claramente descompensadas en frecuencia, lo que equivale a decir en tiempo. Así en el intervalo temporal que estamos tratando, las corrientes asociadas a la entrante son aproximadamente el 61'10 % del tiempo y a la vaciante el 38'90 %. Estos valores se descompensan aún más en las figuras en que se representan los histogramas de direcciones correspondientes a la instalación del año siguiente, en que tenemos para la entrante un porcentaje aproximado de un 73 % frente a un 27 % de la vaciante. Este desequilibrio puede quedar, en principio, justificado si se admite una corriente cuasi permanente en la dirección N.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

A partir de estos resultados, podemos obtener para cada carrera de marea, el porcentaje medio de datos que se tienen en entrante y en vaciante. Los resultados para la primera instalación correspondientes para una carrera de marea, son de 7'33 horas para la entrante y de 4'67 para la saliente.

La rosa de corrientes (fig. 5. 2-12) nos muestra más claramente lo anterior. La corriente reinante (mayor frecuencia) es en dirección NE y la dominante es una corriente dirigida hacia el ENE. La descompensación queda claramente puesta de manifiesto.

En el tratamiento de los datos de corrientes suele ser frecuente la representación de las componentes (u,v) de la velocidad, a partir de los datos de su dirección e intensidad. Tal representación es lo que llamamos "diagrama polar de corrientes" y que para el período que estamos tratando es el representado en la figura 5. 2-13. A partir de la nube de puntos y por el método de mínimos cuadrados calculamos la recta de ajuste a dichos puntos con el fin de pasar de trabajar con las componentes u y v de la corriente, a las componentes longitudinal (sobre la recta de ajuste) y la transversal (perpendicular a la anterior). El ángulo que se indica en ese mismo gráfico, es respecto al eje EW y es el que resulta del método de ajuste que se ha tratado,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

resultando la dirección principal la ENE.

Este método nos permite trabajar con las series temporales en la dirección longitudinal y transversal (figs. 5.2-16 y 5.2-17), por comparación respecto a las series temporales en dirección N-S y E-W (figs. 5.2-14 y 5.2-15) se podrán deducir las posibles distorsiones sufridas por las componentes.

En el fondeo de 1987, y en la misma columna de agua se instalaron dos correntímetros a las profundidades aproximadas de 20 y 40 m, según representamos gráficamente en la figura 3.3-13. La instalación se llevó a cabo en la misma zona que el año anterior, por lo que la profundidad de dicho punto es de cerca de unos 60 m.

La fecha en la que comenzamos a grabar datos fue el 23 de Junio para finalizar el 22 de Julio. Para este fondeo el intervalo de muestreo de los datos es de 10 minutos.

Comentamos a continuación los resultados gráficos correspondientes a las series temporales de ambos correntímetros.

Análogamente al tratamiento gráfico que acabamos de ver, hemos representado las series temporales en tres partes, simplemente porque como el número de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

observaciones es tan grande, se nos permita una mejor visualización de los resultados. Para la primera parte representamos los datos entre el 23 y el 30 de Junio, en el segundo son los días comprendidos entre el 1 y el 11 de Julio y finalmente en una tercera representación los días del 12 de Julio al final de la grabación.

Para la cinta de grabación C230687-20 m, tal como indicamos la profundidad es de 20 m. En este caso el número de estos grabados es de 4179.

La serie temporal de la velocidad de la corriente la tenemos en las figuras con los números 5.2-18, 5.2-19 y 5.2-20. La escala elegida para este representación es la misma que para las series de intensidad del año 86, es decir de 0 a 40 cm/s y se hará igual para el otro correntímetro.

A primera vista observamos que las velocidades absolutas son mayores que las registradas en el año anterior, lo cual no nos debe extrañar ya que estamos a una profundidad menor que entonces y puede ocurrir que estemos registrando las corrientes de viento superpuestas a las típicas de marea. La velocidad media durante este período de muestreo es de 10'12 cm/s siendo 6'90 la desviación, valores sensiblemente superiores a los citados.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Las velocidades mayores se registran entre el 9 y el 12 de Julio, exactamente el día 12 con una velocidad de casi 0'8 nudos (38'92 cm/s), mientras que la *mínima* registrada corresponde al umbral. Esto es lógico, puesto que ese día es el de mayor carrera de marea del mes (0'94) y muy próximo a la máxima del año (1'09) en Septiembre. Respecto al mínimo corresponde a las estoas que cuando son de altas carreras de marea suelen presentar los mínimos de los mínimos ya que quedan mucho mejor definidas en el tiempo. Por otra parte en la figura 5.2-20 se observa que a partir del día 12 hasta el 19, es decir en régimen de marea descendente, la intensidad de las corrientes va disminuyendo paulatinamente.Mientras que ocurre lo contrario en el período inmediatamente anterior (fig. 5.2-19) entre los días 4 y 12 de Julio, donde el régimen de mareas de tipo ascendente queda reflejado en las corrientes. Este hecho nos vuelve a confirmar la gran influencia que tiene la marea en la resultante general de la circulación en nuestra zona de estudio.

Para la dirección de la corriente (figs. 5.2-21, 5.2-22 y 5.2-23) representada en las mismas fechas, observamos un comportamiento similar al del año anterior, lo que parece indicar que a esta profundidad las corrientes rotatorias siguen siendo importantes.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Si atendemos a lo que ocurre en un período de doce horas, en general tenemos durante las seis primeras, corrientes hacia el NE aproximadamente y posteriormente, en las seis siguientes se produce un cambio brusco, que puede ser en sectores comprendidos entre el SW y el NW con muchas fluctuaciones y que, incluso llega a registrarse algún dato en direcciones del NE. Esto vuelve a inclinarnos a pensar que existe una corriente permanente en dirección N,NE cuyo efecto se superpone a la de marea. Esta corriente deforma las elipses puras de marea, y esta deformación provoca una distorsión en la saliente.

Las direcciones de sectores NNE, NE y ENE correspondientes a la propagación de la onda de marea en entrante, y las corrientes dirigidas hacia sectores cercanos al W que corresponderían a la marea vaciante, mucho menos definida que la llenante.

El vector de la corriente, lo representamos para períodos de siete días. El primero (fig. 5.2-24) correponde a los días comprendidos entre el 24 y el 30 de Junio. Los siete primeros días de Julio aparecen en la figura 5.2-25 donde se aprecia claramente la descompensación entre la entrante y vaciante anteriormente vista. En la gráfica siguiente (fig. 5.2-26), tenemos el período entre el 8 y el 14 de Julio, y

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

finalmente, los siete últimos días en la figura (5.2-27). Observamos en estas gráficas con mucho mejor detalle lo recien comentado. En las seis horas correspondientes a la fase de entrante de la marea, se tiene siempre unas intensidades mayores que en las seis horas posteriores o anteriores (caracterizadas por corrientes débiles). En cuanto a la dirección, en estas seis horas es en los sectores enunciados y en las seis siguientes (correspondientes a la saliente) es mucho más variable.

En las dos gráficas siguientes tenemos los histogramas de velocidad y dirección (figs. 5.2-28 y 5.2-29. respectivamente).

Para el primero, la anchura de intervalo es de 3 cm/s, de forma análoga a los otros histogramas de intensidad de los correntímetros. Aunque con menor frecuencia que en los datos de la cinta C140586 para el mes que tratamos, seguimos manteniendo unos intervalos de velocidades bajas (3-6 cm/s) como único pico de la distribución de velocidades que resulta en el período. En cambio la cola derecha de esa distribución alcanza velocidades superiores, estando por tanto más amortiguada. Al igual que en aquel histograma, en ambos la velocidad media es mayor que la moda por lo que resultan tener un sesgo positivo. Si consideramos el

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

valor central del intervalo de mayor frecuencia como la moda y según el coeficiente de sesgo de Pearson definido en el apartado anterior resulta para este período un valor de 0'81, y para el período tratado del año anterior era sensiblemente inferior (0'43).

En el histograma de direcciones (fig. 5.2-29), tenemos representado gráficamente los resultados anteriormente indicados. La dirección reinante es en este caso la NE y la segunda principal la NNE, con muy poca diferencia una de otra en cuanto a sus porcentajes. Las direcciones consideradas en la propagación de la onda de marea como salientes (SW y cercanas), no son tan frecuentes como las de entrante, como habíamos indicado ya. En particular para esta serie temporal de corrientes el porcentaje de datos en entrante es del 74'30% mientras que para la vaciante es 25'70%. En una carrera de marea, hemos calculado el número de horas por término medio que tendremos resultando para la entrante 8'92 horas y para la vaciante 3'08.

La rosa de corrientes (fig. 5.2-30) nos da cuenta de manera conjunta de la intensidad y dirección del vector velocidad de la corriente. La dirección asociada a la corriente dominante es la NE, que coincide para este caso con la reinante según decíamos.

Finalmente, el diagrama polar representado para la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

serie temporal de este correntímetro es el que tenemos en la figura 5.2-31. La recta ajustada por mínimos cuadrados tiene un ángulo de inclinación de prácticamente 38°, en sentido antihorario y medido respecto de la dirección E. que nos indica que la dirección principal está en el sector NE.

Al igual que representamos para la serie de datos del correntímetro del año anterior tenemos en las gráficas siguientes (figs. 5.2-32 y 5.2-33) las series temporales de las componentes N-S y E-W respectivamente. También tenemos en las figuras 5.2-34 y 5.2-35, las representaciones de las series longitudinal y transversal, obtenidas a partir del ángulo de la dirección principal.

El otro correntímetro instalado en esa misma época y con la misma cadencia de muestreo, a la profundidad de 40 m (C230687-40 m) es el que tratamos a continuación.

Las series temporales de velocidad y dirección las hemos representado en los tres períodos que indicamos en el tratamiento de la serie de registros de corrientes de 20 m y con las mismas escalas.

Las primeras (figs. 5.2-36, 5.2-37 y 5.2-38) indican un comportamiento muy parecido a las representadas para la profundidad de 20 m. Las

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

velocidades máximas de la serie para los días comprendidos entre el 9 y el 12 de Julio, en este caso el día 9 (33'30 cm/s) y la mínima que corresponde al valor umbral que se registra con el aparato.

La velocidad media del período total de grabación es de 10'53 cm/s y la desviación 6'56. Vemos que este valor medio del conjunto de datos registrados es ligeramente mayor que el correspondiente a los 20 m. Esto aunque en un prinicipio puede parecer extraño, intentaremos explicarlo en función del modelo de corrientes que proponemos en el capítulo siguiente.

Las series temporales de la dirección para los tres intervalos representados (figs. 5.2-39, 5.2-40 y 5.2-41) nos muestran en una primera observación visual lo mismo que las series del correntímetro fondeado a 20 m, es decir que las corrientes a esta profundidad se deben principalmente a las mareas.

Aunque en este período de 1987 no tenemos datos del mareógrafo en Taliarte, si podemos decir que según sabemos (35) la propagación de la onda de marea es desde el Sur hacia el Norte y cuando llega a contornear las Islas se produce una pequeña desviación horaria que hace que la propagación sea hacia el NNE ó NE en los contornos de las Islas.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Así pues observando detenidamente lo que ocurre en períodos de doce horas, vemos que durante seis horas las direcciones de la corriente coinciden prácticamente en su totalidad con la de propagación de la onda y en las seis horas siguientes aunque sigue sin estar bien definida la dirección asociada a la marea saliente, se presentan direcciones cercanas.

Las cuatro representaciones gráficas de la serie vectorial de la corriente (figs. 5.2-42,...,5.2-45) dan una visión mucho más clara de lo comentado.

El histograma de intensidad de la figura 5.2-46 nos muestra una distribución de velocidades con dos modos. en los intervalos de 6-9 cm/s y 12-15 cm/s, aunque el segundo no parece estar muy definido. En función de esta representación parece lógico el que la velocidad media sea superior en el correntímetro de 40 m puesto que observamos que las frecuencias de los intervalos con intensidad menor son inferiores que las registradas en el otro correntímetro.

En cambio el histograma de direcciones (fig. 5.2-47) se parece bastante en cuanto a las direcciones asociadas a la propagación de la onda de marea, en su fase de entrante, y para la saliente hay algunas variaciones en cuanto a que el sector con mayor frecuencia de éstos es ahora el WSW seguido del W. Los

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

resultados de porcentajes de entrante y saliente no difieren prácticamente de los del correntímetro fondeado a 20 metros, resultando 73'30% y 26'70% respectivamente. En cuanto al número de horas para una carrera de marea, se tiene como término medio para la llenante 8'80 horas y para la vaciante 3'20.

La rosa de corrientes representada en la figura 5.2-48 nos indica que el sector NE es donde se presenta la corriente reinante y la dominante en dirección NNE.

El diagrama polar de las componentes (u,v) de la corriente (fig. 5.2-49) muestran la concentración de valores en el primer cuadrante. La recta de ajuste, de acuerdo con el método de mínimos cuadrados nos indica que la dirección principal de esta serie temporal es ENE.

Por último representamos en las figuras comprendidas entre la 5.2-50 y 5.2-53 las series de componentes en las direcciones N-S, E-W, longitudinal y transversal para el periodo que estamos tratando.

La descripción completa de los perfiles de velocidad obtenidos con el correntímetro manual en las diferentes campañas realizadas, no la haremos aquí. En el capítulo siguiente nos apoyaremos en estos resultados para obtener nuestro modelo de circulación y será entonces cuando los comentemos.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

5.3.- Niveles.

Los únicos datos que disponemos del mareógrafo instalado en la zona de estudio corresponden al año 1986, durante el período comprendido entre el 14 de Mayo y el 3 de Julio. Posteriormente se instaló en el propio Puerto de Taliarte junto a un mareógrafo de tipo mecánico propiedad del Institut für Meereskunde de la Universidad de Kiel y cedido al Centro de Tecnología Pesquera, para poder correlacionar nuestros datos con los obtenidos durante varios años por este organismo. De esa forma nos será posible obtener las componentes de largo periodo, así como las variaciones del nivel medio.

La instalación del aparato se hizo en una zona de profundidad entre los 55 y 60 m, y a unos 30 metros de distancia del correntímetro fondeado en el mismo período.

La velocidad de grabación de los datos de presión y temperatura del mareógrafo fue de 15 minutos, teniendose en ese tiempo un total de 4785 datos. Como para obtener los datos que nos permitirán representar la curva de marea necesitamos los valores de la presión atmosférica en esos mismos instantes, hemos recurrido a la primera cinta de la estación meteorológica (E130586), que según habíamos dicho no tratamos por registrar

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

datos anómalos de velocidad y dirección del viento, mientras que la presión y temperatura si eran correctas. Por tanto como estos últimos están grabados cada 30 minutos, consideramos los registros del mereógrafo para ese mismo período. Con lo cual, el número de datos que tratamos es de 2392.

La representación gráfica de la curva de presión del mareógrafo es la que presentamos en la figura 5.3-1, para el período completo de grabación, representando altura en metros, frente a tiempo. Observamos que la grabación de la cinta M140586 fue muy buena, teniendose únicamente unos pocos puntos en que los registros fueron erróneos.

Para realizar el tratamiento de la marea, hemos seguido el procedimiento espectral, el cual consiste en que a partir de un registro de longitud dada, se obtiene la serie de sobreelevación $\eta(t)$, de un punto cada hora. Cuando se aplica la Transformada Rápida de Fourier, se obtiene el autoespectro, el cual nos proporciona las frecuencias donde se concentra la energía.

El gran inconveniente de este método, es la frecuencia máxima, frecuencia de Nyquist, que según habíamos visto es:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

$$f_N = \frac{N/2}{N\Delta t} = \frac{1}{2\Delta t}$$

donde N es el número de puntos con que se trabaja, en nuestro caso 4096, y Δt el tiempo de muestreo: una hora en nuestro tratamiento. Por consiguiente la precisión es:

$$\Delta f = \frac{f_N}{N/2}$$

f_N: $0'5\ hr^{-1}$

Δf: $2'4414 . 10^{-4}\ hr^{-1}$/banda

lo cual no permite separar frecuencias muy cercanas.

El listado de los puntos significativos de nuestro registro es el correspondiente a picos energéticos en el Anexo de Figuras.

Con el procedimiento espectral no se puede obtener ni la amplitud, sólo relaciones, ni la fase de cada componente armónica. Posteriormente veremos cómo se puede solucionar este posible inconveniente.

La gran ventaja del procedimiento espectral es que podemos detectar los componentes de períodos distintos a los puramente provocados por la marea astronómica.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Por otra parte mediante análisis cruzado: viento-marea, corrientes-marea, se pueden deducir importantes parámetros de estabilidad.

Para soslayar el análisis armónico hemos realizado el procedimiento siguiente:

El Anuario del Instituto Hifrográfico de la Marina (51), proporciona las constantes Armónicas del Puerto de la Luz y Las Palmas. Estas constantes con las correspondientes frecuencias en grado/hora o periodo en horas obtenidas de Lisitzin (52) son las que aparecen en el cuadro al final de este capítulo. Con estos datos y los procedentes del Almanaque Naútico podemos expresar la onda de marea por:

$$\eta = S_o + \sum_n F_n H_n \cos\left[V_n + u_n + \omega_n t - g_n\right]$$

donde para cada componente:

ω_n: velocidad angular.

$V_n + u_n$: ángulo astronómico total.

H_n: amplitud componente.

g_n: fase.

F_n: factor nodal.

En función de esto hemos calculado $\eta(t)$ (Método del Almirantazgo(53)) representado en la figura 5.3-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

para el período comprendido entre el 14 de Mayo y el 3 de Julio, como habíamos indicado.

La comparación de nuestros datos y la marea prevista, están representados en las figuras comprendidas entre la 5.3-2 y la 5.3-7.

El ajuste de los datos es suficientemente exacto para el fin que se persigue en esta Memoria, es decir obtener la velocidad angular de las corrientes de marea y sus fases las cuales deduciremos a partir de las dos componentes armónicas más significativas, es decir las semidiurnas M_2 y S_2.

$$\eta = 1'42 + 76 \cos\left(\frac{360^\circ t}{12'42} - 358^\circ\right) + 29 \cos\left(\frac{360^\circ t}{12} - 20^\circ\right)$$

y por consiguiente:

$$v = 76\,A \cos\left(\frac{360^\circ t}{12'42} + \varphi_1\right) + 29\,B \cos\left(\frac{360^\circ t}{12} + \varphi_2\right)$$

donde A, B, φ_1 y φ_2 son incógnitas a determinar experimentalmente.

Por otra parte, la relación entre los listados de picos energéticos de marea y corrientes nos permite evaluar las componentes más significativas de origen astronómico y no astronómico.

En definitiva podemos concluir que con el período

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

de marea registrado nos valida la utilización de la previsión de marea a partir de las constantes armónicas dadas por el Instituto Hidrográfico de la Marina.

CONSTANTES ARMONICAS

PUERTO DE LA LUZ Y LAS PALMAS (s_0 = 1'42)

Ondas	H (cm)	g°	Frecuencia grados/hora	Período horas
M_2	76	356	28.9841	12.4206
S_2	29	20	30.0000	12.0000
K_1	7	19	15'0411	23'9344
O_1	5	279	13.9430	25.8184
P_1	2	19	14.9589	24.0659
N_2	3	347	28.5126	12.6259
$2N_2$	15	344	27.8953	12.9054
K_2	3	21	30.0821	11'9672
μ_2	2	336	27.9682	12.87113
Q_1	1	127	13.3987	26.8683
M_4	1	33	57.9682	6'2103
L_2	2	10	29.5285	12.1916
T_2	2	19	29.9589	12.0165
MS_4	1	168	58.9841	6'1033

A continuación analizaremos los resultados obtenidos mediante el tratamiento espectral de las series de niveles y corrientes.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

El análisis espectral efectuado con las series de marea y de corrientes originadas por las mareas fue el que tratamos a continuación.

a) Series de trabajo.

Las series con las que hemos trabajado las denominaremos:

GC 0945 y Ø1 (Mareógrafo)

GC 8142 y Ø1 (correntímetro. Taliarte-40, 1Ω)

GC 8142 y Ø2 (correntímetro. Taliarte-40. 2Ω)

GC 8522 y Ø1 (correntímetro. Taliarte-20)

La priemra serie corresponde a datos escalares de altura de marea, obtenida en metros supuesto ρ = 1'026 constante y presión atmosférica constante e igual a P_{atm} = 1023 mBs.

Respecto a las series de los correntímetros solo hemos trabajado con las velocidades.

Hemos obtenido la dirección prioritaria de la corriente que corresponde (sobre rosa de 16 puntas) al NNE, dirección que se ha tomado como eje de proyección OX (positivo), correspondiendo a la componentes U. La dirección ortonormal cartesiana OY corresponde a la dirección WNW, tomada para la componente V.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

b) Metodología empleada.

Los pasos seguidos con las series anteriormente descritas han sido:

1) Paso a valores físicos de los datos brutos según los polinomios de calibración dados por el fabricante.

2) Eliminación de los datos no válidos tanto iniciales como finales.

3) Proyección de las velocidades para crear las series U y V.

4) No se ha precisado ningua interpolación de datos.

5) Suavizado movil para suavizado de las series. En todos los casos hemos tomado media móvil de 6 puntos, con lo que el tamaño de la serie original se ha rebajado en 6 datos (hemos empleado ventana rectangular).

6) Media horaria fija en todas las series. El ancho de la ventana depende por tanto del Δt inicial. Las series resultantes tienen por tanto. Δt = 1 hora.

7) Las series resultantes se han denominado:

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ALT 945 (Altura de marea en m.)

U 814201 (Velocidad long. cinta Tal.-40, 1Ω)

V 814201 (Velocidad transv. cinta Tal.-40, 1Ω)

U 814202 (Velocidad long. cinta Tal.-40, 2Ω)

V 814202 (Velocidad transv. cinta Tal.-40, 2Ω)

U 852201 (Velocidad long. cinta Tal.-20, 1Ω)

V 852201 (Velocidad transv. cinta tal.-20, 1Ω)

8) Hemos trabajado con toda la serie completa por lo cual se han utilizado como mínimo 2048 puntos (caso del correntímetro GC 8142YØ1) con una mínima prolongación con ceros. En los demás casos hemos trabajado con 4096 puntos iniciales.

c) Tratamiento espectral.

Se han controlado los espectros (auto y cross-espectros) a tenor de:

Mareas: autoespectro S_{zz}

Corrientes: autoespectros S_{uu}, S_{vv}

crossespectros S^{+}_{uv} (rotat. antihoraria), S^{-}_{uv} (rot. horaria), Coeficiente rotatatorio (R_{uv}); dirección eje mayor elipse; estabilidad de dicho eje (E_{uv}).

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Espectros cruzados corrientes-mareas:

crossespectros (S_{uy}, S_{vy});
coherencia (γ^2_{uy} , γ^2_{vy});
espacio de fases (ϕ_{uy}, ϕ_{vy});y
función de transferencia o respuesta
(FR_{uy}, FR_{vy}).

En todos los casos la frecuencia de Nyquist es de F_{NY} = 0'5 c/horas.

Los espectros han sido realizados con 30 grados de libertad (ventana rectangular móvil de 15 puntos).

Previamente al cálculo espectral se ha eliminado el valor medio de cada serie, tras lo cual se ha aplicado un suavizado de flancos con la ventana de Bingham, a cada 1/10 parte extrema (inicial y final), para eliminar el efecto de la propia ventana de N = 2048 puntos correspondiente a la serie real.

Para comprobar la posición general de las bandas se ha obtenido el espectro de mareas S_{zz} con 10 grados de libertad y dibujando todo el espectro, mientras que en los demás casos se ha empleado un número de grados de libertad igual a 30, con dibujo de la parte central exclusivamente (zona $-0'125 \leq f < 0'125\ hr^{-1}$).

d) Interpretación de los espectros.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

d.1) Autoespectros.

a) S_{zz}

De este caso se tienen dos salidas.

Fig. 1: S_{zz} con número de grados de libertad igual a 10. Dibujo de $-0'5 < f < 0'5$.

Fig. 2: S_{zz} con número de grados de libertad igual a 30. Dibujo de $-0'125 < f < 0'125$.

Como es lógico la primera es una expansión de la segunda con menor suavizado.

Se aprecian los picos siguientes en orden de importancia:

- de T ≈ 2 meses a 1 mes
- de T entre 55 y 50 horass que desaparecen al suavizar fuertemente
- de T entre 60 y 40 horas tras fuerte suavizado
- de T ≈ 30 horas que se atenua al suavizar fuertemente
- de T ≈ 12 horas

Se concluye con:

- Hay fuertes efectos de corto término de periodicidad muy alta (superior a 1 semana).

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

- Hay un pico muy abrupto a los 50-55 horas que se "esparce" al suavizar a 60-40 horas.

- No se aprecia claramente el pico diurno.

- Hay algún tipo de onda de período aproximado sobre las 16 a 18 horas.

- Muy claro efecto semidiurno pero con energía 2 órdenes inferiores al pico máximo (semanal-bimensual). Este pico crece al disminuir el suavizado al ser muy estrecho.

Espectros corrientes.

Autoespectros de corrientes de serie proyectada sobre la dirección longitudinal (dirección N.NE) y transversal.

Los picos o bandas fundamentales son:

Banda de 84 a 60 horas. Esta banda de gran energía se encuentra en las dos componentes y profundidades, corresponde a fenómenos comprendidos entre dos días y medio y tres días y medio de duración. Se pueden hacer dos hipótesis de su origen. Debido a una fuerte perturbación meteorológica de esa duración; podría ser originada por el viento cuyo espectro puede tener en ese rango un fuerte pico de energía, observese que el

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

correntímetro fondeado a cuarenta metros aún teniendo la misma banda es más atenuada en energía, así mismo en la componente transversal se observa con las mismas características. La segunda posibilidad o hipótesis es, como veremos posteriormente, una onda atrapada longitudinal.

Banda de 42 a 32 horas. Esta banda de menor energía que la anterior se encuentra, en forma muy definida en los componentes longitudinales , y más atenuada en la componente transversal. Observerse que esta banda puede ser originada como banda subarmónica de la anterior, y por consiguiente del mismo probable origen.

Banda de 11'9 a 13 horas. Esta banda muy definida en ambas componentes, corresponde a las principales componentes semidiurnas de la marea, las: M_2; S_2; N_2; y K_2, su energía está algo atenuada en la componente transversal rspecto a la longitudinal, lo cual es lógico por los ejes alejados para proyectar las series.

Banda de 23 a 26 horas. Mejor que banda podriamos hablar de picos ya que solo es banda en la correspondiente a cuarenta metros de profundidad. Es la correspondiente a los principales componentes diurnos de la marea las K_1; P_1; O_1.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Banda de 17 a 20 horas. Esta banda está más definida en la cota de cuarenta metros que en la de 20 metros y más acusada en la componente transversal que en la longitudinal. Su origen puede ser el de una onda transversal atrapada entre las islas.

Banda de 15 a 16 horas. Como la anterior está más definida en la cota de cuarenta metros y más acusada en la componente transversal que en la longitudinal. Puede ser aproximadamente un subarmónico de la banda treinta y dós a cuarenta y dos que se refuerza en la componente transversal si en esta existe una onda atrapada en esta dirección como vimos en la banda de diez y siete a veinte horas.

Espectros Rotatorios Horarios y Antihorarios y Estabilidad.

Banda de 84 a 60 horas. Este banda es de claro sentido antihorario en ambas profundidades. Con alta estabilidad.

Banda de 42 a 32 horas. Se puede considerar que para ambas profundidades tiene un claro sentido horario. Estabilidad inferior a la banda semidiurna.

Banda de 11'9 a 13 horas. Para ambas profundidades es de claro sentido antihorario, Son las componentes semidiurnas de la marea. Con alta estabilidad,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

prácticamente igual que la banda de inferior frecuencia.

Banda de 23 a 26 horas. Para ambas profundidades es sentido horario muy definido pero no muy alta estabilidad.

Banda de 17 a 20 horas. Para la profundidad de veinte metros es de sentido horario y a la profundidad de cuarenta metros el mismo sentido pero con menor definición. Con baja estabilidad.

Banda de 15 a 16 horas. Como en la anterior para ambas profundidades es de sentido horario aunque mucho menos definido en la profundidad de cuarenta metros. La estabilidad es más acusada a la profundidad de veinte metros que a la de cuarenta.

Espectros cruzados marea/corriente.

La coherencia y la amplitud de la función de respuesta entre la marea y las componentes longitudinal y transversal de las corrientes es alta para la banda semidiurna y prácticamente independiente de la profundidad. Y ambas son superiores para la componente longitudinal que para la transversal correspondientes.

Para la banda 84 a 60 horas presenta una alta función de respuesta y baja coherencia y prácticamente análogas en ambas profundidades.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

La banda de 42 a 32 horas sigue las mismas pautas aúnque menos definidas que la anterior.

Banda de 17 a 20 horas. Su coherencia es pequeña indicándo que se puede relajar con cierta facilidad y con una función de respuesta significativa lo cual nos confirma que esta banda se puede excitar con relativa facilidad.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CAPITULO 6: MODELO DE CIRCULACION.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

6.1.- Introducción.

Cuando se pretende estudiar la circulación en una determinada zona, cuyas propiedades hidrodinámicas significativas se desconocen, es preciso disponer de medidas, para deducir a través de ellas cuáles son las principales fuerzas solicitantes. Este proceso es el que, de manera simbólica, denominaremos como de evaluación del "pulso climático" de la zona.

El "pulso climático" de las islas suele ser complejo, por las fuertes condiciones de contorno que éstas imponen, en el tratamiento de la circulación en la zona. Efectivamente, una isla es un obstáculo que se interpone a un flujo preestablecido, por consiguiente este obstáculo modifica drásticamente el flujo, originando en su contorno fenómenos no estacionarios de difícil determinación, que se suelen superponer a la circulación que se quiere determinar.

En nuestro trabajo, referido a la costa Este de Gran Canaria, hemos pretendido determinar las fuerzas solicitantes principales, su evaluación y posterior contraste entre ellas. A partir de lo cual podremos seleccionar las fundamentales deducir, como consecuencia, la circulación prioritaria resultante.

Nuestro primer objetivo, para la determinación de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

las causas que originan la circulación en la zona, son, como ya hemos indicado, el viento y las fuerzas de marea como agentes creadores, y la posible estratificación de las aguas. Una vez resuelto ésto, se podrán interpretar los posibles movimientos resultantes.

El efecto del viento sobre la capa superficial produce movimientos que están perturbados por la propagación de la onda de marea, que indudablemente es muy significativa al acceder a profundidades reducidas, es decir en la franja costera. Se originan así dos regímenes principales de corrientes interactuantes, cuya resultante está a su vez perturbada por efectos originados por ambas causas principales, efectos que en principio podemos considerar secundarios. Es decir, el viento originará no sólo un movimiento en la capa superficial, sino que por el transporte de Ekman producirá un apilamiento de agua en la costa derecha a su trayectoria, originando posteriormente unas corrientes de pendiente o retorno, en dirección hacia el mar. El efecto inverso se produce sobre la costa izquierda a la dirección preferente del movimiento superficial.

La intensidad de estas corrientes de pendiente son función de la persistencia del viento y de la longitud y configuración geométrica de la costa. Por otra parte,

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

independientemente, de la persistencia del viento, se originan corrientes inerciales cuyo período de giro, en nuestra latitud, es aproximadamente de 25'5 horas, es decir un valor muy próximo a las componentes diurnas de la marea y, por consiguiente, de difícil determinación. Por último, la propia variabilidad del viento puede originar corrientes pulsátiles, cuyo período es aproximadamente igual al de variación del viento. En función de este último criterio, el efecto brisa del viento con su persistencia y periodicidad es fundamental.

En cuanto a la propagación de la onda de marea, causa de las corrientes rotatorias, está muy condicionada por el propio contorno. La distorsión de cada componente es un problema que en la actualidad no es bien conocido. Por otra parte, al abordar la onda de marea la plataforma de la Isla (Gran Canaria), se produce un retraso en el frente de onda afectado, originando por consiguiente una rotación que en nuestro caso (propagación S-N) sería en sentido antihorario. Superpuesta a esta rotación está la originada por la fuerza de Coriolis, que producirá una desviación hacia el Este y por consiguiente una rotación en sentido horario.

La resultante de ambas rotaciones producirá una

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

circulación horaria o bien antihoraria, en torno a la Isla. Por último, pero no menos importante, el efecto de encauzamiento entre Gran Canaria y Fuerteventura puede originar unas ondas largas atrapadas, con sus consiguientes corrientes asociadas siendo estas ondas de mayor período que las inerciales.

El conjunto de esta circulación, que hemos resumido en los párrafos anteriores, es lo que pretendemos cuantificar y posteriormente modelizar, no como modelo matemático sino en su aspecto físico, que es el importante y prioritario, para tener la base de partida en el posterior tratamiento matemático, que por el momento no se puede abordar y no es objeto del presente trabajo.

Efectivamente, sólo un correcto conocimiento del modelo físico nos puede conducir a un modelo matemático con una o varias capas, su posible elección sólo está condicionada por el modelo físico resultante.

6.2.- Corrientes producidas por el viento.

Como hemos visto, el viento es la causa del movimiento en la capa superficial del mar. Desde las primeras publicaciones de Ekman se admite, aunque con ciertas reservas, que el perfil de velocidad es de tipo no plano; la proyección del perfil sobre un plano

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

horizontal es la conocida espiral de Ekman.

La velocidad en superficie forma un ángulo, respecto a la dirección del viento, comprendido entre Ø=180°+45° y Ø=180°+10°. Estos ángulos están referidos al Norte geográfico, con el mismo criterio para la dirección del viento y la de la corriente. El ángulo de la corriente superficial producida por el viento depende de las condiciones de contorno de la zona.

El módulo de la velocidad en las inmediaciones a la superficie es (2):

$$V_o = \frac{u_*}{f\ D} \qquad (6.1)$$

donde:

u_* = velocidad de fricción.
f = parámetro de Coriolis.
D = profundidad capa Ekman.

Los problemas para aplicar la expresión anterior derivan de la dificultad de calcular experimentalmente u* y D. Este parámetro, como sabemos, es función del coeficiente de viscosidad turbulenta. Esta problemática en la determinación teórica de v_o (6.1) condiciona, desde hace años y desde un punto de vista práctico, a

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

intentar relacionar directamente la velocidad superficial de la corriente con la del viento. Por esta dificultad, se intenta el ajuste por perfiles planos de la velocidad de la corriente.

Baines, (54) propone un perfil plano para casos de corrientes en canales; posteriormente Reid (55) lo modifica para corrientes en profundidades intermedias, siendo la expresión para dicho perfil:

$$u(z) = u_s \left[1 - \frac{2}{1+m} \frac{z}{z_o} + \frac{1-m}{1+m} \left(\frac{z}{z_o} \right)^2 \right] \qquad (6.2)$$

donde:

u_s = velocidad en superficie.

z_o = profundidad de la capa.

m = parámetro de ajuste del perfil, función del número de Reynolds.

El poder disponer de un perfil plano, definido por la corriente superficial, presenta enormes ventajas desde el punto de vista de la elaboración de un modelo, ya que como veremos más adelante es fácil superponerle al perfil de las corrientes de marea, y por consiguiente muy cómodo para deducir velocidades medias.

De las medidas de corrientes que hemos efectuado

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

con el correntímetro manual, representamos el perfil de velocidades para las distintas profundidades, en algunos de los puntos de las radiales y longitudinales en que hemos trabajado (figs. 6.2-1, 6.2-2). Para ellos es posible ajustar el perfil plano con $m = -0'26$.

En la figura 6.2-3 hemos representado los distintos perfiles deducidos por algunos investigadores y el obtenido en el presente trabajo.

Creemos que a la dispersión inherente a las medidas, se deben añadir las características propias del equipo experimental empleado. Efectivamente, las medidas realizadas con los correntímetros portátiles suelen presentar una baja estabilidad en dirección, por lo cual hemos admitido la hipótesis de realizar la media escalar, cuando las direcciones no difieran en más de ±10° y desechar las direcciones no comprendidas entre estos límites. Por último, debemos definir lo que se entiende por medida de la corriente superficial. A partir del método de medida euleriano es prácticamente imposible determinar velocidades, con ciertas garantías, para cotas inferiores a metro y medio. Por el método lagrangiano, por otra parte, se obtienen siempre velocidades medias con una dispersión tanto más alta cuando menor es la cota de medida. Por las razones expuestas, hemos admitido la velocidad media a la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

profundidad z = 1'5 m. como representativa de la velocidad en superficie. Por último, hay que indicar que las velocidades que se deben aplicar para obtener el perfil de ajuste son las registradas por el correntímetro portátil, menos las velocidades correspondientes a las corrientes de marea en ese instante. registrada por el correntímetro fondeado a cuarenta metros de profundidad. Con este procedimiento hemos pretendido corregir la corriente de marea superpuesta a la del viento.

Asímismo, de las medidas de corrientes se deduce que cuando la persistencia del viento es superior a las seis horas, muy frecuente es nuestra zona de estudio, y para velocidades del viento comprendidas entre 8 $m.s^{-1}$ y 12 $m.s^{-1}$, la relación V_0/W_{10} se apróxima al 4%. Sabemos que desde el punto de vista teórico esta aproximación no tiene gran consistencia, pero desde el punto de vista práctico es imprescindible para disponer de una estima de los regímenes de corrientes, a partir de los del viento, lo cual se simplifica al máximo ya que sólo supone realizar un cambio de escala en las velocidades. Asimismo, esta aproximación es muy cómoda para deducir las corrientes residuales en superficie, como posteriormente comprobaremos.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

De las medidas realizadas se deducen, para nuestra zona de estudio las siguientes conclusiones:

* La velocidad superficial de la corriente es aproximadamente el 4% de la velocidad del viento. Ambas forman un ángulo de $\emptyset = 180° \pm 20°$.

* La profundidad de la capa de Ekman es del orden de los treinta metros.

* El perfil de velocidad de la corriente se puede admitir plano. La profundidad relativa de la inversión es de $z/z_0 = 0'6$.

En función de lo expuesto anteriormente, podemos obtener, para la zona de Taliarte, las estimas de los regímenes direccionales de corrientes originadas por el viento.

Por las razones ya expuestas en el apartado 5.1 de esta Memoria, la extrapolación de los regímenes de Taliarte a Gando, con el fin de tener una estima más consistente en función del mayor número de datos de medidas en la última zona, sólo es posible en la dirección N por lo cual el régimen de corrientes superficiales queda obligado a esta dirección, el resto de las direcciones se deberán deducir a través de los datos obtenidos en Taliarte.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Otra posibilidad, eminentemente práctica, es la de obtener la corriente residual en un intervalo de tiempo producida por las corrientes de viento, las cuales superpuestas a las residuales originadas por la marea, nos indicarán el transporte neto tal como veremos posteriormente.

6.3.- Corrientes de marea.

Como hemos visto en el capítulo 2º la forma práctica de deducir las corrientes de marea es a través de la sobreelevación originada por la onda de marea. Si $\eta(t)$ es el nivel del mar en el tiempo t, con respecto a un nivel de referencia establecido, se puede expresar por:

$$\eta(t) = a_0 + \sum_i a_i \cos(\omega_i t + \beta_i) \qquad (6.3)$$

para cada componente i su velocidad es:

$$v_i = \frac{d\eta_i}{dt}\alpha + \gamma t \qquad (6.4)$$

donde α es un constante de proporcionalidad y γ el desfase de la onda de marea. Tanto α como γ son función de la fricción del fondo y de la frecuencia.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

Bowden (56) y posteriormente Prandle (42), estudiaron la estructura vertical de las mareas, en función de las elipses que describe la corriente rotatoria.

La definición de la elipse de marea en función de la profundidad puede darse por:

* Sus ejes, el eje mayor A y el menor B , y por tanto su excentricidad:

$$e = B/A$$

* El ángulo Ψ formado por la dirección de la corriente máxima y el eje x.

* La fase de la componente estudiada.

Los parámetros que definen la elipse, así como su estabilidad en el tiempo, se pueden estudiar por análisis estadístico o por análisis espectral, ambos métodos los utilizaremos y compararemos sus resultados.

Indudablemente, la elipse puede deformarse por varios causas. De éstas las principales, en nuestra opinión, son: el efecto de fricción por fondo y la superposición de otras corrientes.

El efecto de fricción por fondo ("efecto fondo")

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

puede ser tan acusado que es capaz de provocar una degeneración de la elipse hasta transformarla en "rectilínea pulsátil". Por otra parte, el "efecto fondo" suele ser más acusado en bajamar, lo cual puede provocar un giro del eje principal.

El efecto de superposición de otras corrientes, con direcciones preferenciales, origina una amplia distorsión no sólo en la amplitud de la corriente de marea, sino también produce un desajuste entre la entrante y la vaciante, descompensando el tiempo en favor de la dirección preferencial. Esto puede llegar a provocar corrientes pulsátiles en una sola dirección, que suelen enmascarar el fenómeno de la típica corriente de marea.

La asimetría de las corrientes de marea origina las corrientes residuales. Estas son de indudable importancia en profundidades reducidas, puesto que son las responsables del movimiento del agua, tanto en dirección como en amplitud, que se origina una vez eliminada la parte armónica de la corriente de marea.

Estudiemos con cierto detenimiento las series temporales de las corrientes registradas a $z = 40$ m y $z = 20$ m, en el intervalo del 5 al 19 de Julio de 1987. Elegimos este intervalo por ser el de mayor carrera de marea, durante la época de instalación de los aparatos.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

El régimen de marea ascendente comienza el día 5, aumentando hasta el día 12 con carrera c = 0'94. A continuación, comienza el régimen descendente hasta el día 19, según se puede observar en la figura (6.3-1).

Los histogramas de direcciones (figs. 6.3-2 y 6.3-3) correspondientes a las series de datos de los correntímetros instalados a 20 y 40 metros de profundidad presentan dos modas correspondientes a lo que en principio podíamos considerar como de distintas distribuciones, y desfasados 180°, aproximadamente. Estos histogramas pueden ser característicos de corrientes de marea, de corrientes litorales producidas por el viento, o por un efecto derivado del viento: las corrientes inercales. En el caso de las corrientes litorales, los dos modos corresponden a cambios en el régimen de vientos, es decir a la brisa y al terral; aunque en principio, debido a la profundidad de instalación de los correntímetros, no parece probable que tengan un origen provocado por el viento.

En nuestra zona de estudio, hemos determinado que el efecto de la brisa marina esta muy debilitado cuando soplan los alisios, como es el caso presente.

Para saber si los histogramas corresponden a corrientes inerciales, hay que estudiar el período de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

las corrientes.

Por otra parte, las corrientes inerciales, tienen un período de 25 horas, aproximadamente, en nuestras latitudes y es evidente que el período principal de las series es de 12 horas. No obstante, para confirmar lo dicho hemos realizado el diagrama progresivo de las corrientes (fig. 6.3-4 y 6.3-5) y no se observa ningún círculo característico inercial del período teórico previsto. Los pequeños giros que aparecen corresponden a períodos inferiores a las 2 horas, ya que para el diagrama progresivo hemos tomado como unidad de desplazamiento 2 horas. Para tratar de aumentar esta posibilidad, hemos representado también, para ambos correntímetros, el diagrama progresivo del 5 al 10 de Julio tomando como unidad las 2 horas (figs. 6.3-6 y 6.3-7) y el correspondiente al período del 11 al 16 Julio, con análoga unidad (figs. 6.3-8 y 6.3-9). En estos diagramas queda patente la carencia de círculos inerciales, con el período característico, en estas latitudes.

La serie temporal de la velocidad de la corriente para z = 20 m es la que representamos en la figura 6.3-10 y para z = 40 m es la 6.3-11. Observamos un comportamiento análogo al que teníamos en la figura 6.3-1. Es decir, un aumento progresivo de la corriente hasta

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

un máximo de cerca de 40 cm/s (en el correntímetro de 20 metros), precisamente el día 12, y a partir de esta fecha la intensidad de la corriente disminuye hasta el día 19, fecha en que comienza de nuevo el régimen ascendente.

Teniendo en cuenta las figuras 6.3-12 y la 6.3-13, en las que se tiene representada la dirección, podemos asignar las direcciones NNE. ENE a la entrante y las direcciones WSW. WNW a la saliente. En las series de intensidad de la corriente (fig. 6.3-10, 6.3-11), hemos representado por E la entrante y por S la saliente. Vemos, como ya habíamos indicado, que la entrante está más definida y tiene mayor persistencia que la saliente.

Comparando las figuras 6.3-14 y 6.3-15, correspondientes al día 11 de Julio de 1987, en las que sobre la curva de la marea obtenida por los datos del Anuario, hemos representado el vector velocidad de la corriente para ambas profundidades, observamos que la entrante corresponde a la marea ascendente y la saliente a la descendente y que el desfase que tenemos es de 1 hora 20 minutos entre la corriente y la marea. Aunque hemos representado únicamente este día, el desfase calculado para otras fechas coincide con este valor.

Estas mismas conclusiones se observan también para

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

las componentes NS y EW de la serie temporal de la intensidad para z = 20 m (figs. 6.3-16 y 6.3-17, respectivamente) y también para z = 40 m (figs. 6.3-18 y 6.3-19); así como para la gráfica de la serie vectorial para ambos correntímetros (fig. 6.3-20 y 6.3-21).

Con objeto de facilitar el estudio de las corrientes, y como ya hemos indicado (2.,4), giramos los ejes un ángulo α y proyectamos sobre ellos, los valores de la serie temporal obtenemos una nueva serie de proyecciones, que denominaremos serie longitudinal y serie transversal. El ángulo α lo determinamos por ajuste por mínimos cuadrados y viene indicado en el diagrama polar, (figs. 6.3-22, 6.3-23); para el correntímetro fondeado a 20 m dicho ángulo es 39'46°, mientras que para el situado a 40 m vale α = 28'73°.

Las series de proyecciones así obtenidas son las representadas figuras 6.3-24, para la componente longitudinal y la 6.3-25, para la transversal, en la serie de 20 m. Para la otra serie son las gráficas 6.3-26 y 6.3-27, respectivamente. En las series de las componentes transversales observamos que aún siendo $u_\ell \gg u_t$. la media temporal u_t dista mucho de ser cero. Esto puede ser debido a uno de los dos motivos siguientes: A la existencia de una onda larga atrapada, que produce corrientes transversales independientes de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

las originadas por la marea, por lo cual su media no se anula en función de la componente transversal de la marea. El otro motivo puede ser que al ajustar por mínimos cuadrados los puntos del diagrama polar, el ajuste se realiza por componentes, y no por mínima distancia ortogonal. Para dilucidar cuál de ambas posibilidades es la correcta, utilizaremos el ajuste que hemos deducido para las corrientes residuales y que posteriormente explicaremos.

La corriente residual correspondiente al período que estamos estudiando, es decir del 5 al 19 de Julio, para z = 40 m es de 5'85 cm/s y dirección 37° a partir del Norte. Para z = 20 m es de 6'52 cm/s y dirección de 45° también a partir del Norte. (Tablas 6.3-1 y 6.3-2). Las componentes longitudinal y transversal son las representadas en las figuras 6.3-28 y 6.3-29 para el primer correntímetro (z = 40 m), y las 6.3-30 y 6.3-31 para el otro (z = 20 m). Observamos que las componentes transversales, aún sin tener media nula, disminuyen significativamente respecto al eje tomado por el ajuste de mínimos cuadrados. No obstante, se aprecia en las transversales tenuamente y en las longitudinales con total claridad, una perturbación de período aproximado a las 24 horas, superpuesta a la propia marea; es significativo que esta perturbación produce una componente negativa, muy definida, aún más que la

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

positiva lo cual es en cierto punto lógico, ya que la positiva se suma a la entrante y la puede distorsionar; por otra parte la negativa, por ser la saliente muy limitada. queda menos perturbada.

Las principales consecuencias derivadas de las diferencias entre ambas series de los correntímetros son las que indicamos a continuación.

Las velocidades en el correntímetro fondeado a 20 metros son superiores a las del situado a 40 *m*. La relación en pico de entrante: v_{20}/v_{40}, es más acusada en las altas velocidades que en las bajas, llegando en estas últimas a relaciones inferiores a la unidad. La media del conjunto de medidas del pico de entrante es de 1'10; este valor al ajustar el perfil instantáneo de las velocidades, mediante uno de tipo parabólico, nos proporciona un valor de $\chi = 9$, que está de acuerdo con los valores experimentales obtenidos por Dronkers. Teniendo en cuenta el perfil plano de las corrientes originadas por el viento y el perfil parabólico se obtiene como resultante el perfil representado en la figura 6.2-3 bis. Estos valores deberán tomarse con cautela en la saliente, Debido a que en determinadas condiciones se origina una corriente muy alta en intensidad y desplazada una con la siguiente 24 horas. Este hecho nos conduce de nuevo a pensar que debe

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

existir una onda atrapada, que al estar en fase con la saliente produce un efecto resonante. En cambio, no es tan aparente en la intensidad de la entrante y sí lo es en forma de aumentar significativamente el tiempo de entrante.

Con el fin de definir el giro del vector rotatorio en cada ciclo de marea, hemos representado las gráficas correspondientes a los días del 9 al 15 de Julio, teniendo presente que los vectores representativos son instantáneos y no valores medios. De ellas seleccionamos las figuras 6.3-32, 6.3-33 y 6.3-34 para el correntímetro situado a 20 m de profundidad y las 6.3-35, 6.3-36 y 6.3-37 para el otro, en las fechas que se indican. Nos hemos decidido por esta representación para evitar que el proceso del promedio, deteriore el fenómeno. Se denomina por 0 el vector corriente registrado más próximo a la pleamar y los siguientes vectores están definidos de hora en hora.

En las gráficas observamos que las elipses están muy deformadas y descompensadas en tiempo. El sentido de giro es primordialmente antihorario. También observamos que así como la entrante está muy definida en el primer cuadrante con altas velocidades, la vaciante oscila frecuentemente entre el tercero y cuarto cuadrante y bajas velocidades.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Una vez más, nos debemos inclinar por admitir que existe una corriente, en la dirección del primer cuadrante que elimina o amortigua la saliente.

Al nivel z = 40 m no se puede imaginar que dicha corriente sea originada por el viento.

La justificación teórica se podría realizar del siguiente modo:

Consideremos el eje mayor de la elipse, que coincide aproximadamente con el eje longitudinal determinado en las corrientes residuales. Si proyectamos sobre este eje las velocidades, y admitimos para simplificar que éstas están originadas primordialmente por la componente M_2, caracterizada por su velocidad angular W_2 y amplitud u_2, la expresión de esta corriente oscilante es:

$$u = u_2 \cos \omega_2 t$$

Si imaginamos superpuesta una corriente de intensidad u_0 la resultante sería:

$$u = u_0 + u_2 \cos \omega_2 t$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Ahora bien u será cero cuando:

$$\cos \omega_2 t = - \frac{u_0}{u_2}$$

Para los valores de u_2 existentes y con una u_0 de unos 10 cm/s aproximadamente cada cuatro horas, se anularía. Al haber un desfase aproximado, según veíamos, de una hora y media con la marea. sería de cinco horas y media a partir de la pleamar o sea en régimen de saliente.

Para determinar la corriente que superponemos nos apoyamos en las corrientes residuales.

6.4.- Corrientes Residuales.

Como ya hemos visto las corrientes residuales son las resultantes de las corrientes de marea, una vez eliminadas la parte senoidal, puesto que son producidas por la asimetría de la elipse de corrientes.

Si trabajamos con el método euleriano, la corriente residual $\vec{u}_R$ se calcula en un período de marea mediante:

$$\vec{u}_R = \frac{1}{T} \int_0^T \vec{u} \, dt \qquad (6.5)$$

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

El método que proponemos, para realizar el cálculo de las corrientes residuales en un período de tiempo, es el siguiente:

Se obtiene la rosa de corrientes de 16 puntas de ese período, asignando a cada una de ellas su ángulo central o equivalentemente su ángulo inicial. Se determina la frecuencia y la velocidad media en cada dirección, de deducción inmediata si se dispone del régimen direccional de corrientes, y se calculan las componentes N-S. E-W del vector que se obtiene multiplicando la frecuencia por la velocidad media. La resultante de todas las sumas de las componentes nos proporcionan el vector $N\vec{u}_R$ y por tanto el $\vec{u}_R$, el cual está referido a las componentes definidos anteriormente. Mediante una transformación de giro (α) los de ejes de referencia, podemos calcular las nuevas componentes referidas a esos nuevos ejes, con la condición de minimizar la componente transversal; la dirección (α) es la de la corriente residual.

Obsérvese que este procedimiento de cálculo se puede emplear para deducir las corrientes residuales originadas por el viento y por consiguiente el transporte neto. De esta forma, podemos conocer en las distintas capas de la zona sus corrientes de deriva, aunque como es lógico el solapamiento entre las capas

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

puede ocurrir, pero admitiendo el principio de superposición se puede deducir las corrientes residuales resultantes.

Hemos calculado las velocidades residuales para ambas series temporales de datos y resultan tener una alta estabilidad. Como ejemplo, incluímos las tablas del periodo comprendido entre el 23 de Junio y el 22 de Julio para el correntímetro instalado a 20 m y que posteriormente hemos subdividido en periodos de siete días (Tablas 6.4-1,..., 6.4-5). Los cálculos para la otra serie de velocidades los presentamos en las tablas desde la 6.4-6 hasta la 6.4-10.

El cuadro resumen para observar la estabilidad es el que indicamos a continuación:

PERIODO	α_{20}	α_{40}	$v_{res\,20}$	$v_{res\,40}$
23-29 Junio	60	65	6'61	8'66
29-6 Julio	49	50	7'90	8'38
7-13 Julio	48	57	7'62	6'72
14-20 Julio	34	42	4'46	4'48

Refiriéndonos de nuevo a las corrientes de marea podemos concluir lo siguiente. **Dado un registro de corrientes de una longitud equivalente a un mes lunar se puede con relativa facilidad obtener la corriente residual, presentando semana a semana una alta estabilidad. Si sumamos vectorialmente la corriente**

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

medida y la residual, se obtiene la corriente pura de marea.

Este procedimiento es inverso al que se suele realizar. Efectivamente, para la obtención de la corriente residual (57) se procedía así: se obtenía un registro largo de corrientes (una semana). Mediante filtrado se deducían sus componentes armónicas puras, obtenida la nueva serie se resta del registro que se dispone para deducir como resultado la corriente residual. Los métodos de deducción directa de la corriente residual (58), eran muy laboriosos y de no mayor exactitud que el propuesto por nosotros. Se obtenía la corriente residual proyectando sobre sectores de 45° asignando artificialmente sentido a las componentes, para posteriormente realizar un promedio.

Una aplicación del método propuesto a las corrientes de marea es la siguiente: Se dispone de un registro largo de corrientes de marea y de su correspondiente rosa de corrientes (fig. 6.4-1). Deducimos por el método propuesto la corriente residual, y la sumamos vectorialmente a cada dirección de la rosa de corrientes obteniendo con este procedimiento una nueva rosa (fig. 6.4-2) cuya mayor simetría respecto de la original es evidente. Si trabajamos con la serie de datos original sumandole vectorialmente la corriente

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

residual, y a la nueva serie que se obtiene se la trata espectralmente, se consigue una ganancia en la estabilidad del eje mayor de la elipse.

También es posible aplicar la corriente residual media a un sólo ciclo de marea. Indudablemente lo único que obtendremos será una estima de la realidad ya que estamos trabajando con un sólo ciclo de marea y una corriente residual media de un periodo mucho mayor, no obstante los resultados mejoran en una mayor simetría de las elipses. Con este criterio hemos dibujado el ciclo de marea para el día 11 de Julio, en el que se han incluido los valores de la corriente corregidos mediante la corriente residual para los dos aparatos (figs. 6.4-3, 6.4-4), mientras que en las figuras 6.3-14 y 6.3-15 los vectores que se representaban eran los de la serie original. Teniendo en cuenta este procedimiento tenemos en las seis gráficas siguientes (figs. 6.4-5,..., 6.4-10) para los mismos dias que se habian representado, las elipses con los valores corregidos por la corriente residual. La mejor simetría en estas es evidente.

La posibilidad de obtener un régimen de corrientes de marea, ajustándolo a un régimen normal ha sido realizada por Tejedor (50), con corrientes de no fuerte distorsión y por Pugh (59) con corrientes de marea asimétricas. El régimen que deducimos en nuestra zona de

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

estudio se ajusta a una función de distribución normal cuando eliminamos la corriente residual, así se han obtenido los regímenes de las figuras 6.4-11 y 6.4-12, para cada uno de los dos correntímetros.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 5-7-87 a 20-7-87
z = 40 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	7'30	5'97	0	43'58
NNE	22'5	13'79	15'93	72'77	202'95
NE	45	13'94	21'81	214'98	214'98
ENE	67'5	12'56	15'14	175'68	72'77
E	90	7'90	4'86	38'39	0
ESE	112'5	6'20	2'87	16'44	-6'81
SE	135	4'37	1'53	4'73	-4'73
SSE	157'5	4'98	1'20	2'29	-5'52
S	180	5'52	1'48	0	-8'17
SSW	202'5	6'41	2'08	-5'10	-12'32
SW	225	8'96	3'84	-24'33	-24'33
WSW	247'5	10'11	7'36	-68'75	-28'48
W	270	8'53	5'05	-43'08	0
WNW	292'5	5'42	4'68	-23'43	9'71
NW	315	4'53	3'75	-12'01	12'01
NNW	337'5	3'02	2'45	-2'83	6'84
Σ			100	345'75	472'48

$$\vec{R} = 3'46\vec{i} + 4'72\vec{j}$$
$$\vec{R}' = 5'85\vec{i} + 0'08\vec{j}$$

TABLA 6.3-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 5-7-87 a 20-7-87
z = 20 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	7'47	5'00	0	37'35
NNE	22'5	14'78	19'07	107'86	260'40
NE	45	13'48	21'44	204'36	204'36
ENE	67'5	10'77	15'42	153'43	63'55
E	90	7'78	8'06	62'71	0
ESE	112'5	6'28	4'03	23'38	-9'68
SE	135	4'02	2'50	7'11	-7'11
SSE	157'5	3'71	1'99	2'88	-8'82
S	180	4'55	2'22	0	-10'10
SSW	202'5	8'71	3'19	-10'83	-25'67
SW	225	11'80	5'69	-47'48	-47'48
WSW	247'5	7'55	3'10	-21'62	-8'96
W	270	4'57	2'31	-10'56	0
WNW	292'5	2'97	1'94	-5'32	2'20
NW	315	3'09	2'08	-4'54	4'54
NNW	337'5	3'58	1'99	-2'66	6'42
Σ			100	458'92	472'00

$$\vec{R} = 4'59\,\vec{i} + 4'63\,\vec{j}$$
$$\vec{R'} = 6'52\,\vec{i'} + 0'02\,\vec{j'}$$

TABLA 6.3-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 23-6-87 a 22-7-87
z = 20 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	7'16	5'74	0	41'10
NNE	22.5	14'45	19'79	109'27	264'20
NE	45	13'17	21'13	196'77	196'77
ENE	67.5	10'48	14'05	136'03	56'35
E	90	7'66	6'89	52'78	0
ESE	112.5	5'66	4'31	22'54	-9'33
SE	135	4'41	2'37	7'39	-7'39
SSE	157'5	4'13	1'68	2'65	-6'41
S	180	4'45	1'60	0	-7'12
SSW	202'5	8'60	2'97	-9'77	-23'60
SW	225	10'64	5'86	-44'10	-44'10
WSW	247'5	8'44	3'92	-30'56	-12'66
W	270	4'91	2'68	-13'16	0
WNW	292'5	3'19	2'27	-6'69	2'77
NW	315	3'21	2'27	-5'15	5'15
NNW	337'5	3'86	2'46	-3'63	8'77
Σ			100	414'37	464'50

$$\vec{R} = 4'14\,\vec{i} + 4'65\,\vec{j}$$

$$\vec{R'} = 6'21\,\vec{i'} + 0'02\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 23-6-87 a 29-6-87
z = 20 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	7'37	9'33	0	68'76
NNE	22'5	14'59	26'61	148'57	358'68
NE	45	12'33	21'89	190'85	190'85
ENE	67'5	7'90	9'76	71'23	29'50
E	90	7'75	3'33	25'80	0
ESE	112'5	4'64	3	12'86	-5'33
SE	135	5'42	1'5	5'75	-5'75
SSE	157'5	7'26	0'37	2'69	-0'51
S	180	6'74	0'54	0	-3'64
SSW	202'5	10'60	2'15	-8'72	-21'05
SW	225	12'56	4'83	-42'89	-42'89
WSW	247'5	10'19	4'18	-39'35	-16'30
W	270	4'61	2'58	-11'89	0
WNW	292'5	3'08	3'43	-9'78	4'04
NW	315	2'98	2'04	-4'30	4'30
NNW	337'5	4'66	3'86	-6'88	16'62
Σ			100	333'98	571'28
Σ/100				3'34	5'71

$$\vec{R} = 3'34\,\vec{i} + 5'71\,\vec{j}$$
$$\vec{R'} = 6'61\,\vec{i'} - 0'035\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 30-6-87 a 6-7-87
z = 20 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	7'19	4'07	0	29'26
NNE	22'5	14'39	23'41	128'91	311'23
NE	45	13'97	23'71	234'21	234'21
ENE	67'5	12'11	15'77	176'44	73'08
E	90	8'77	5'56	48'76	0
ESE	112'5	7'15	3'08	20'35	-8'43
SE	135	6'11	1'69	7'30	-7'30
SSE	157'5	3'58	1'69	2'31	-5'59
S	180	3'46	0'99	0	-3'42
SSW	202'5	6'76	2'18	-5'64	-13'61
SW	225	6'56	2'88	-13'36	-13'36
WSW	247'5	7'73	5'75	-41'06	-17'01
W	270	6'27	3'27	-20'50	0
WNW	292'5	3'97	1'98	-7'26	3'01
NW	315	4'04	2'18	-6'23	6'23
NNW	337'5	2'94	1'79	-2'01	4'86
Σ			100	522'22	593'16
Σ/100				5'22	5'93

$$\vec{R} = 5'22\,\vec{i} + 5'93\,\vec{j}$$
$$\vec{R'} = 7'90\,\vec{i'} - 0'049\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-3

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 7-7-87 a 13-7-87
z = 20 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	8'20	5'75	0	47'15
NNE	22'5	16'04	20'93	128'47	310'16
NE	45	14'53	22'02	226'24	226'24
ENE	67'5	10'87	14'38	144'41	59'82
E	90	7'51	8'93	67'06	0
ESE	112'5	6'82	4'17	26'27	-10'88
SE	135	3'81	2'18	5'87	-5'87
SSE	157'5	4'10	1'59	2'49	-6'02
S	180	3'30	1'88	0	-6'20
SSW	202'5	11'59	2'38	-10'56	-25'48
SW	225	10'10	4'46	-31'85	-31'85
WSW	247'5	7'69	2'68	-19'04	-7'89
W	270	5'02	2'68	-13'45	0
WNW	292'5	3'54	1'69	-5'53	2'30
NW	315	2'89	2'18	-4'45	4'45
NNW	337'5	3'76	2'08	-2'99	7'22
Σ			100	512'94	563'15
Σ/100				5'13	5'63

$$\vec{R} = 5'13\,\vec{i} + 5'63\,\vec{j}$$

$$\vec{R'} = 7'62\,\vec{i} - 0'045\,\vec{j}$$

TABLA 6.4-4

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Periodo: 14-7-87 a 20-7-87
z = 20 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	6'20	4'56	0	28'27
NNE	22'5	12'04	12'40	57'13	137'93
NE	45	12'33	19'35	168'70	168'71
ENE	67'5	10'79	17'06	170'06	70'44
E	90	8'03	8'83	70'91	0
ESE	112'5	5'86	4'96	26'85	-11'12
SE	135	4'29	3'27	9'92	-9'92
SSE	157'5	3'70	2'28	3'23	-7'79
S	180	5'44	2'78	0	-15'12
SSW	202'5	7'93	4'66	-14'14	-34'14
SW	225	12'21	9'33	-80'55	-80'55
WSW	247'5	9'49	2'78	-24'37	-10'10
W	270	4'16	1'39	-5'78	0
WNW	292'5	2'93	1'79	-4'84	2'01
NW	315	3'31	2'58	-6'04	6'04
NNW	337'5	3'94	1'98	-2'98	7'21
Σ			100	368'10	251'87
Σ/100				3'68	2'52

$$\vec{R} = 3'68\,\vec{i} + 2'52\,\vec{j}$$

$$\vec{R'} = 4'46\,\vec{i'} + 0'03\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-5

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 23-6-87 a 22-7-87
z = 40 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%).x	F(%).y
N	0	6'92	5'83	0	40'34
NNE	22.5	13'96	20'09	107'28	258'96
NE	45	12'99	24'46	224'54	224'54
ENE	67.5	11'96	14'85	164'09	68'01
E	90	7'39	4'64	33'55	0
ESE	112.5	5'69	2'24	11'78	-4'88
SE	135	4'39	1'14	3'53	-3'53
SSE	157'5	4'24	0'83	1'34	-3'25
S	180	5'39	1'14	0	-6'14
SSW	202'5	5'92	1'40	-3'18	-7'66
SW	225	8'09	2'83	-16'19	-16'19
WSW	247.5	10'24	5'59	-52'88	-21'91
W	270	8'43	4'81	-40'55	0
WNW	292'5	5'36	4'05	-20'05	8'30
NW	315	4'14	3'45	-10'11	10'11
NNW	337'5	3'73	2'64	-3'78	9'11
Σ			100	399'37	555'81

$$\vec{R} = 3'99\,\vec{i} + 5'56\,\vec{j}$$

$$\vec{R'} = 6'92\,\vec{i'} - 0'02\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-6

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 23-6-87 a 29-6-87
z = 40 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%). x	F(%). y
N	0	6'74	7'62	0	51'36
NNE	22'5	15'10	35'52	205'31	495'50
NE	45	12'00	26'18	222'27	222'27
ENE	67'5	8'36	7'08	54'66	22'66
E	90	3'31	1'93	7'55	0
ESE	112'5	4'54	0'64	2'68	-1'11
SE	135	2'04	0'32	0'46	-0'46
SSE	157'5	2'51	0'43	0'41	-1'00
S	180	5'52	0'86	0	-4'75
SSW	202'5	5'95	0'43	-0'98	-2'37
SW	225	9'39	1'50	-9'96	-9'96
WSW	247'5	13'90	3'43	-44'04	-18'25
W	270	8'41	4'29	-36'08	0
WNW	292'5	6'44	3'43	-20'41	8'44
NW	315	3'64	2'90	-7'45	7'45
NNW	337'5	4'27	3'43	-5'59	13'51
Σ			100	368'83	783'29
Σ/100				3'69	7'83

$$\vec{R} = 3'69\,\vec{i} + 7'83\,\vec{j}$$

$$\vec{R'} = 8'66\,\vec{i'} - 0'035\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-7

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 30-6-87 a 6-7-87
z = 40 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%). x	F(%). y
N	0	6'42	6'05	0	38'84
NNE	22'5	13'16	21'53	108'43	261'77
NE	45	13'37	28'27	267'27	267'27
ENE	67'5	12'15	16'27	182'63	75'65
E	90	7'06	4'27	30'15	0
ESE	112'5	5'24	1'29	6'25	-2'59
SE	135	3'95	0'99	2'77	-2'77
SSE	157'5	3'43	1'09	1'43	-3'45
S	180	3'60	0'50	0	-1'80
SSW	202'5	4'23	0'60	-0'97	-2'34
SW	225	6'10	1'29	-5'56	-5'56
WSW	247'5	5'10	2'68	12'63	-5'23
W	270	6'74	2'58	-17'39	0
WNW	292'5	3'59	4'56	-15'12	6'26
NW	315	3'26	5'06	-11'66	11'66
NNW	337'5	3'22	2'98	-3'67	8'87
Σ			100	531'93	646'58
Σ/100				5'32	6'47

$$\vec{R} = 5'32\,\vec{i} + 6'47\,\vec{j}$$
$$\vec{R'} = 8'38\,\vec{i'} + 0'003\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-8

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 7-7-87 a 13-7-87
z = 40 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%). x	F(%). y
N	0	8'47	8'23	0	69'71
NNE	22'5	14'86	16'57	94'23	227'49
NE	45	14'98	21'92	232'19	232'19
ENE	67'5	12'09	14'48	161'74	66'99
E	90	8'30	5'26	43'66	0
ESE	112'5	7'37	2'58	17'57	-7'28
SE	135	3'03	1'09	2'34	-2'34
SSE	157'5	4'54	0'40	0'69	-1'68
S	180	6'19	1'09	0	-6'75
SSW	202'5	5'97	1'59	-3'63	-8'77
SW	225	7'86	2'98	-16'56	-16'56
WSW	247'5	9'69	6'94	-62'13	-25'73
W	270	9'13	5'85	-53'41	0
WNW	292'5	6'39	4'76	-28'10	11'64
NW	315	5'16	3'47	-12'66	12'66
NNW	337'5	2'79	2'78	-2'87	7'17
Σ			100	372'96	558'74
Σ/100				3'73	5'59

$$\vec{R} = 3'73\,\vec{i} + 5'59\,\vec{j}$$
$$\vec{R'} = 6'72\,\vec{i'} - 0'08\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-9

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRIENTES RESIDUALES
Período: 14-7-87 a 20-7-87
z = 40 m.

Sector	Angulo (°)	$\bar{v}$	Frecuencia (%)	F(%). x	F(%). y
N	0	4'25	2'38	0	10'12
NNE	22'5	11'89	10'22	46'50	112'27
NE	45	12'38	22'82	199'77	199'77
ENE	67'5	12'84	19'74	234'17	97'00
E	90	8'14	6'75	54'95	0
ESE	112'5	5'37	3'77	18'70	-7'75
SE	135	5'16	2'08	7'59	-7'59
SSE	157'5	5'70	1'39	3'03	-7'32
S	180	4'94	2'08	0	-10'28
SSW	202'5	6'91	2'58	-6'82	-16'47
SW	225	9'42	5'06	-33'70	-33'70
WSW	247'5	11'68	8'23	-88'81	-36'79
W	270	8'09	4'86	-39'32	0
WNW	292'5	5'16	3'57	-17'02	7'05
NW	315	5'09	2'88	-10'37	10'37
NNW	337'5	4'44	1'59	-2'70	6'52
Σ			100	365'97	323'2
Σ/100				3'66	3'23

$$\vec{R} = 3'66\,\vec{i} + 3'23\,\vec{j}$$
$$\vec{R'} = 4'88\,\vec{i'} - 0'05\,\vec{j'}$$

TABLA 6.4-10

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CONCLUSIONES

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

* Debido a la orografía típica de Gran Canaria es muy aventurado realizar correlaciones entre dos estaciones meteorológicas. Sólo se puede realizar por direcciones teniendo muy presente los accidentes topográficos y las distribuciones residuales que proponemos. Mediante las distribuciones residuales hemos realizado la correlación Gando-Taliarte y justificado sus aparentes discrepancias.

* Existen en el año dos épocas muy diferenciadas en el comportamiento del viento: los meses comprendidos entre Mayo y Agosto caracterizados por direcciones N y NNW con muy poca frecuencia en el resto de las direcciones y los meses restantes por el gran predominio de los vientos del Norte pero con frecuencias apreciables en el resto de las direcciones.

* Los vientos alisios presentan persistencias muy altas, en ocasiones superiores a 150 horas.

* La ciculación en aguas restringidas en la zona de nuestro estudio, presenta un modelo dinámico tricapa. La superficial, hasta una profundidad de treinta metros, es originada por las corrientes de vientos y marea. En la intermedia, desde treinta hasta una profundidad de 50-55 metros, dominan las corrientes originadas por ondas largas. Por último, la capa profunda, desde los 55 a los 75 metros, donde se debe

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

tener muy en cuenta la fricción por fondo, en la corriente de marea y ondas largas.

* Debido a las altas persistencias de los alisios, las corrientes originadas por los vientos se pueden admitir de perfil plano tipo Baines con parámetro $m = -0'26$ y con una profundidad relativa de inversión de $z/d \approx 0'6$.

* Para vientos con velocidades comprendidas entre 8 m/s y 12 m/s y con persistencia superior a las seis horas, se puede admitir que la velocidad de la corriente superficial es lineal con la velocidad del viento y coeficiente 0'04 y forma un ángulo de 180° + 20°, respecto de la dirección del viento.

* Una buena estima del régimen de corrientes originadas por el viento, se puede obtener con facilidad en función de las dos conclusiones anteriores. Efectivamente, por la última sólo mediante un cambio lineal de escala en los regímenes direccionales de vientos se obtiene el correspondiente régimen direccional de corrientes superficiales y mediante el perfil propuesto el régimen de corrientes originadas por el viento a distintas profundidades.

* Las capas intermedia y profunda admiten un perfil plano de tipo parabólico, con parámetro $\gamma = 9$.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

* La suma del perfil parabólico y el de viento (proyectado en dirección de la propagación de la marea) es plano y de tipo Van Veen y definidor de la capa superficial.

* Las corrientes de marea presentan una fuerte asimetría, con un 75% de entrante y corriente dominante NNE, y un 25% de saliente, de corriente dominante WSW, apróximadamente.

* Como consecuencia de la conclusión anterior existen unas corrientes residuales muy altas que se pueden calcular con cierta facilidad mediante el método propuesto. La dirección de propagación de la corriente residual es apróximadamente NNE y con alta estabilidad.

* Se puede admitir una residual en las corrientes originadas por el viento de alta estabilidad. La dirección de propagación es en época de alisios, SSW.

* La asimetría en la elipses de marea se reducen sensiblemente cuando se tiene en cuenta la corriente residual.

* El régimen de corrientes de marea se ajusta a una función de distribución normal si se tiene en cuenta las corrientes residuales.

* Se han detectado modos de oscilación atrapados

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

entre las Islas, de período 80 y 40 horas.

* Se observan ondas de 24 horas muy superiores a las que se pueden correlacionar con la componente diurna. Cuando están en fase con la saliente se originan fenómenos de resonancia, aumentando extraordinariamente el efecto de la saliente. Cuando esta onda está en fase con la entrante, se aprecia un aumento del tiempo de entrante así como un incremento de la propia corriente. La diferencia de comportamiento entrante y saliente es que esta onda atrapada, cede energía a la saliente en un tiempo muy crítico, sin aumentar apreciablemente el tiempo de saliente. Por el contrario, en entrante aumenta significativamente este tiempo. Los efectos de resonancia se amortiguan en el tiempo como suele ocurrir con estos tipos de ondas.

Estas últimas conclusiones deberán constituir nuestra futura línea de investigación, la cual se deberá fundamentar en la medida de niveles a lo largo de la costa Este de Gran Canaria y de la costa Oeste de Fuerteventura. Sólo así se podrá detectar las posibles ondas atrapadas cuyos efectos se han podido apreciar en nuestro trabajo. Asímismo, se pretende con la información obtenida formalizar un modelo matemático de la totalidad de la zona comprendida entre ambas Islas.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

BIBLIOGRAFIA.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

(1) Bowden, K.F. (1983) : "Physical Oceanography of Coastal Waters". Ellis Horwood Series Marine Science.

(2) Csanady, G. T. (1982): "Circulation in the Coastal Ocean". D. Reidel Publishing Company. Holland.

(3) Hughes, P; Barton, E. D. (1974): "Stratification and Water Mass Structure in the Upwelling Area off Northwest Africa in Abril-May, 1969". Deep-Sea Research, 21, pp 611-628.

(4) Donald, R. J.; Barton, E. D.; Hughes, P. and Mooers, C. N. R. (1975): "Circulation in the Canary Current Upwelling Region of Cabo Bojador in August 1972". Deep-Sea Research, 22.

(5) Fraga, F. (1973): "Oceanografía Química de la región de afloramiento del Noroeste de Africa". Res. Exp. B/O Cornide, 2, pp 13-52.

(6) Margalef, R. (1971): " Una campaña oceanográfica del Cornide de Saavedra en la región de afloramiento del Noroeste de Africa". Inv. Pesq., 35, supl.

(7) Fraga, F.; Barton, E. D.; Llinás, O. (1985): "The concentration of nutrient salts in "pure" North and South Atlantic Central Waters". Simp. Int. Afl. W. Afr. Inst. Inv. Pesq. Barcelona, V. I., pp 25-36.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

(8) Llinás, O.; Fraga, F.; Barton, E. D.; (1985): "Nutrient distributions in the Central Water Mass Front near Cabo Blanco, October 1981". Symp. Int. Afl. O.Afr.; Inst. Inv. Pesqueras, Barcelona, V. I. pp 37-48.

(9) Fedoseev, A. (1970): " Geostrophic Circulation of Surface Waters on the Shelf of North-West Africa". Rapp. Proc. Verb. Renn. Const. Int. Expl. Mer., 159.

(10) Molina, R. (1973): "Contribution to the study of the Canary Current". International Council for the Exploration of the Sea C. M. 1973/C:6. Hydrography Committee.

(11) Molina, R. (1976): "Consideraciones sobre la Corriente de Canarias". II Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Comunicaciones; Vol. 3, pp 1567-1588.

(12) Molina, R.; Laatzen, F. L. (1986): "Corrientes en la región comprendida entre las Islas Canarias Orientales, Marruecos y las Islas Madeiras. Campaña Norcanarias I." Rev. de Geofísica 42, pp 41-52.

(13) Instituto Hidrográfico de la Marina Española. (1965): "Derrotero de la Costa Occidental de Africa".

(14) U. S. Naval Oceanographic Office. (1970):

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

"Pilot Charts of the North Atlantic Ocean".

(15) Müller, T. J. (1981): "Current and Temperature Measurements in the North-East Atlantic during NEADS". Berichte I.f.M. Kiel, nº 90.

(16) Müller, T. J. and Zenk, W. (1983): "Some Eulerian Current Measurements and XBT sections from the North-East Atlantic. October 1980-March 1982". Berichte I.f.M. Kiel, nº 114.

(17) Müller, T. J. (1984): " Eulerian Current Measurements from the North-East Atlantic. March 1982-October 1983". Berichte I.f.M. Kiel, nº 127.

(18) Müller, T. J.; Finke, M.; Dasch, W.; Wittstock, R. R. (1987): "Hydrographic and Current Measurements in the North-East Atlantic Ocean". Berichte I.f.M. Kiel, nº 166.

(19) Hernández León, S.; Llinás, O.; Braum, J. G. (1984): "Nota sobre la variación de la biomasa del Mesozooplancton en aguas de Canarias". Investigación Pesquera, Vol. 48(3).

(20) Hernández León, S. (1987): " Actividad del transporte de electrones en el Mesozooplancton durante un máximo primaveral en aguas del Archipielago Canario". Investigaciones Pesqueras, Vol. 51(4) pp 491-499.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

(21) Hernández León, S. (1988): "Ciclo anual de la biomasa del Mesozooplancton sobre una área de plataforma en aguas del Archipiélago Canario". Inves. Pesq. (en prensa).

(22) Font Tullot, I. (1956): "El tiempo atmosférico en las Islas Canarias". Servicio Meteorológico Nacional, Serie A, nº 26.

(23) Dirección General de Puertos y Costas. M.O.P.U.; (1979): "Plan Indicativo de Usos del Dominio Público Litoral".

(24) Pickard, G. L.; Emery, W. J. (1985): " Descriptive Physical Oceanography. An Introduction". Pergamon Press.

(25) Dietrich, G., Kalle, K., Krauss, W., and Siedler,. (1980) : "General Oceanography". Wiley Interscience.

(26) Le Floch, Jean (1974): "Quelques aspects de la dynamique et de l'hydrologie des couches superficielles dans l'Ouest Marocain. Campagnes Cineca-Charcot I et III". Tethys-6-(1-2) pp 53-68.

(27) Zenk, W.; Finke, M.; Müller, T. J.; Llinás González, O. (1986): "The Role of the Canary Current in

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

the Subtropical Atlantic Gyre Circulation". Comunicación oral: Joint Meeting of the European Geophysical Society and the European Seismological Commission (Kiel).

(28) Molina, R. (1981): "Hidrología y Corrientes en la región Canario-Marroquí, entre Cabo Juby y Cabo Sim. Campaña Cineca I". Comunicación oral: IV Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica, Vol III. pp 1167-1195.

(29) Sverdrup, H. U.; Johson, M. W.; Fleming, R. H. (1942): "The Oceans. Their Physics, Chemistry and General Biology". Prentice Hall, Inc. New York.

(30) Pond, S., Pickard, G.L. (1983) : "Introductory Dynamical Oceanography". Pergamon Press.

(31) Prandtl, L. (1952) : "Essentials of Fluid Dynamics". Hafner. New York.

(32) Saint-Guily, B. (1955): "Sous la forme des equations de la dynamique des oceans en régime turbulent". Boll. d' Inform., C.O.E.C. nº 7.

(33) Von Schwind, J.J. (1980) : "Geophysical Fluid Dynamics for Oceanographers". Prentice - Hall, Inc. New York.

(34) Kamenkovich, V. (1977) : "Fundamentals of Ocean Dynamics". Elsevier Scientific Publishing Company. New York.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

(35) Smith, S. D.; Bake, E. G. (1975): "Variation of the Sea Surface Drag Coefficient with Wind Speeds". Qua. Jour. Roy. Met. Soc. Vol. 101, pp 665-673.

(36) Amorocho and De Vries (1980): "A new Evaluation of the Wind Stress Coefficients over Water Surfaces". Journal Geophys. Res. 85, C1, pp 433-442.

(37) Wu, J.; (1980): "Wind Stress Coefficients over Sea Surface near Neutral Conditions. A Revisit". Journal of Phys. Ocean. Vol. 10, pp 727-740.

(38) Safaie, B.; (1984): "Wind Stress at Air-Water Interface": J. Wat. Way, Port, Coast. and Oc. Eng., Am. Soc. Civ. Engrs.; 18868 (WW-110;2) pp 287-293.

(39) Bishop, J. M. (1984): "Applied Oceanography". John Wiley and Sons, Intersci., New York.

(40) Knauss, J. A. (1978): "Introduction to Physical Oceanography". Prentice-Hall, Inc. New York.

(41) Neumann, G. and Pierson, W. J. (jr) (1966): "Principles of Physical Oceanography". Prentice-Hall, Inc. New York.

(42) Prandle, D. (1983): "The Vertical Structure of Tidal Currents". Geophys. Astrophys. Fluid Dynamics 22 (1/2) pp 29, 49.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

(43) Losada, M. A. (1976): "Método direccional de previsión del oleaje". Tesis Doctoral. (E.T.S.I.C.C.P.) Madrid.

(44) Bendat, J.S. and Piersol, A.G. (1971): "Random data: Analysis and Measurements Procedure". Wiley and Sons, Intersci. New York.

(45) Suárez Bores, P. (1967): "Introducción a la estructura del oleaje". Laboratorio de Puertos. (C.E.E.O.P.), public. nº 4 - B. Madrid.

(46) Suárez Bores, P. (1968): "Estructura del viento en las capas bajas de la atmósfera". Laboratorio de Puertos. (C.E.E.O.P.), public. nº 3-B. Madrid.

(47) Tejedor Martínez, L. (1972): "Dinámica de los procesos costeros. Ciclo del Mar". Rept. Instituto de Ingenieros Civiles. México.

(48) Tejedor, M. B.; Pérez Martell, E.; Rivero, G. (1988): "Estudio del régimen de vientos en Gando-Gran Canaria". Comunicación. XIX Jornadas Científicas de la Asociación Meteorológica Española. Principado de Asturias.

(49) Suárez Bores, P. (1979): "Meteorología Dinámica". Servicio de Publicaciones, (E.T.S.I.C.C.P).

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Madrid.

(50) Tejedor Martínez, L. (1975): "Estudio Oceanográfico en la Bahía de Nipe. Cuba". Estudio realizado en el C.E.D.E.X. Madrid.

(51) Instituto Hidrográfico de la Marina : "Anuario de Mareas. 1986".

(52) Lisitzin, E. (1974) : "Sea Level Changes". Elsevier Oceanography Series. Holanda.

(53) Hydrographer of the Navy (1959) : "The Admiralty semi-graphic method of harmonic tidal analysis (over a period of one month)". N.P. 159. Admiralty Tidal Handbook. Inglaterra.

(54) Baines, D., Knapp, D.J. (1965) : "Wind Driven Water Currents". J. of Hydr. Div., Amer. Society of Civil Eng., p4270 (HY2), 91; pp 205-221.

(55) Reid,R.O., Bodine, B.R. (1968) : "Numerical computation of the Storm Surges in Galveston bay". J. of Waterways and Harb. Div., Amer. Society of Civil Eng. p5805 (WW1), 94; pp 33-57.

(56) Bowden, K.F. (1953): "Note on Wind Drift in a channel in the presence of Tidal Current". Proc. R. Soc. London. A-219; pp 426-446.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

(57) Jenkins, A. D. (1983): "Evaluation of tidal currents in a wide estuary". Journal for Numerical Methods in Fluids. Vol 3, pp: 61-70.

(58) Santás López, J. C. (1985): "Estudios de dispersión en Rías". Tesis Doctoral. (Facultad de Ciencias del Mar). Las Palmas.

(59) Pugh, D. T. (1982): "Estimating extreme currents by combining tidal and surge probabilities". Ocean Engng. Vol 9.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Universidad Politecnica de Canarias
Departamento de Fisica
Facultad de Ciencias del Mar

INTERACCION VIENTOS-CORRIENTES EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS. UN MODELO PARA LA COSTA ESTE DE GRAN CANARIA

(ANEXO DE FIGURAS)

Autora: Esther Perez Martell
Director: Dr. D. Luis Tejedor Martinez
Julio. 1988

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Departamento de Física Facultad de Ciencias del Ma:

Universidad Politécnica de Canarias

TESIS DOCTORAL

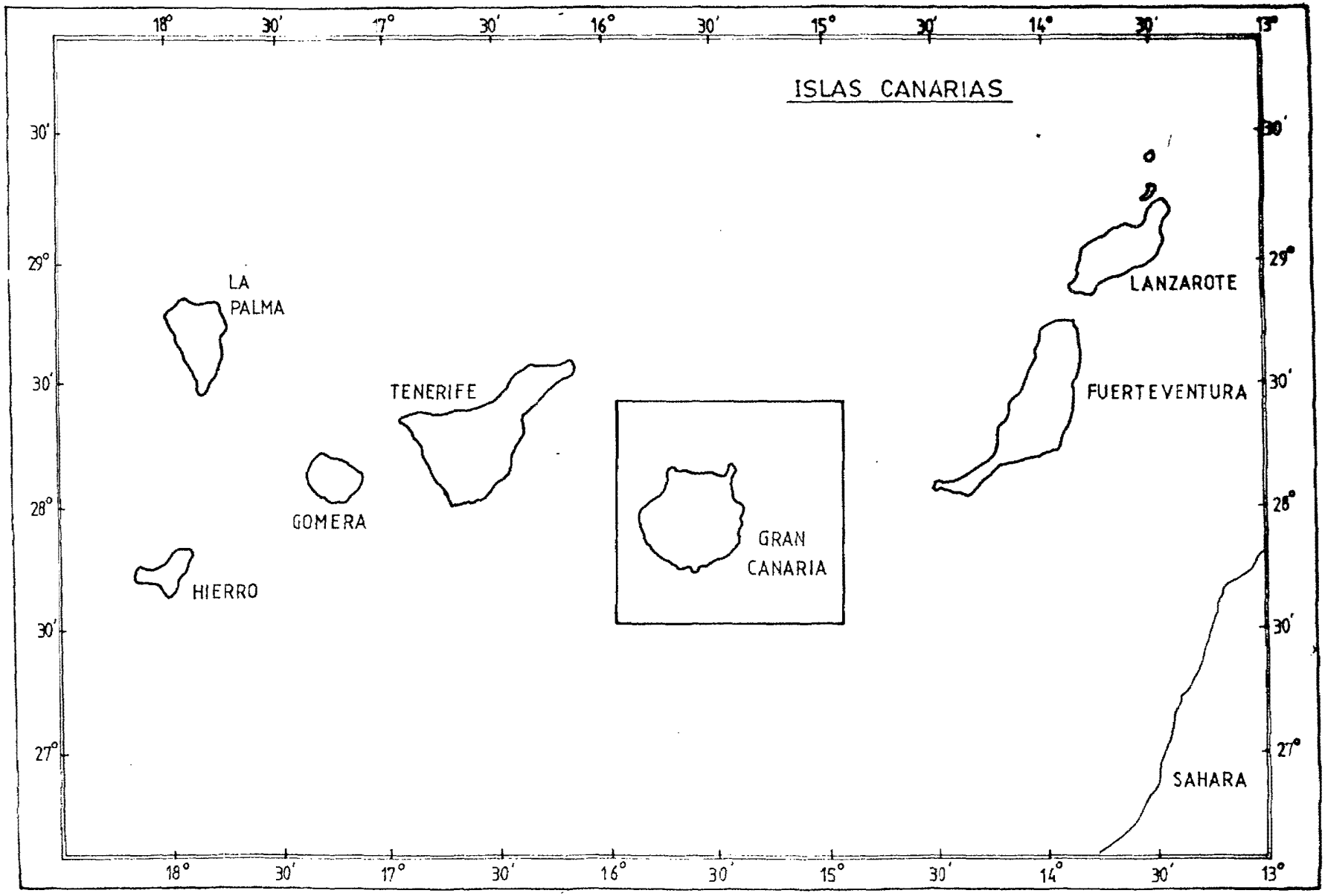
INTERACCION VIENTOS-CORRIENTES EN PROFUNDIDADES REDUCIDAS. UN MODELO PARA LA COSTA ESTE DE GRAN CANARIA.

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Autora: Esther Pérez Martell

Director: Prof. Dr. Luis Tejedor Martínez

Julio 198(



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

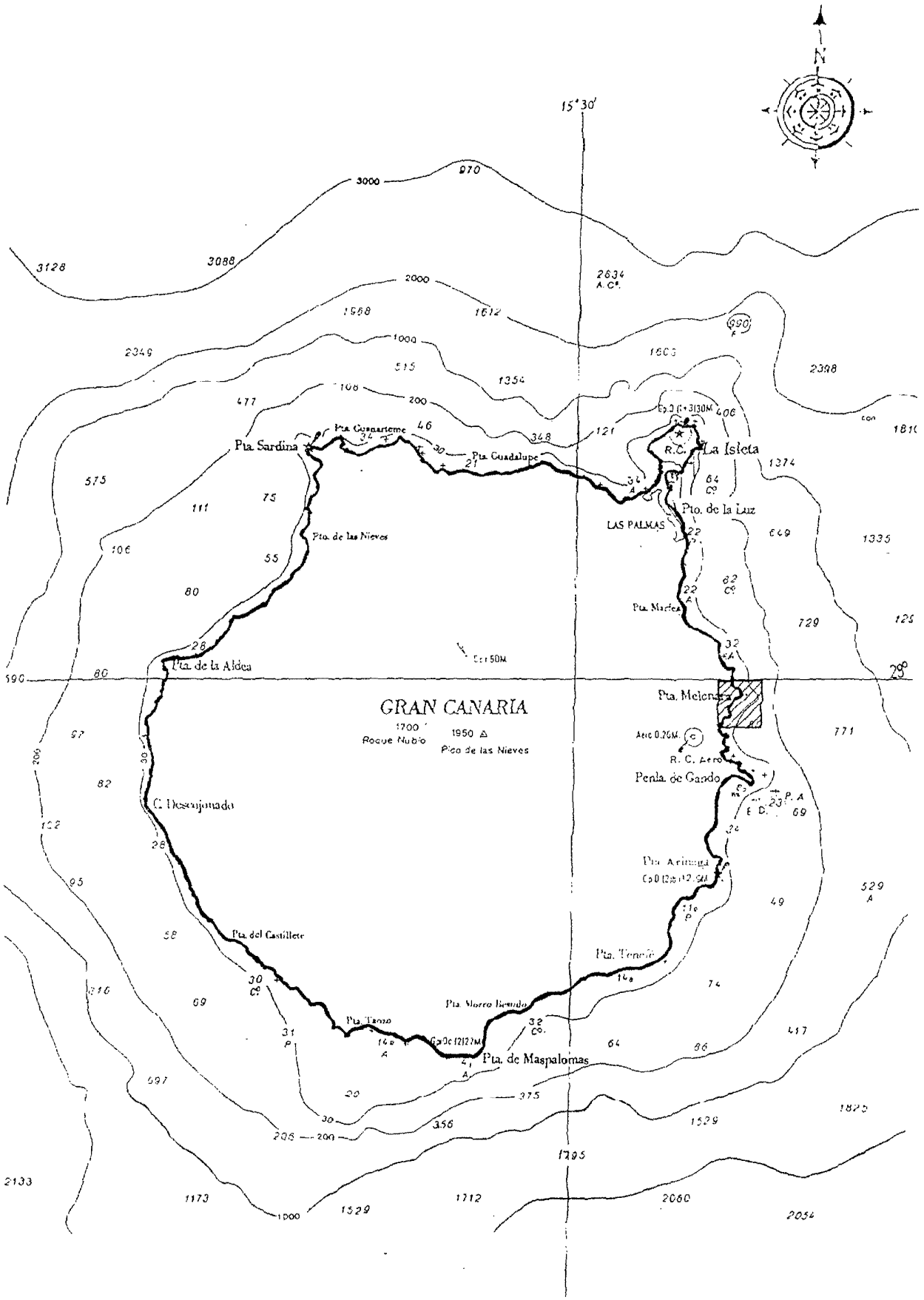
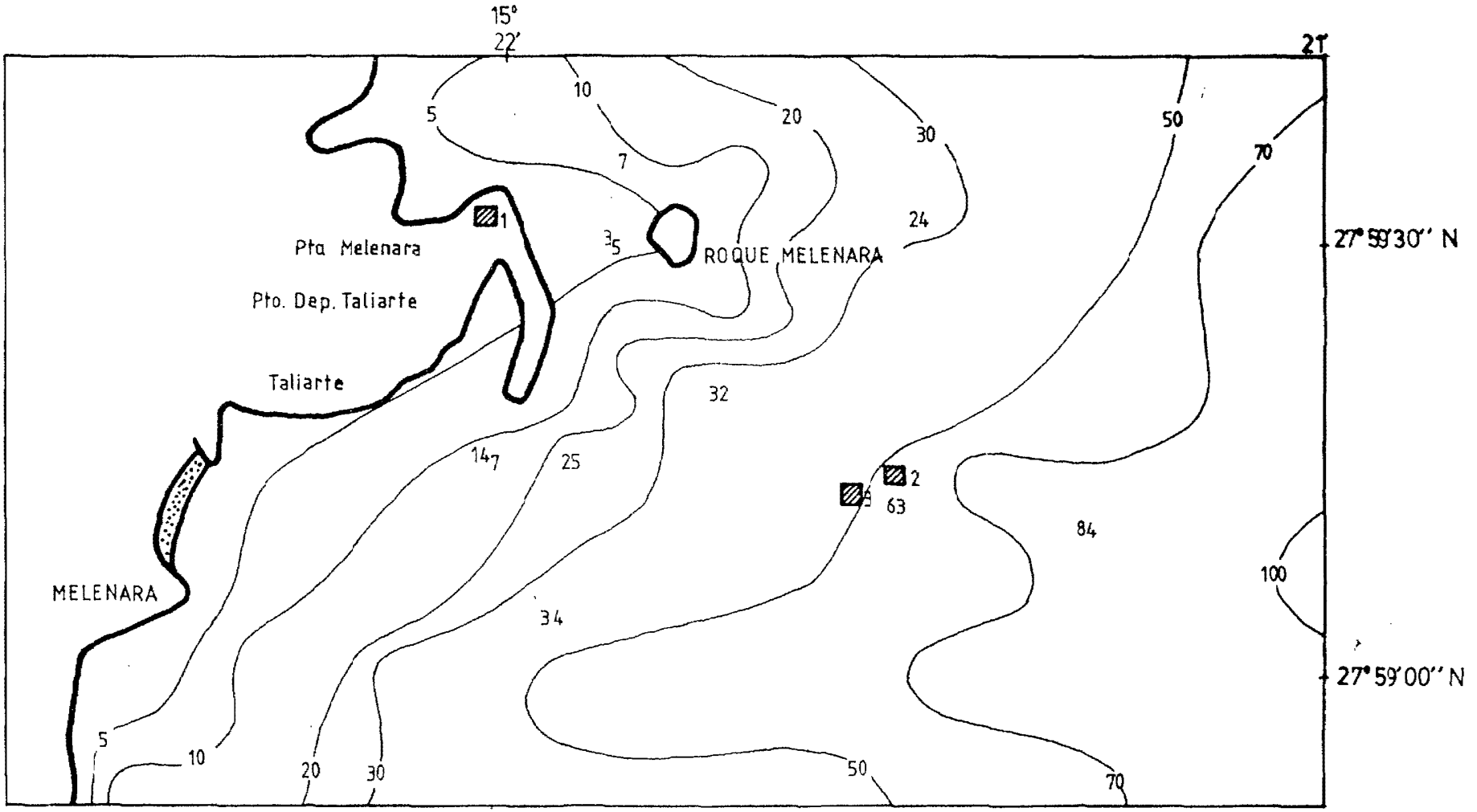


FIGURA 3.3-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003



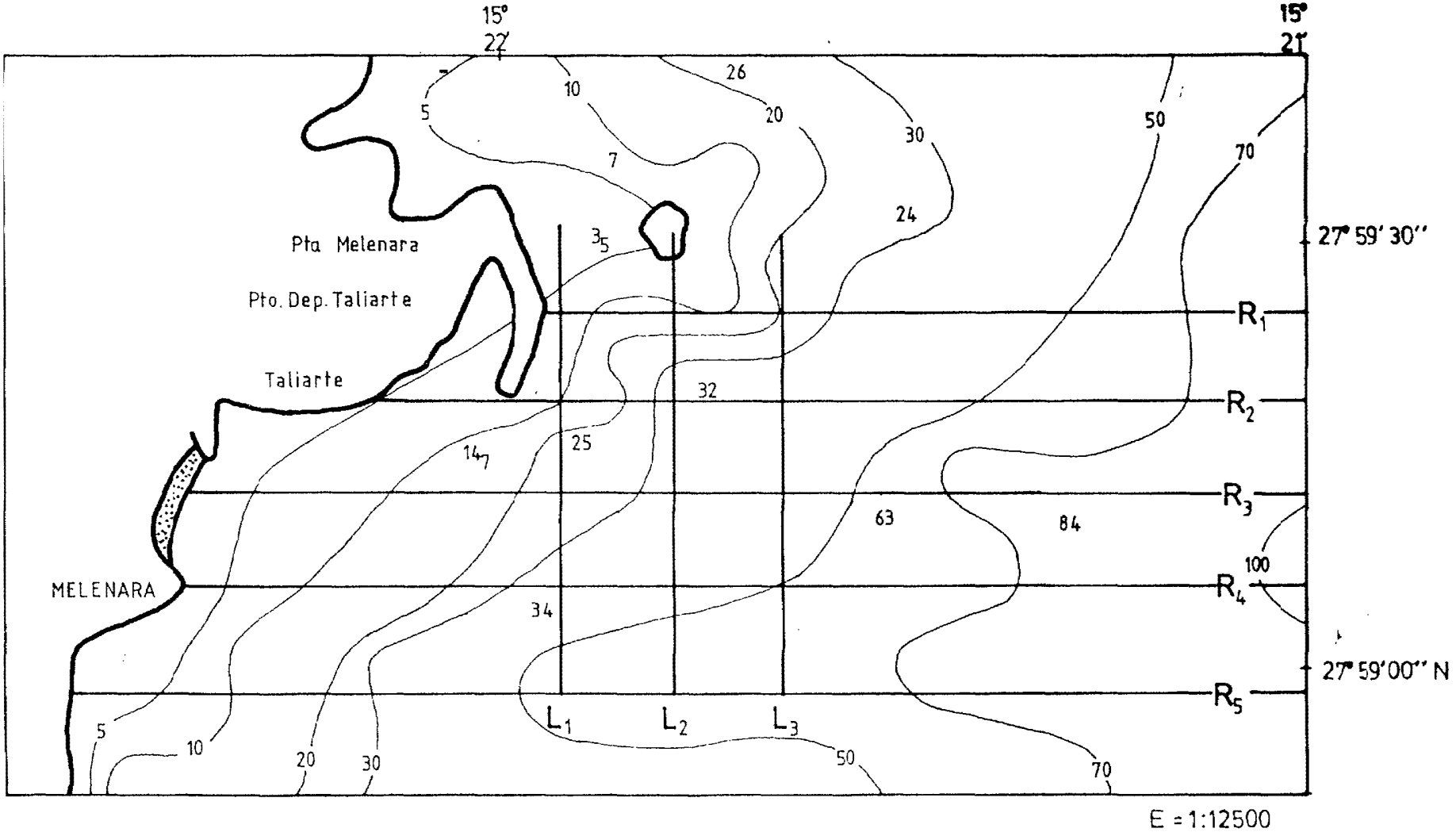
1: ESTACION METEOROLOGICA

2: CORRENTIMIENTOS

3: MAREOGRAFO

E = 1:12500

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

RADIAL R_1
EH= (1:10000)
EV (1:1000)

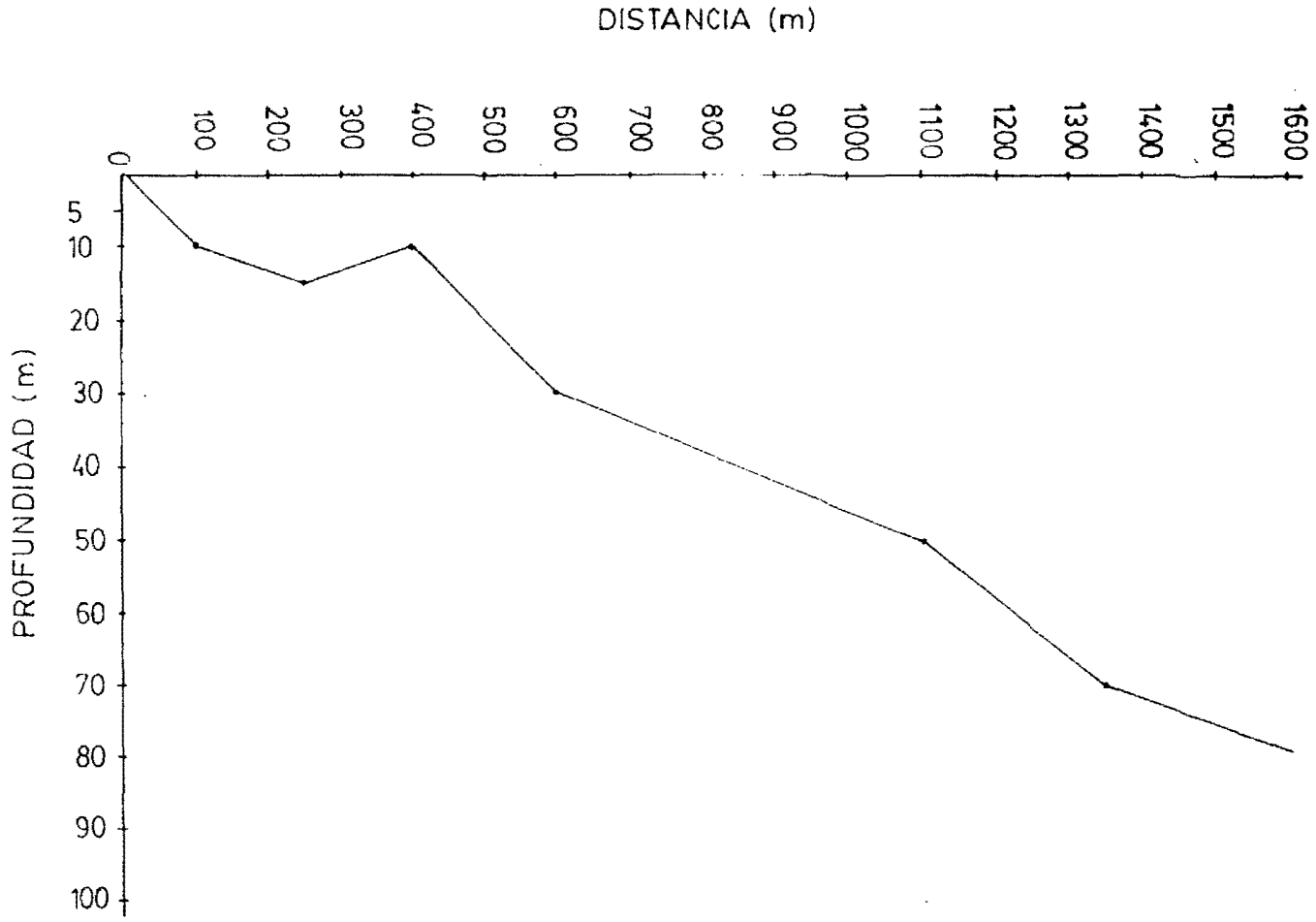
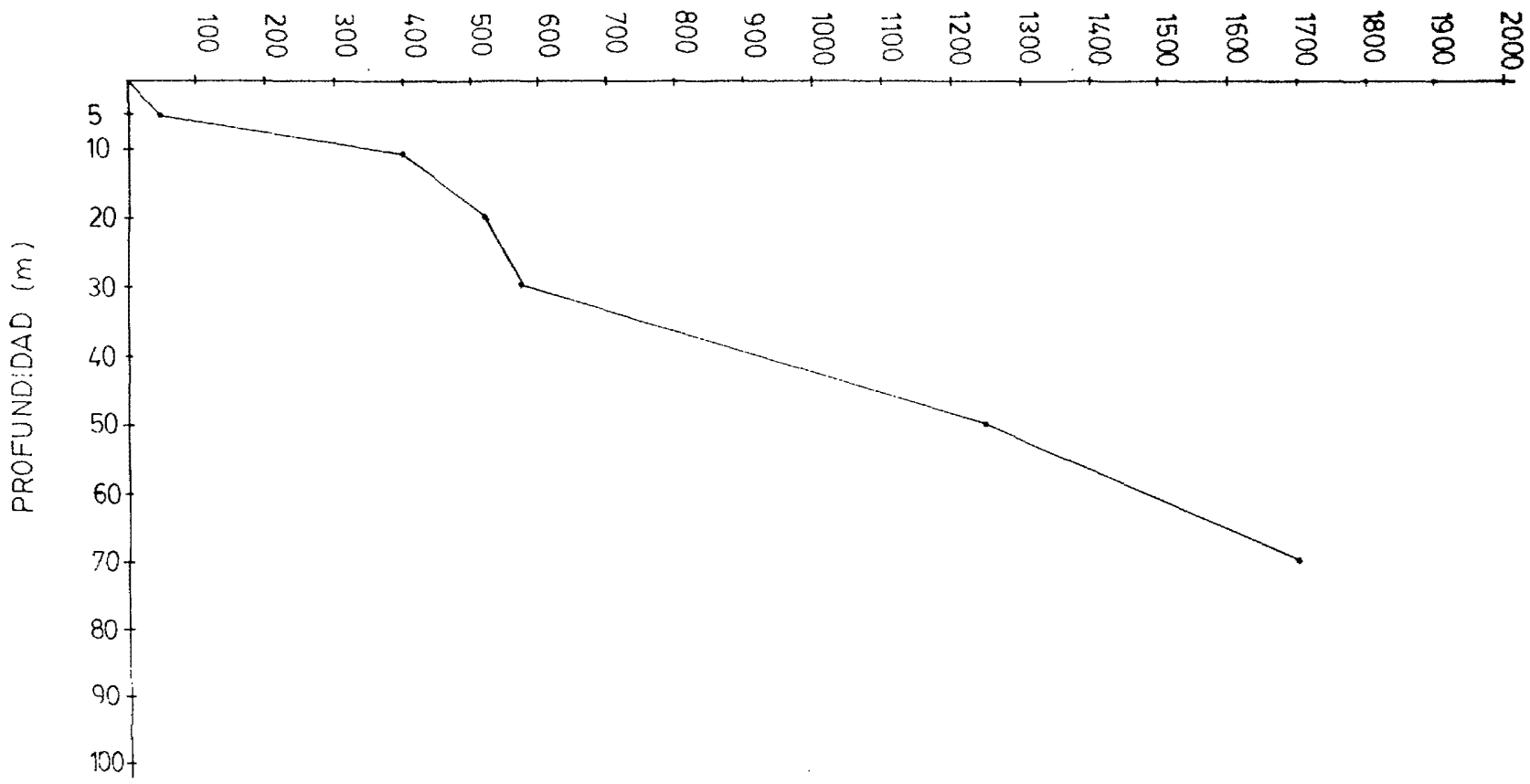


FIGURA 33-5

RADIAL R_2

EH = (1: 10000)

EV = (1: 1000)



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

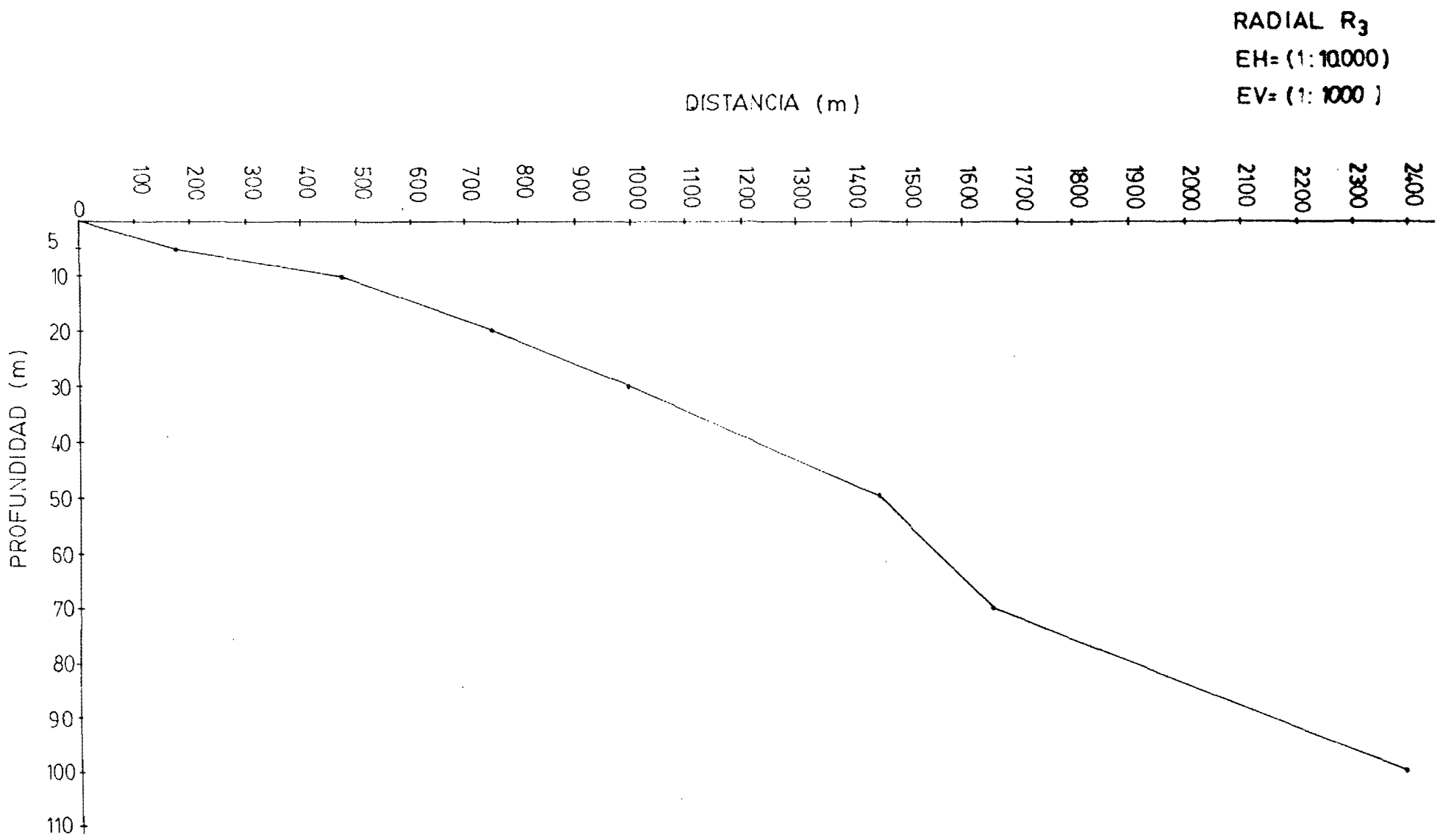


FIGURA 3.3-7

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

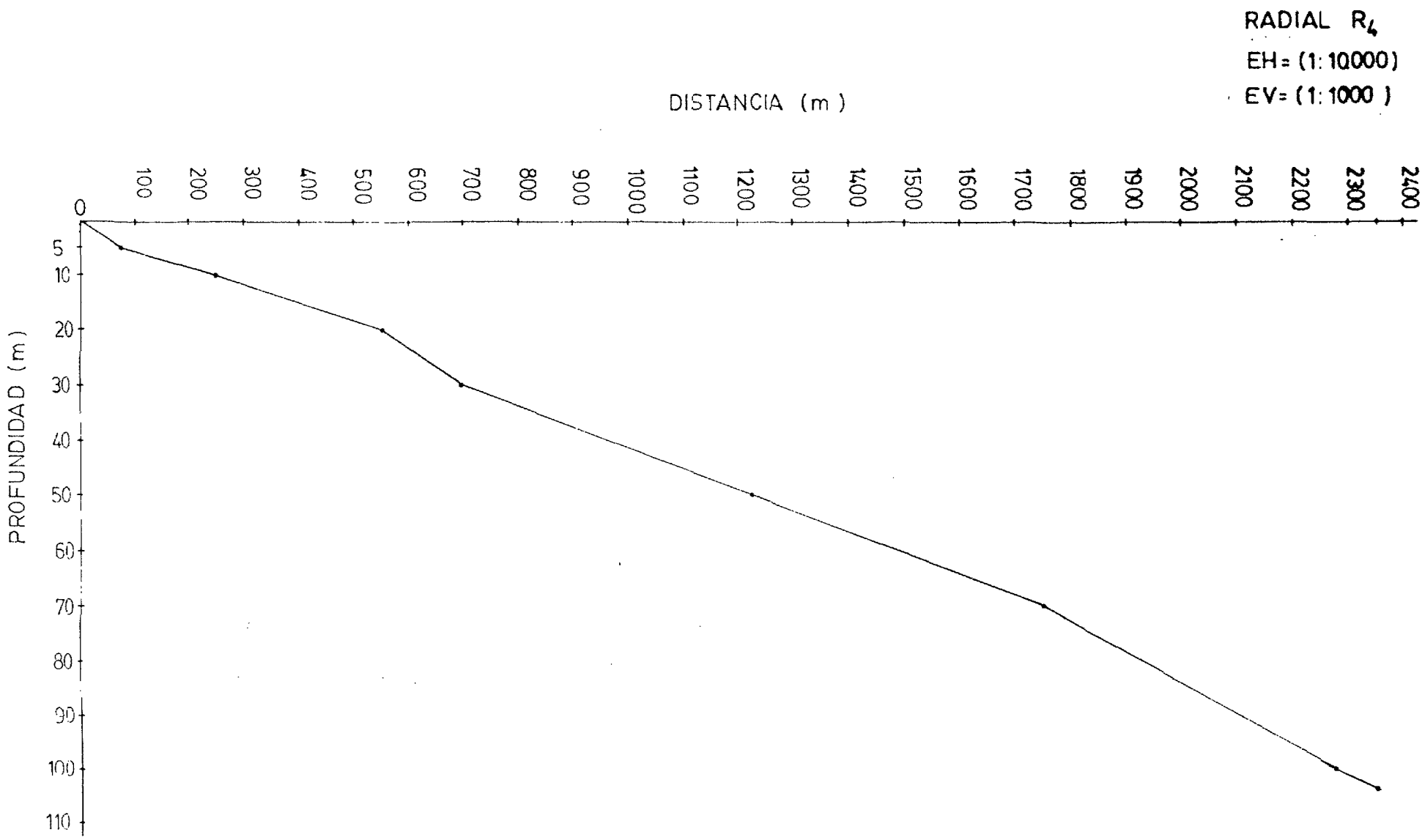


FIGURA 3.3-8

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

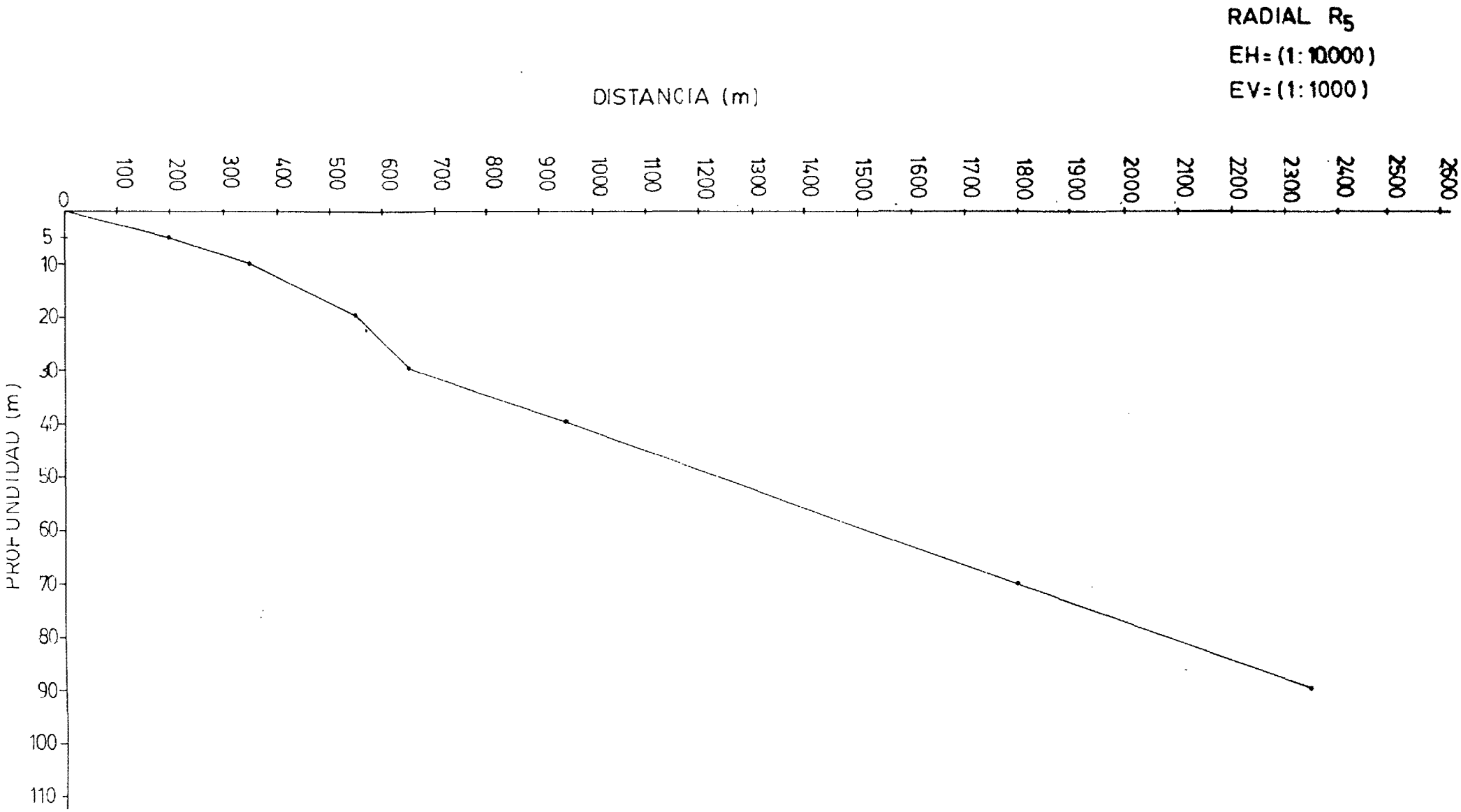
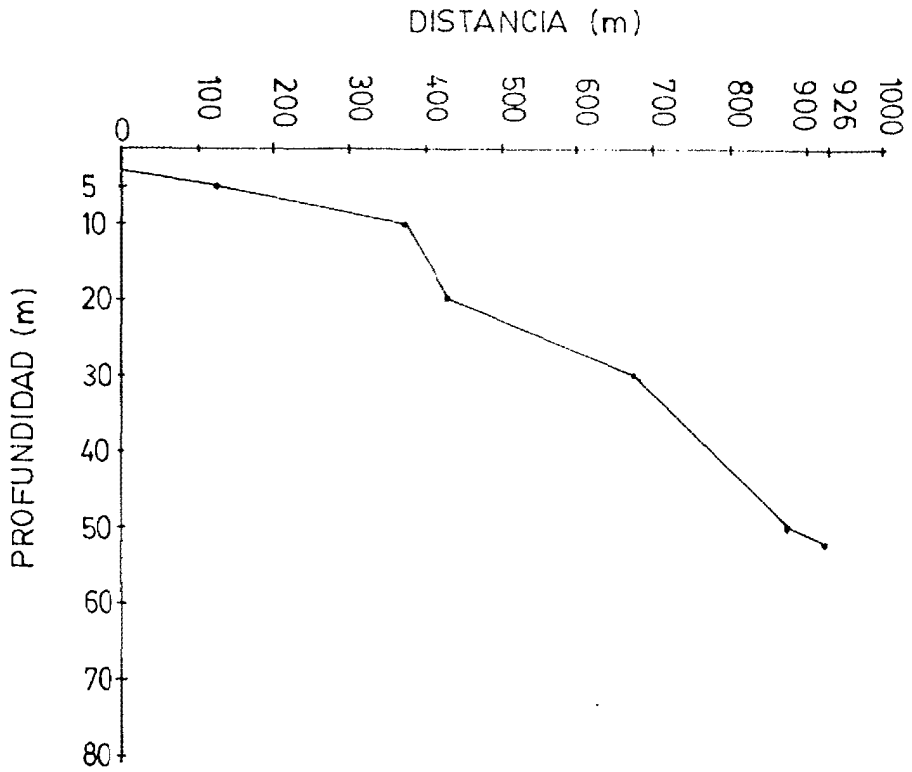


FIGURA 3.3-9

LONGITUDINAL L_1

EH = (1: 10000)

EV= (1: 1000)



© Universidac de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

LONGITUDINAL L_2
EH= (1:10000)
EV (1:1000)

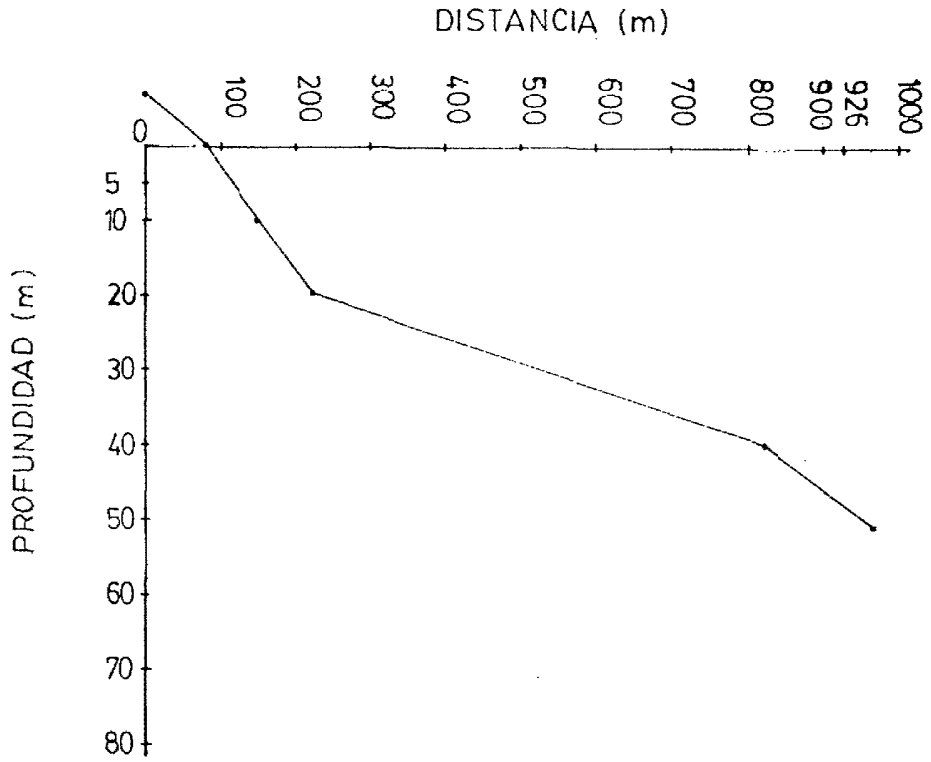


FIGURA 3.3-11

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

LONGITUDINAL L_3

EH= (1: 10000)

EV= (1: 1000)

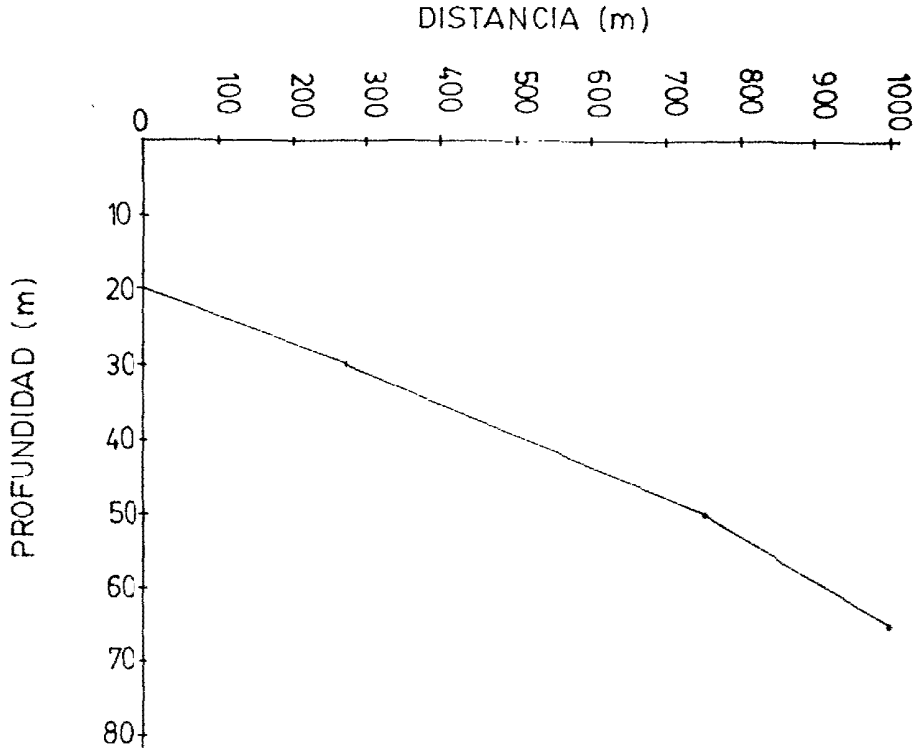


FIGURA 3.3-12

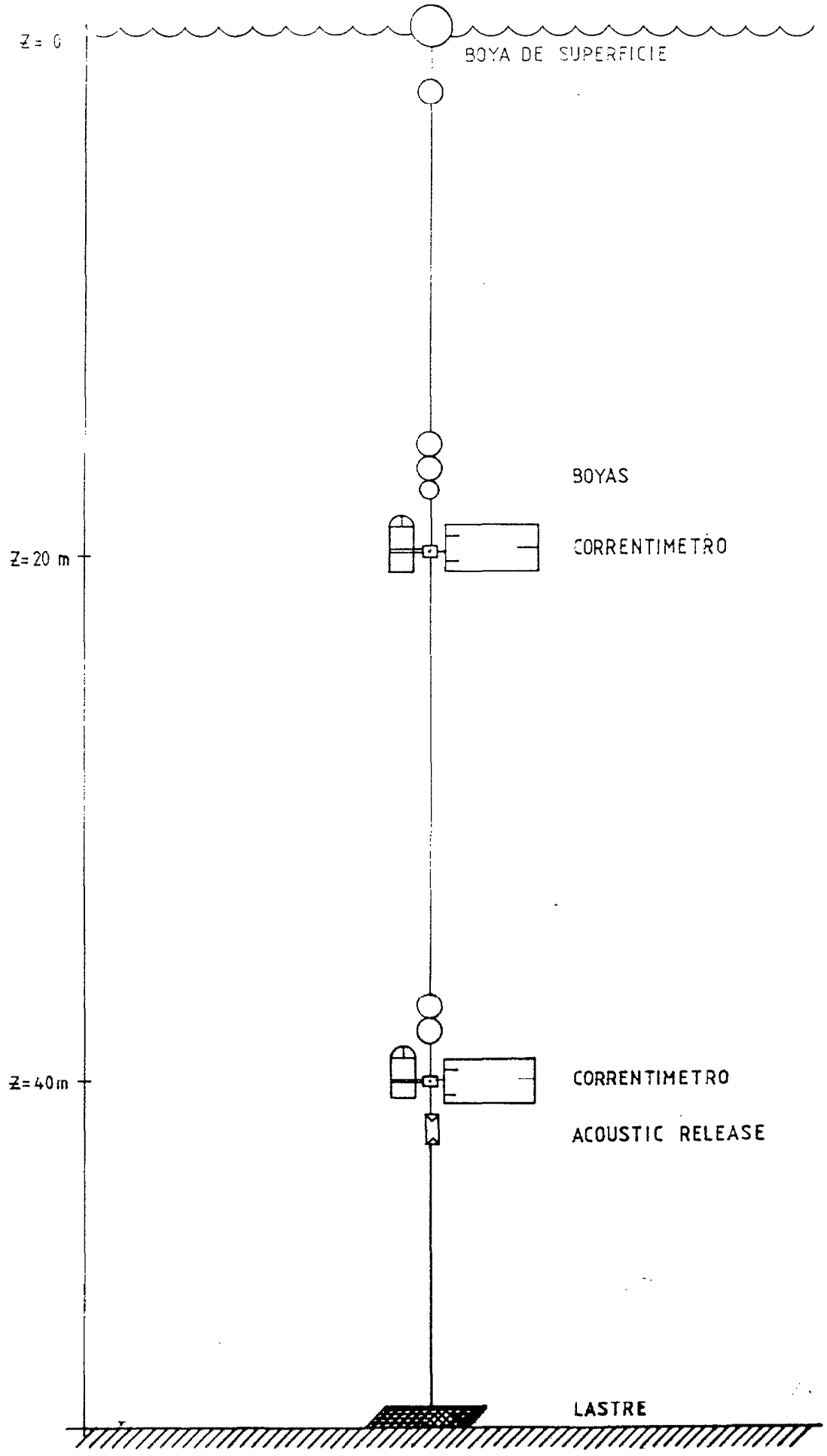


FIGURA 3.3 - 13

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-76 al 31-12-85 (14612 datos)
Calmas : 14.84 %

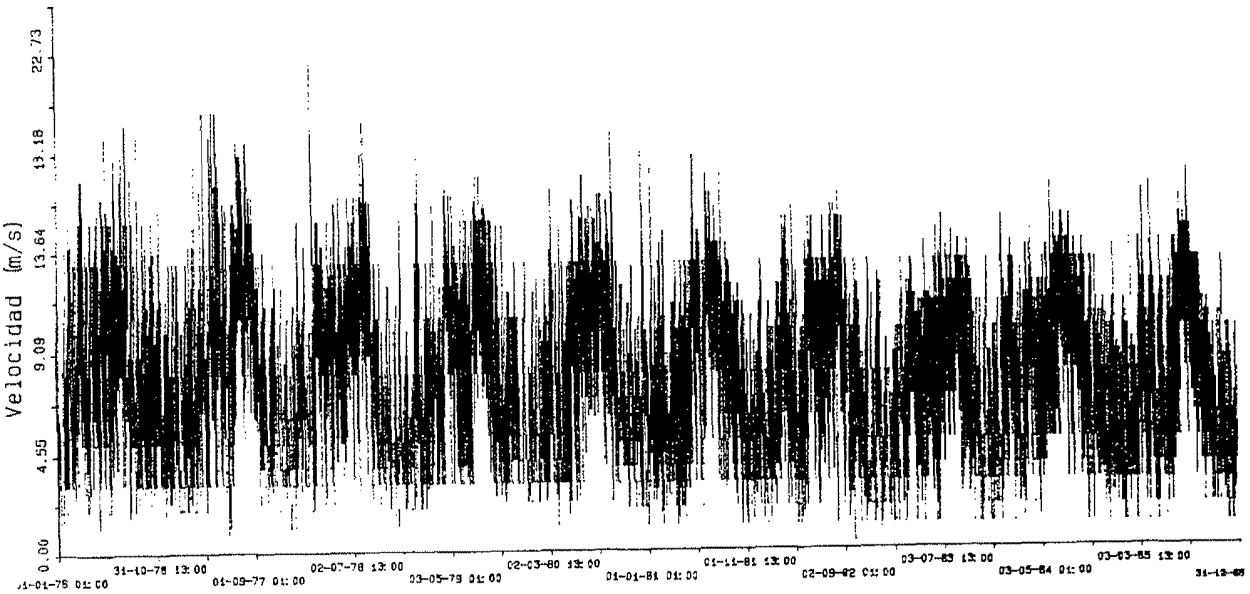


Figura 4.2-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-76 al 31-12-76 (1464 datos)
Calmas : 17.62 %

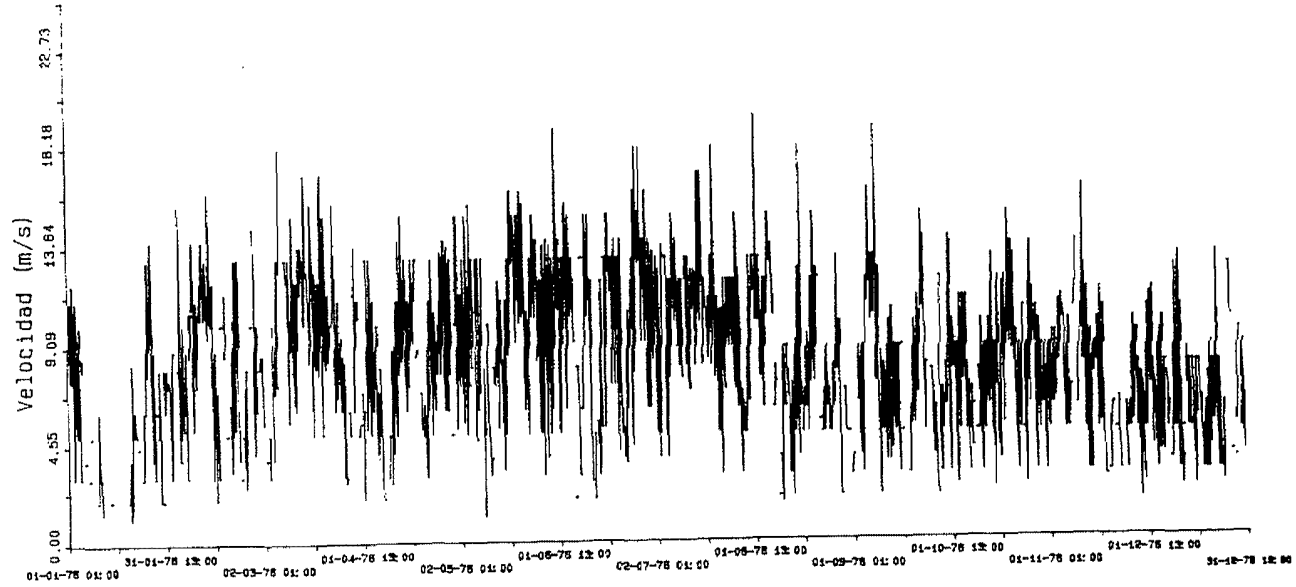


Figura 4.2-2

G A N D O
01 01-77 al 31-12-77 (1460 datos)
Calmas : 17.19 %

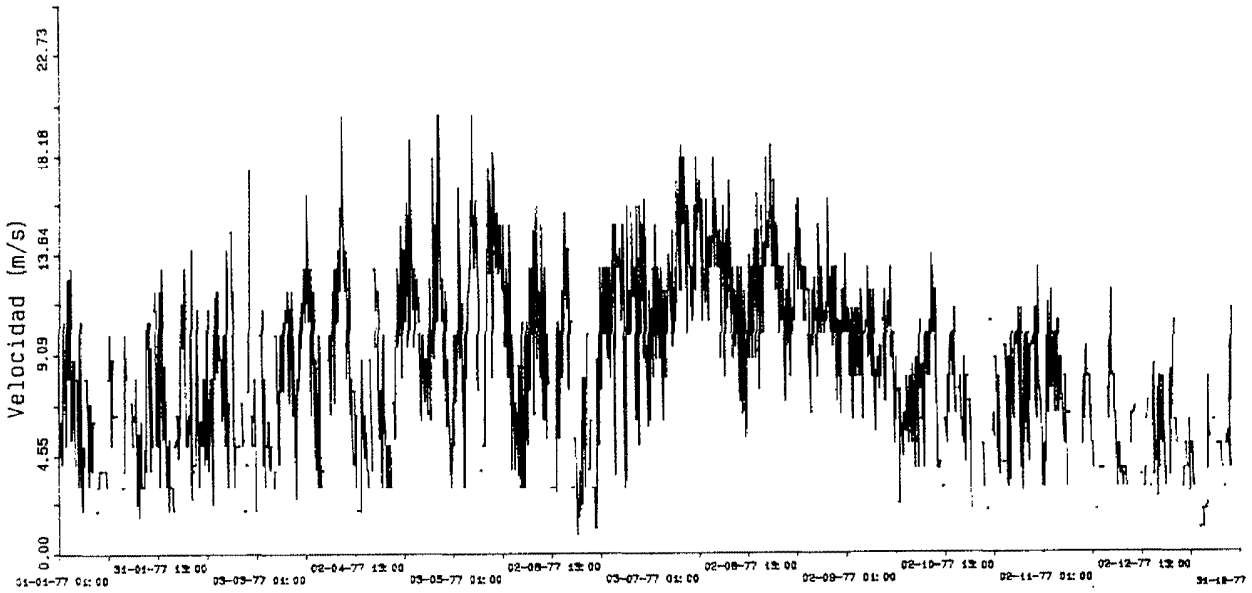


Figura 4.2-3

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-78 al 31-12-78 (1460 datos)
Calmas : 18.84 %

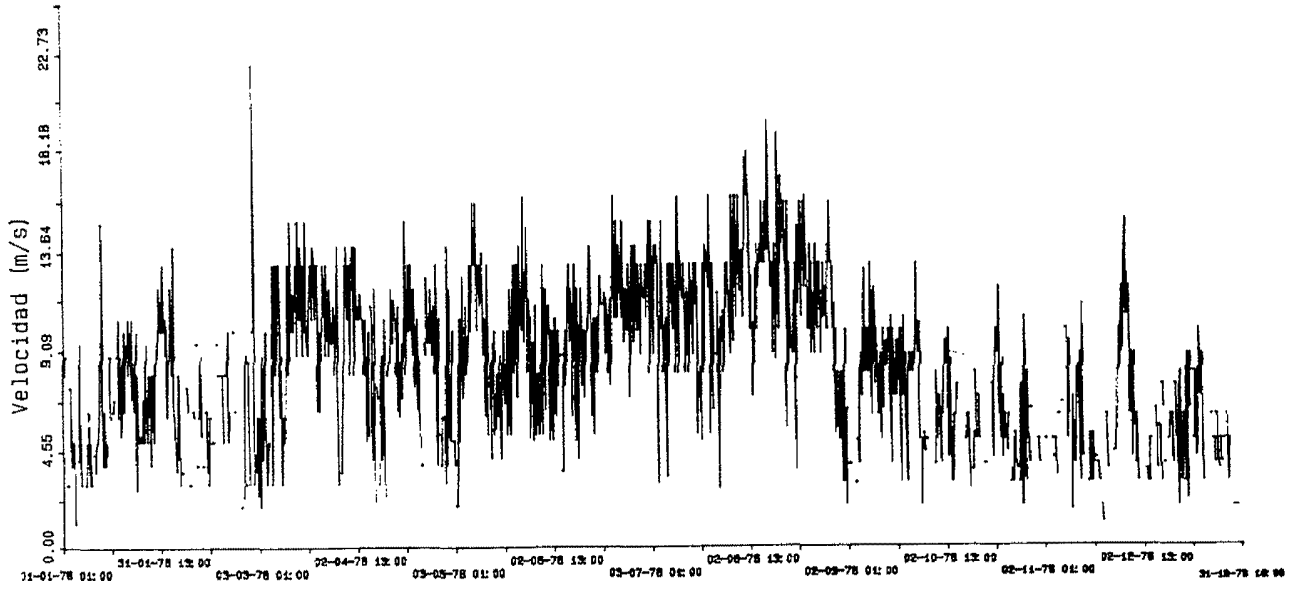


Figura 4.2-4

G A N D O
01-01-79 al 31-12-79 (1460 datos)
Calmas : 14.11 %

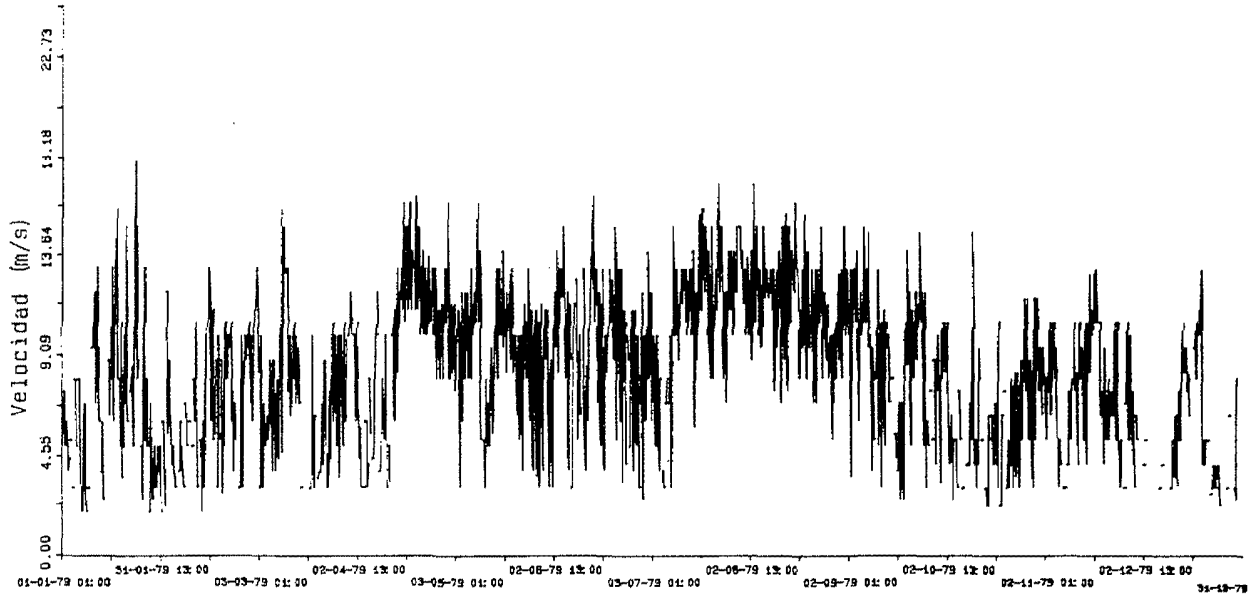


Figura 4.2-5

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-80 al 31-12-80 (1464 datos)
Calmas : 17.01 %

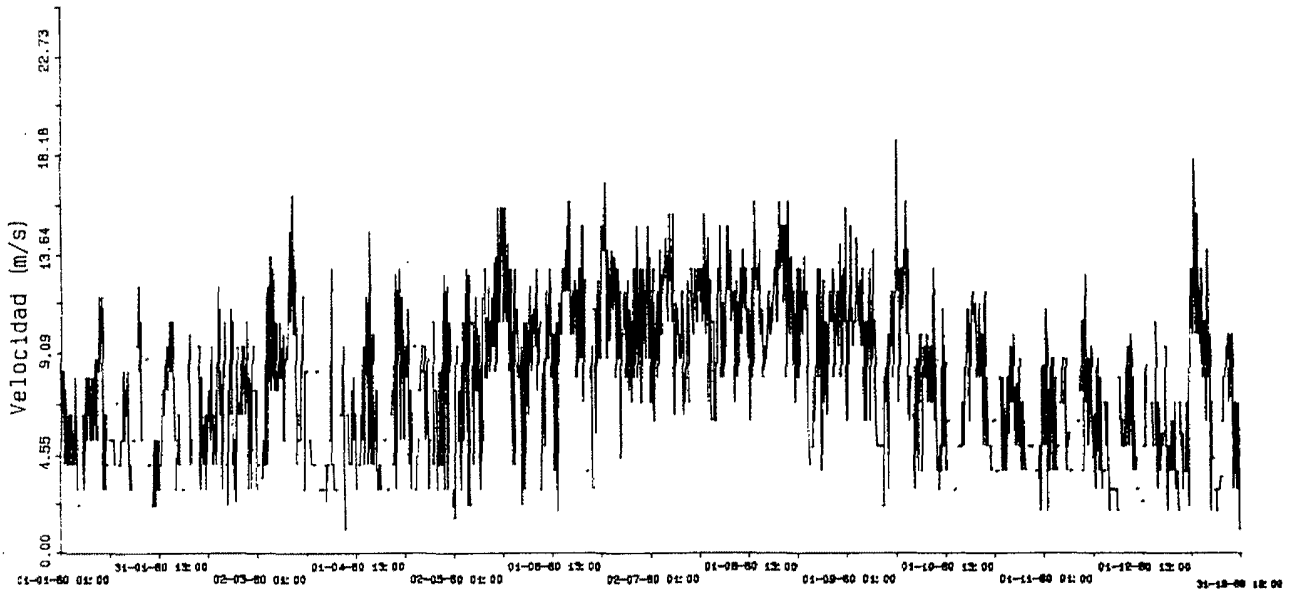


Figura 4.2-6

G A N D O
01-01-81 al 31-12-81 (1460 datos)
Calmas : 13.22 %

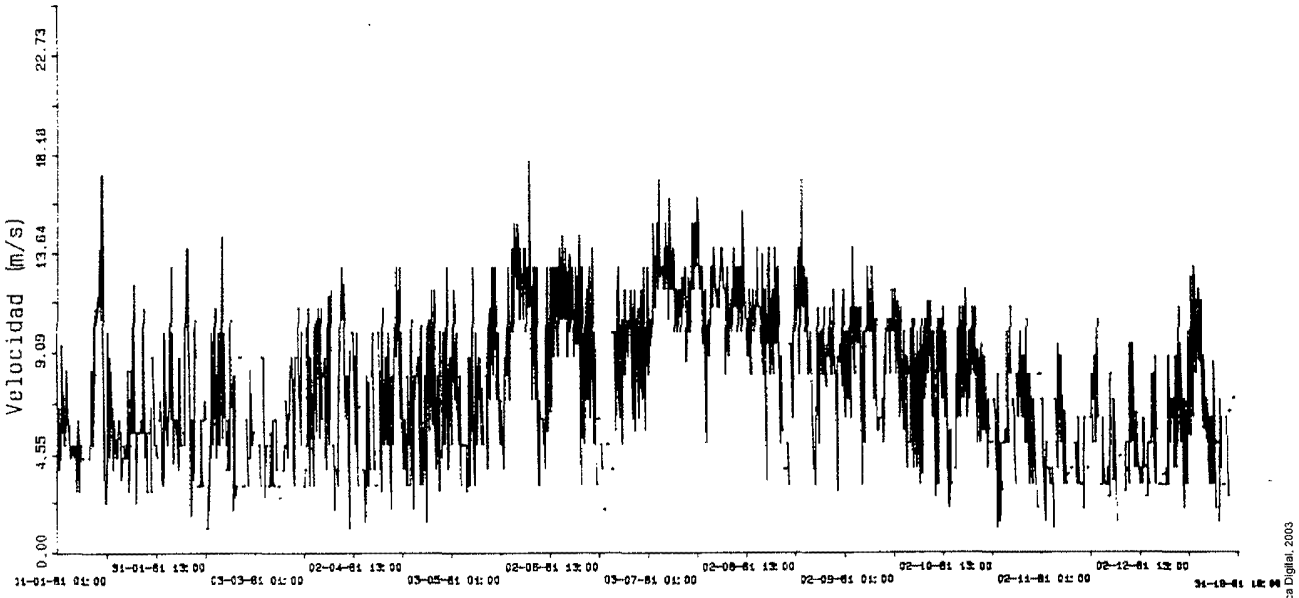


Figura 4.2-7

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-82 al 31-12-82 (1460 datos)
Calmas : 10.96 %

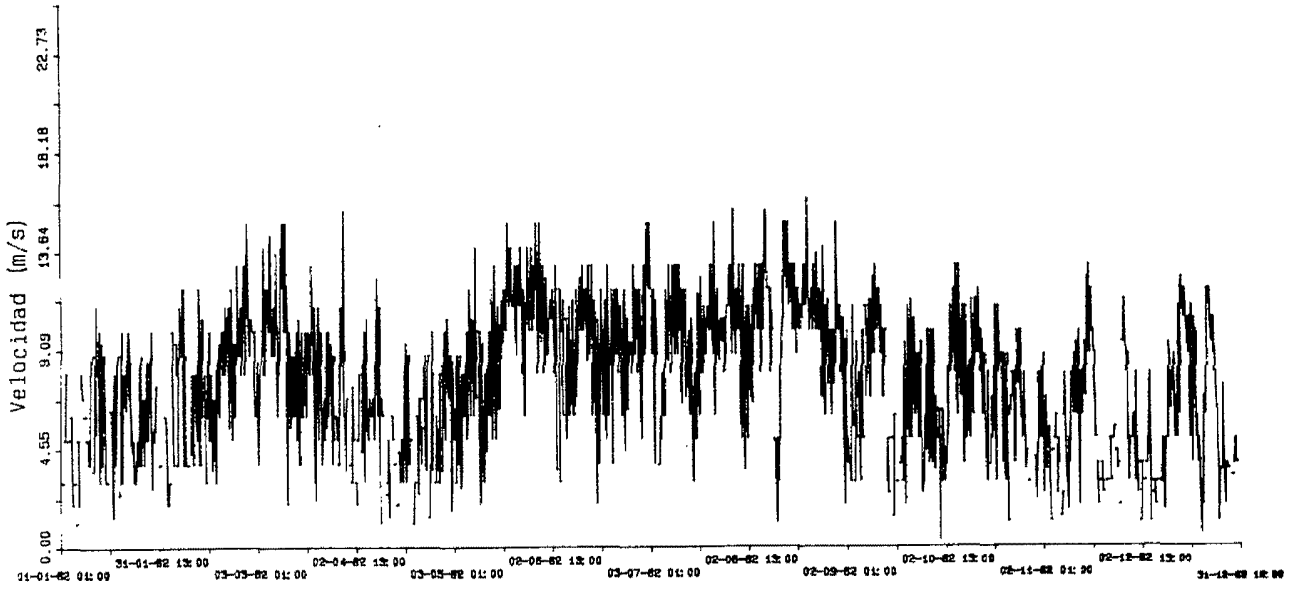


Figura 4.2-8

G A N D O
01-01-83 al 31-12-83 (1460 datos)
Calmas : 15.55 %

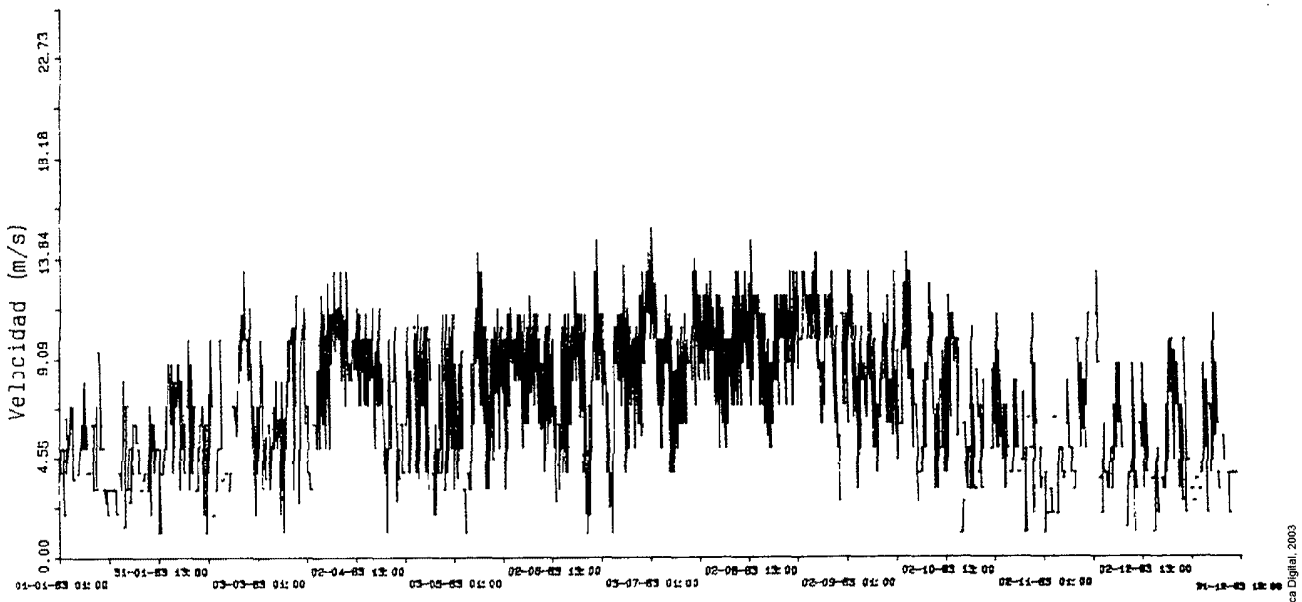


Figura 4.2-9

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-84 al 31-12-84 (1464 datos)
Calmas : 9.70 %

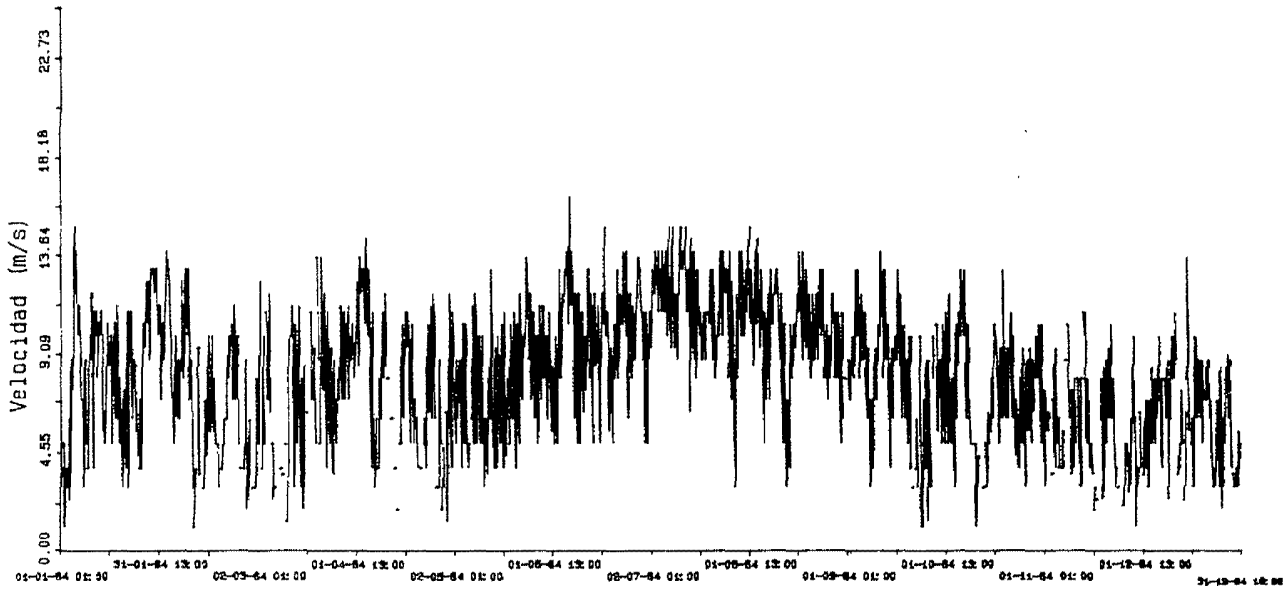


Figura 4.2-10

G A N D O
01-01-85 al 31-12-85 (1460 datos)
Calmas : 14.18 %

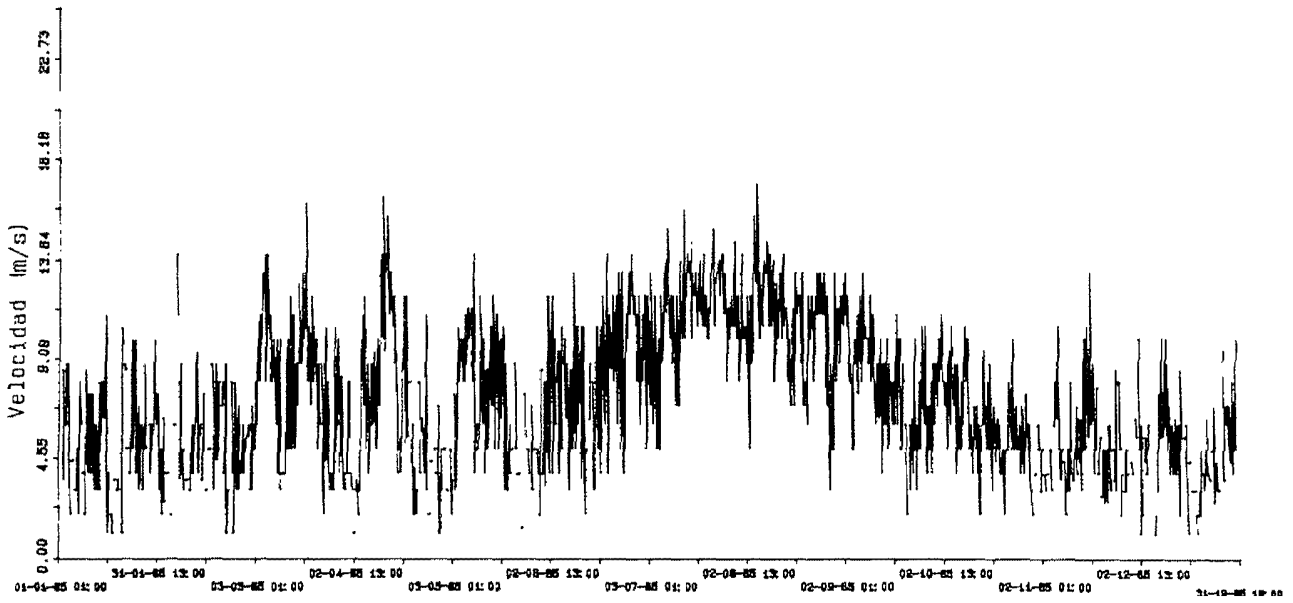


Figura 4.2-11

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

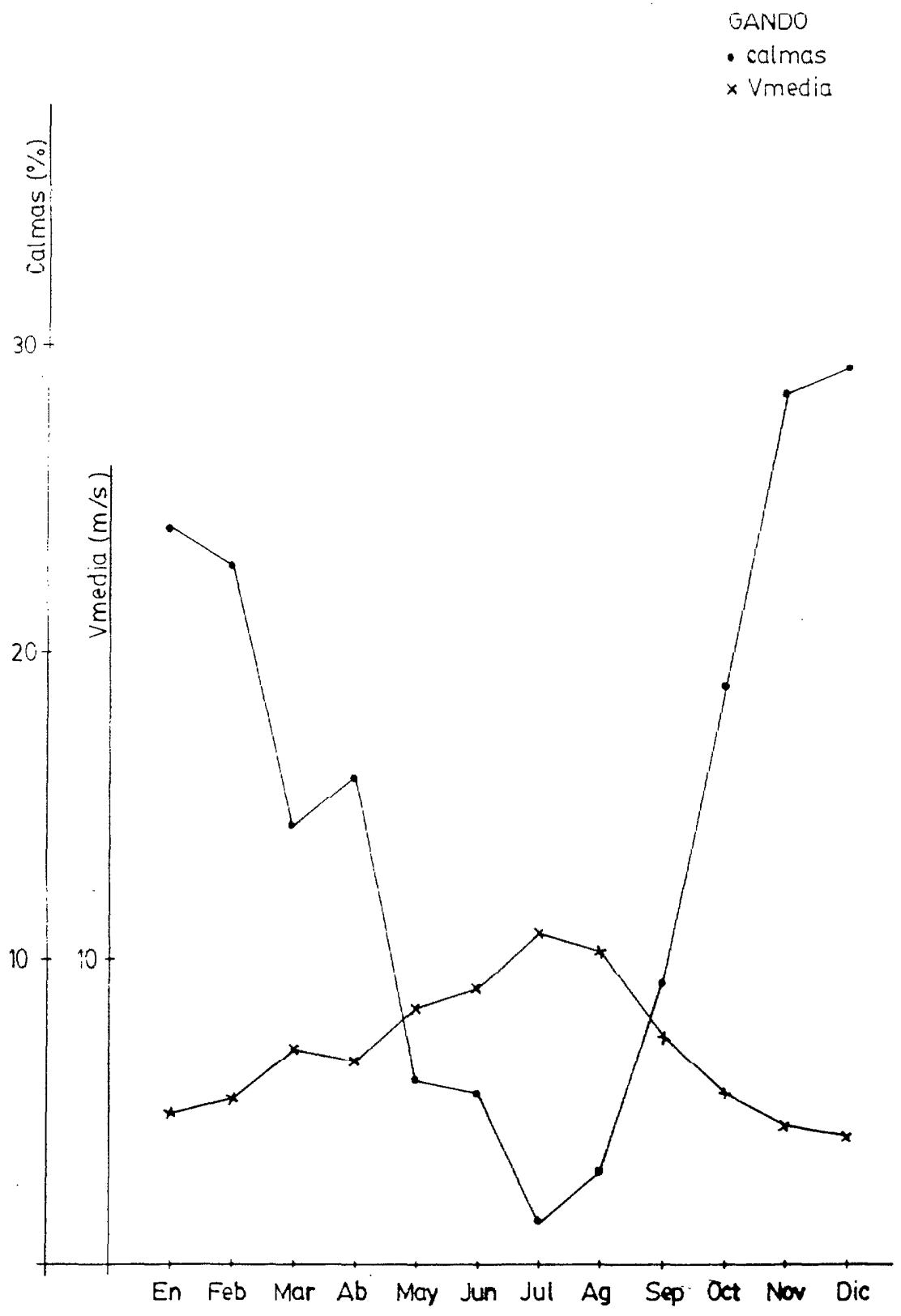


FIGURA 4.2 - 12

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-76 al 31-12-85 (14612 datos)
Calmas : 14.84 %

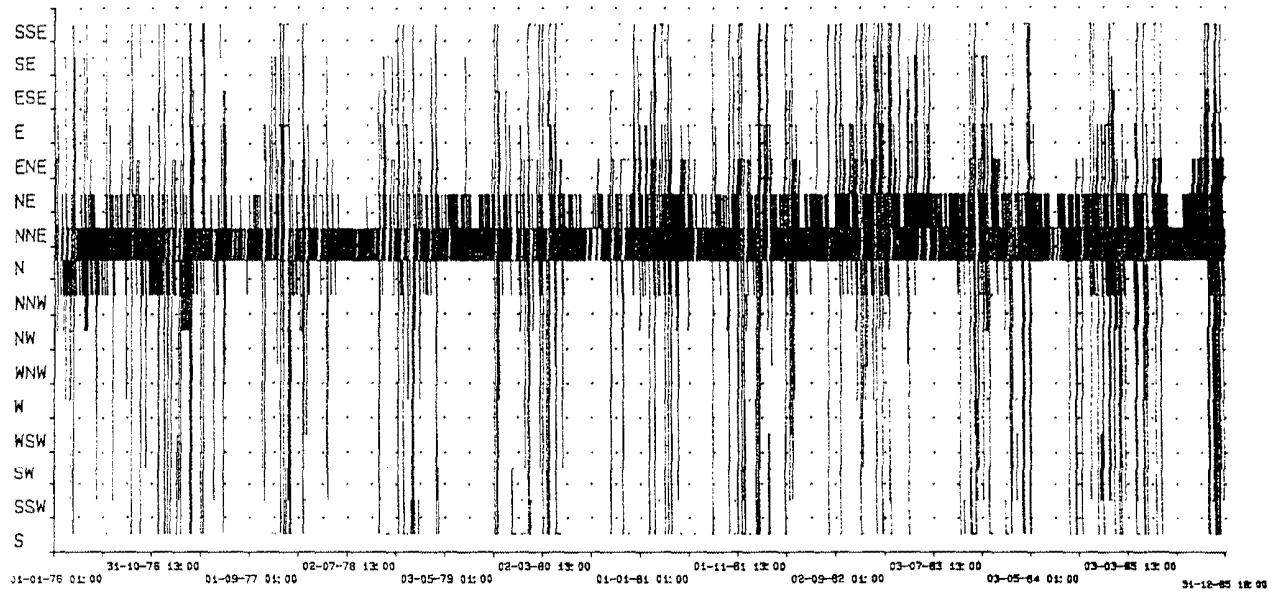


Figura 4.2-13

G A N D O
01-01-76 al 31-12-76 (1464 datos)
Calmas : 17.62 %

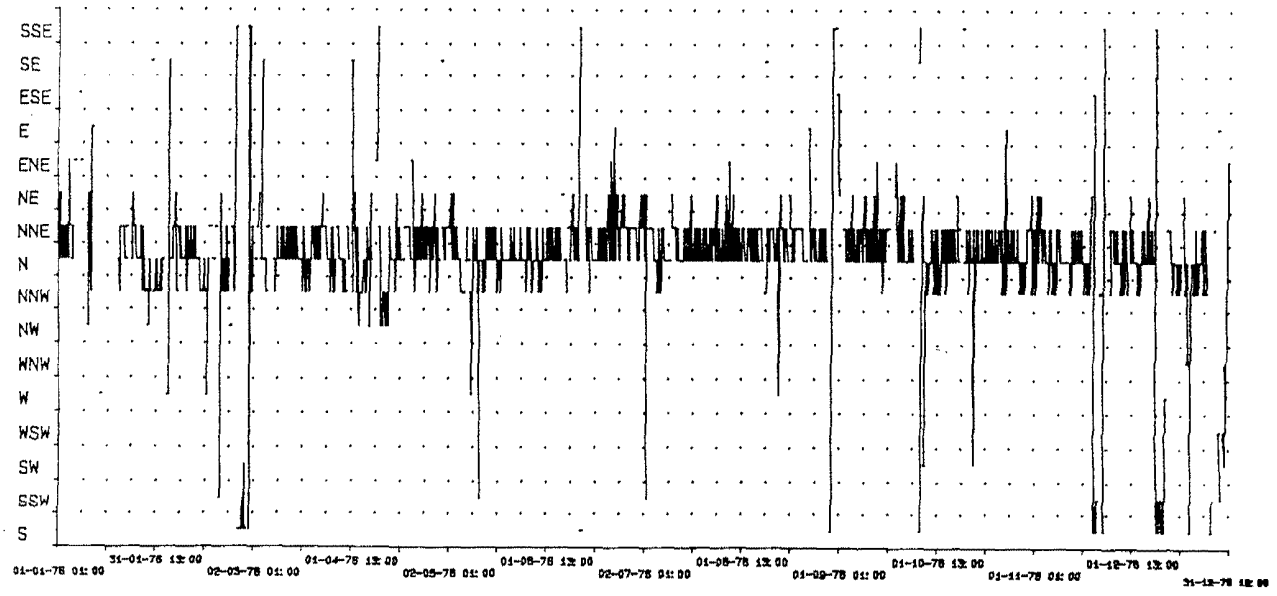


Figura 4.2-14

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-77 al 31-12-77 (1460 datos)
Calmas : 17.19 %

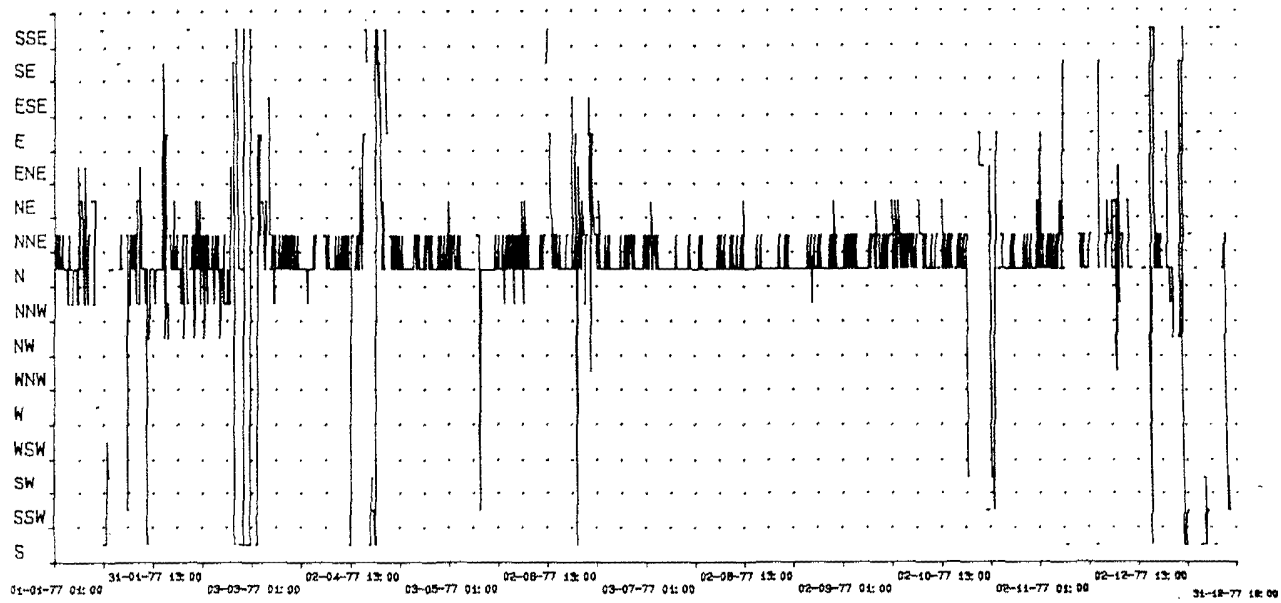


Figura 4.2-15

G A N D O
01-01-78 al 31-12-78 (1460 datos)
Calmas : 18.84 %

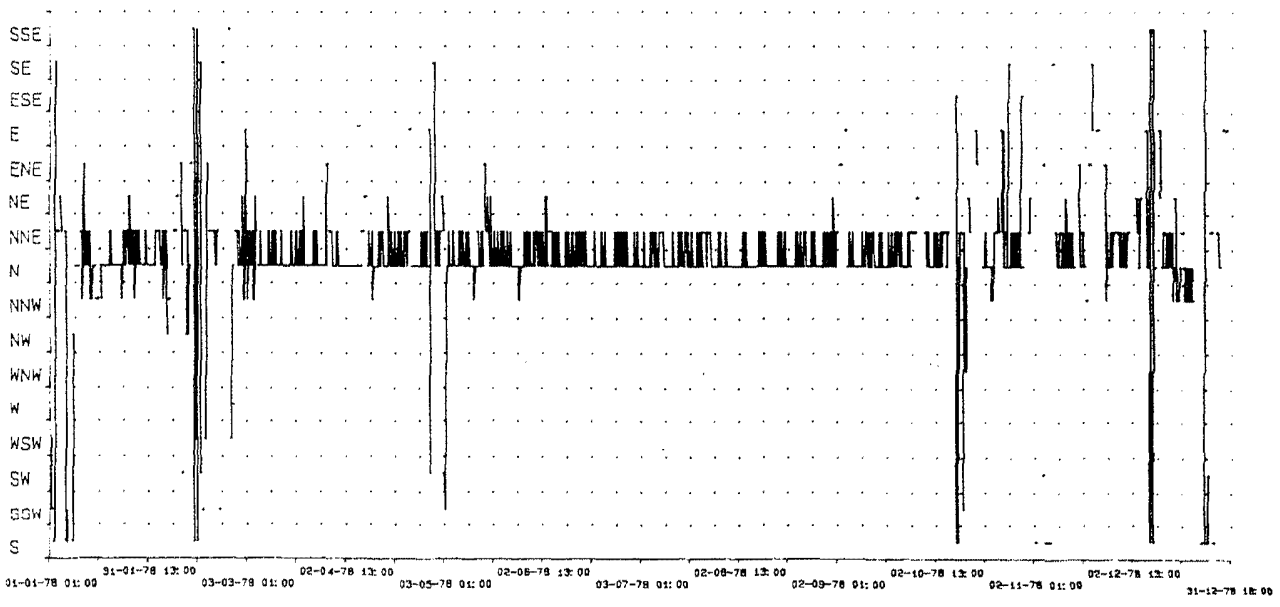


Figura 4.2-16

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-79 al 31-12-79 (1460 datos)
Calmas : 14.11 %

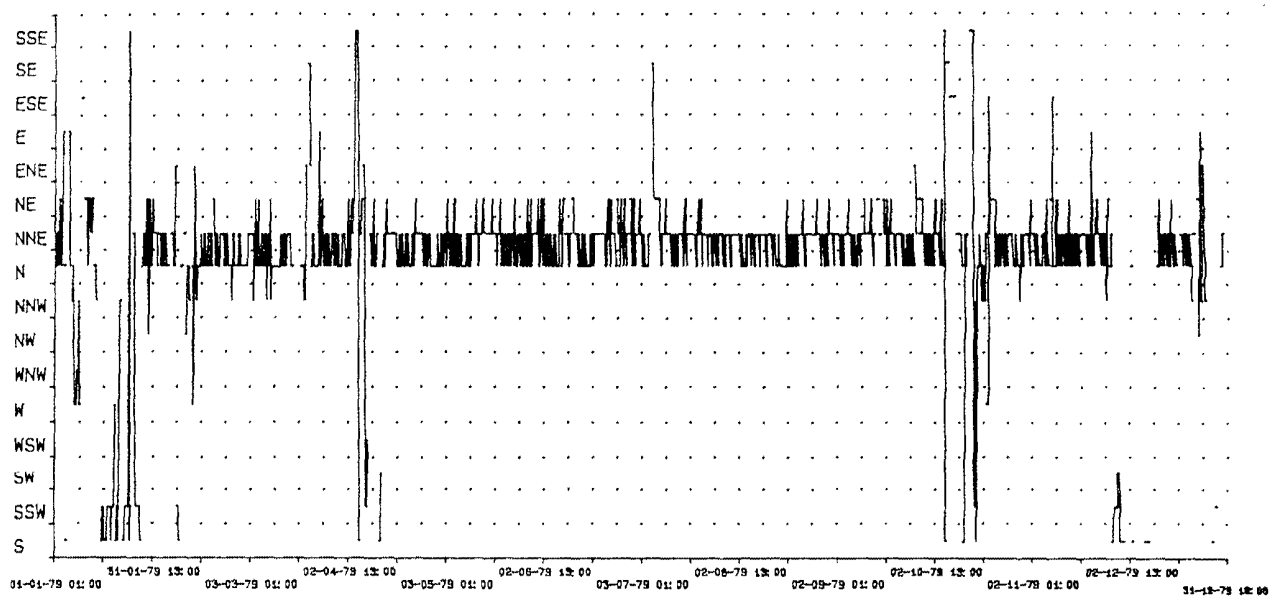


Figura 4.2-17

G A N D O
01-01-80 al 31-12-80 (1464 datos)
Calmas : 17.01 %

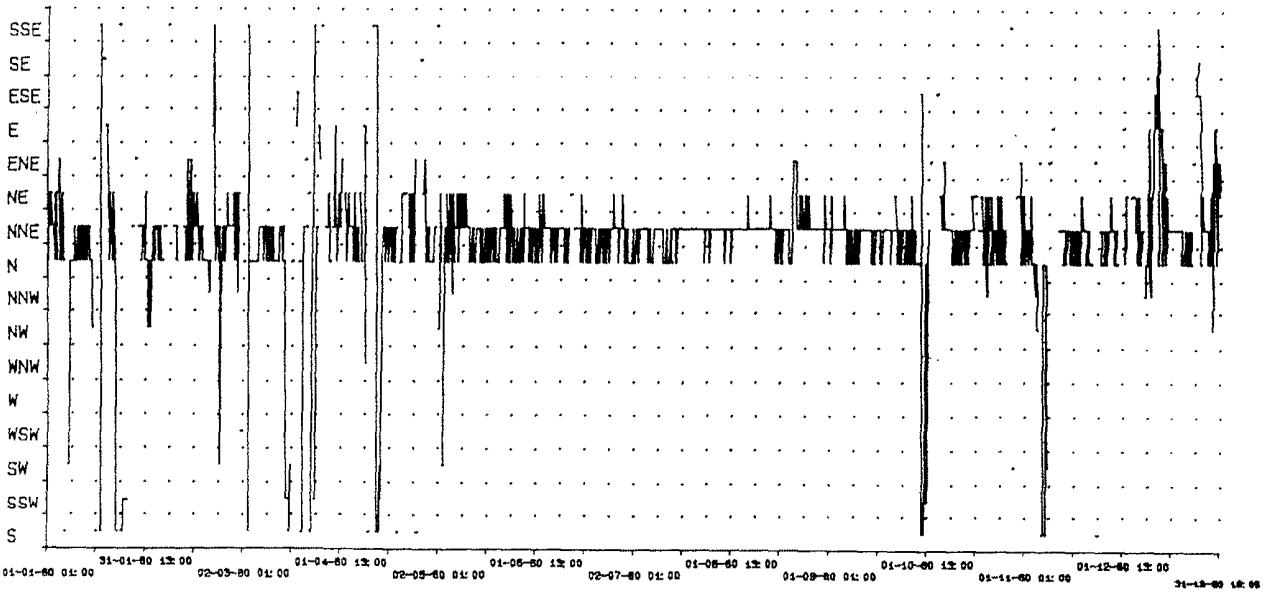


Figura 4.2-18

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-81 al 31-12-81 (1460 datos)
Calmas : 13.22 %

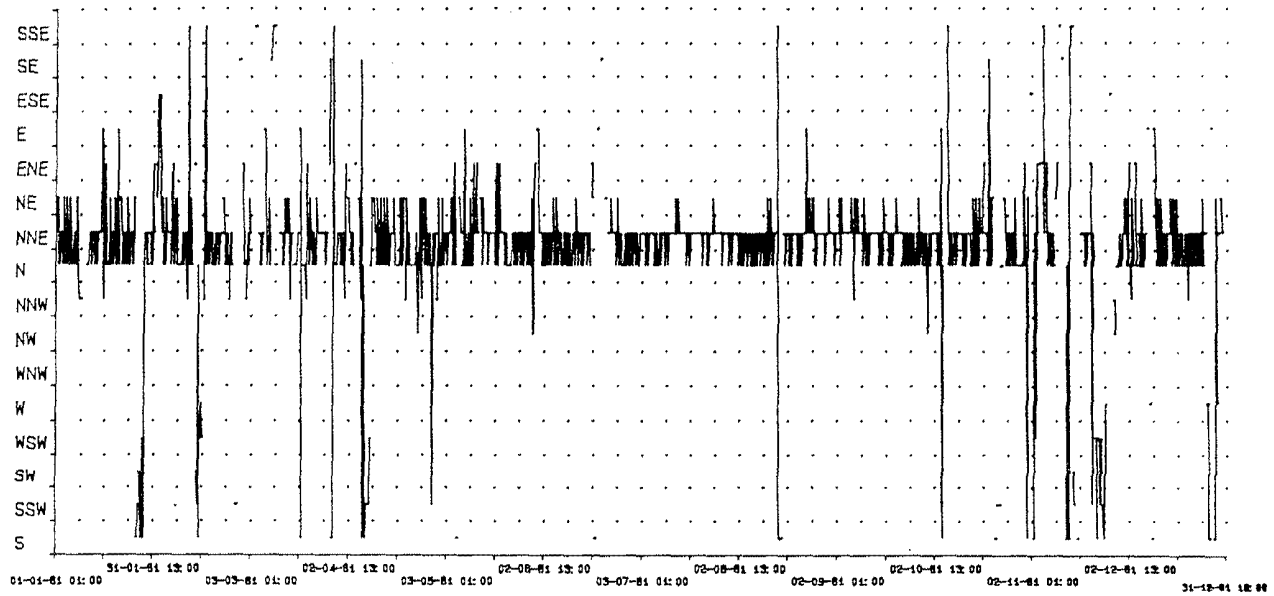


Figura 4.2-19

G A N D O
01-01-82 al 31-12-82 (1460 datos)
Calmas : 10.96 %

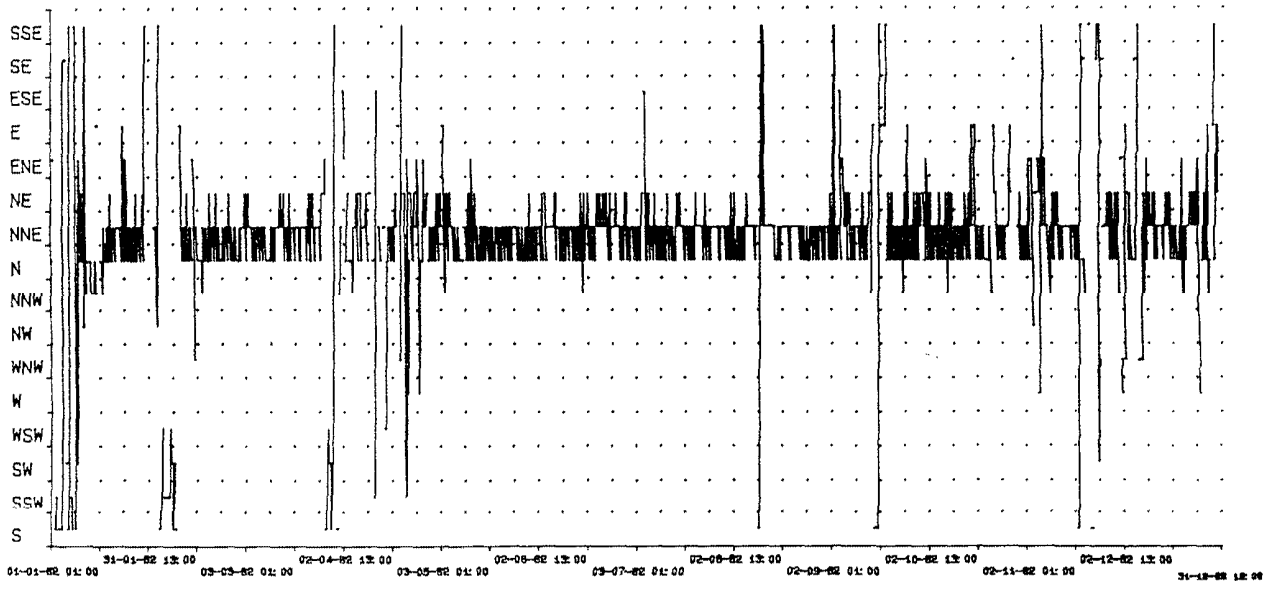


Figura 4.2-20

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

C A N D O
01-01-83 al 31-12-83 (1460 datos)
Calmas : 15.55 %

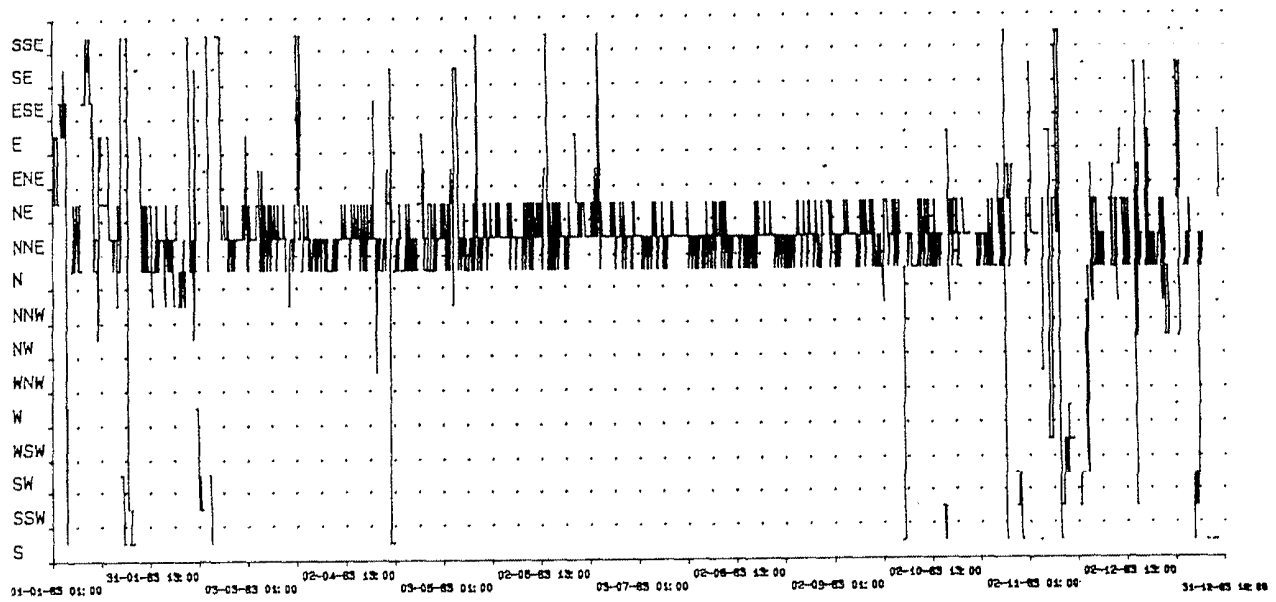


Figura 4.2-21

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-84 al 31-12-84 (1464 datos)
Calmas : 9.70 %

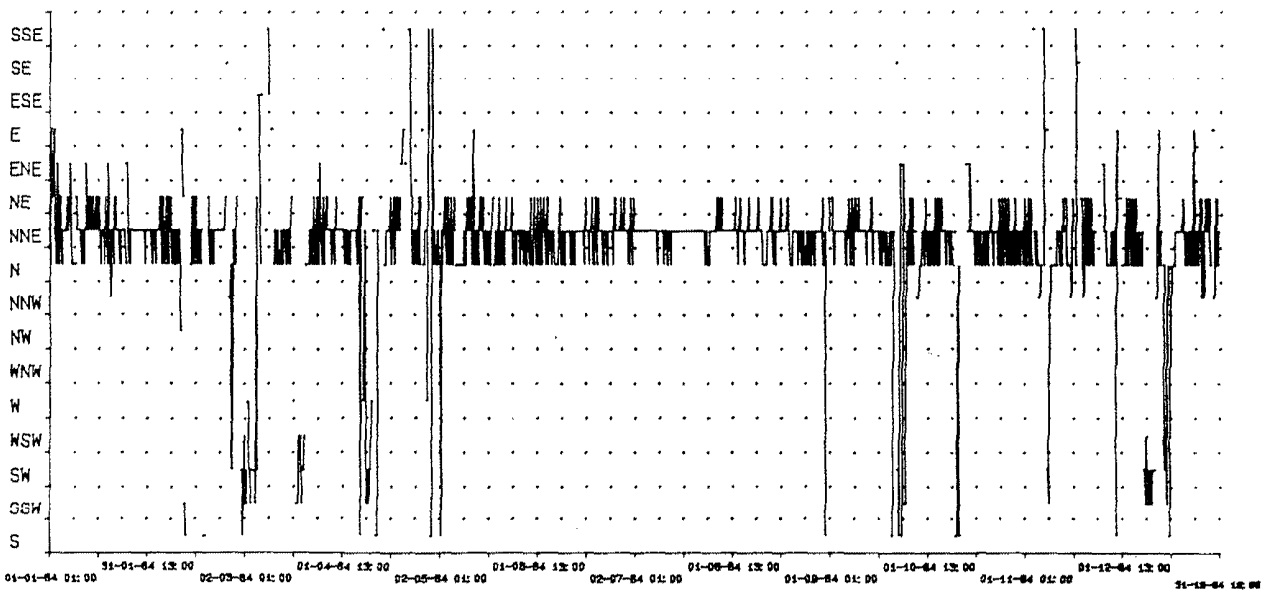


Figura 4.2-22

G A N D O
01-01-85 al 31-12-85 (1460 datos)
Calmas : 14.18 %

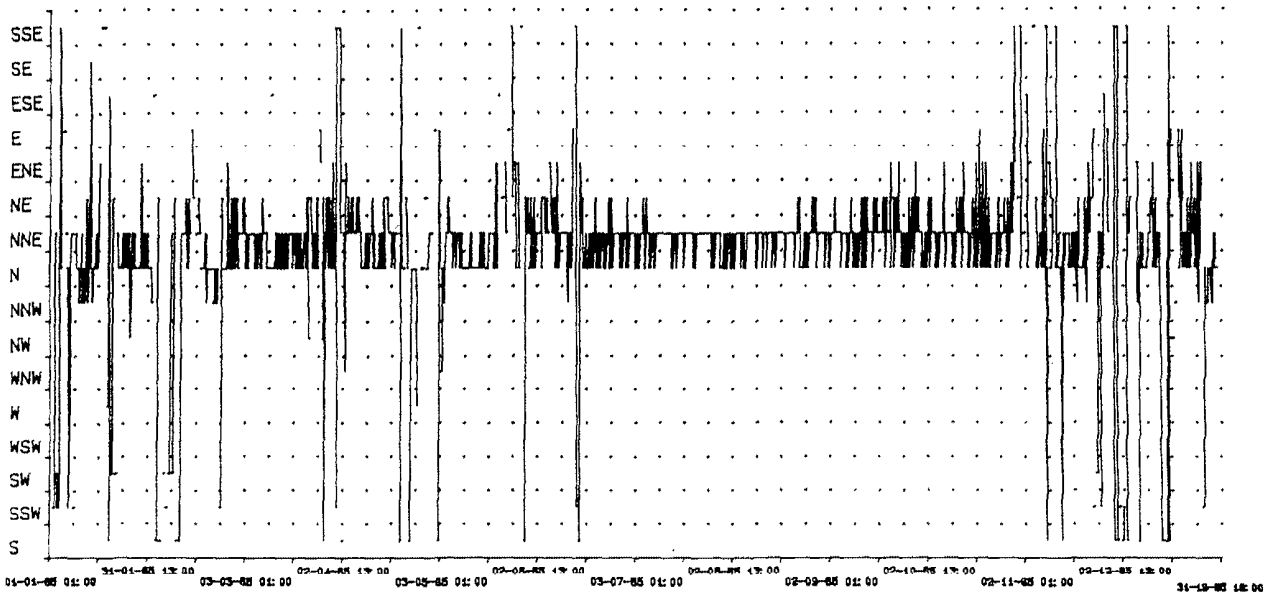
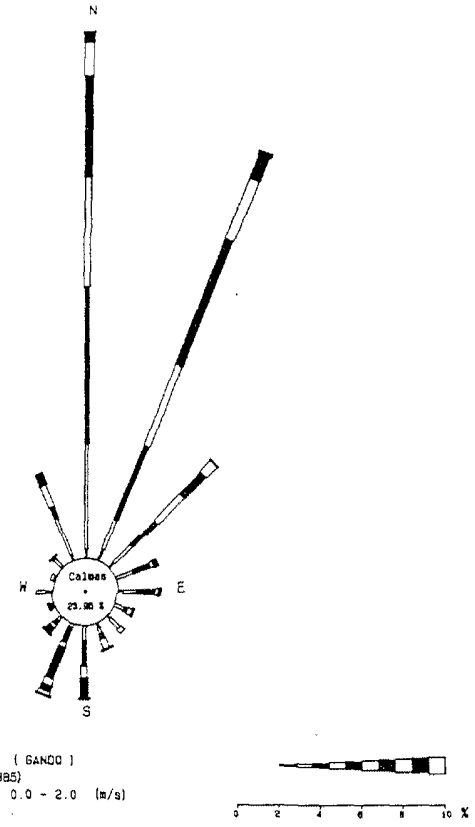


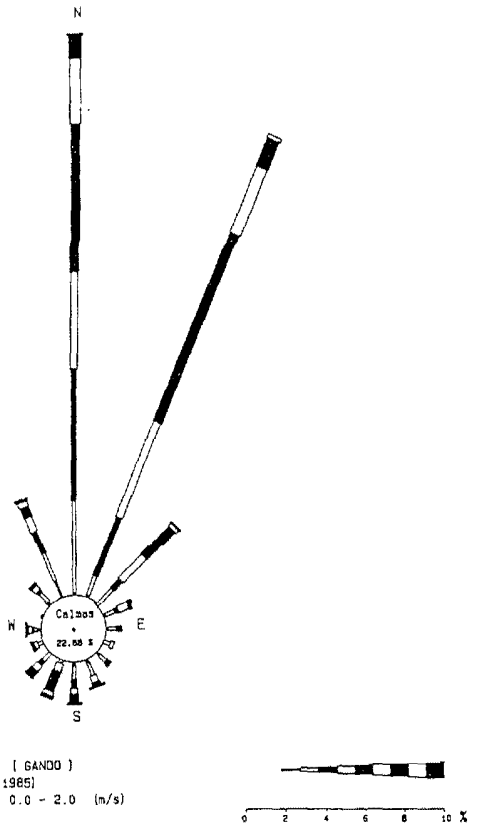
Figura 4.2-23

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



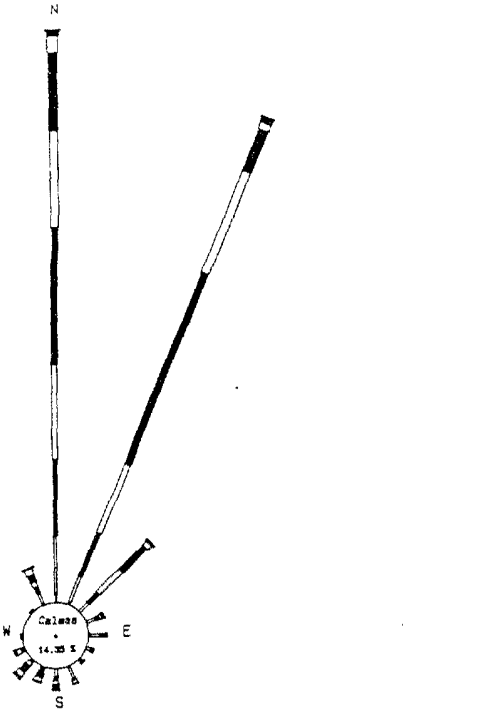
ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Enero (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-24



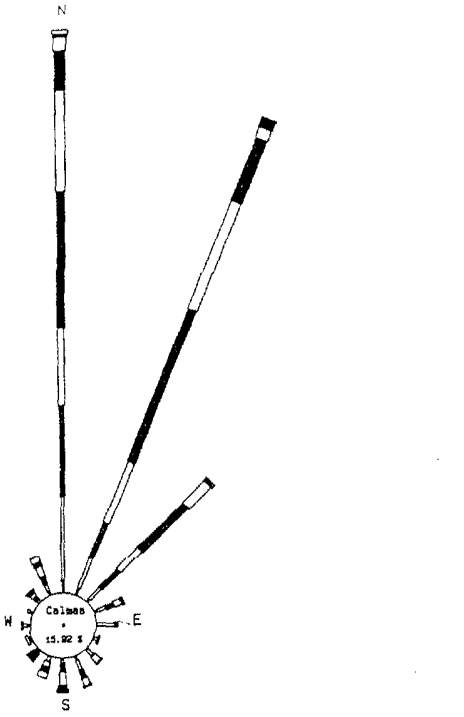
ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Febrero (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-25



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Marzo (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

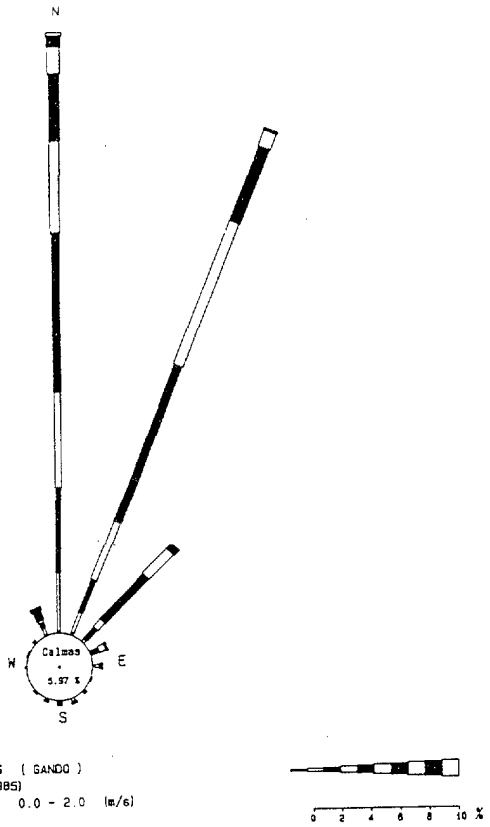
Figura 4.2-26



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Abril (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

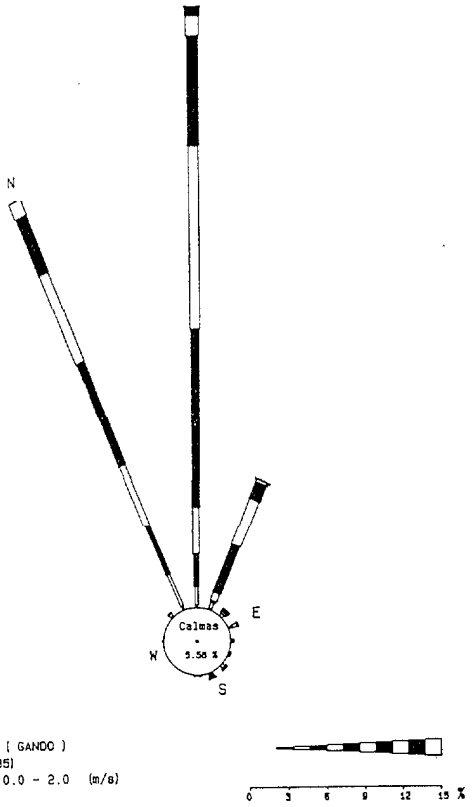
Figura 4.2-27

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



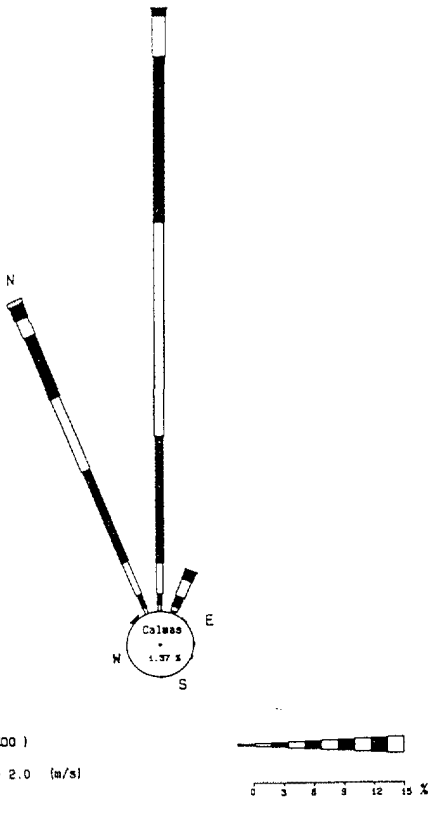
ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Mayo (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-28



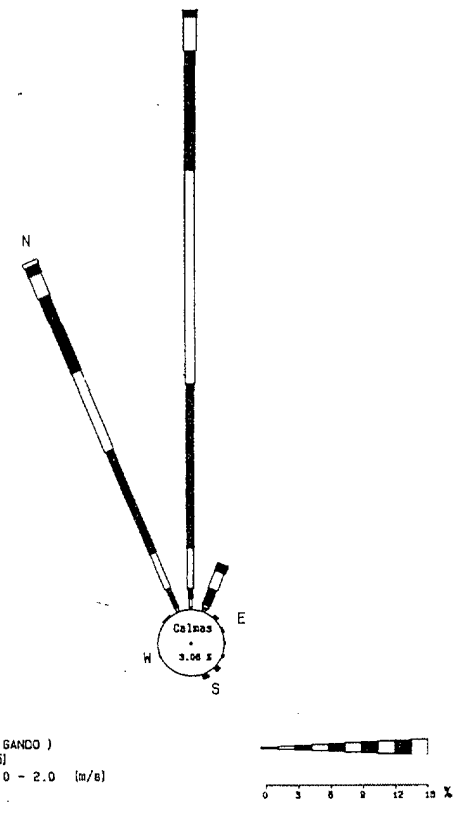
ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Junio (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-29



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Julio (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

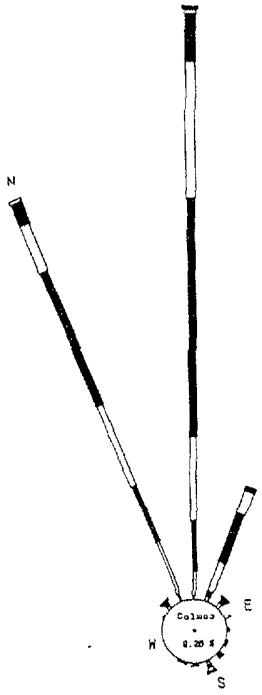
Figura 4.2-30



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Agosto (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

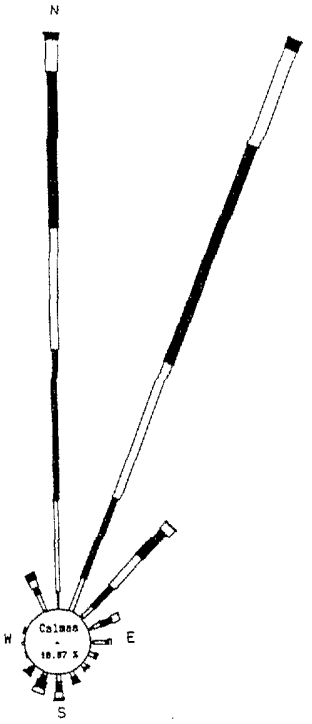
Figura 4.2-31

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Sept. (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-32



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Octubre (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

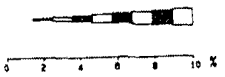
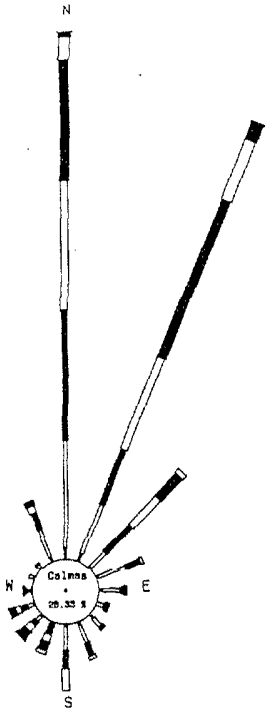
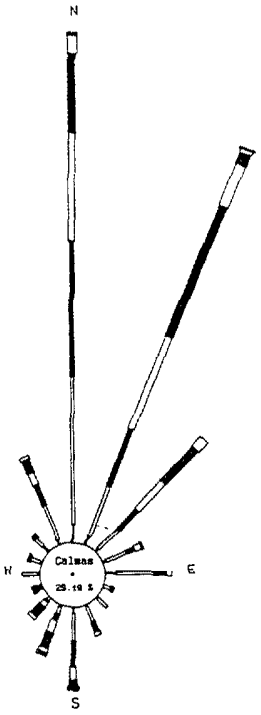


Figura 4.2-33



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Noviembre (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-34



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
Diciembre (1976 a 1985)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-35

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-76 a 31-12-85 (14612 datos, 14.84 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

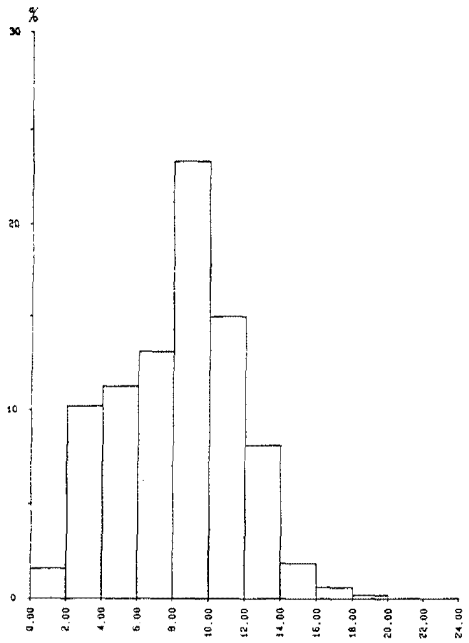


Figura 4.2-36

G A N D O
01-01-76 a 31-12-78 (1464 datos, 17.62 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

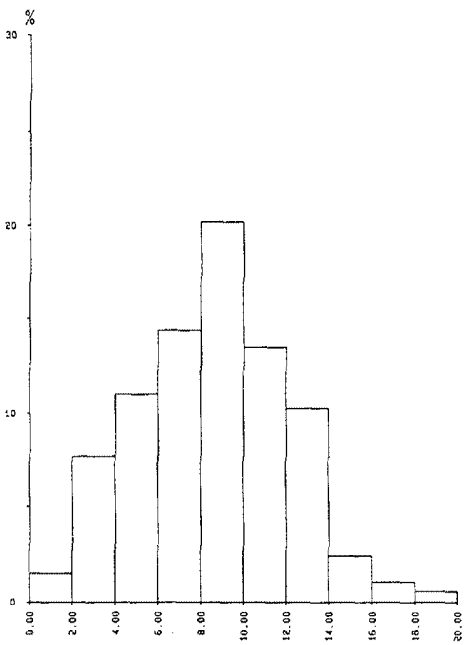


Figura 4.2-37

G A N D O
01-01-77 a 31-12-77 (1460 datos, 17.19 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

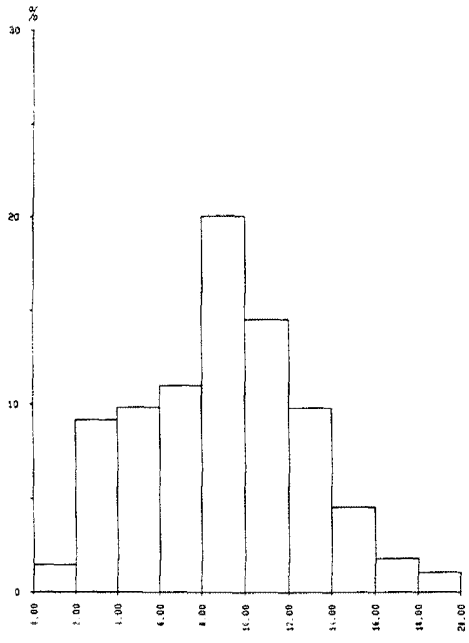


Figura 4.2-38

G A N D O
01-01-78 a 31-12-78 (1460 datos, 18.84 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

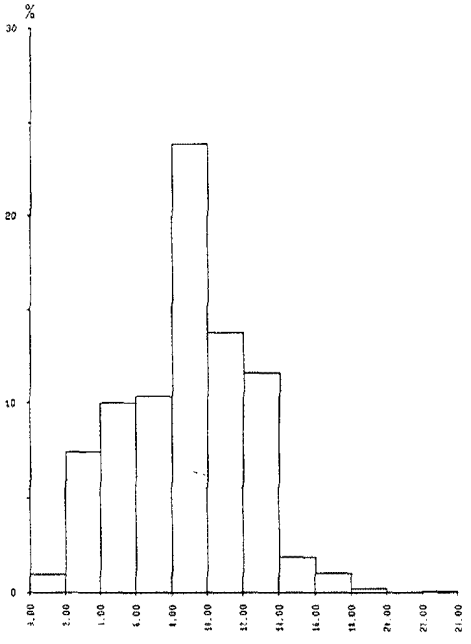


Figura 4.2-39

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-79 a 31-12-79 (1460 datos, 14.11 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

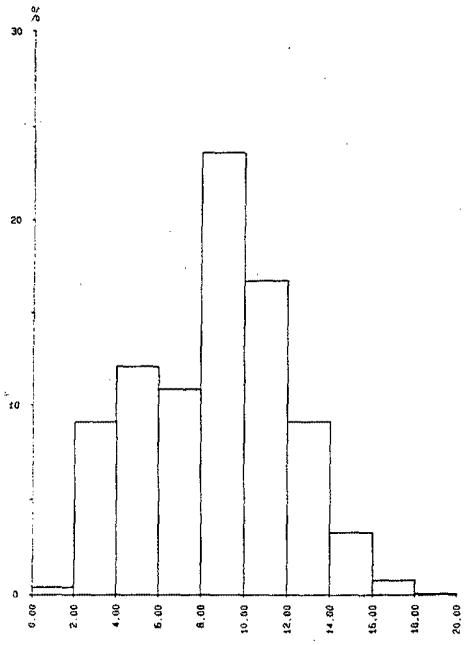


Figura 4.2-40

G A N D O
01-01-80 a 31-12-80 (1464 datos, 17.01 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

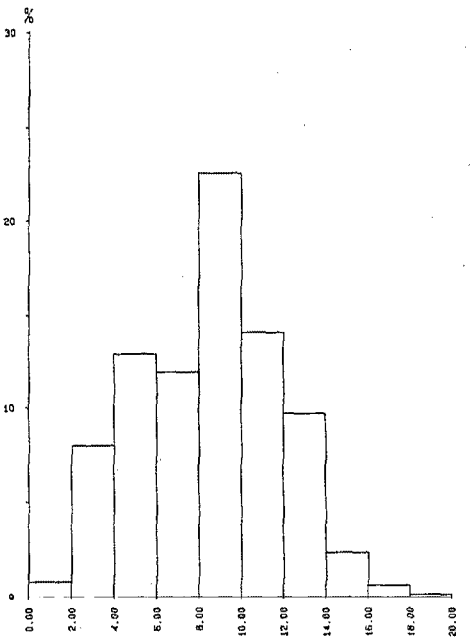


Figura 4.2-41

G A N D O
01-01-81 a 31-12-81 (1460 datos, 13.22 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

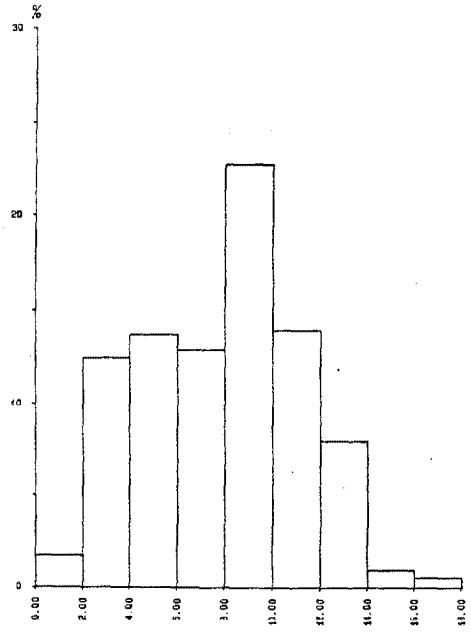


Figura 4.2-42

G A N D O
01-01-82 a 31-12-82 (1460 datos, 10.96 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

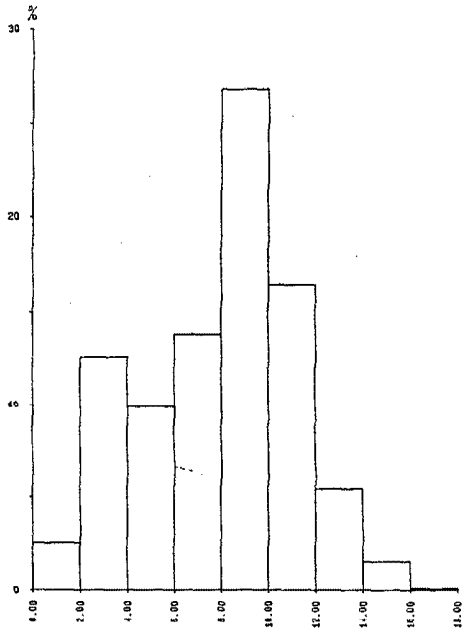


Figura 4.2-43

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-83 a 31-12-83 (1460 datos, 15.55 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

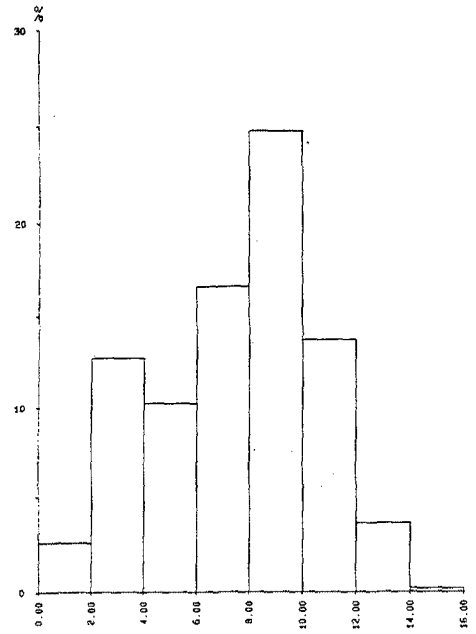


Figura 4.2-44

G A N D O
01-01-84 a 31-12-84 (1464 datos, 9.70 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

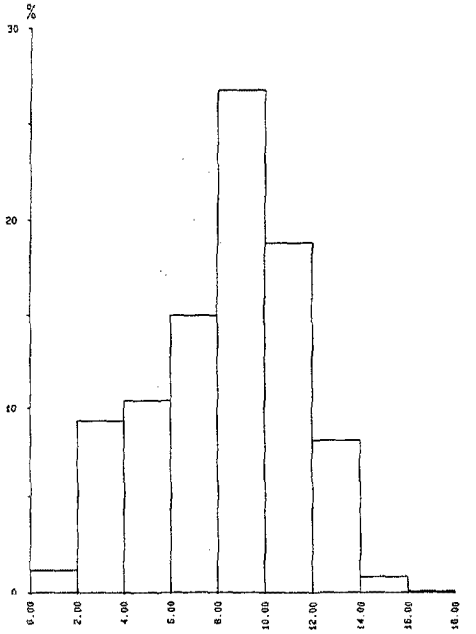


Figura 4.2-45

G A N D O
01-01-85 a 31-12-85 (1460 datos, 14.18 % calmas)
Histograma de VELOCIDAD (m/s)

Figura 4.2-46

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

GANDO (10 Años)

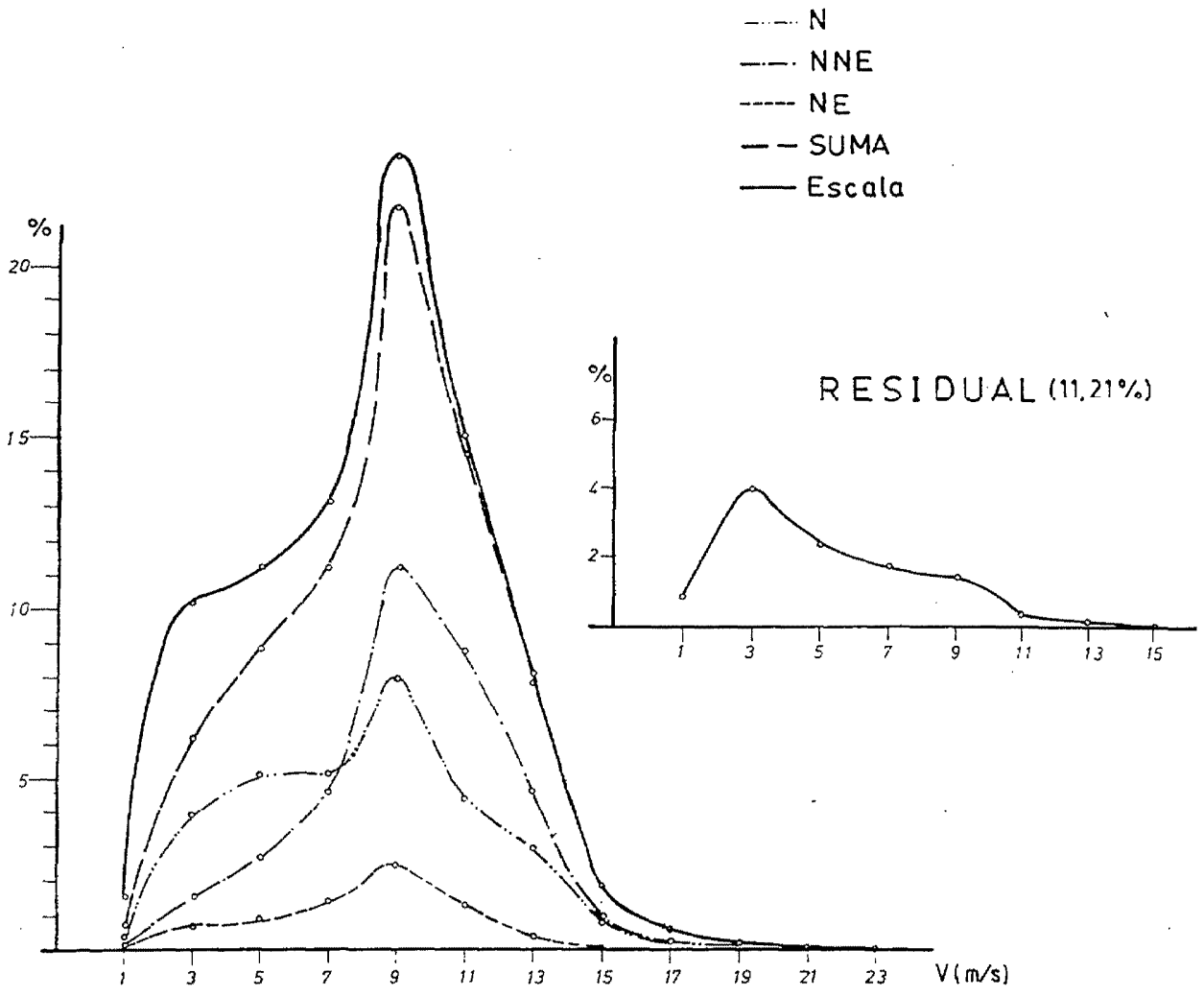


Figura 4.2-47

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

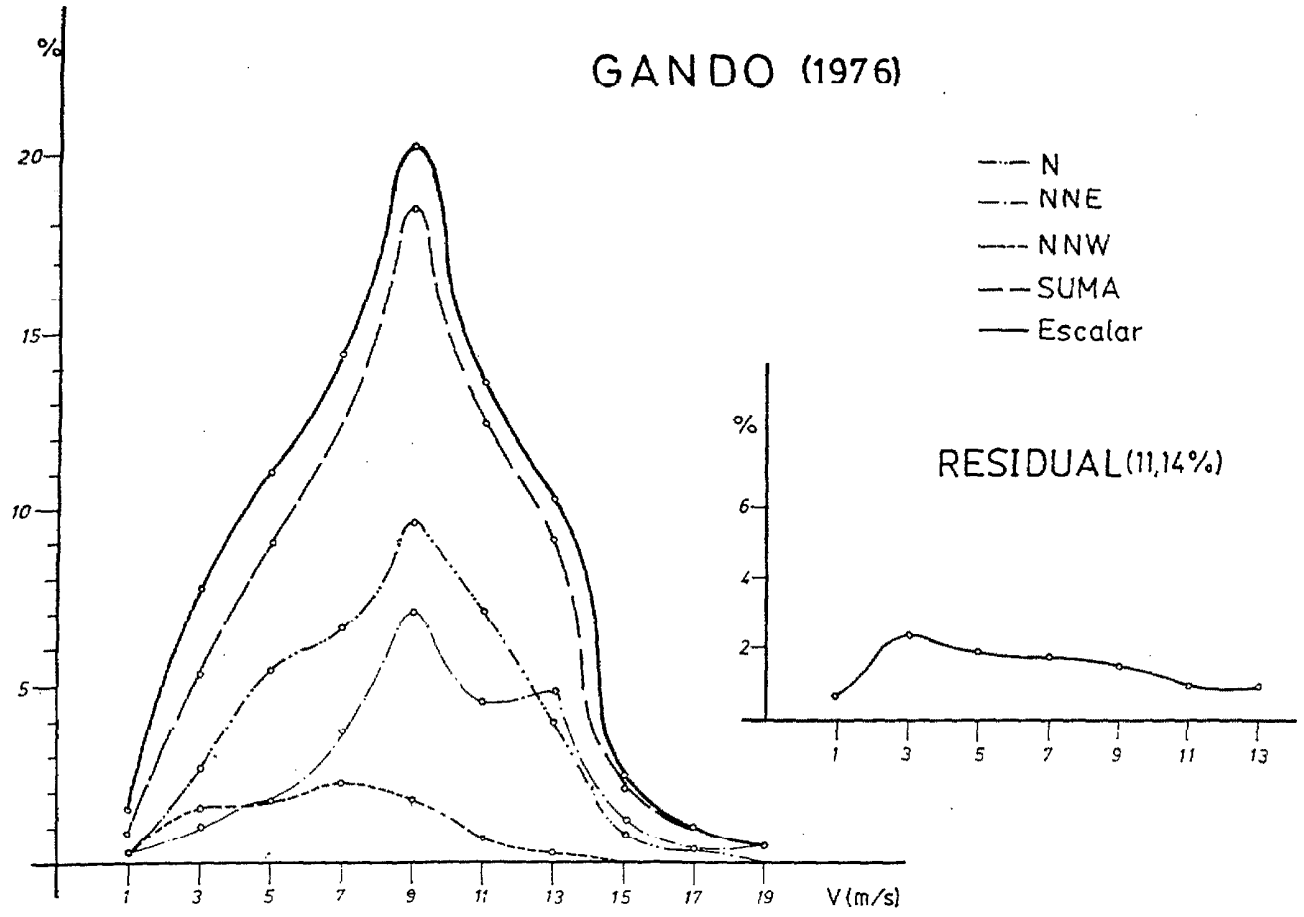


Figura-4.2-48

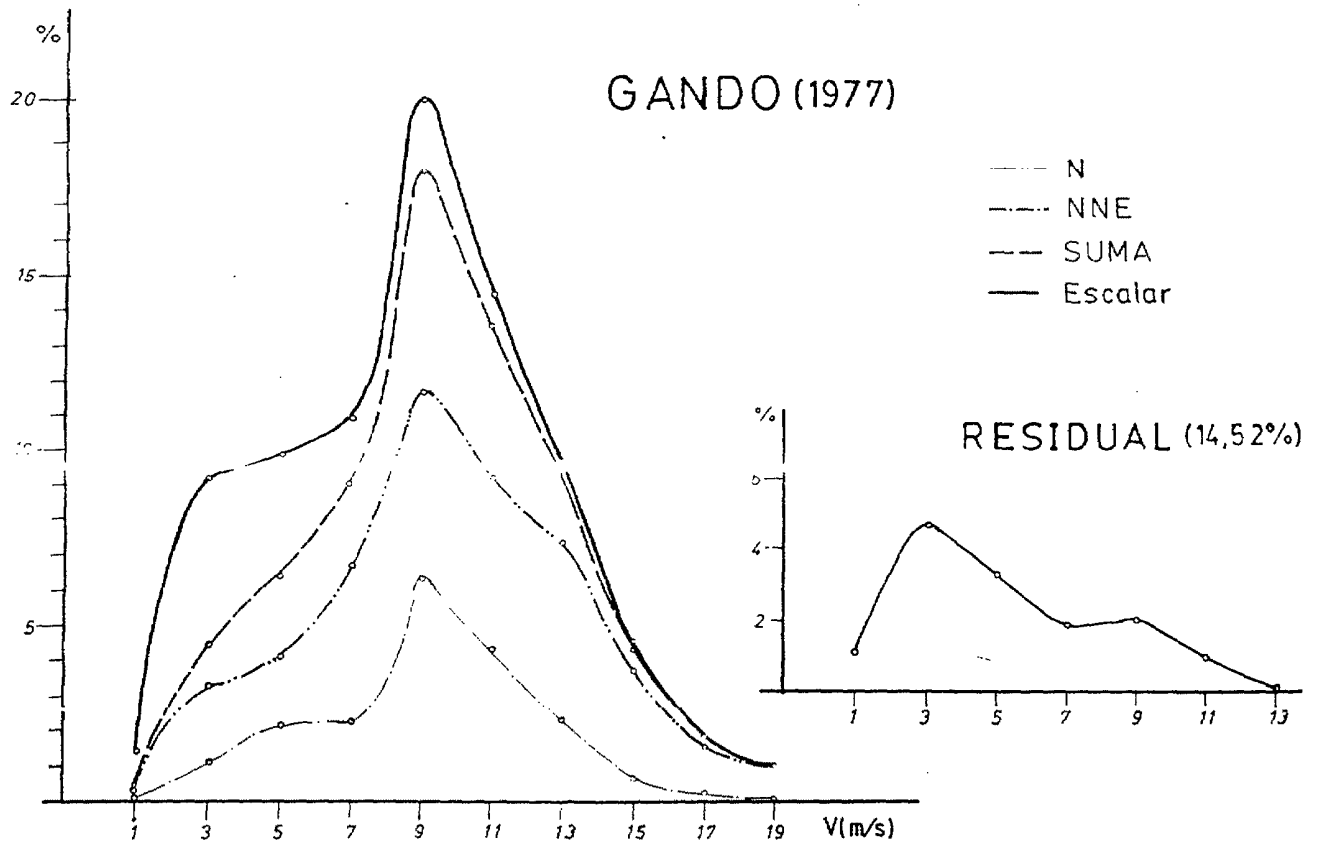
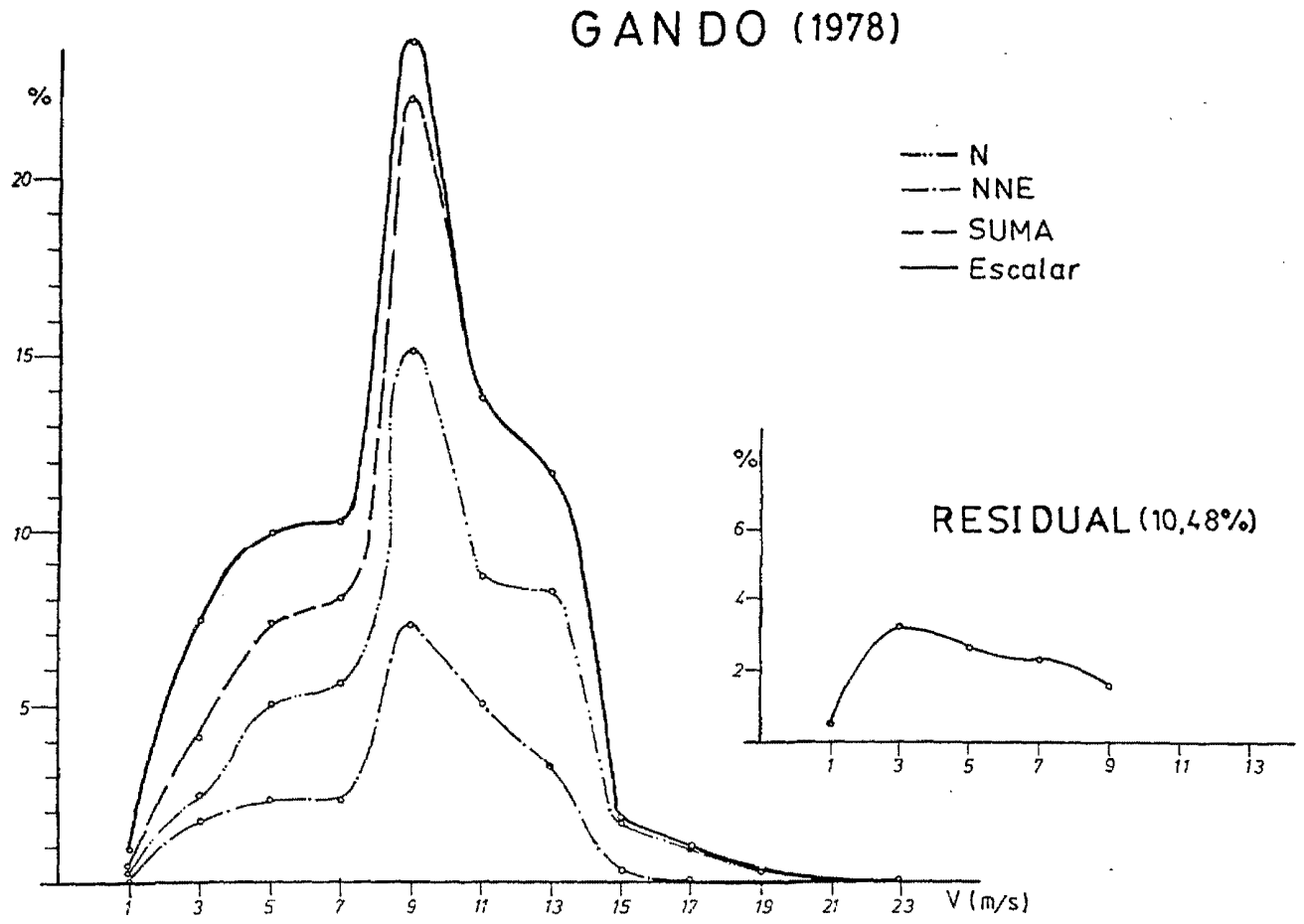


Figura-4.2-49

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



Figura—4.2-50

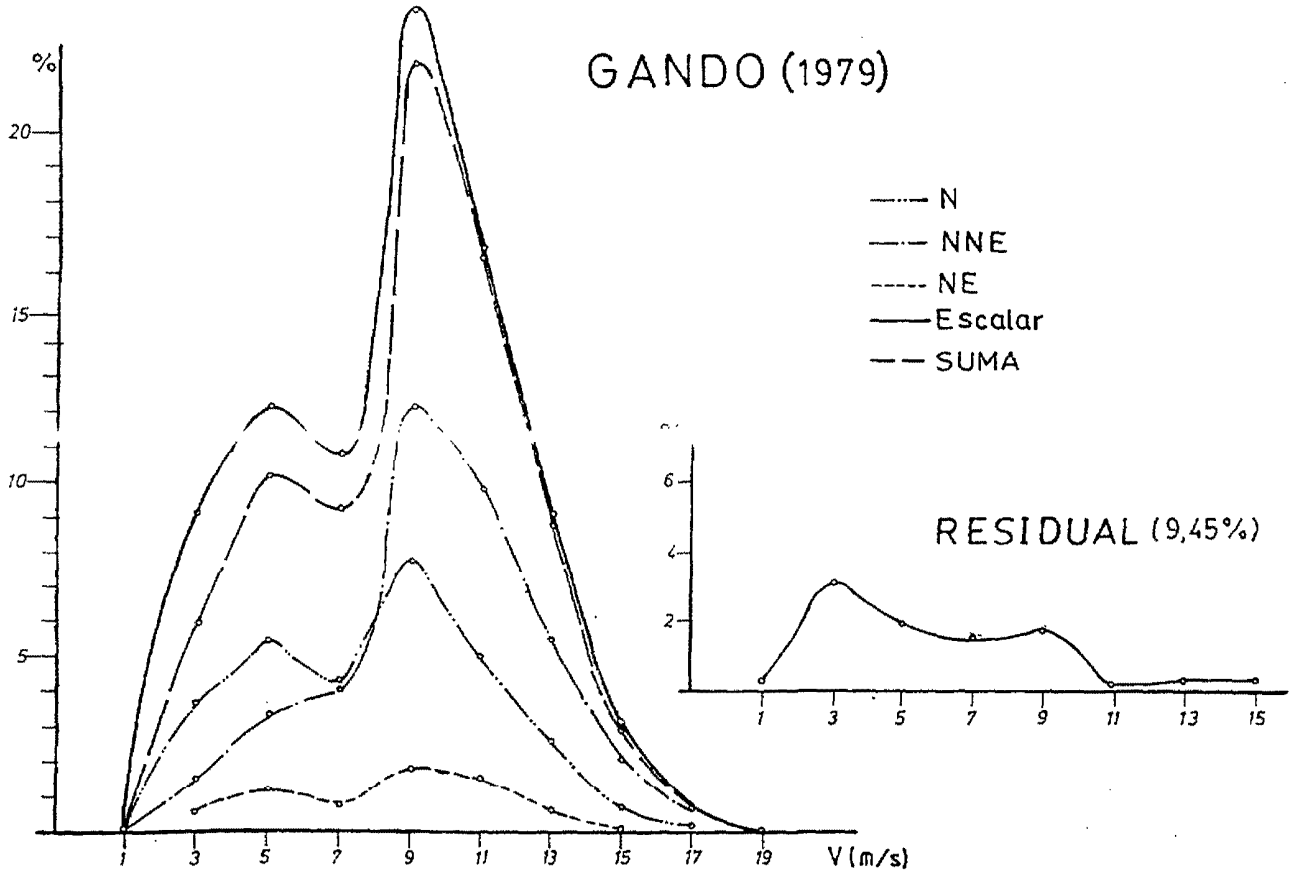


Figura 4.2-51

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

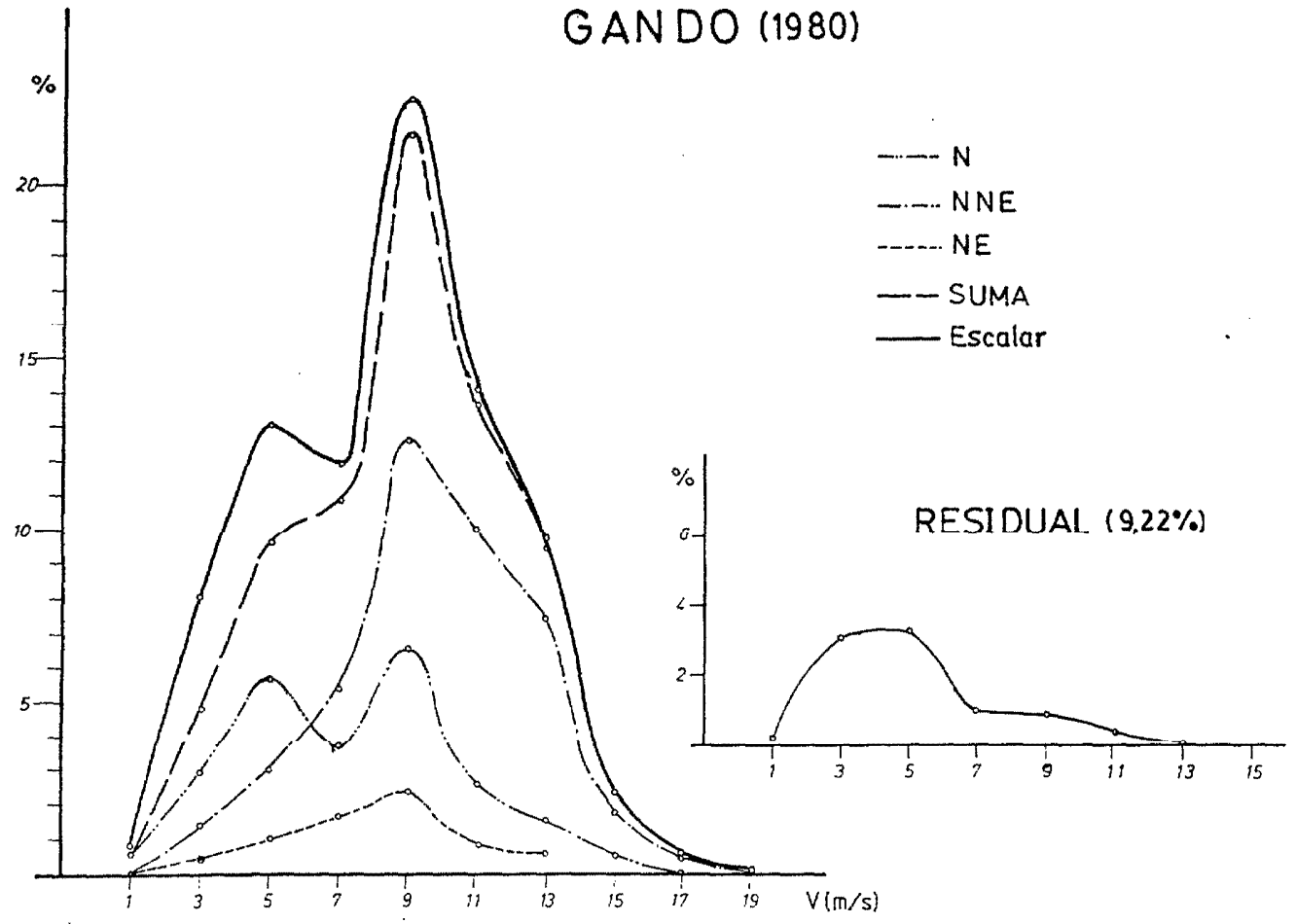


Figura 4.2-52

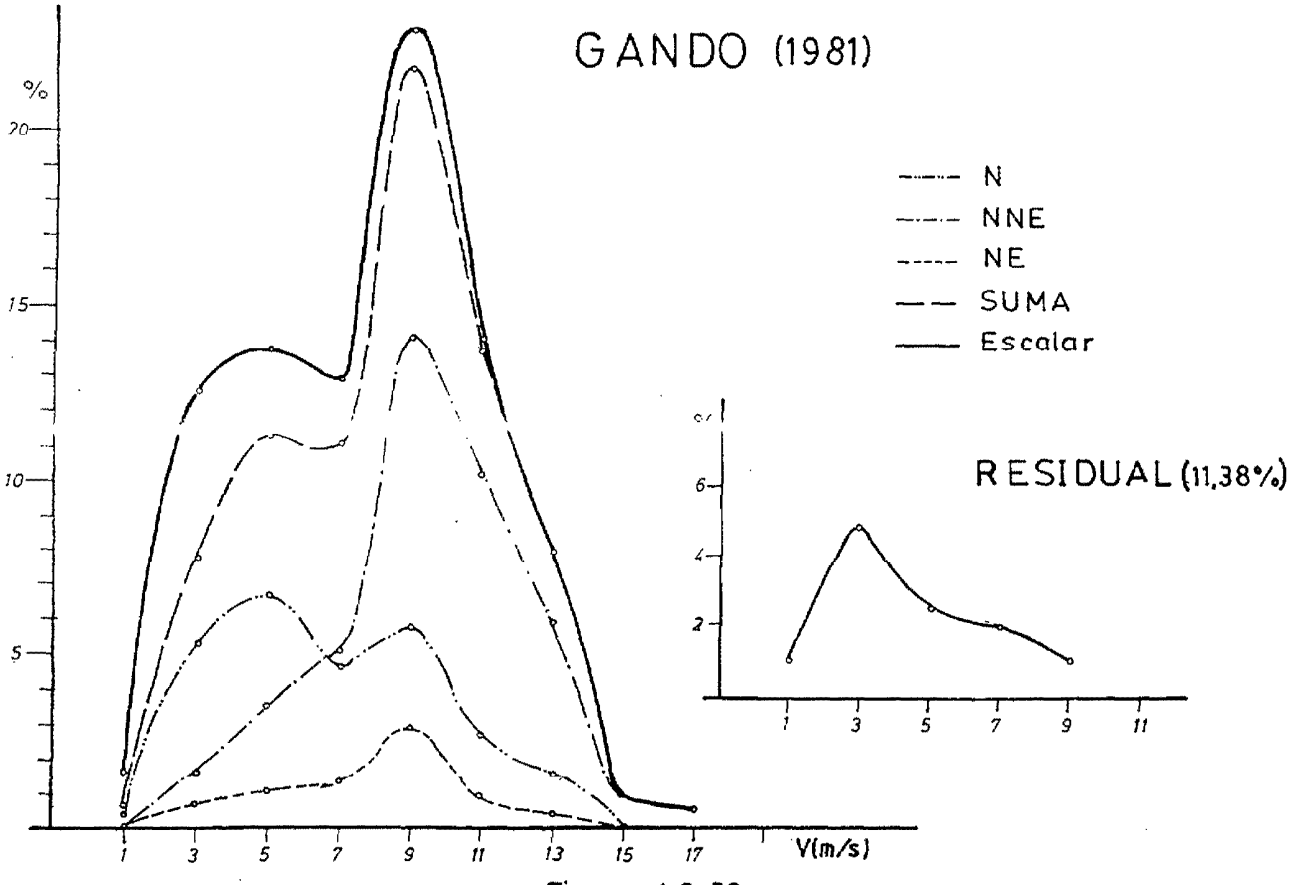


Figura 4.2-53

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

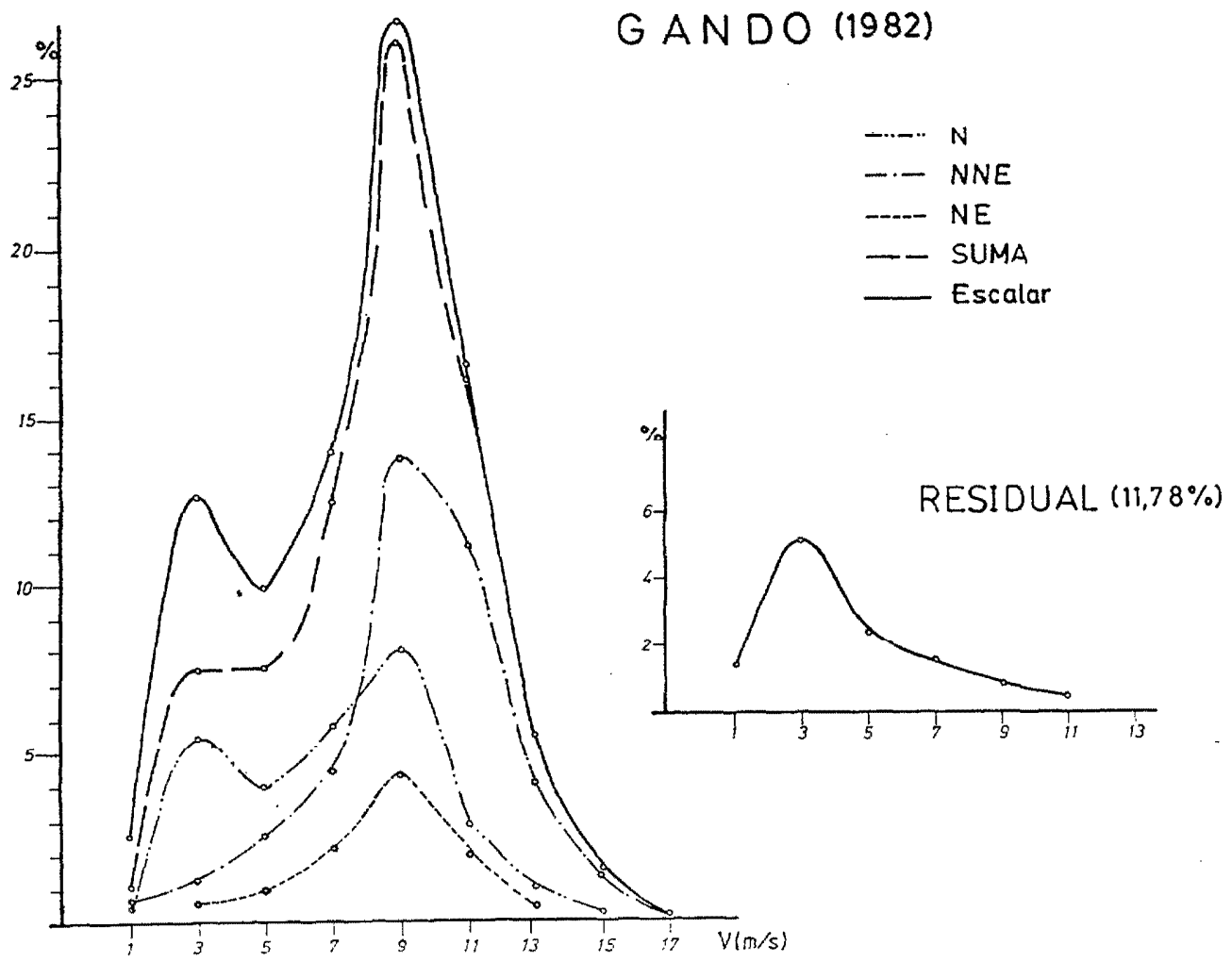


Figura 4.2-54

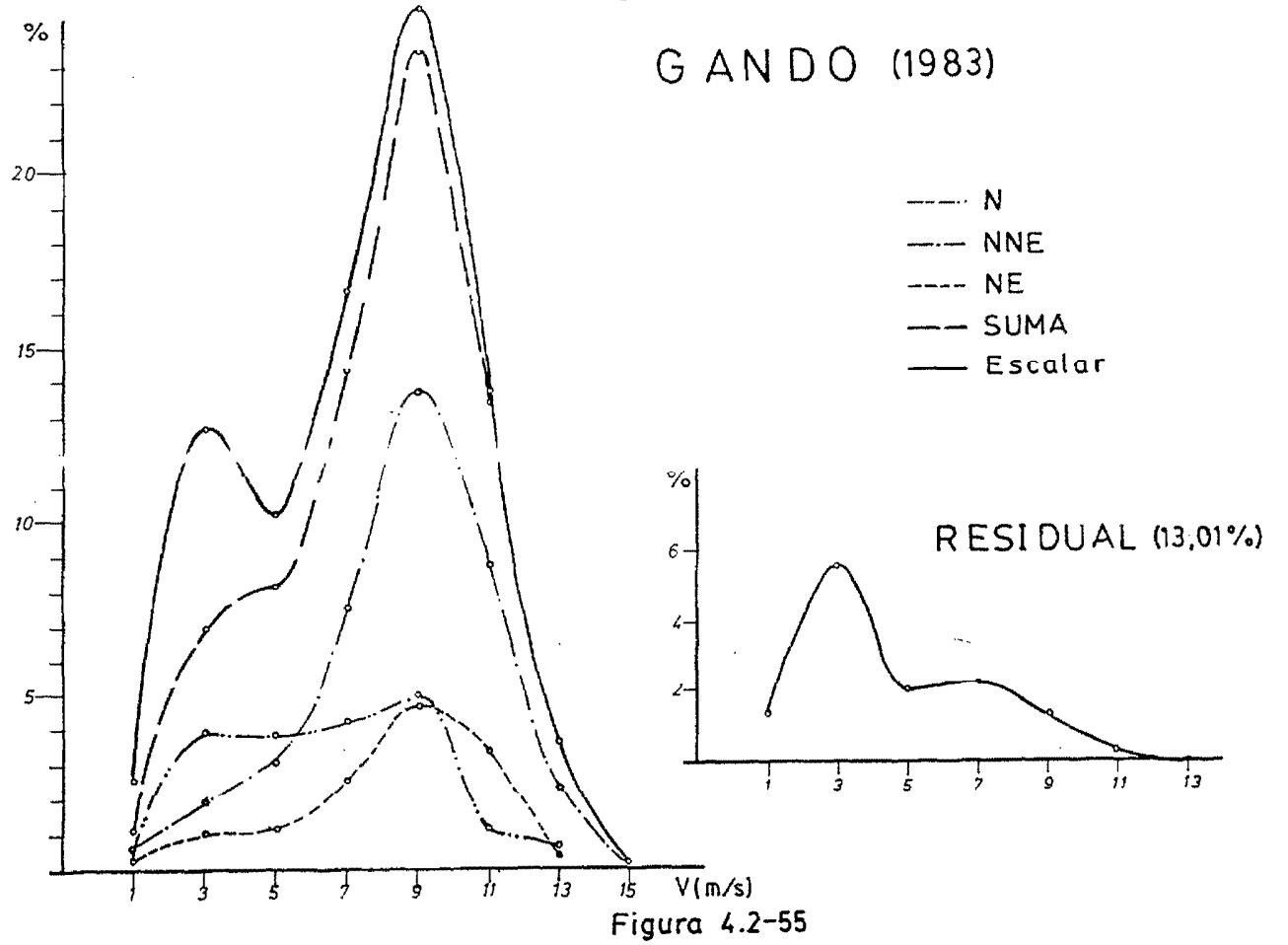


Figura 4.2-55

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

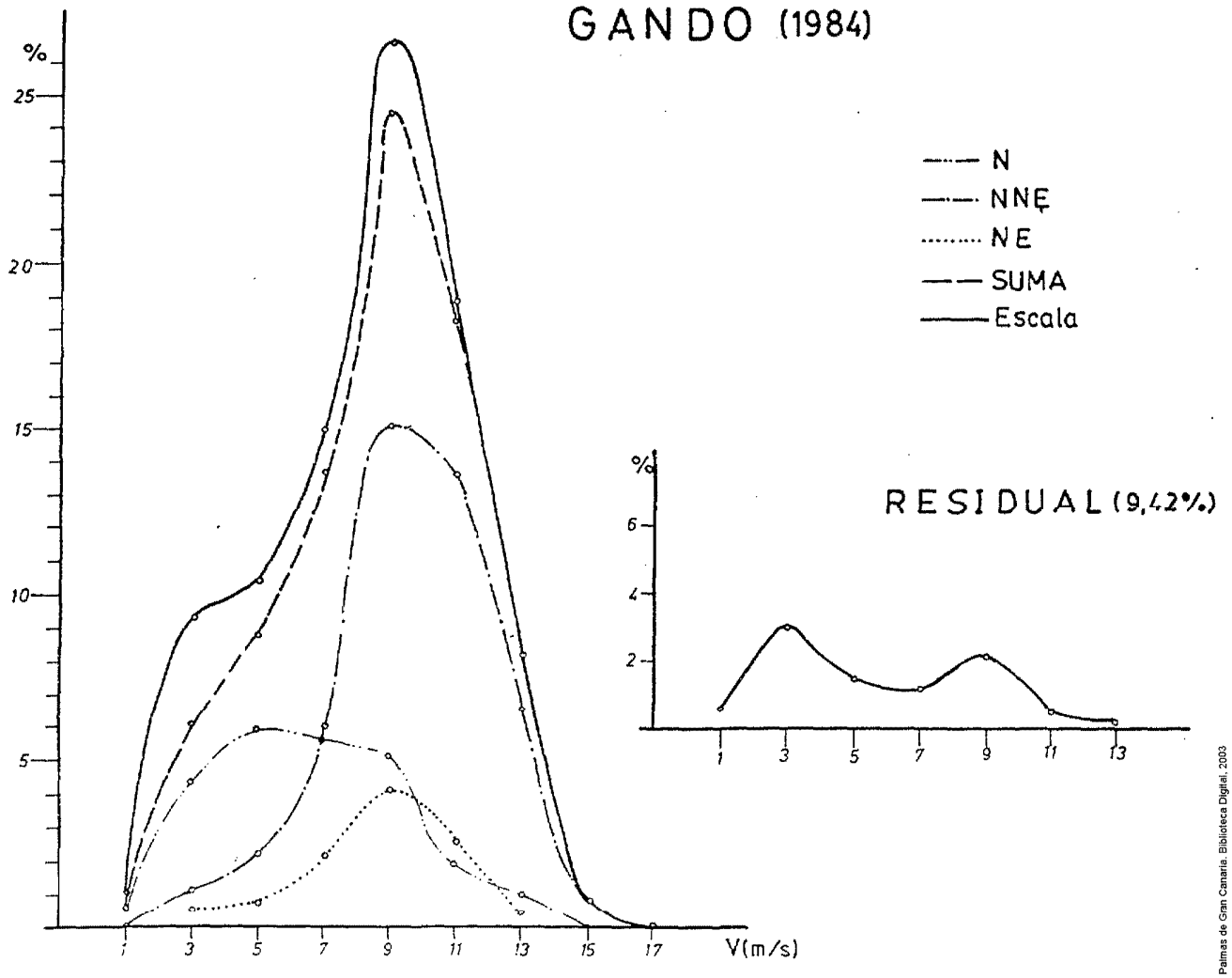


Figura 4.2-56

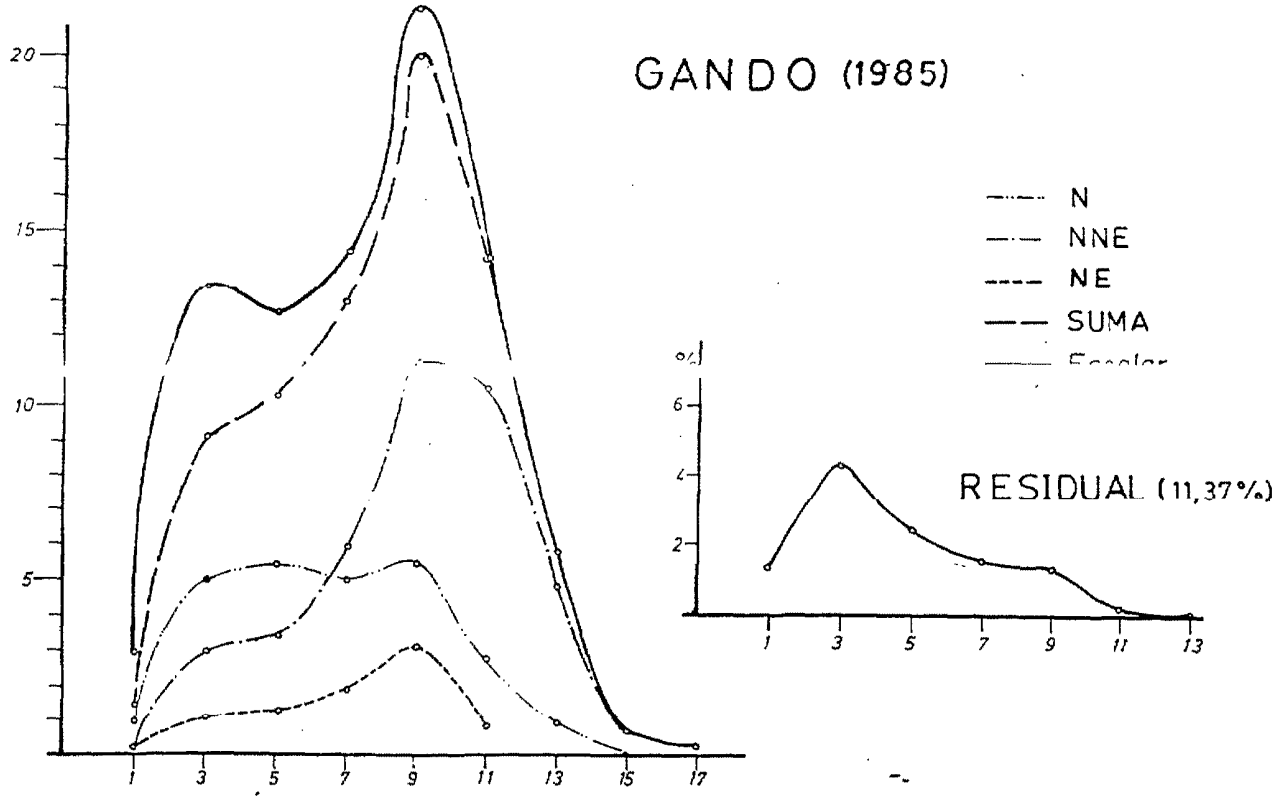


Figura 4.2-57

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

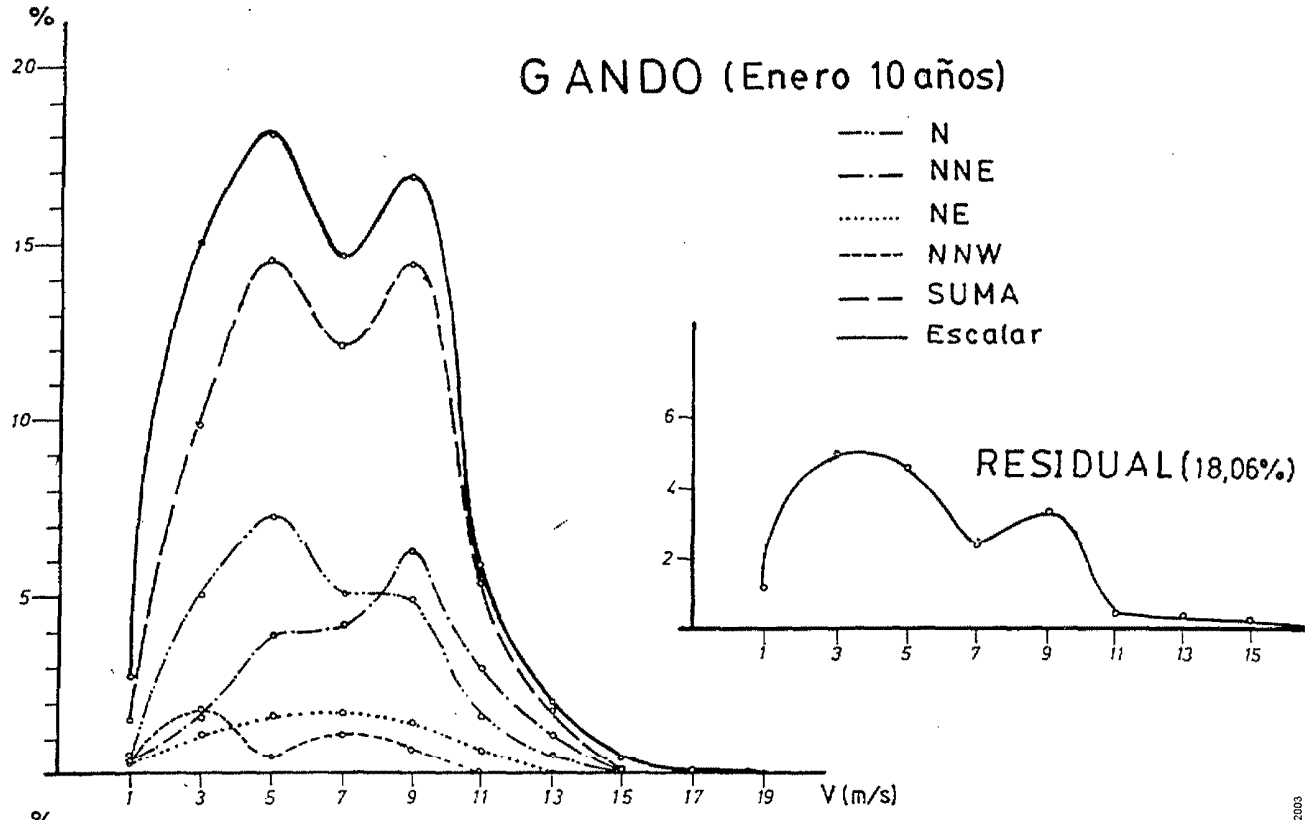


Figura 4.2-58

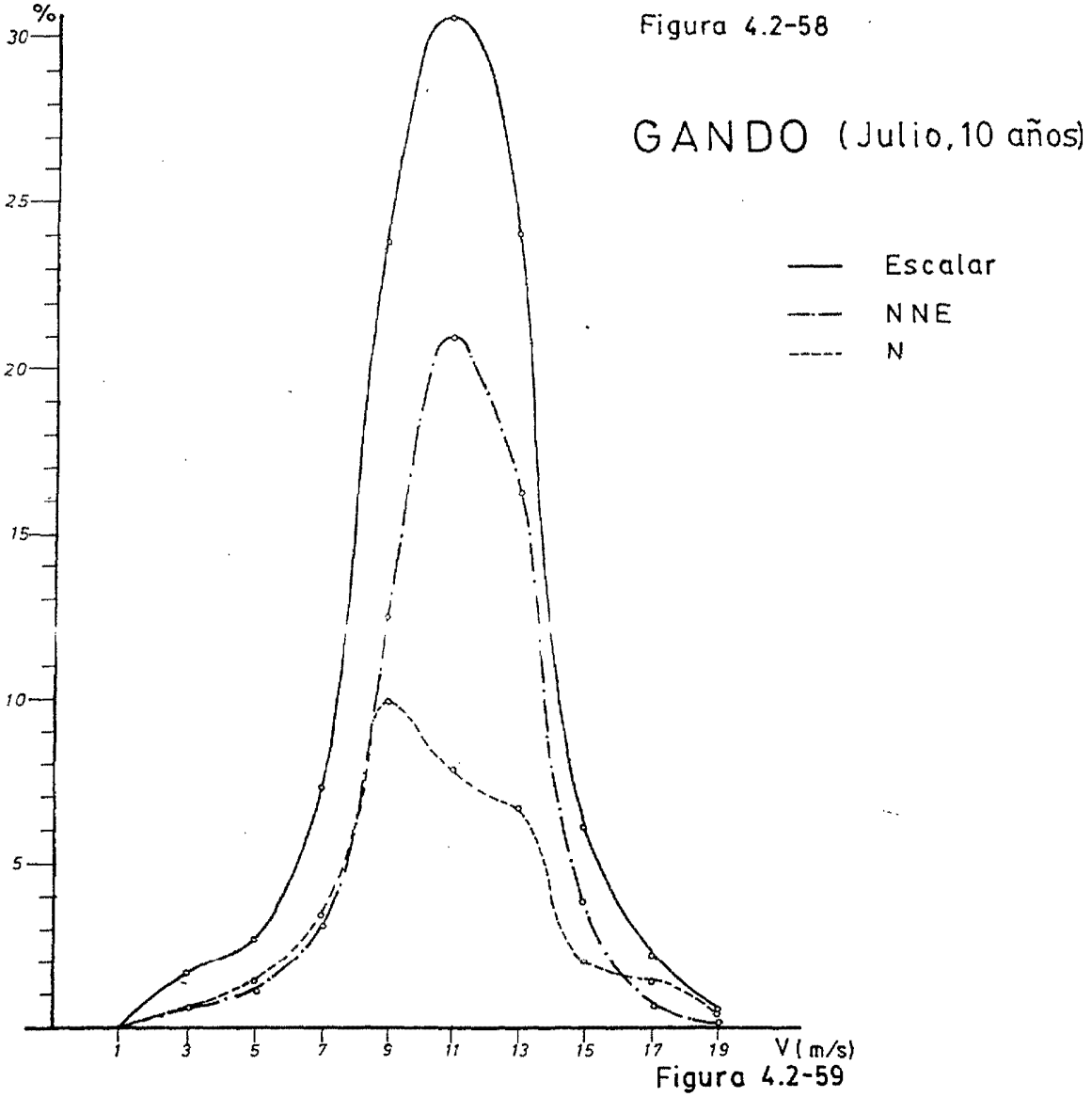


Figura 4.2-59

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

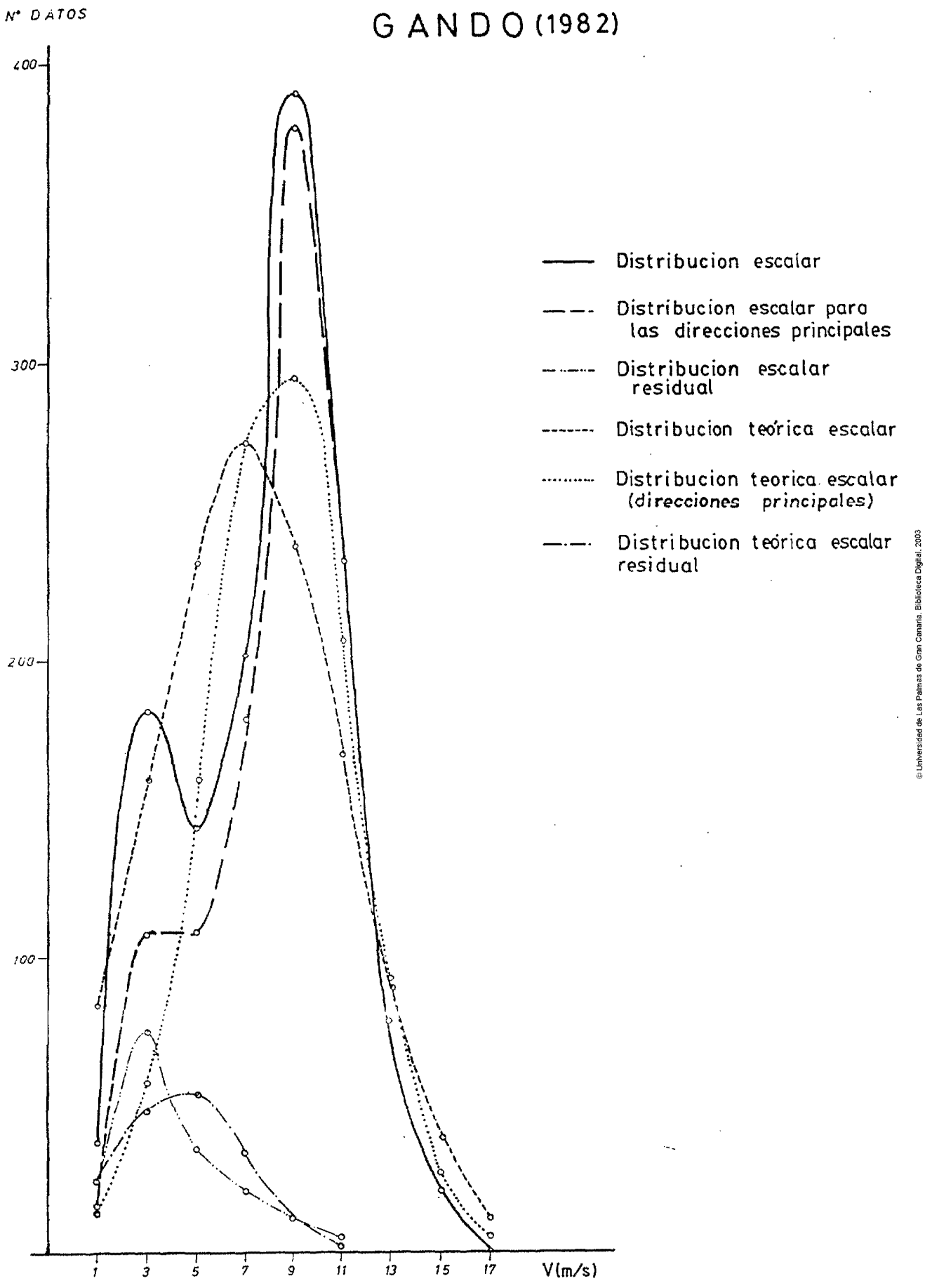


Figura 4.2-60

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-76 a 31-12-85 (14612 datos, 14.84 % calmas)
Histograma de DIRECCION

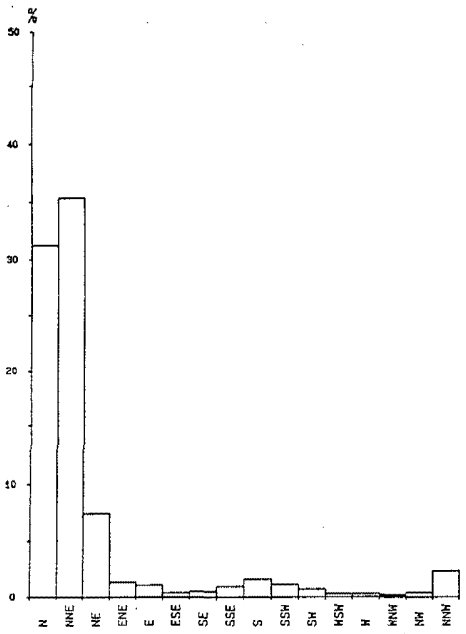


Figura 4.2-61

G A N D O
01-01-76 a 31-12-76 (1464 datos, 17.62 % calmas)
Histograma de DIRECCION

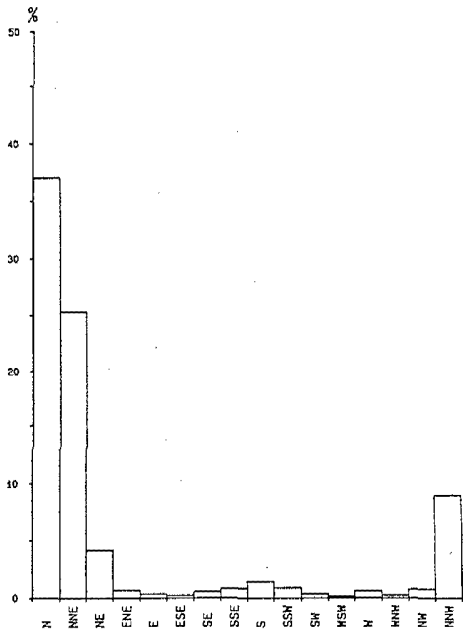


Figura 4.2-62

G A N D O
01-01-77 a 31-12-77 (1460 datos, 17.19 % calmas)
Histograma de DIRECCION

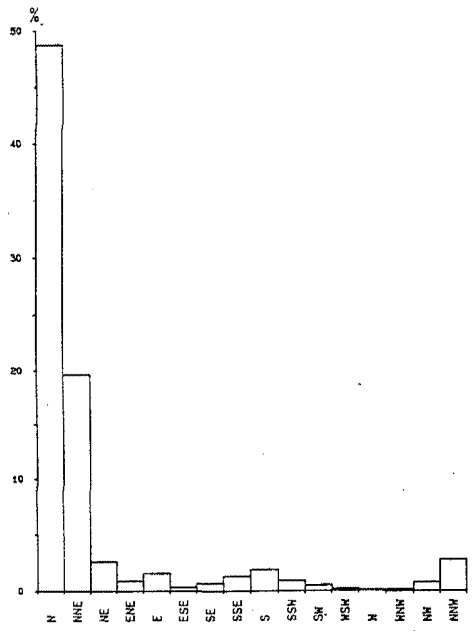


Figura 4.2-63

G A N D O
01-01-78 a 31-12-78 (1460 datos, 18.84 % calmas)
Histograma de DIRECCION

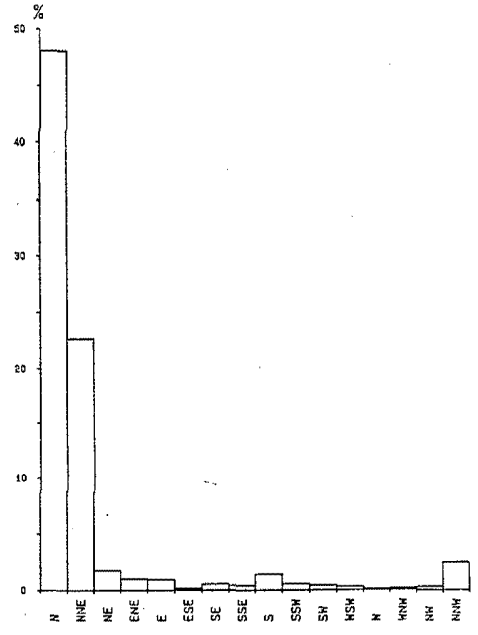


Figura 4.2-64

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-79 a 31-12-79 (1460 datos, 14.11 % calmas)
Histograma de DIRECCION

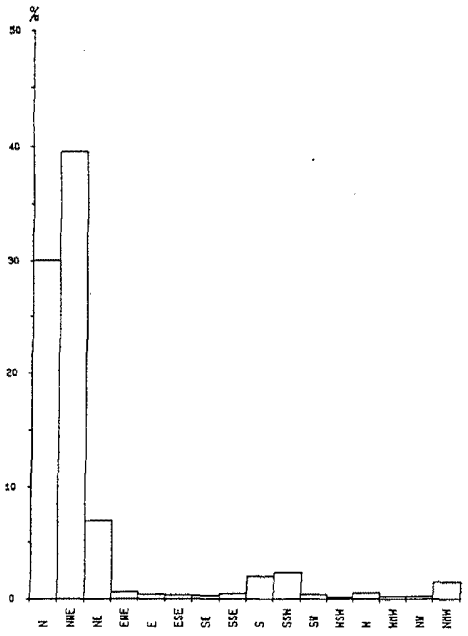


Figura 4.2-65

G A N D O
01-01-80 a 31-12-80 (1464 datos, 17.01 % calmas)
Histograma de DIRECCION

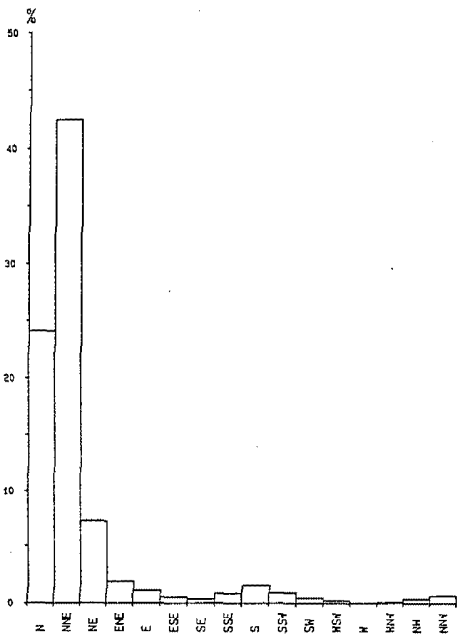


Figura 4.2-66

G A N D O
01-01-81 a 31-12-81 (1460 datos, 13.22 % calmas)
Histograma de DIRECCION

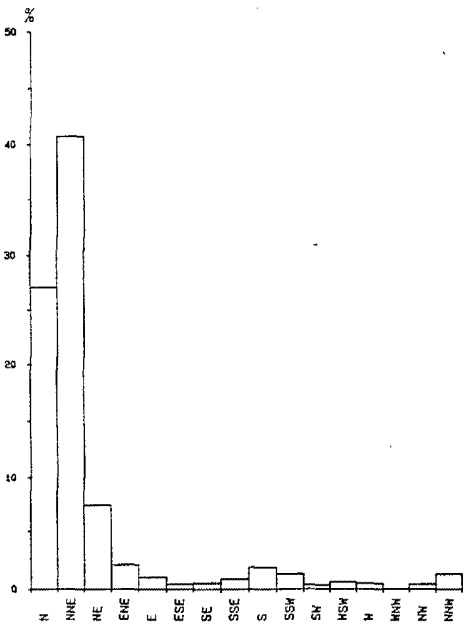


Figura 4.2-67

G A N D O
01-01-82 a 31-12-82 (1460 datos, 10.96 % calmas)
Histograma de DIRECCION

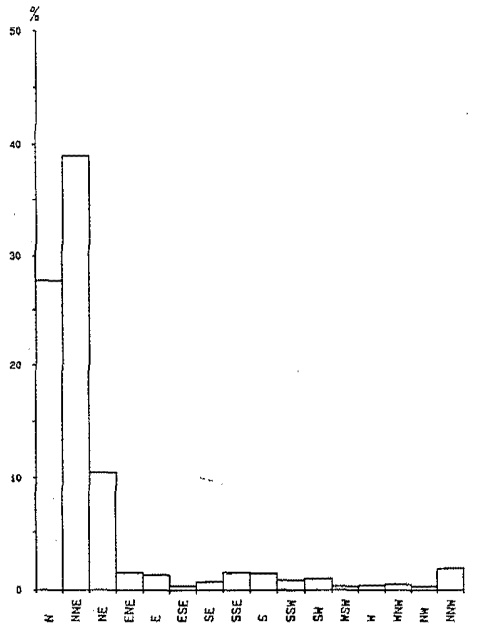


Figura 4.2-68

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

G A N D O
01-01-83 a 31-12-83 (1460 datos, 15.55 % calmas)
Histograma de DIRECCION

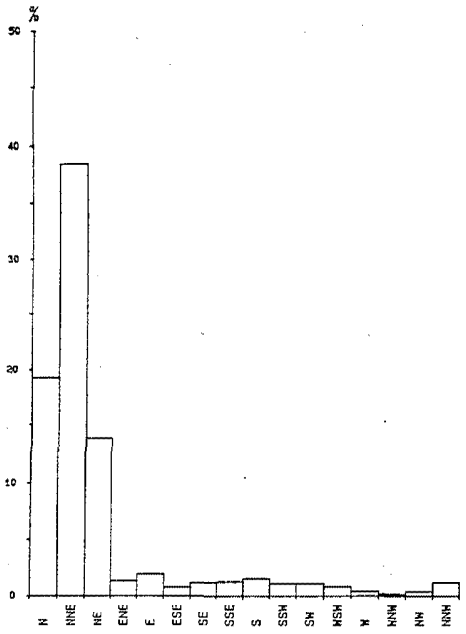


Figura 4.2-69

G A N D O
01-01-84 a 31-12-84 (1464 datos, 9.70 % calmas)
Histograma de DIRECCION

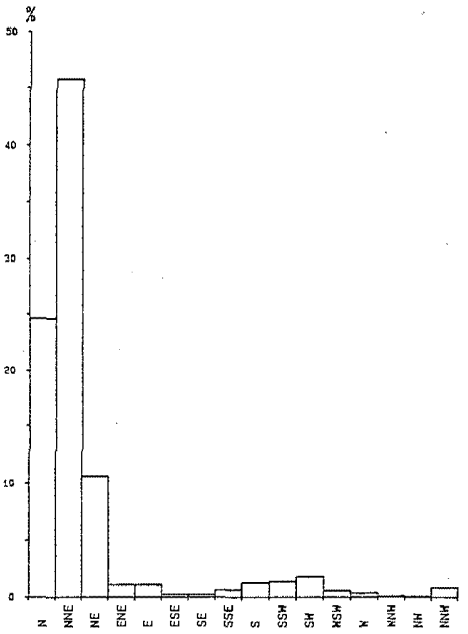


Figura 4.2-70

G A N D O
01-01-85 a 31-12-85 (1460 datos, 14.18 % calmas)
Histograma de DIRECCION

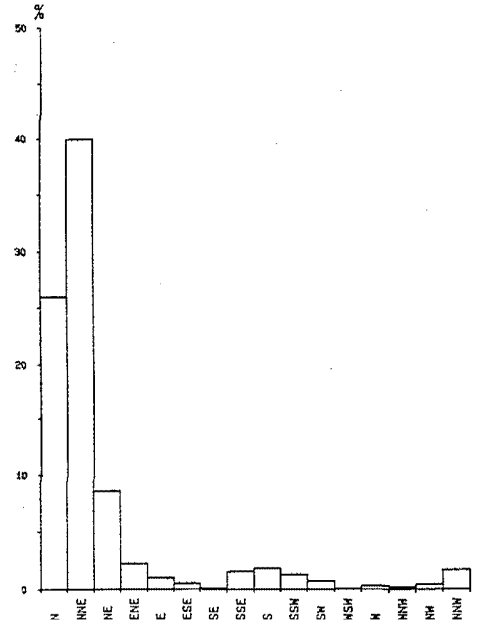
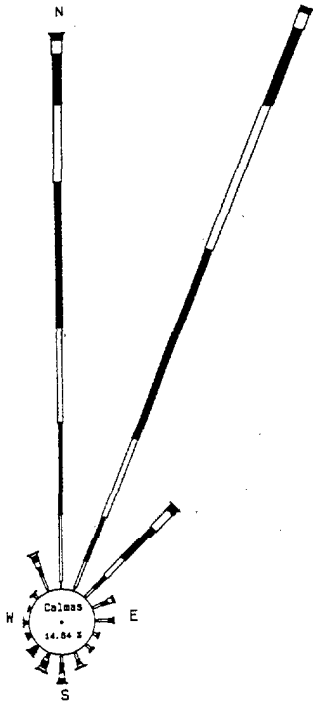


Figura 4.2-71

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-76 a 31-12-85
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

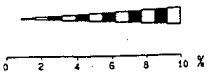
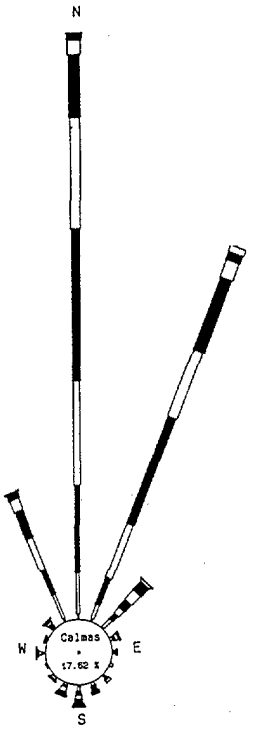


Figura 4.2-72



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-76 a 31-12-76
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

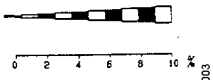
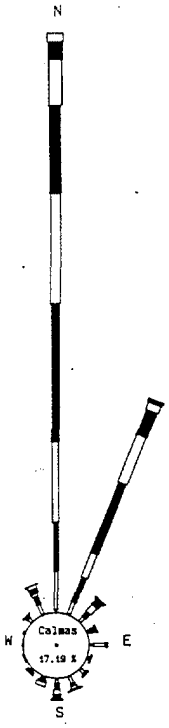
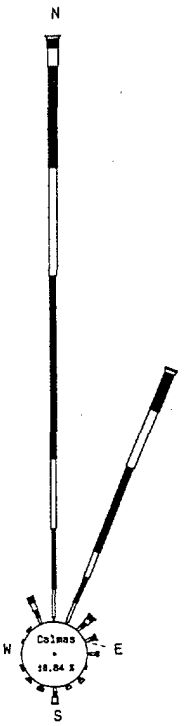


Figura 4.2-73



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-77 a 31-12-77
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

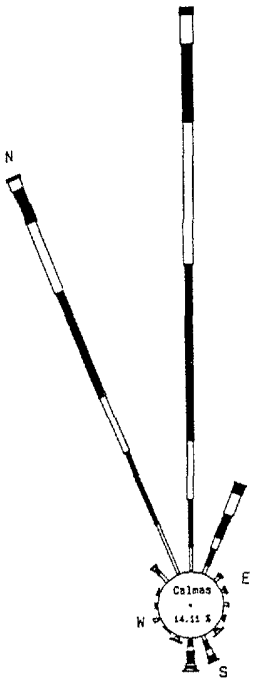
Figura 4.2-74



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-78 a 31-12-78
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

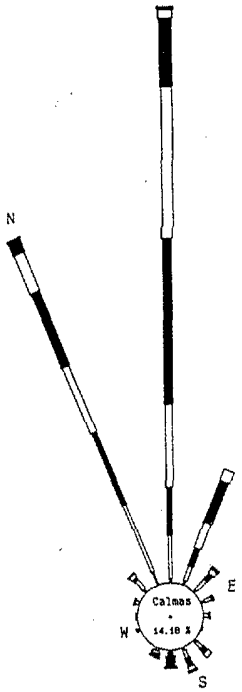
Figura 4.2-75

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



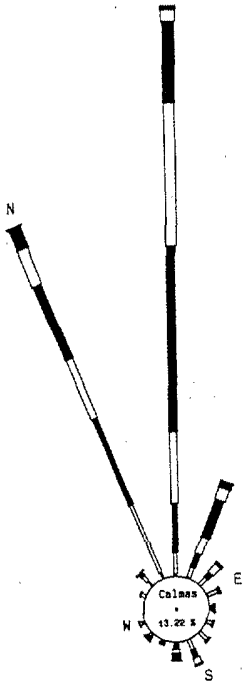
ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-79 a 31-12-79
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-76



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-80 a 30-12-80
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-77



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-81 a 31-12-81
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

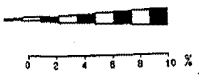
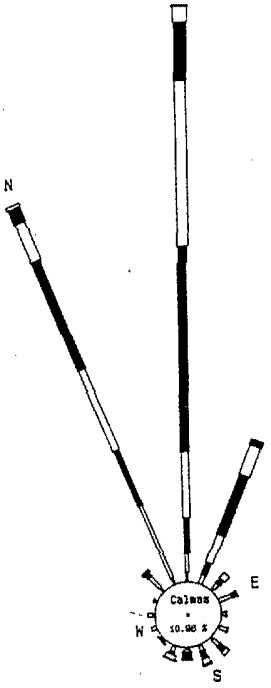


Figura 4.2-78



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-82 a 31-12-82
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

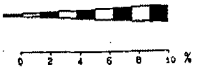
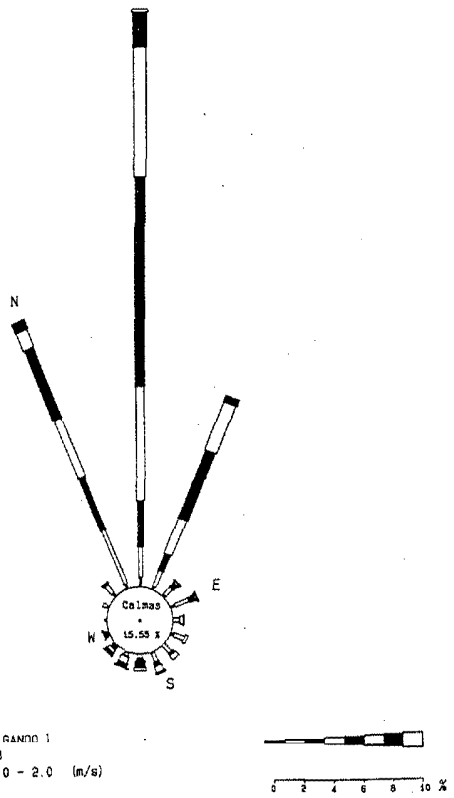


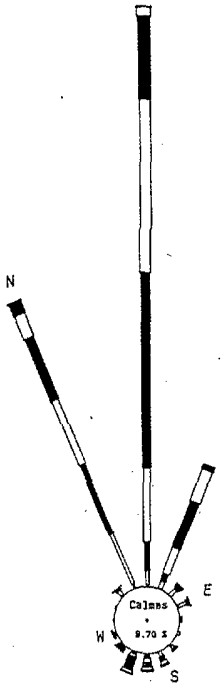
Figura 4.2-79

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



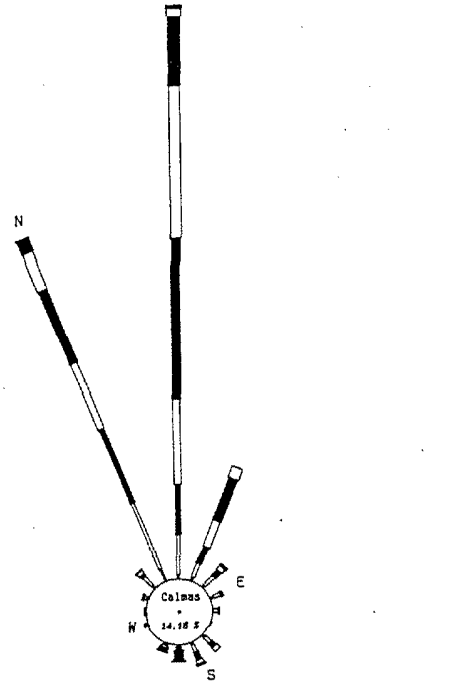
ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-83 a 31-12-83
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-80



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-84 a 31-12-84
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

Figura 4.2-81



ROSA DE VIENTOS (GANDO)
01-01-85 a 31-12-85
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 (m/s)

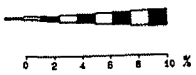
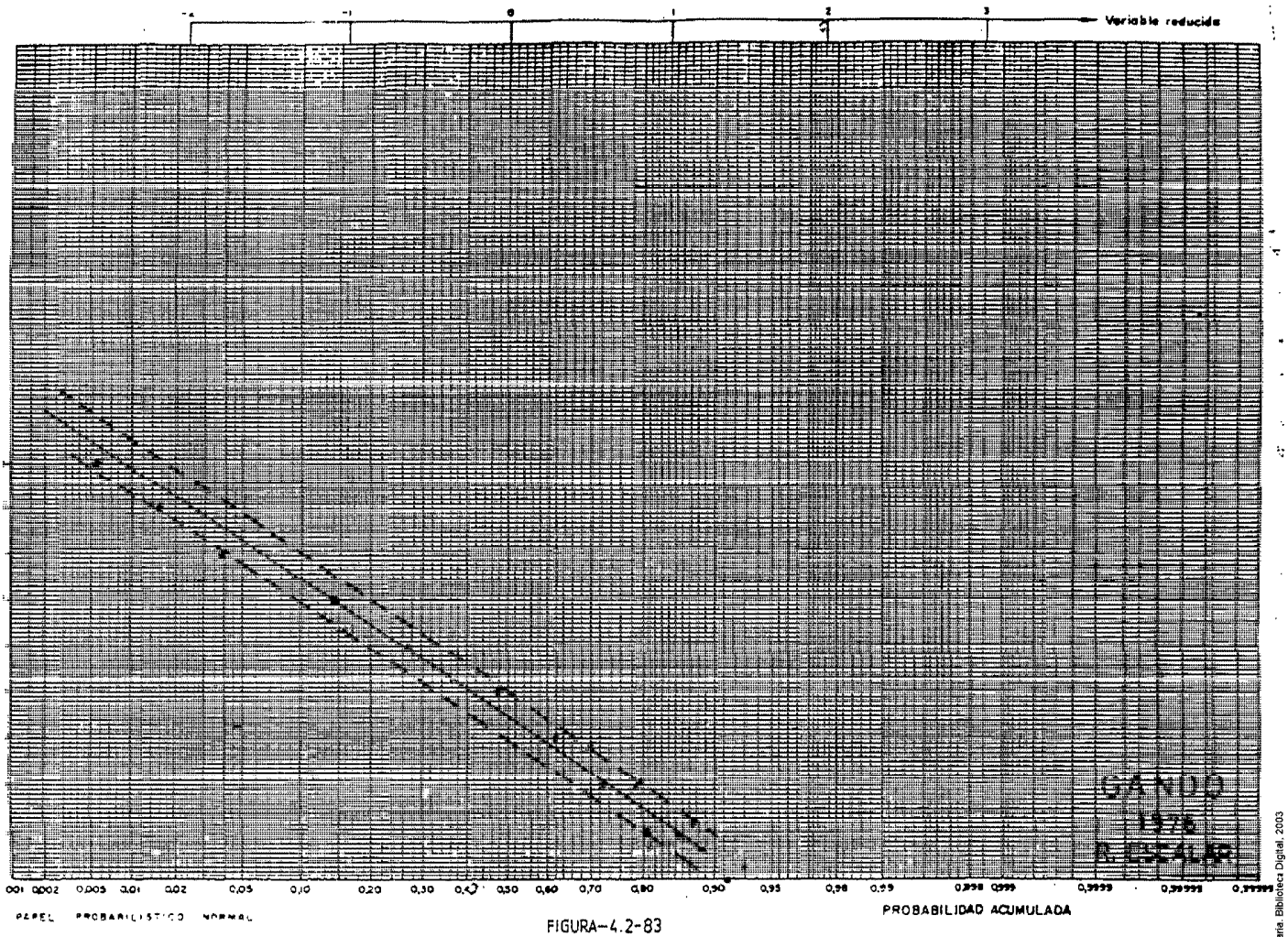
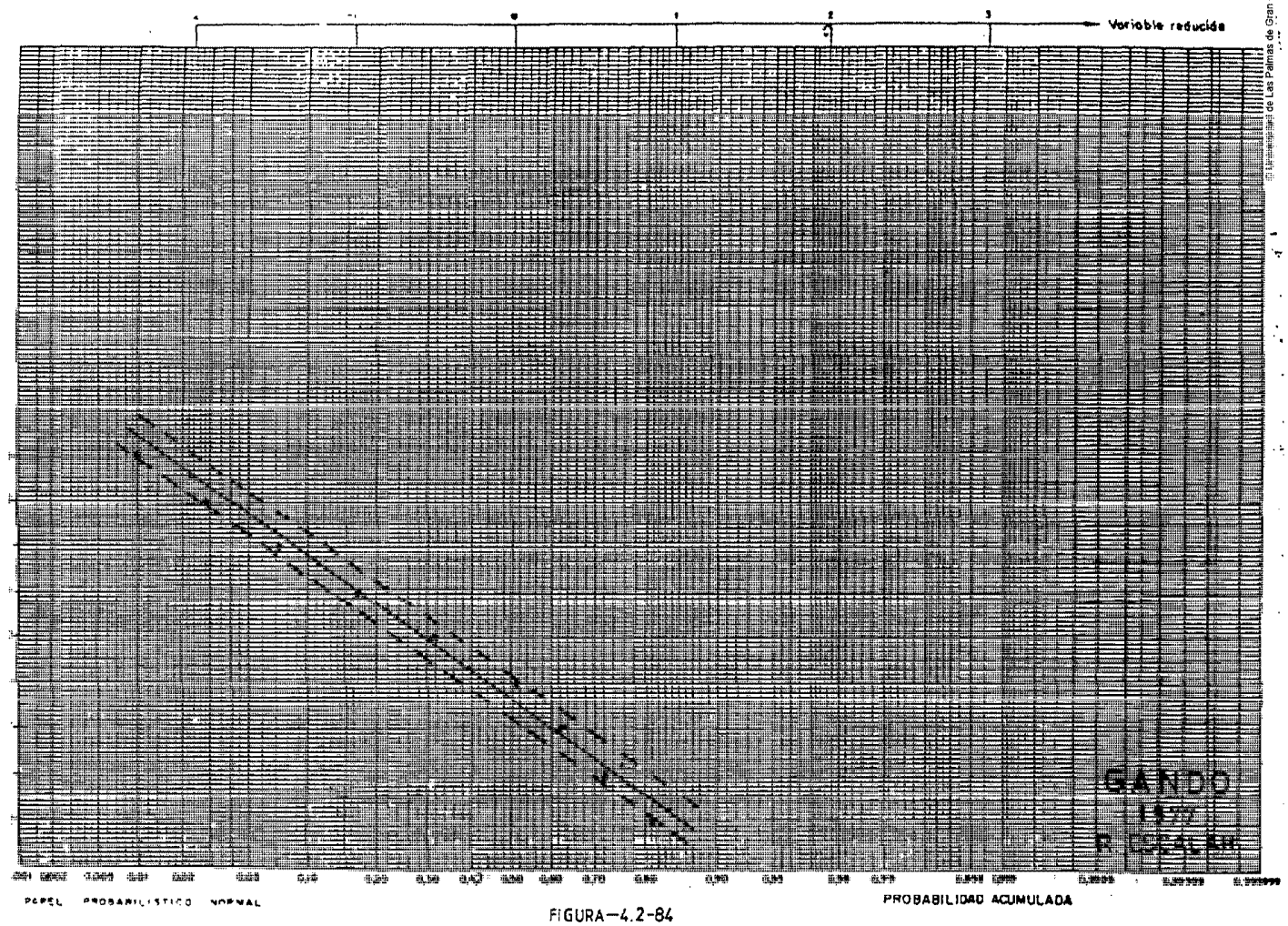


Figura 4.2-82

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

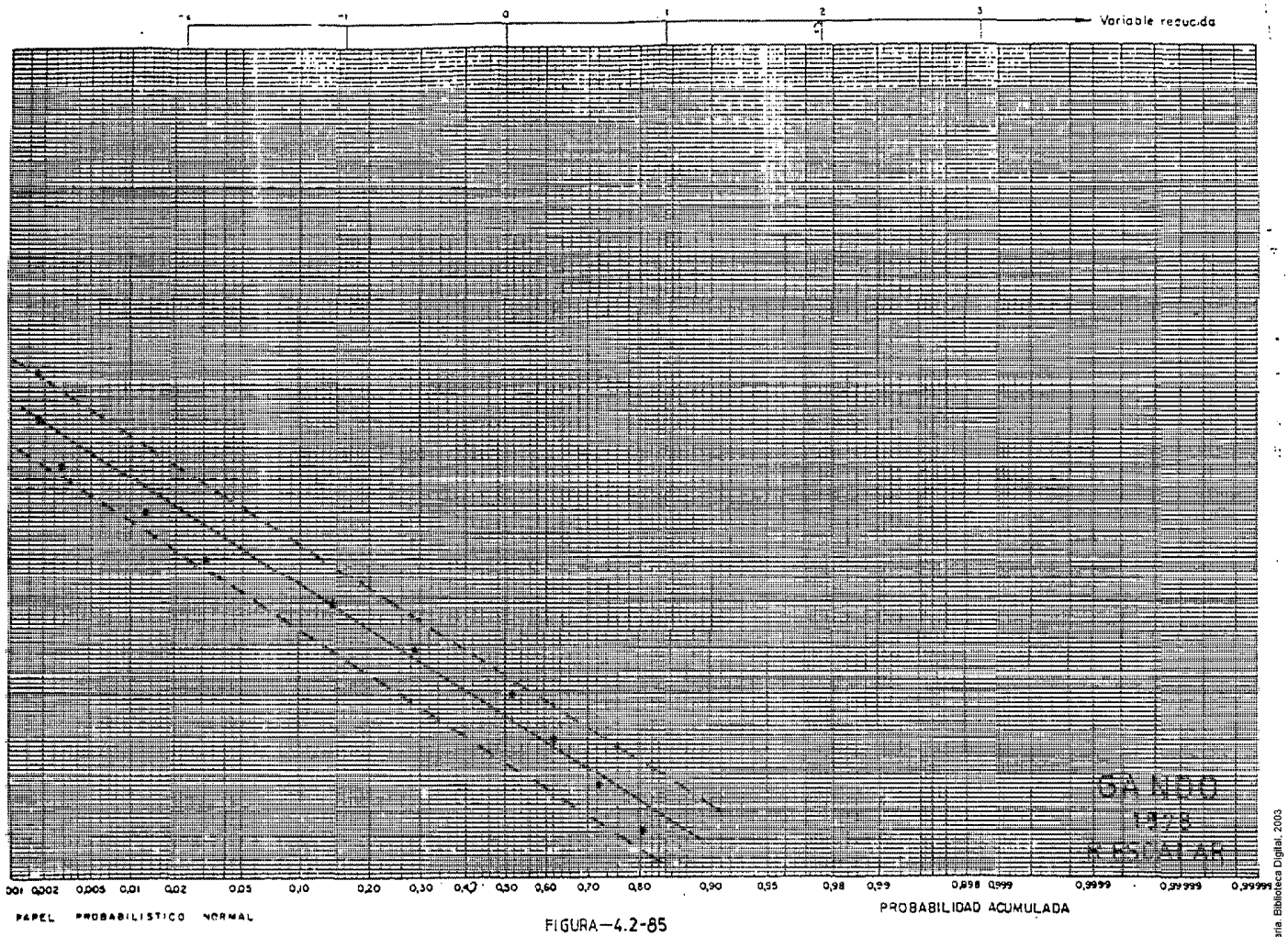


FIGURA–4.2-83

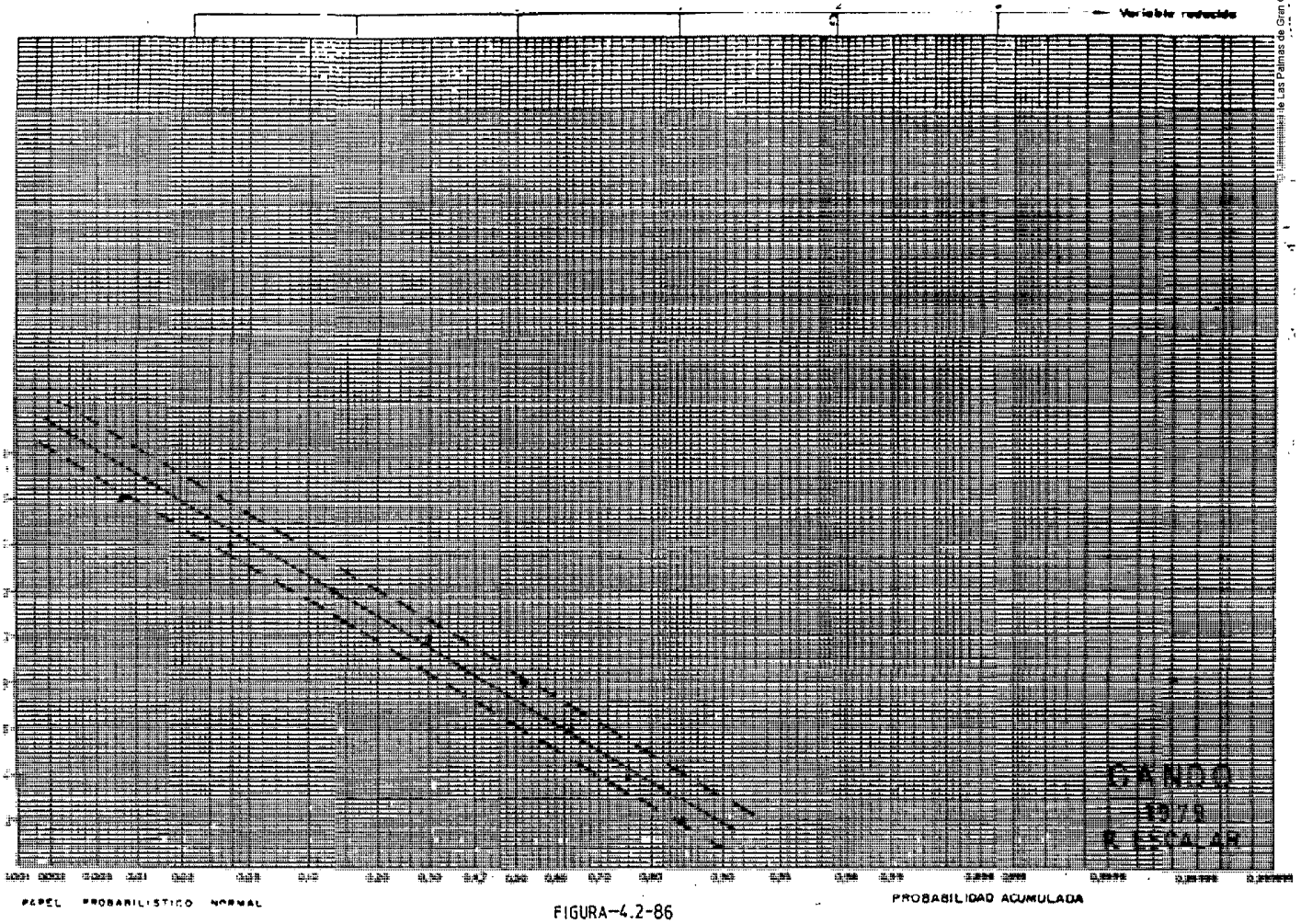


FIGURA–4.2-84

Biblioteca de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



FIGURA—4.2-85



FIGURA—4.2-86

Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

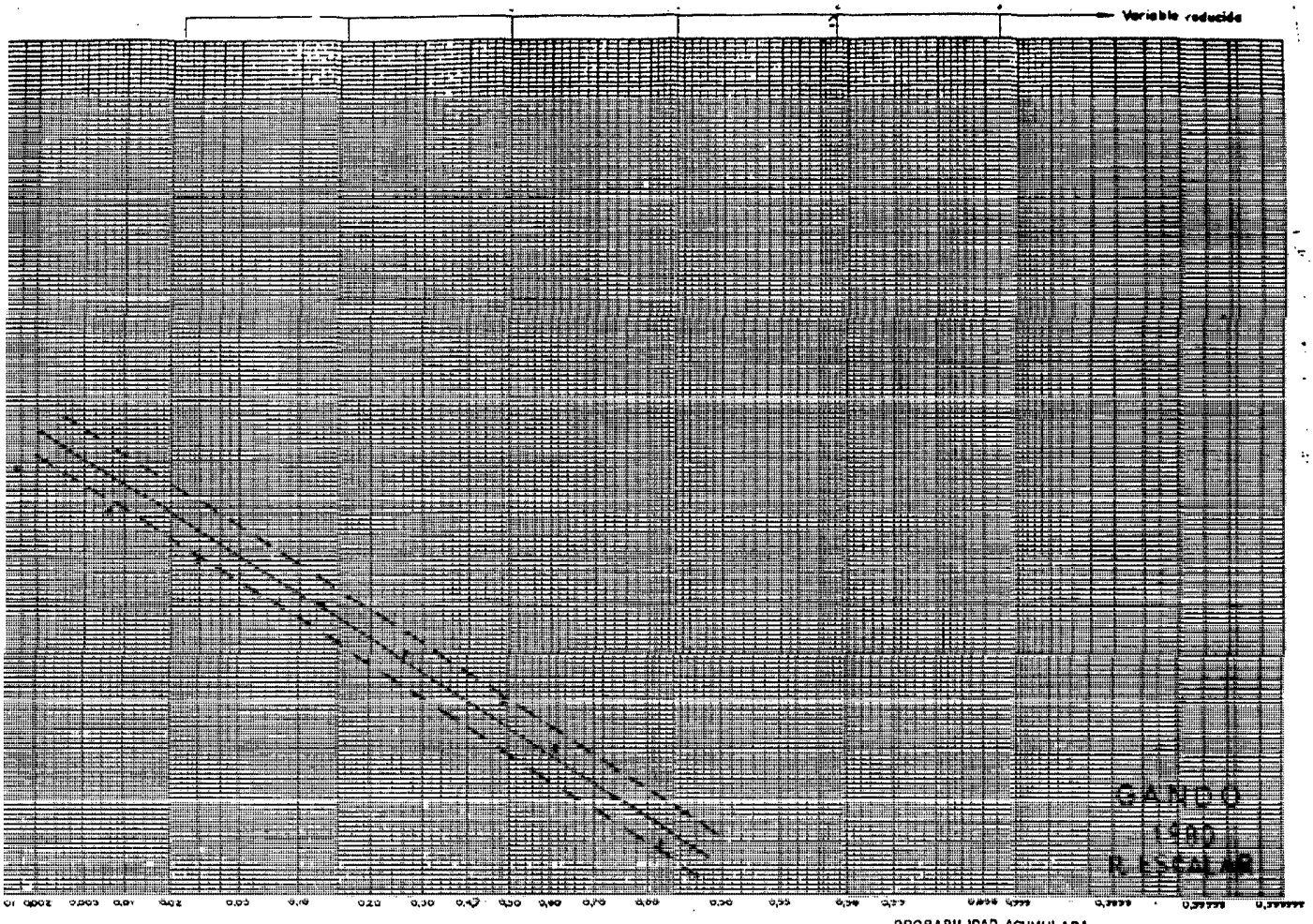


FIGURA-4.2-87

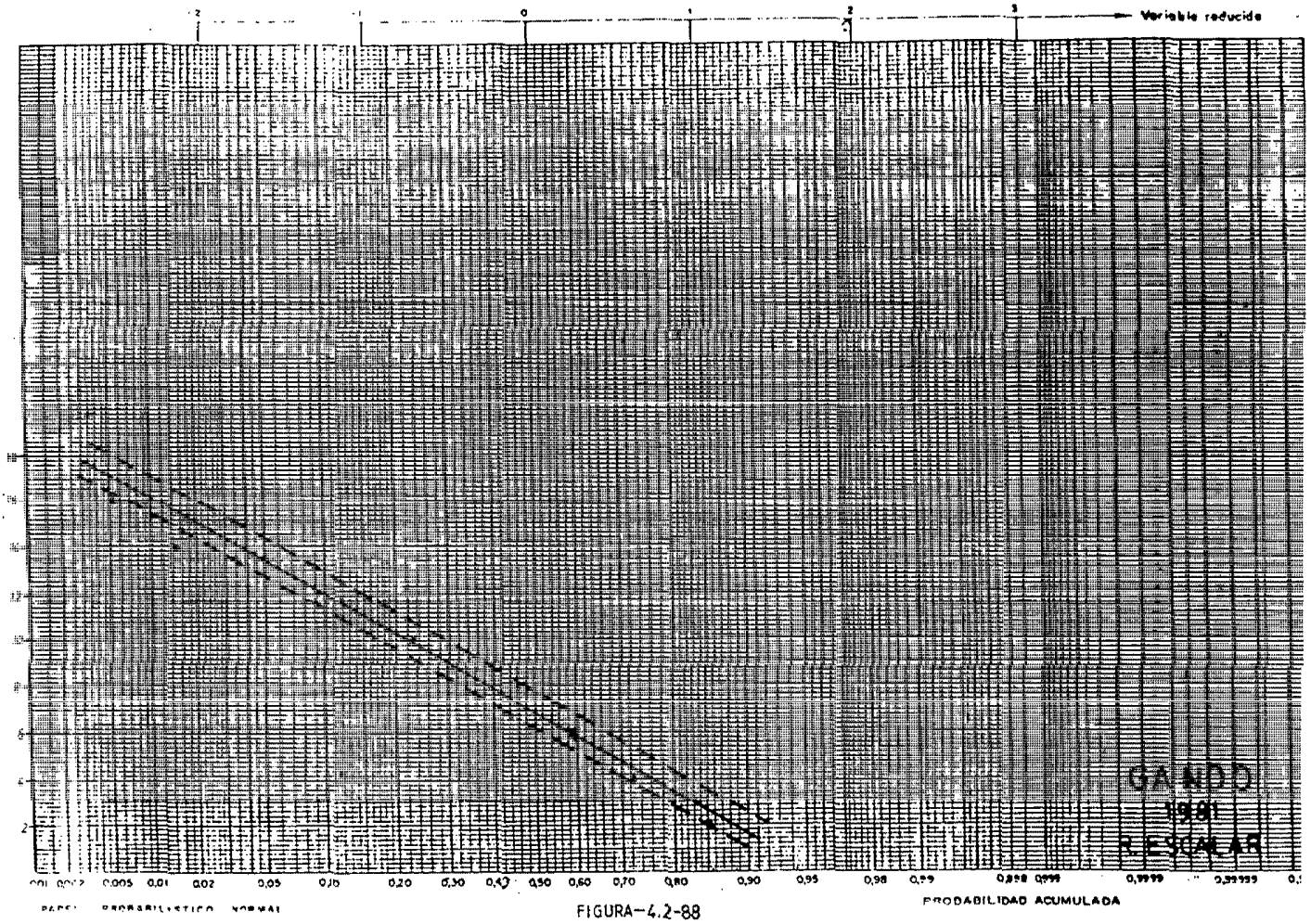


FIGURA-4.2-88

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

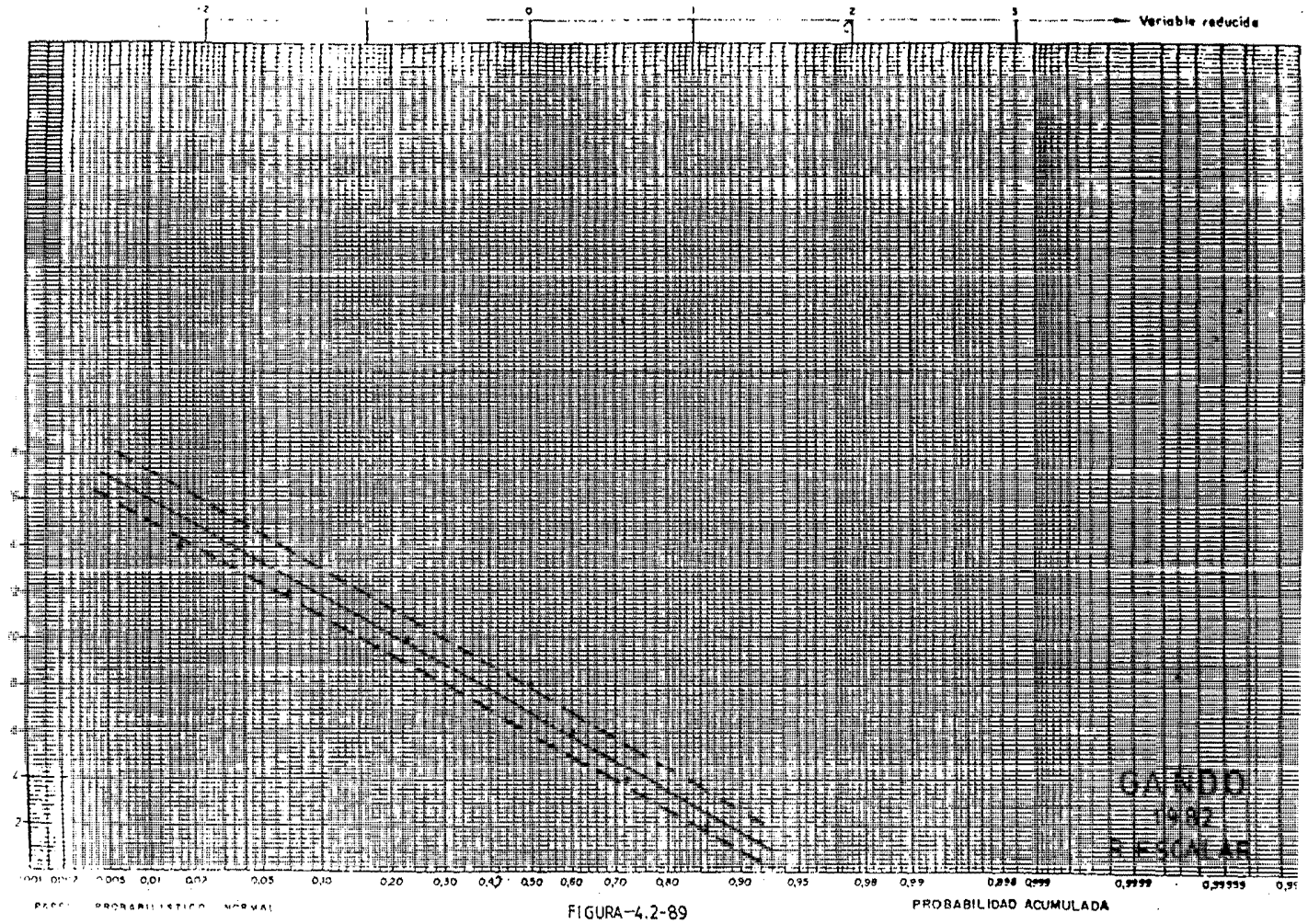


FIGURA-4.2-89

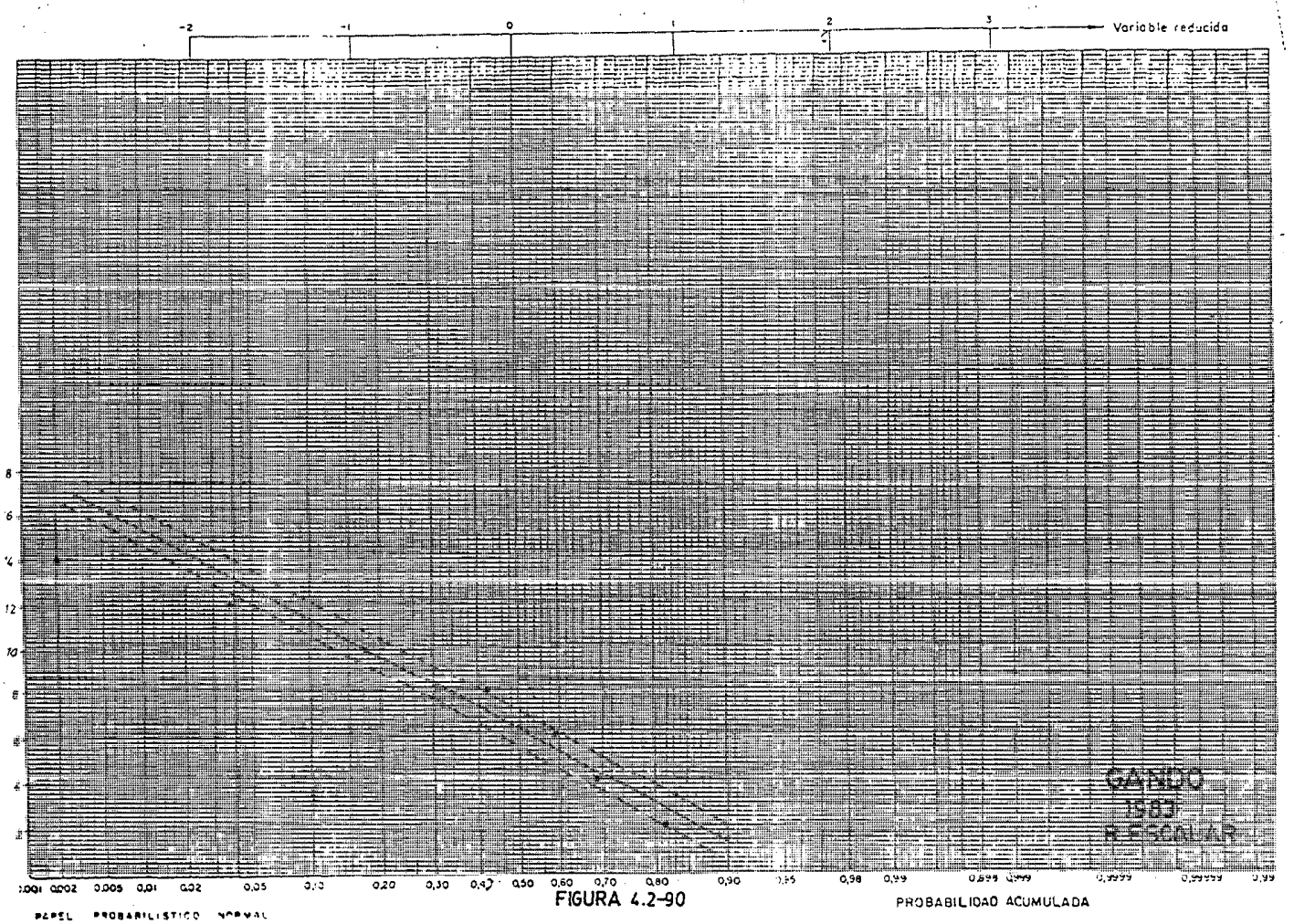


FIGURA 4.2-90

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

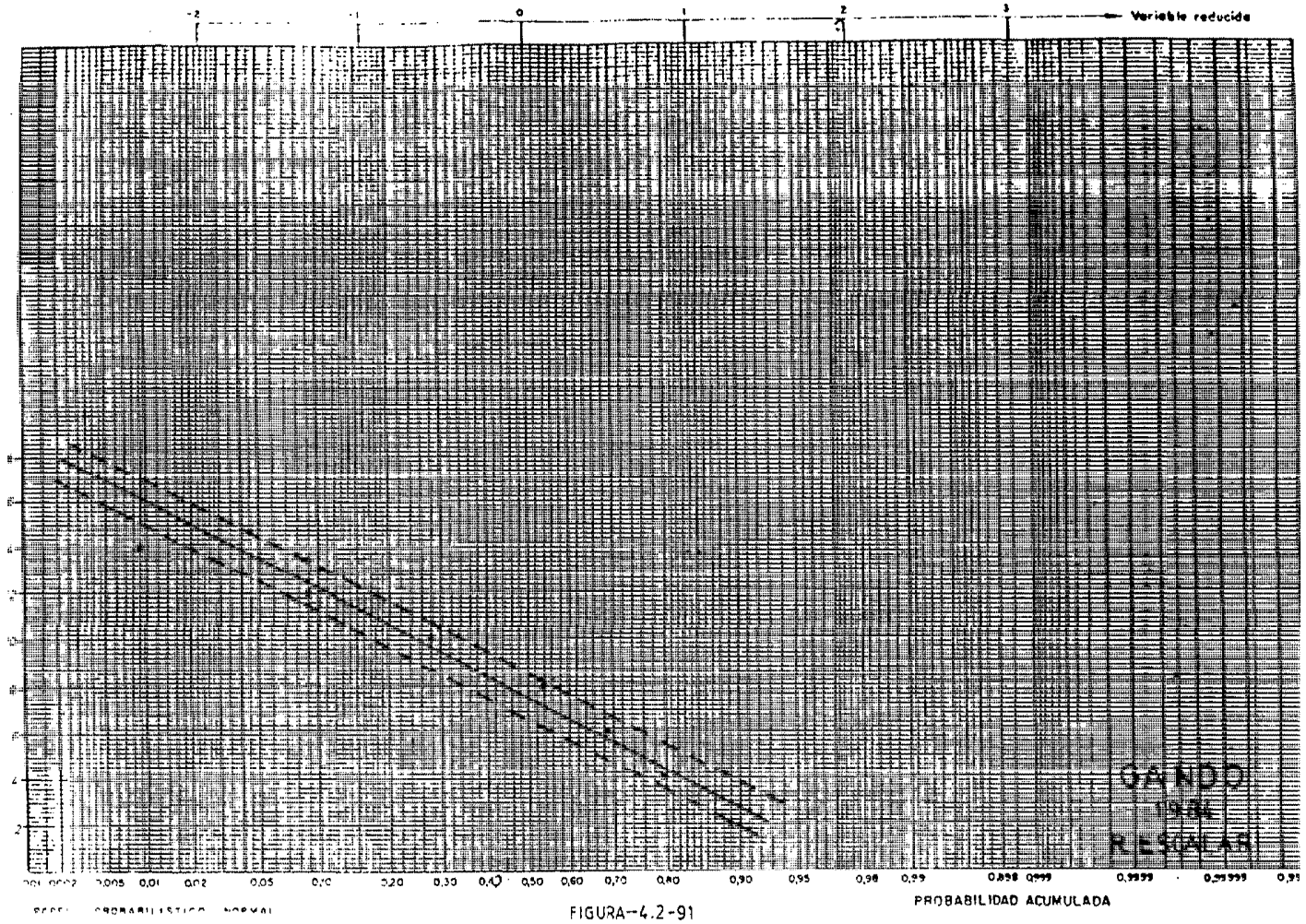
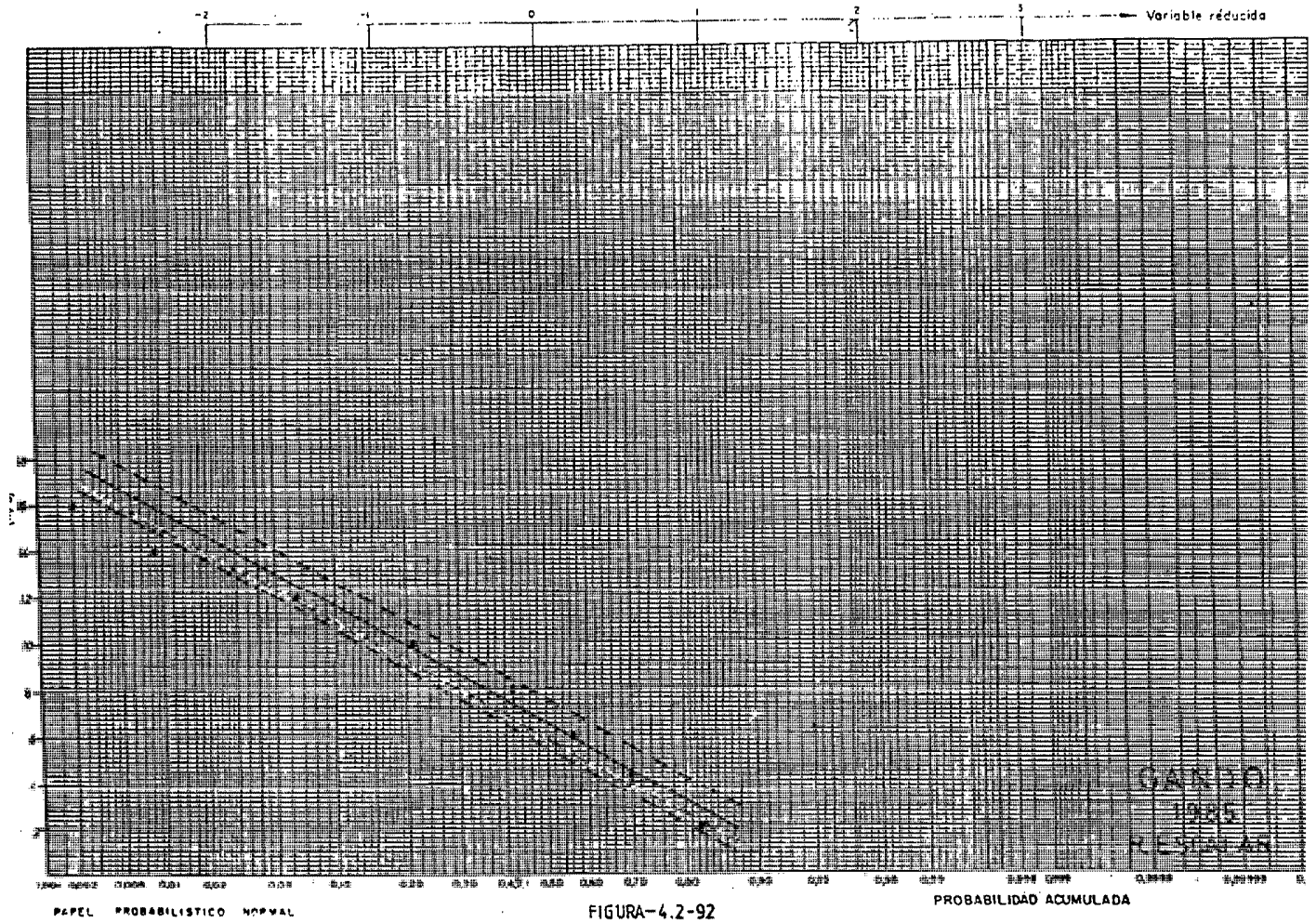


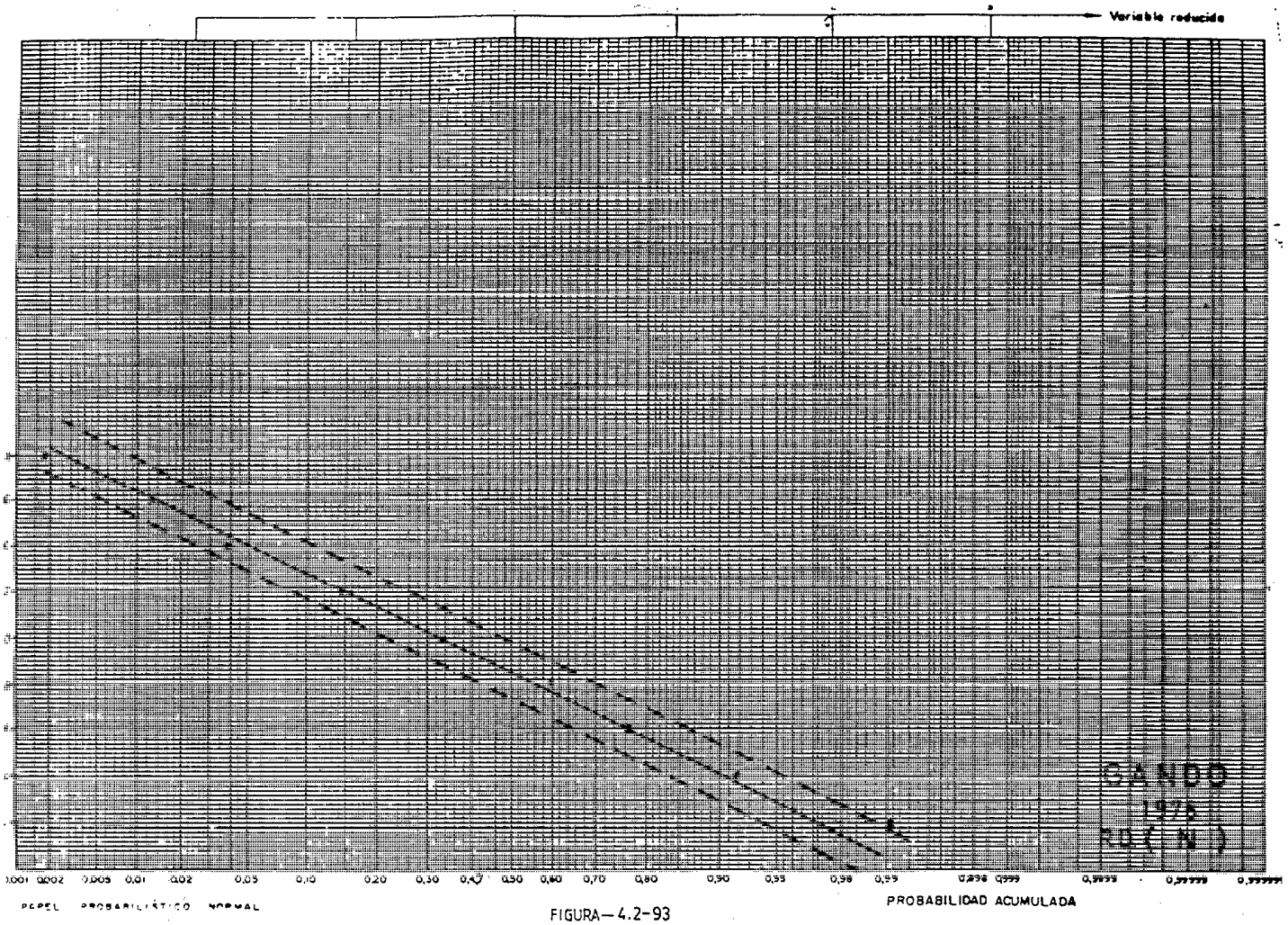
FIGURA-4.2-91



PAPEL PROBABILISTICO NORMAL

FIGURA-4.2-92

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



FIGURA—4.2-93

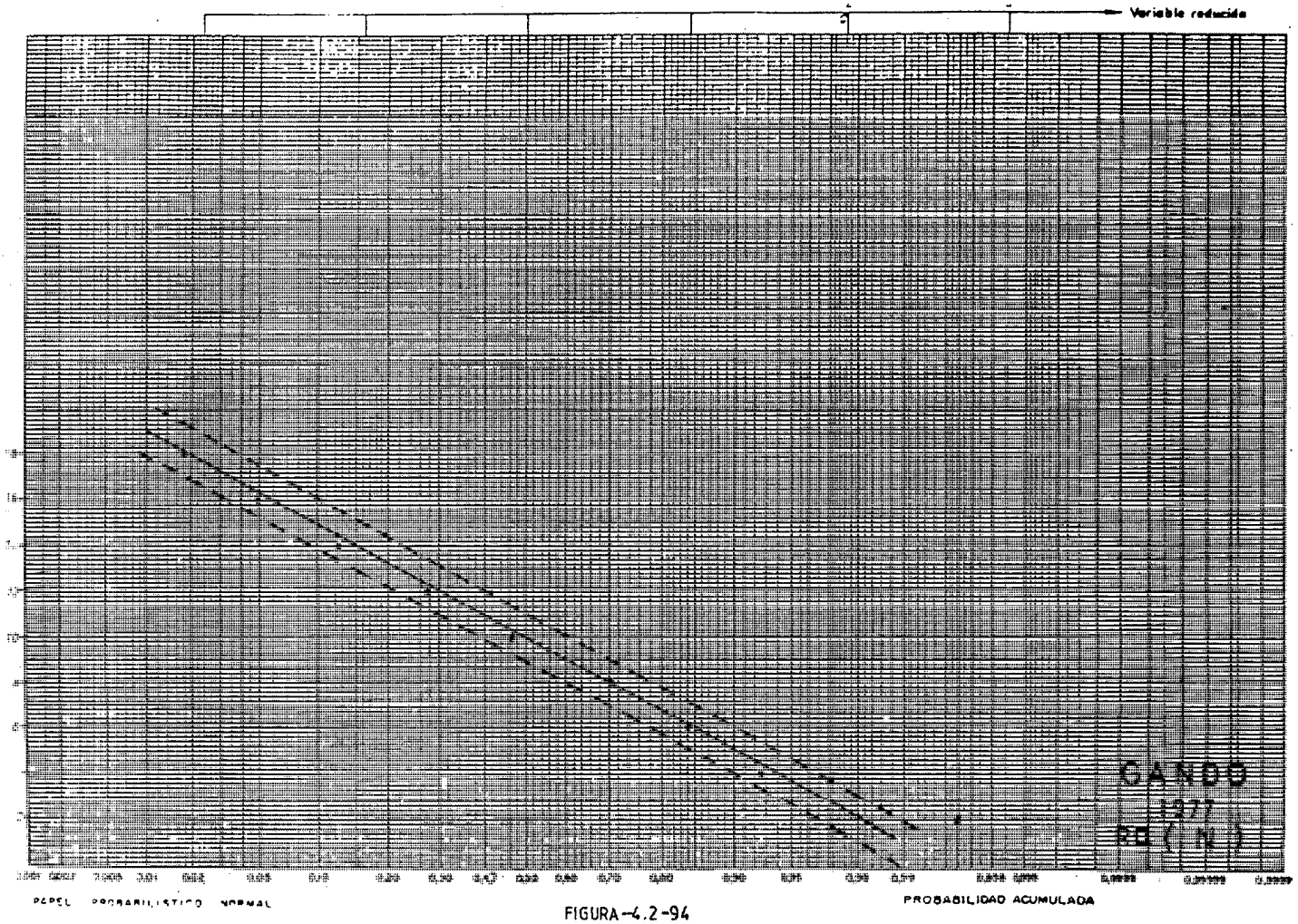
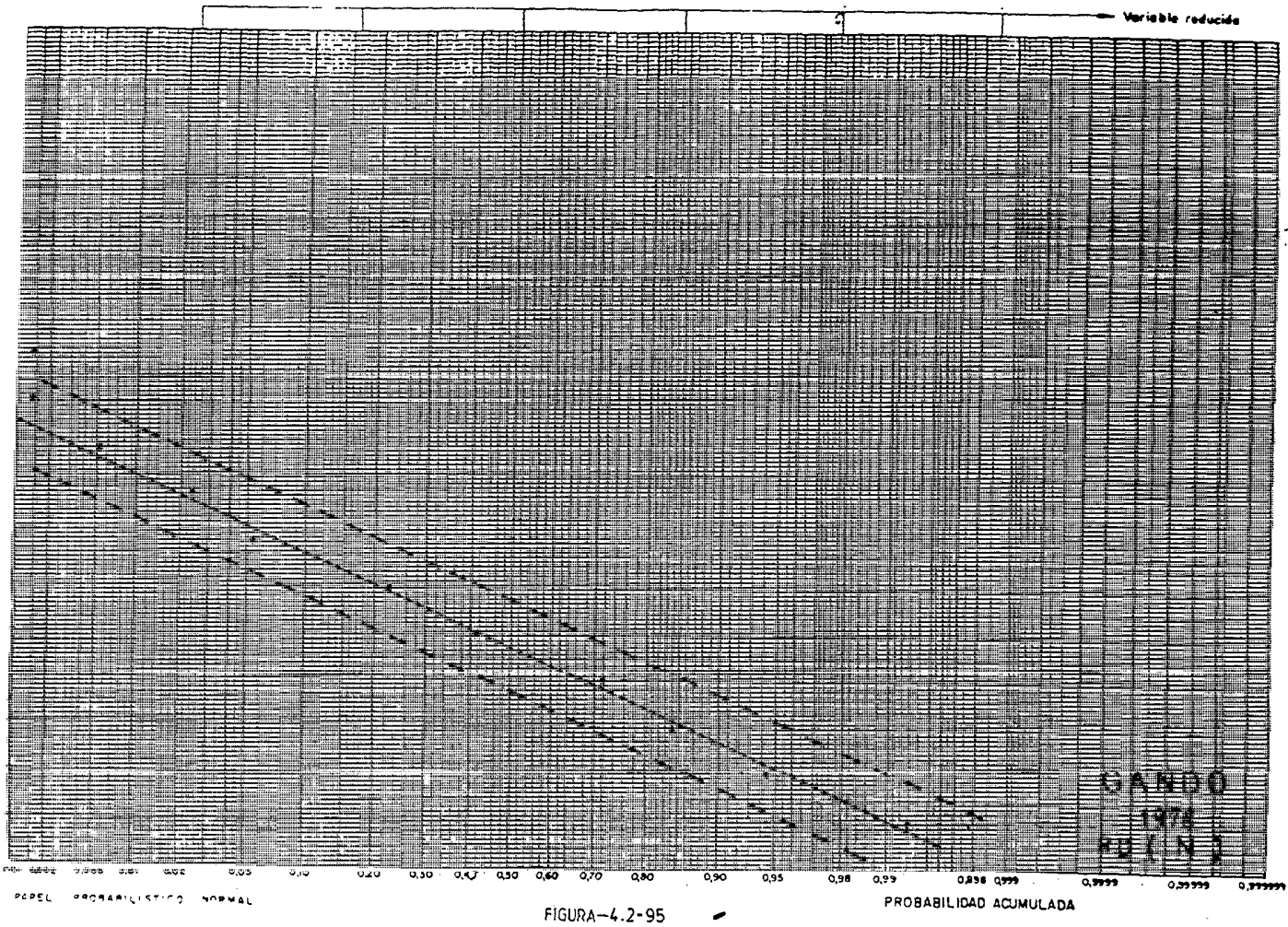


FIGURA-4.2-94

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



FIGURA—4.2-95

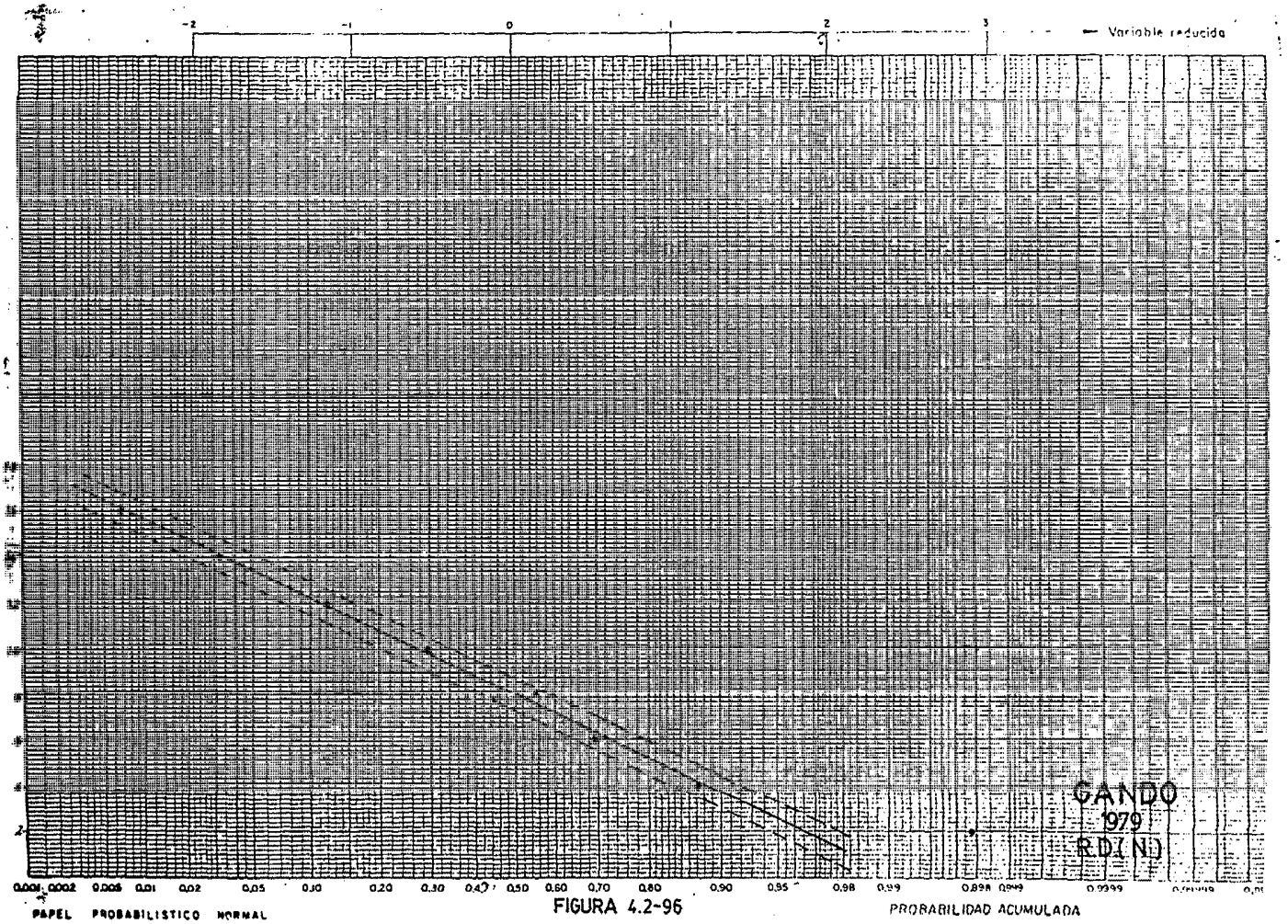


FIGURA 4.2-96

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

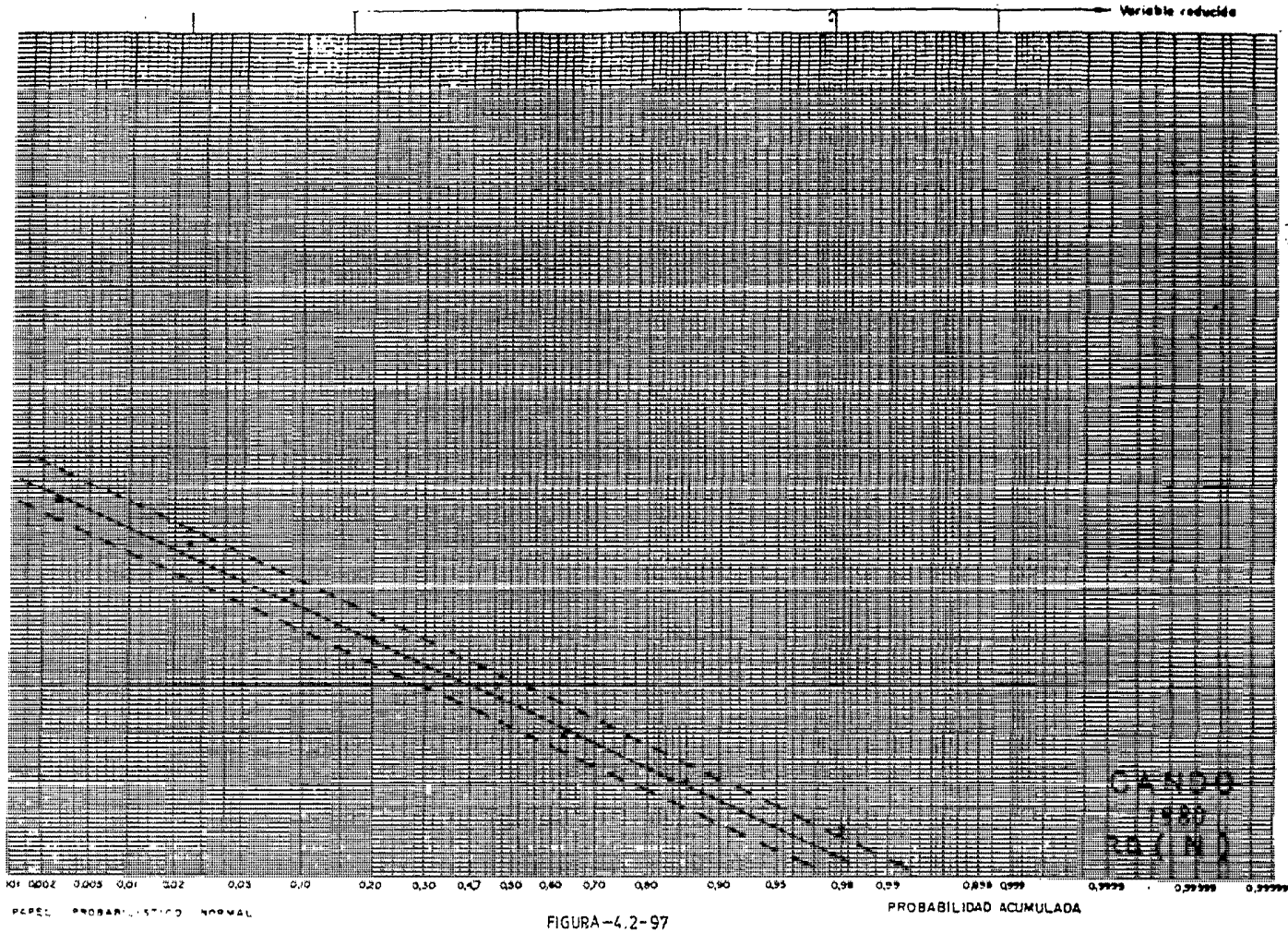


FIGURA-4.2-97

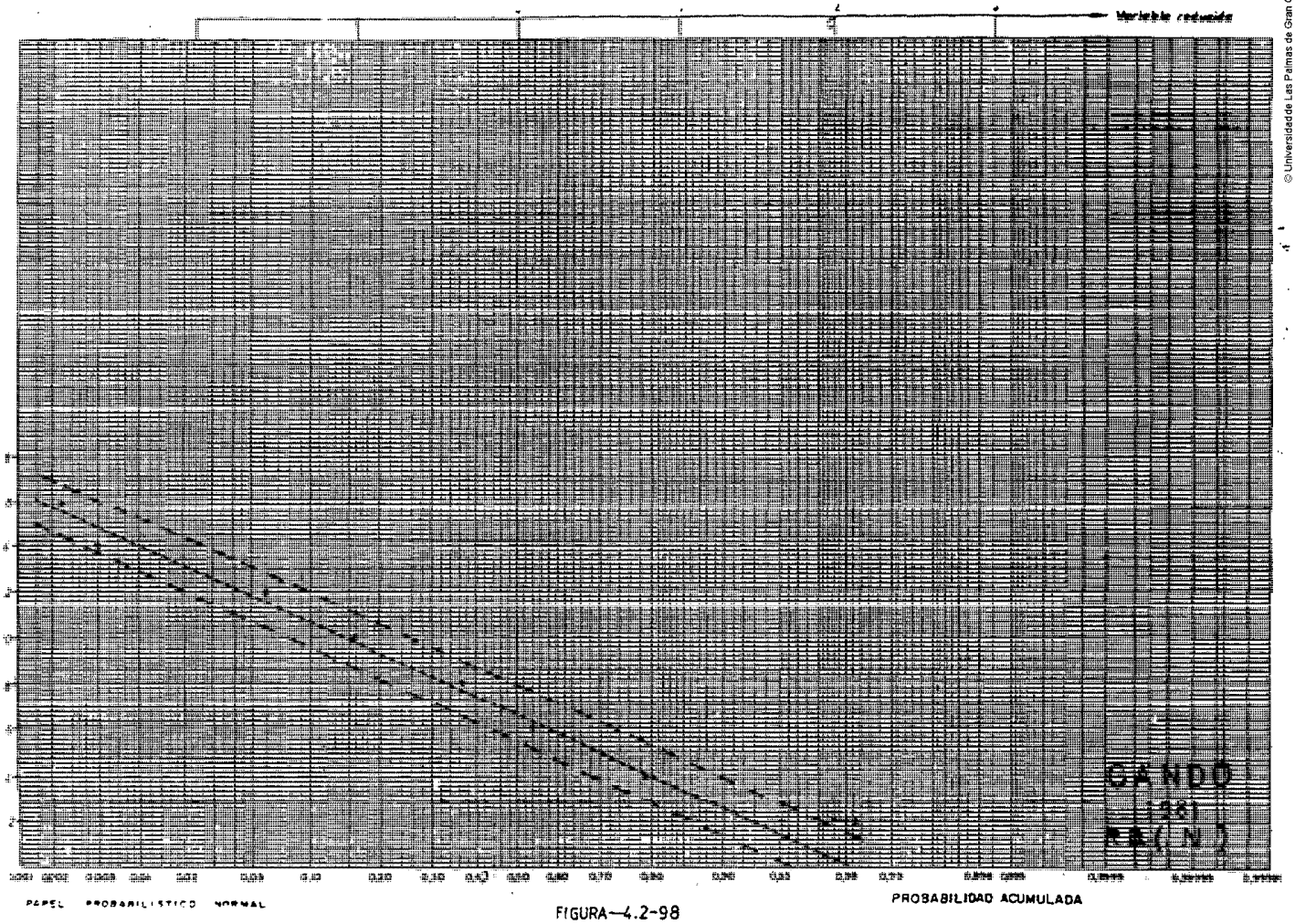
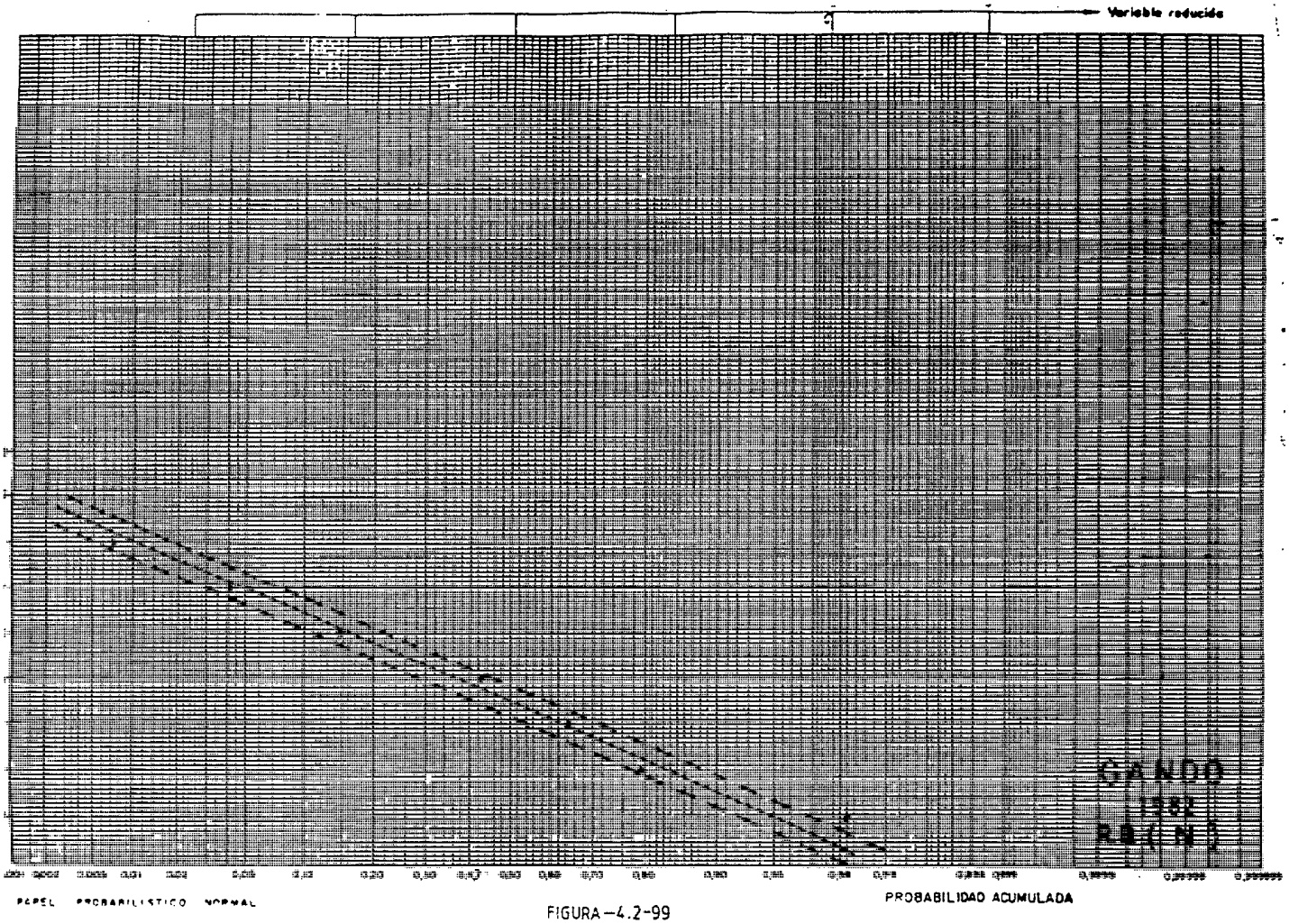
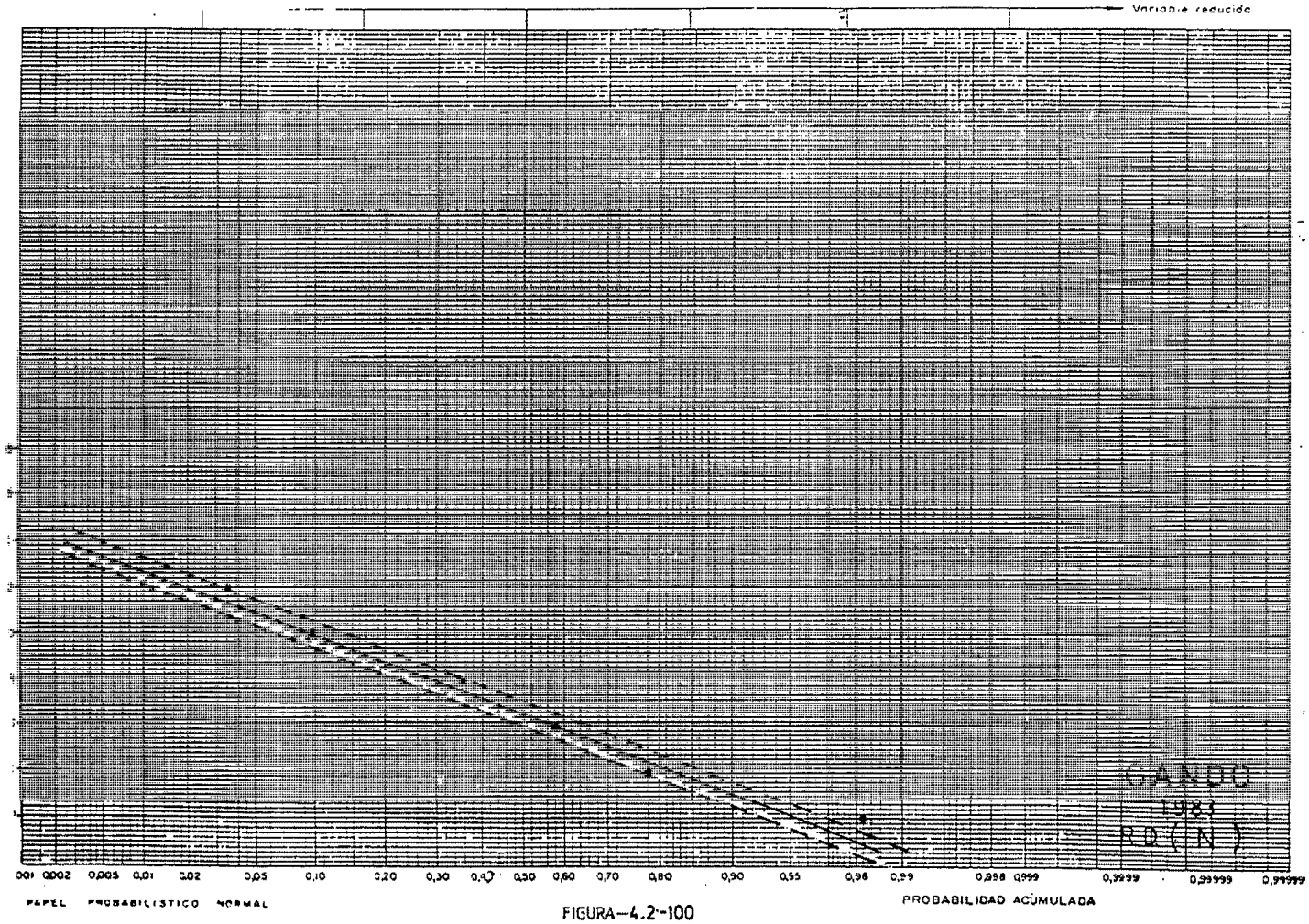


FIGURA-4.2-98

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

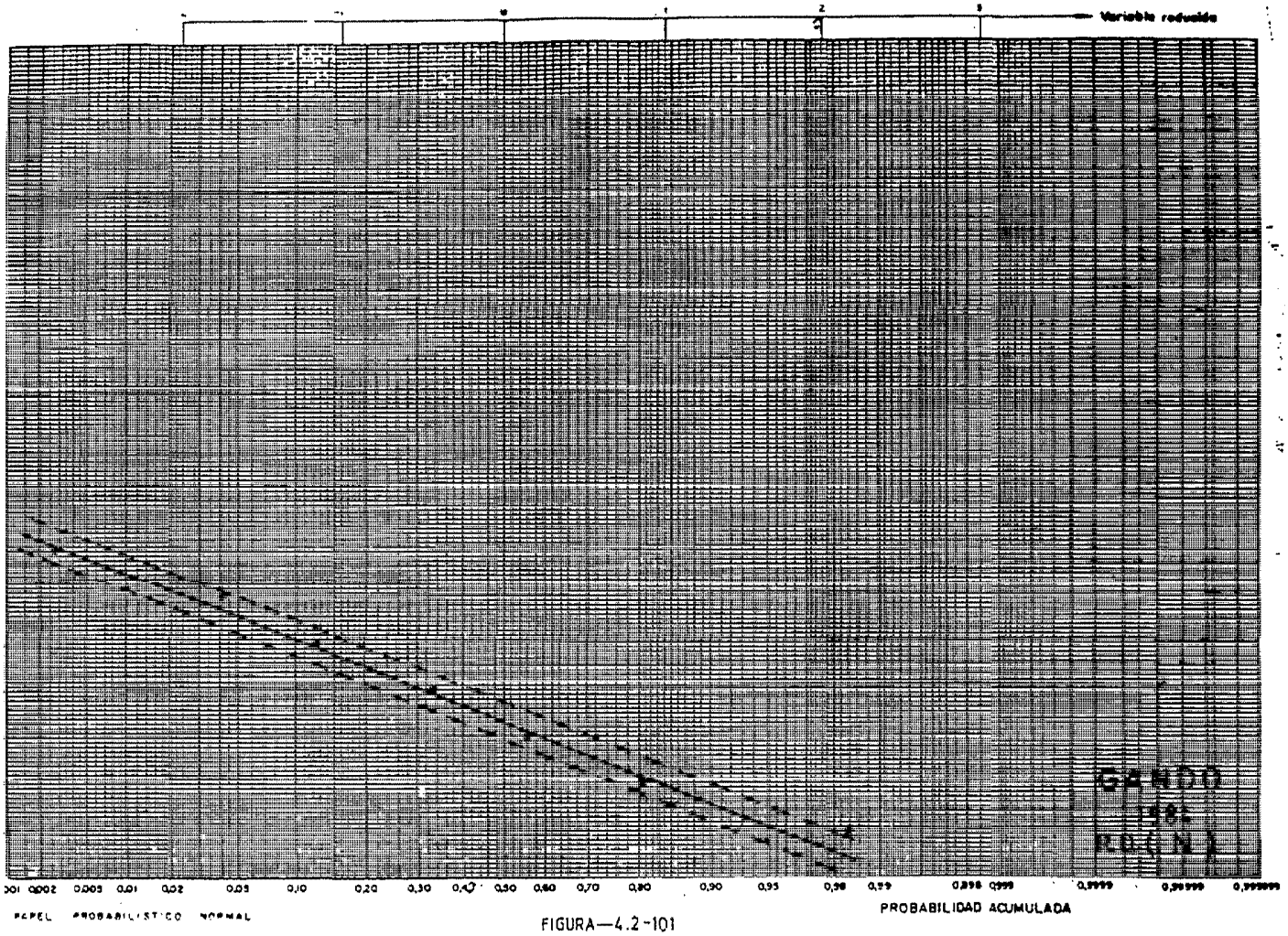


FIGURA–4.2-99



FIGURA–4.2-100

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



FIGURA—4.2-101

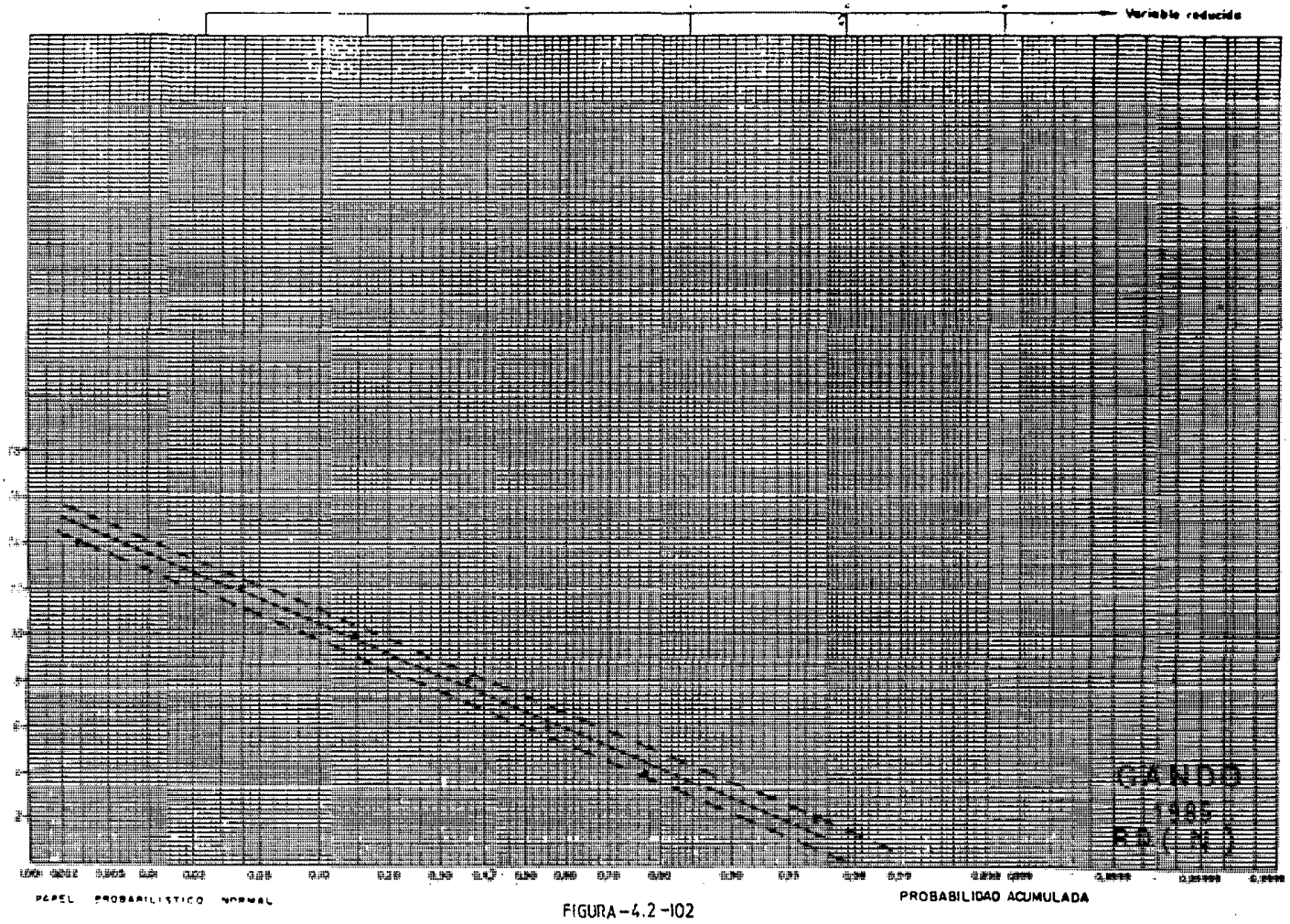
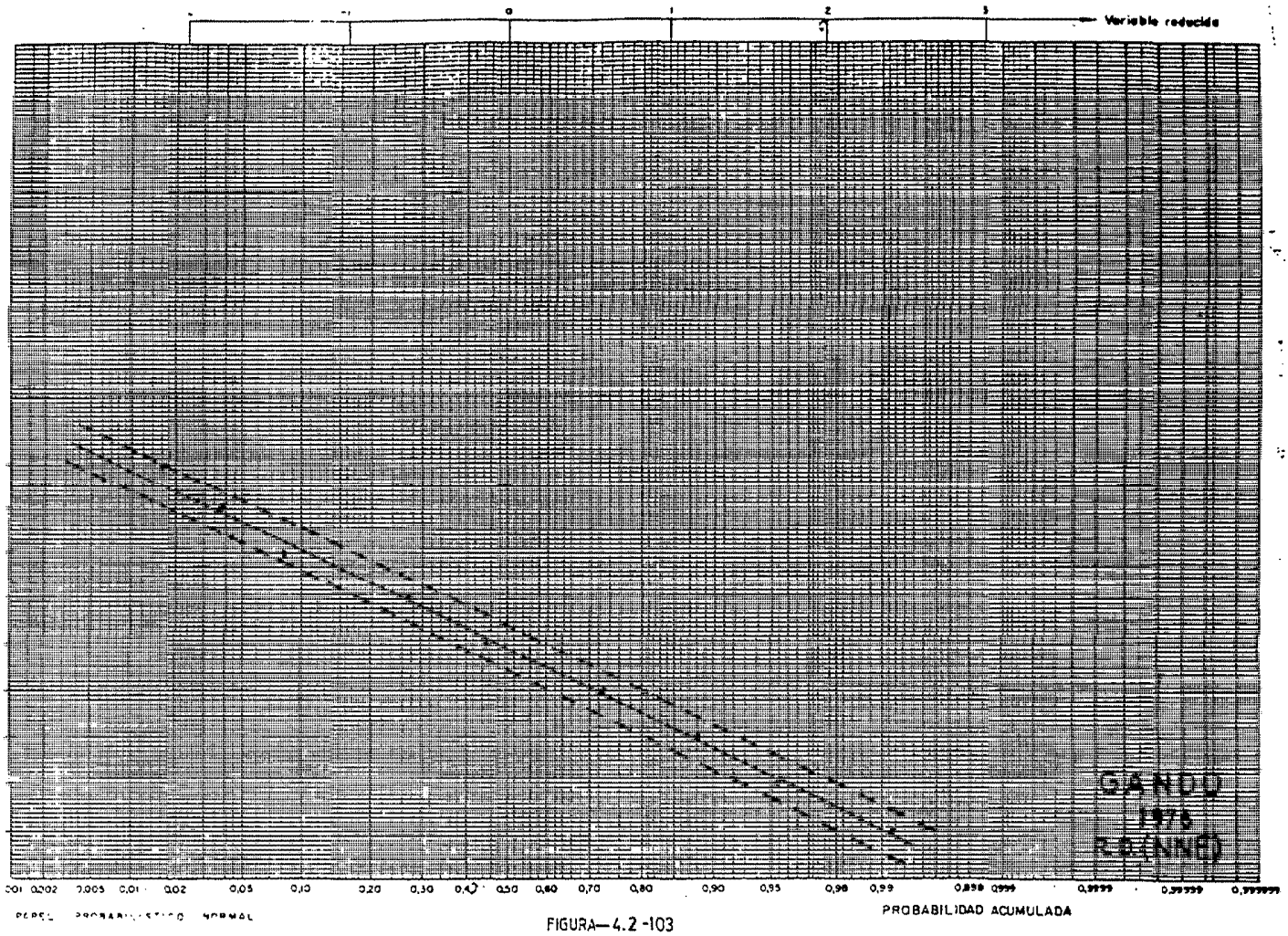
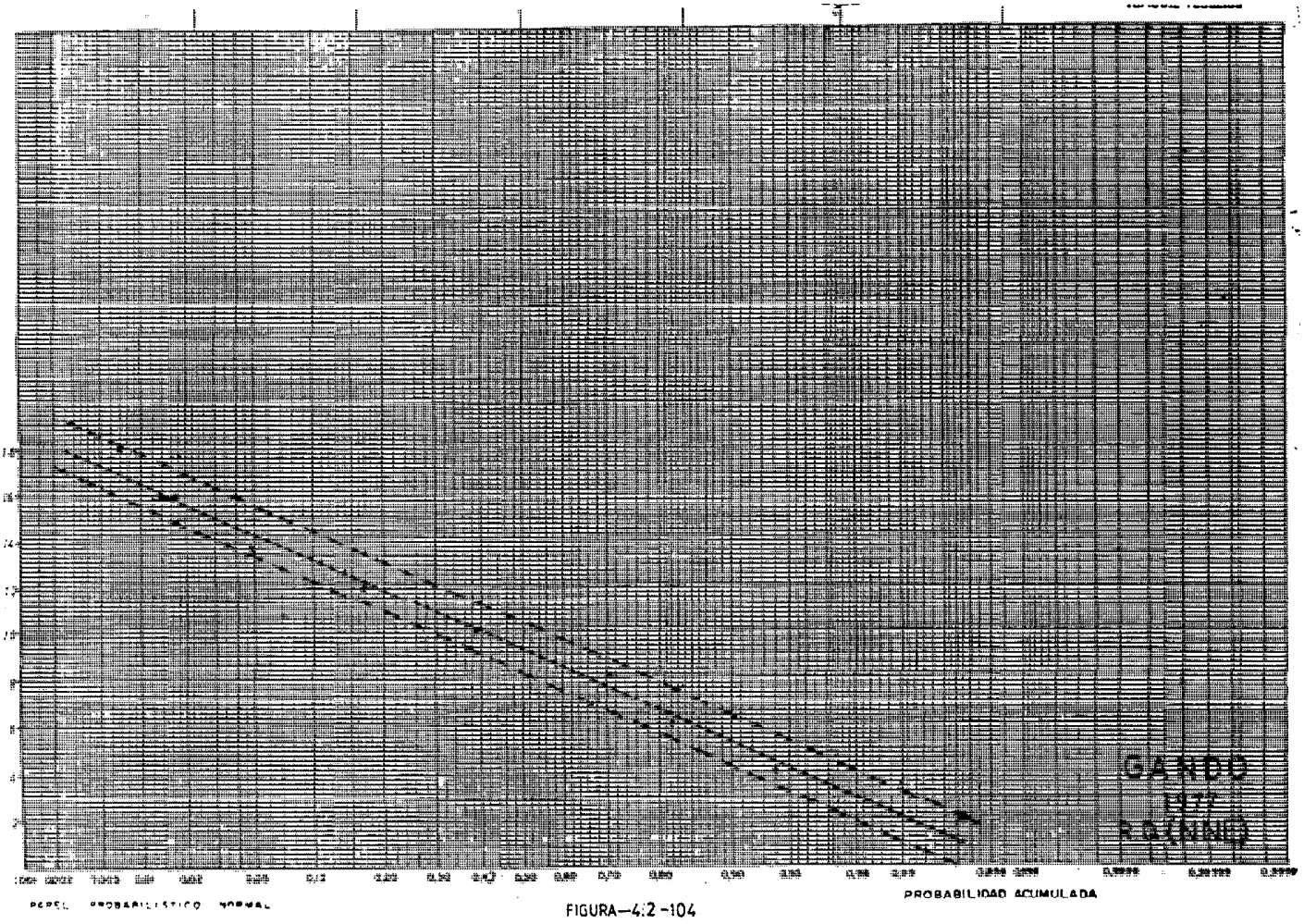


FIGURA-4.2-102

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



FIGURA—4.2-103



FIGURA—4.2-104

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

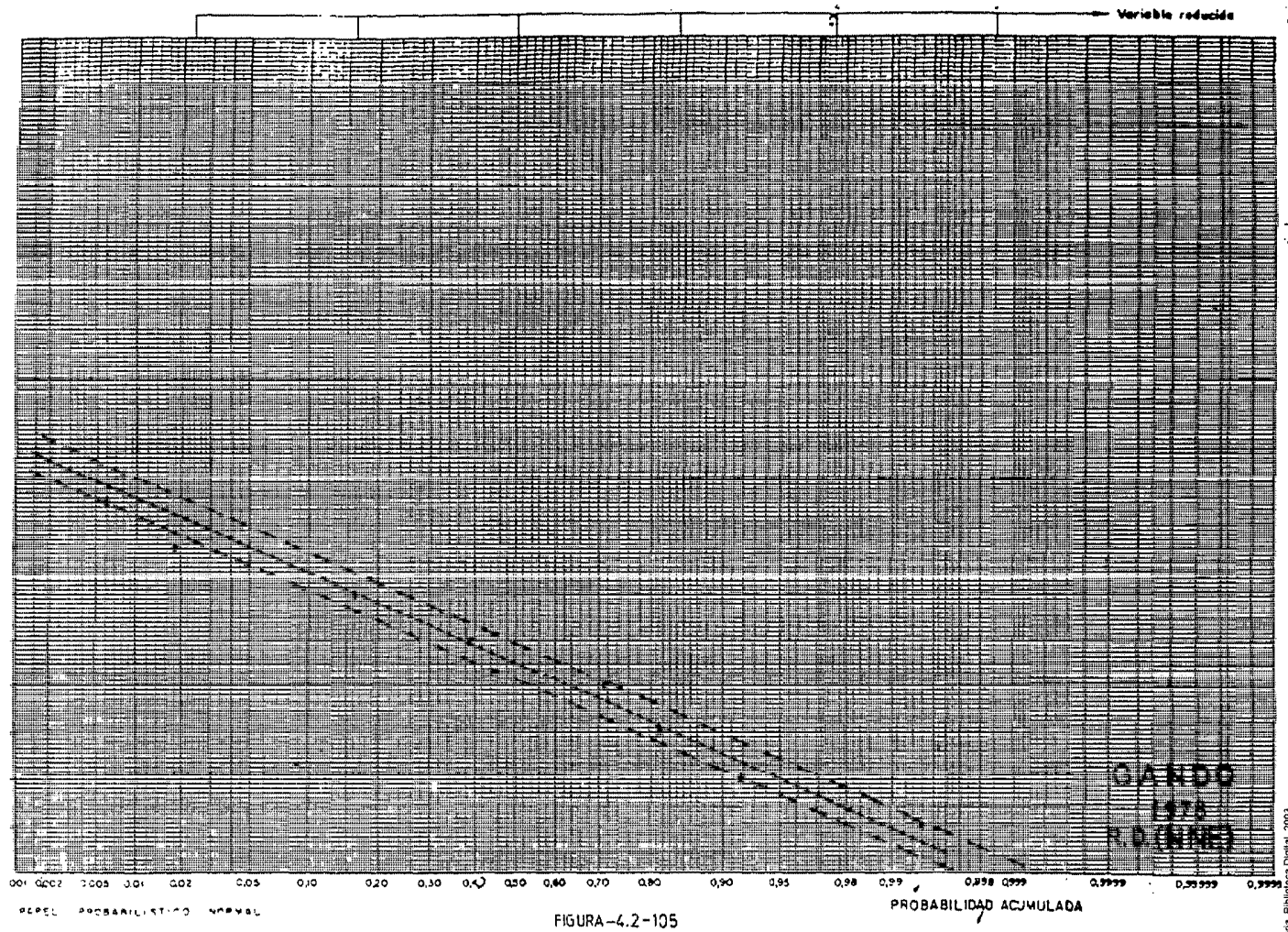


FIGURA-4.2-105

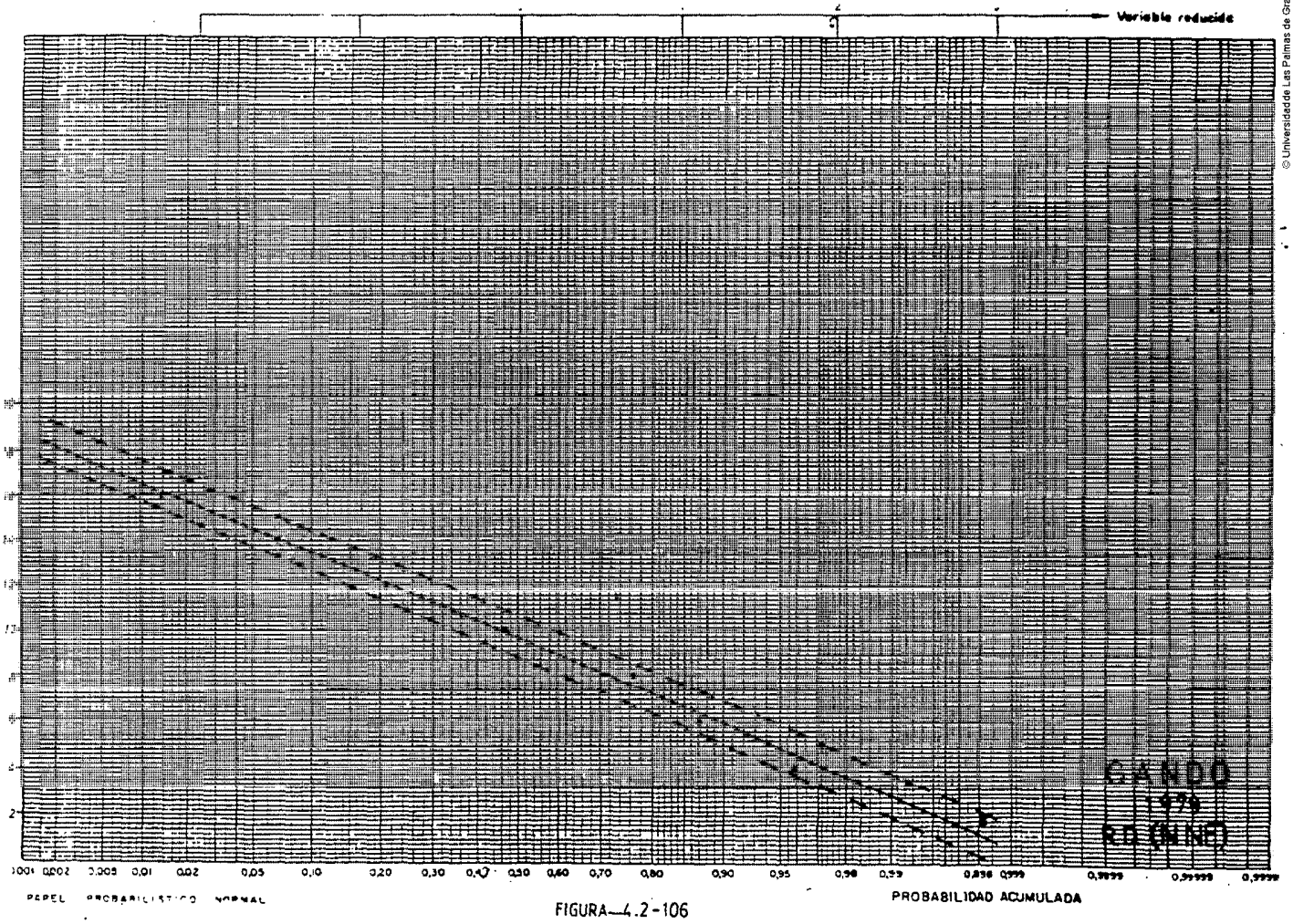
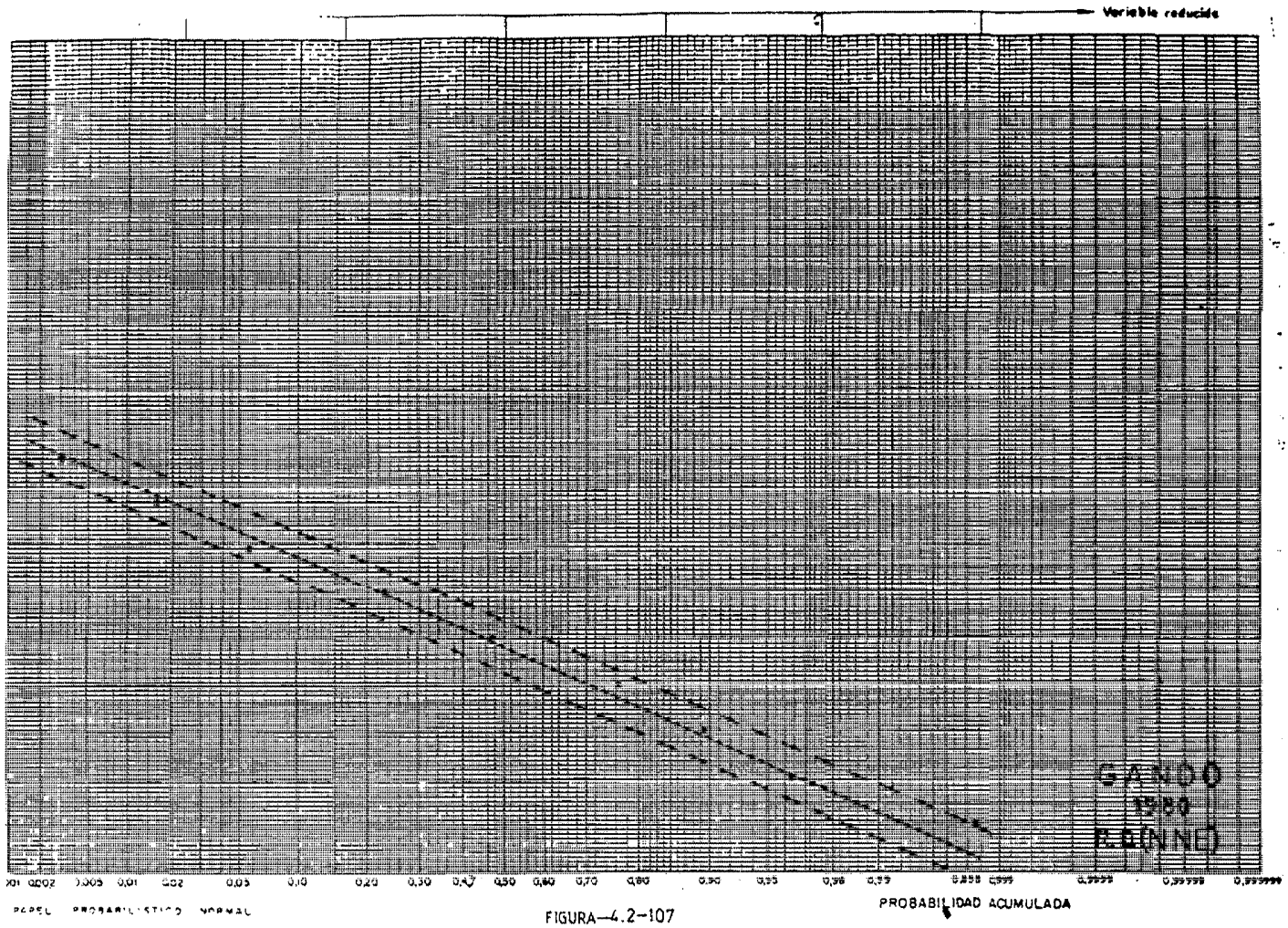
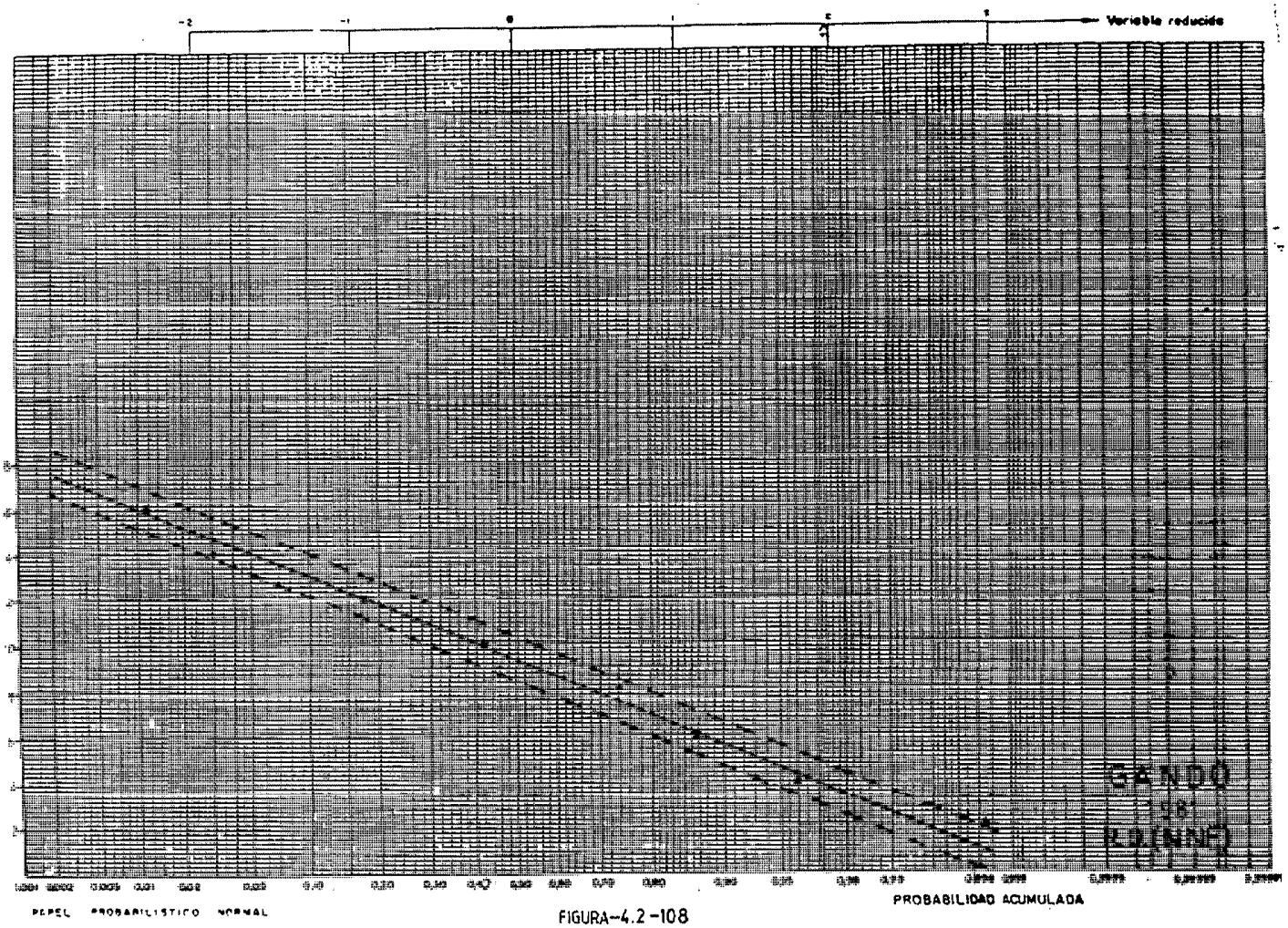


FIGURA-4.2-106

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



FIGURA—4.2—107



FIGURA—4.2—108

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

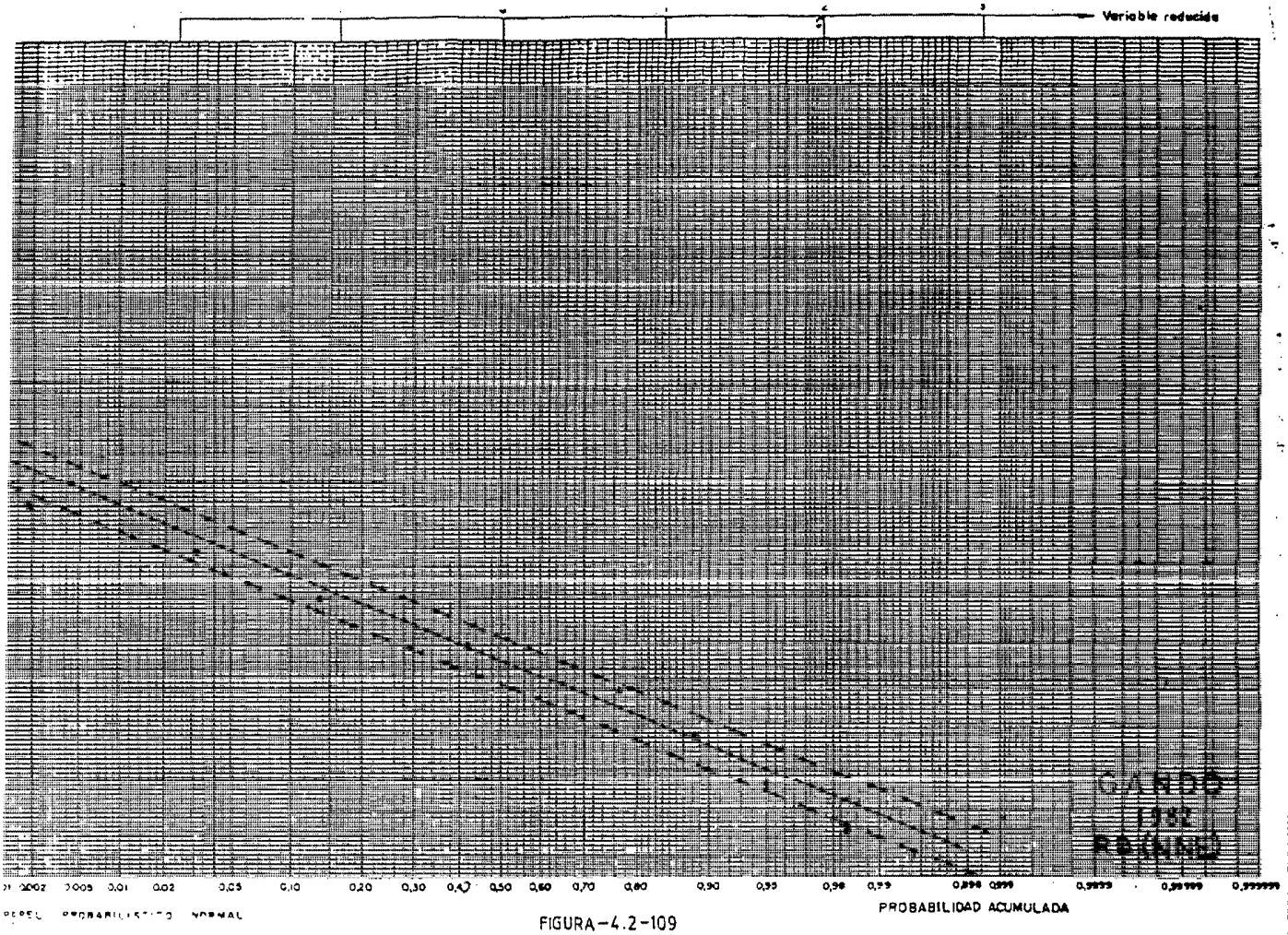


FIGURA-4.2-109

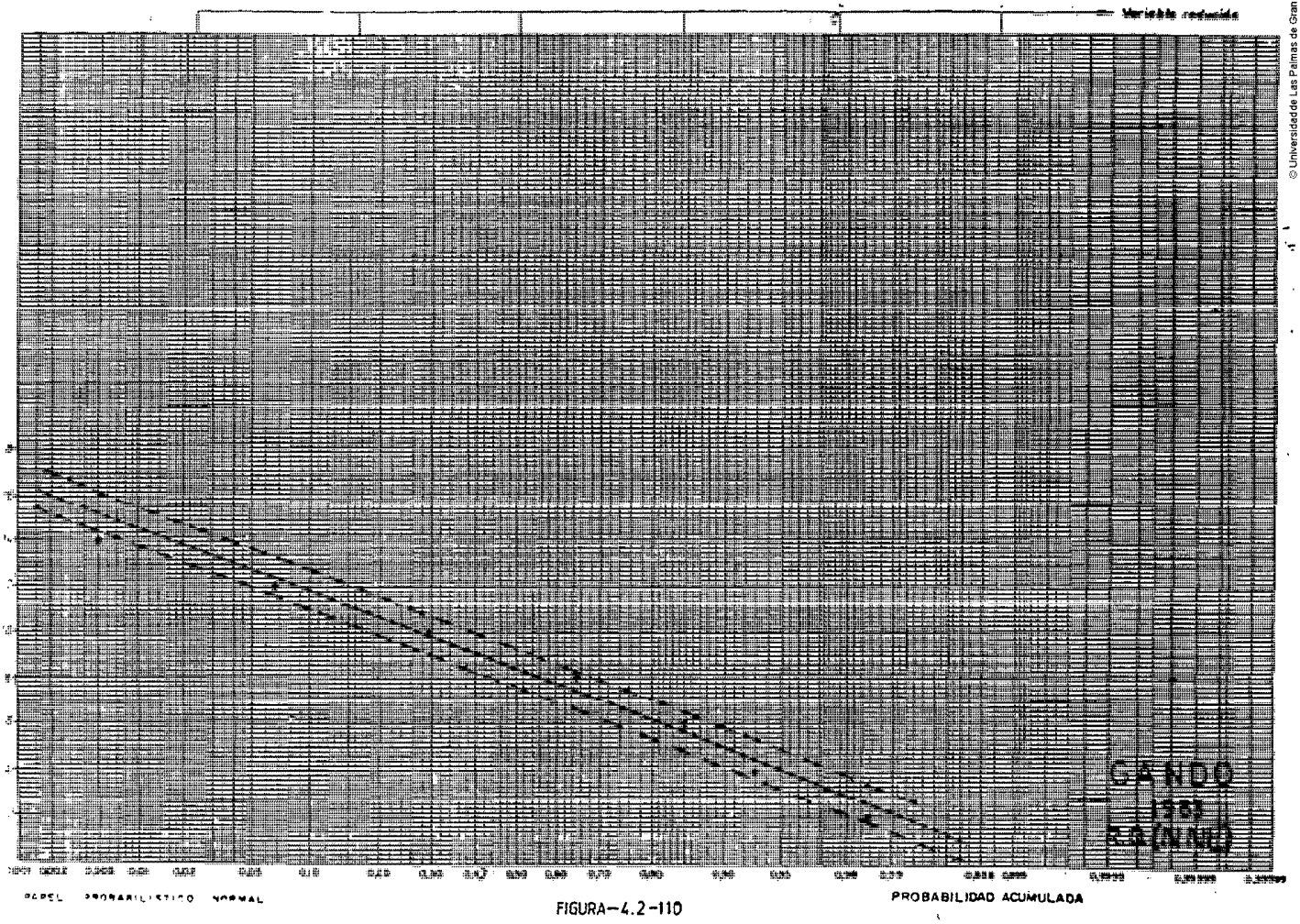


FIGURA-4.2-110

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

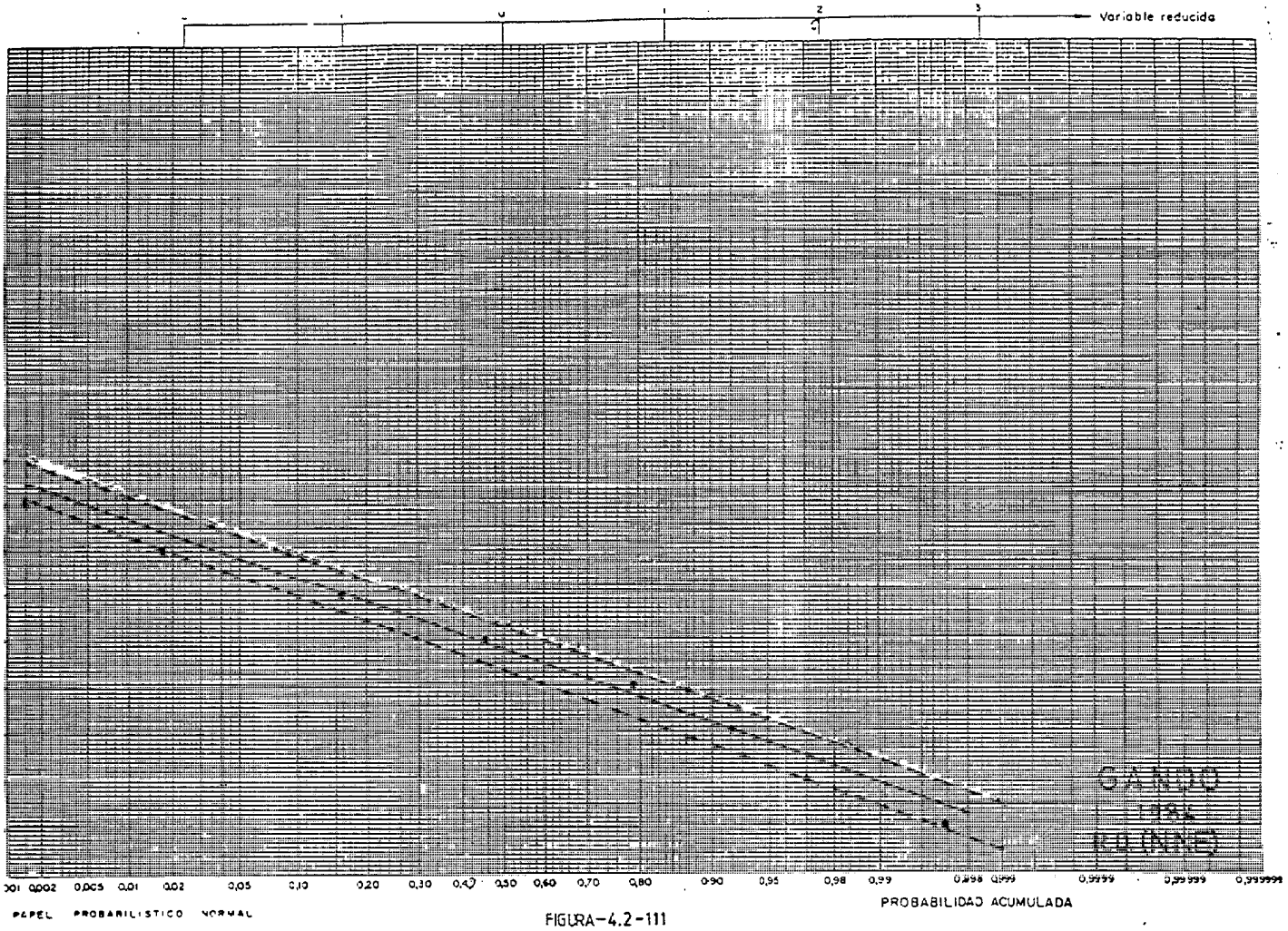


FIGURA-4.2-111

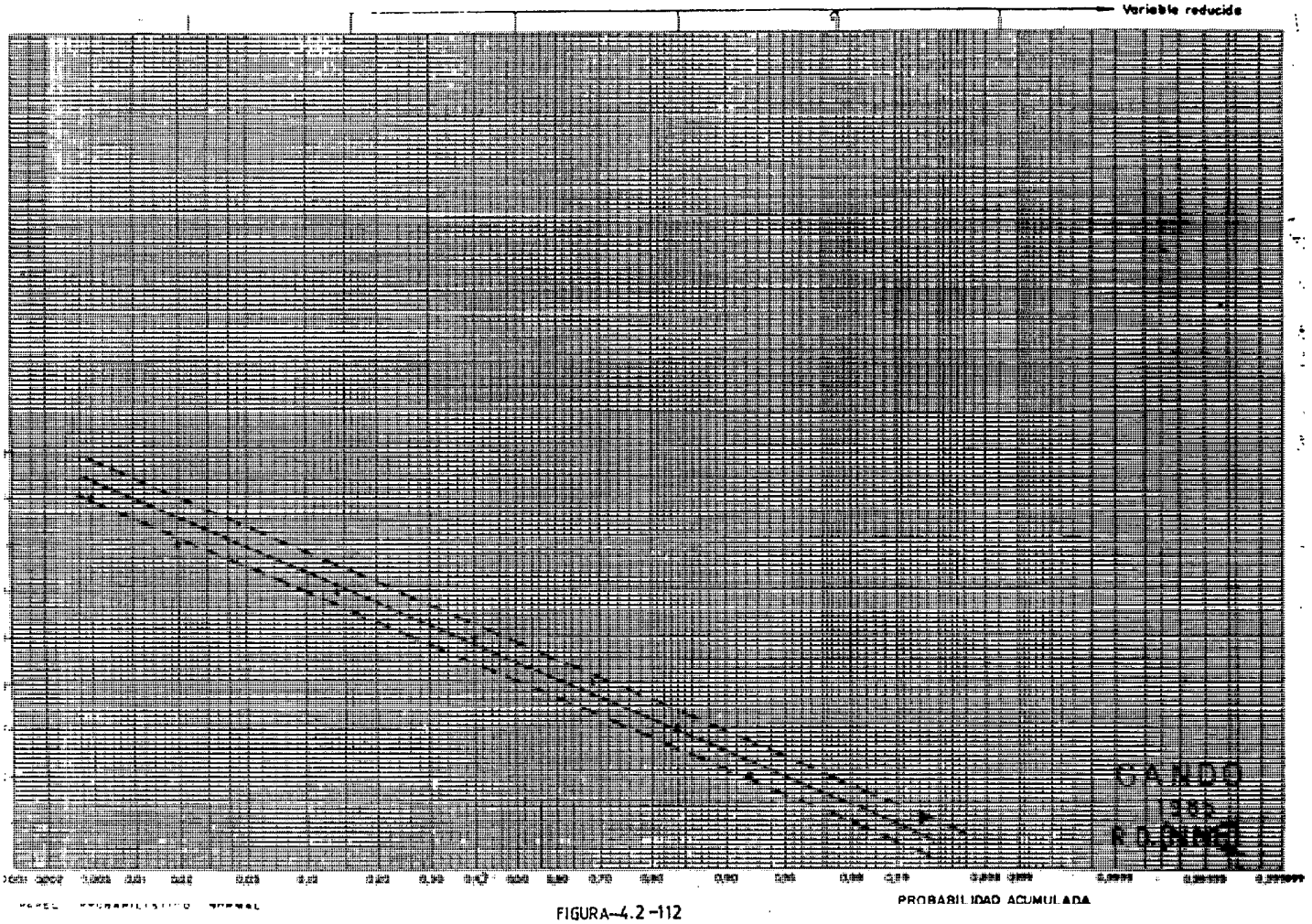


FIGURA-4.2-112

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

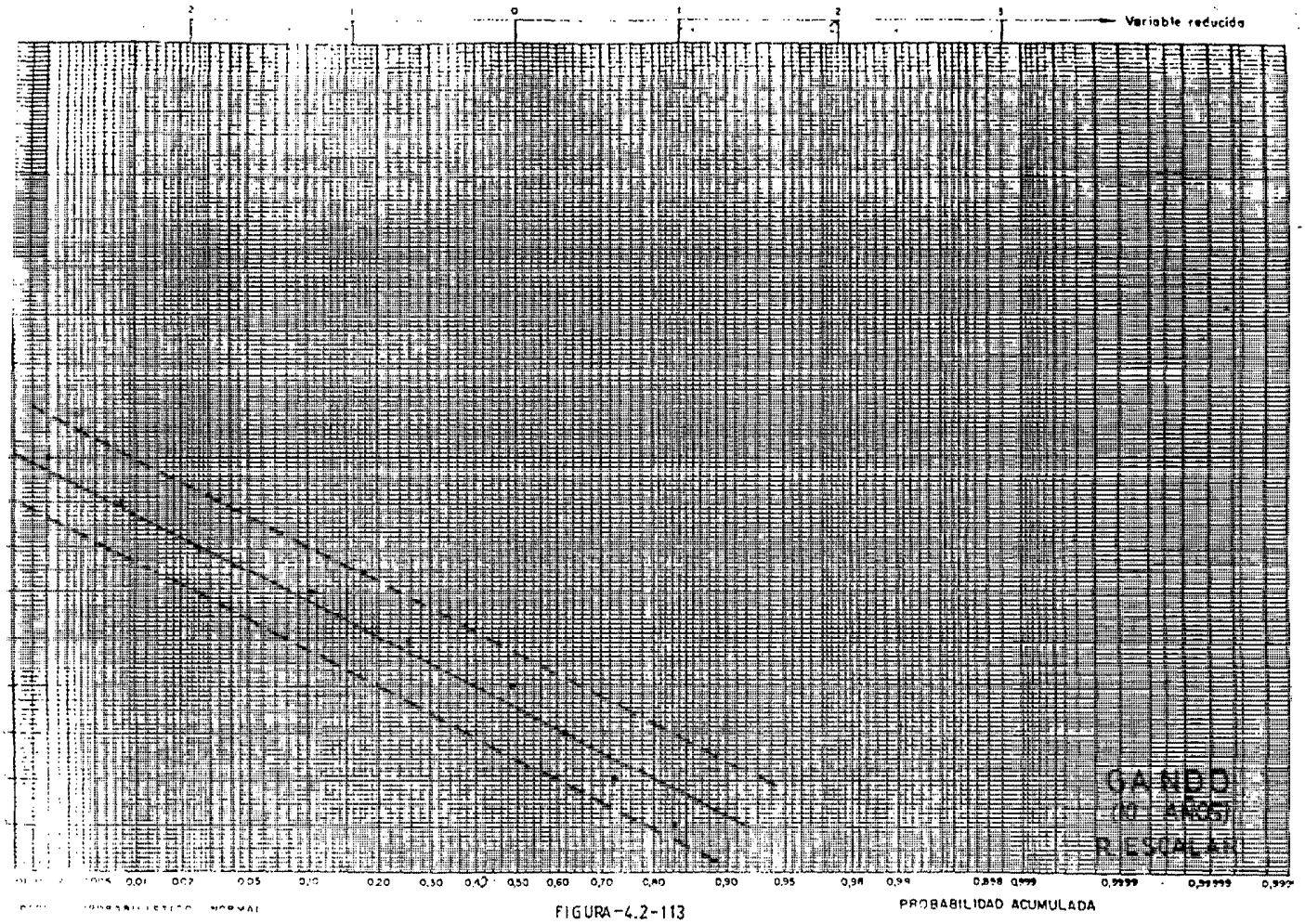


FIGURA-4.2-113

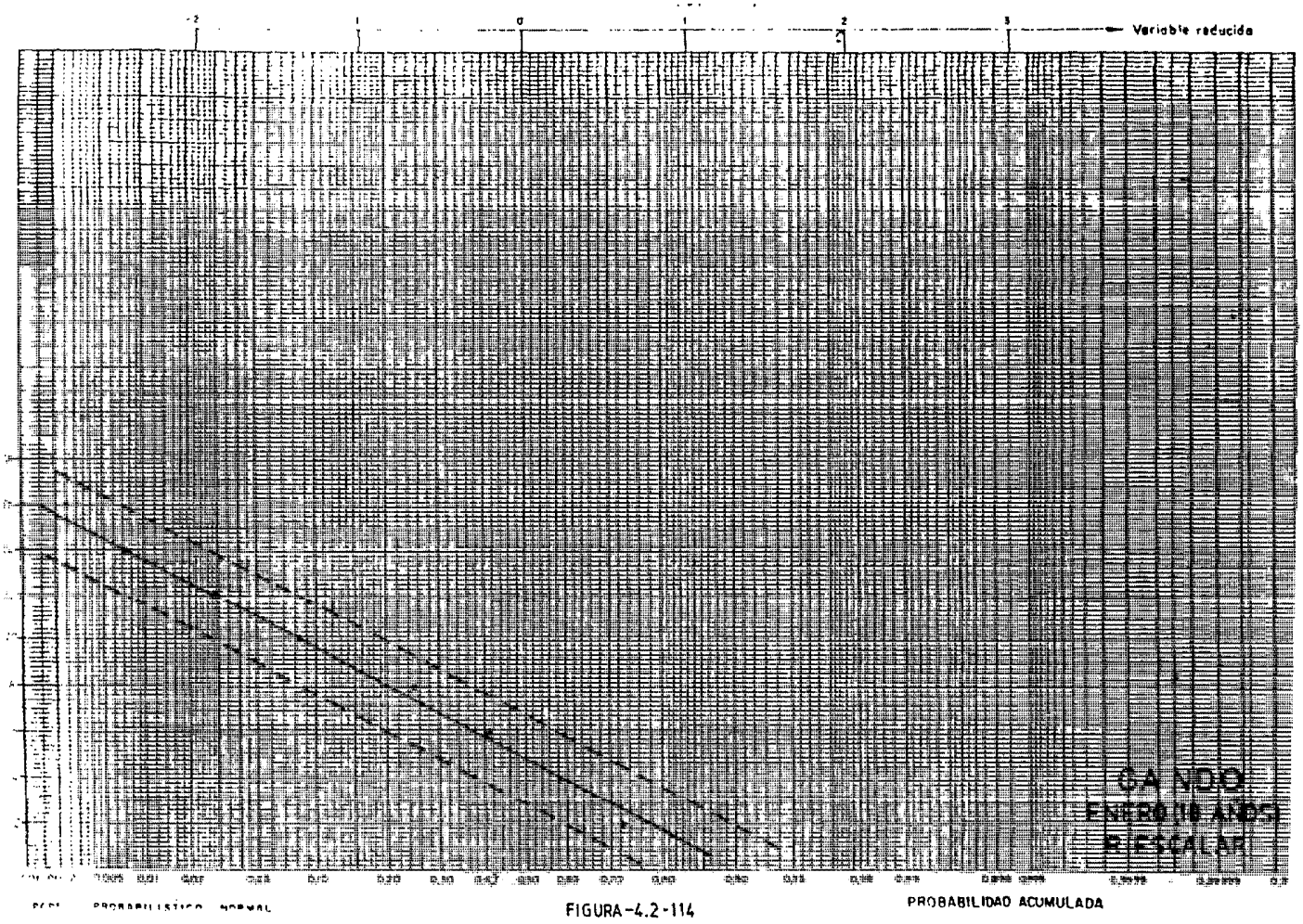


FIGURA-4.2-114

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

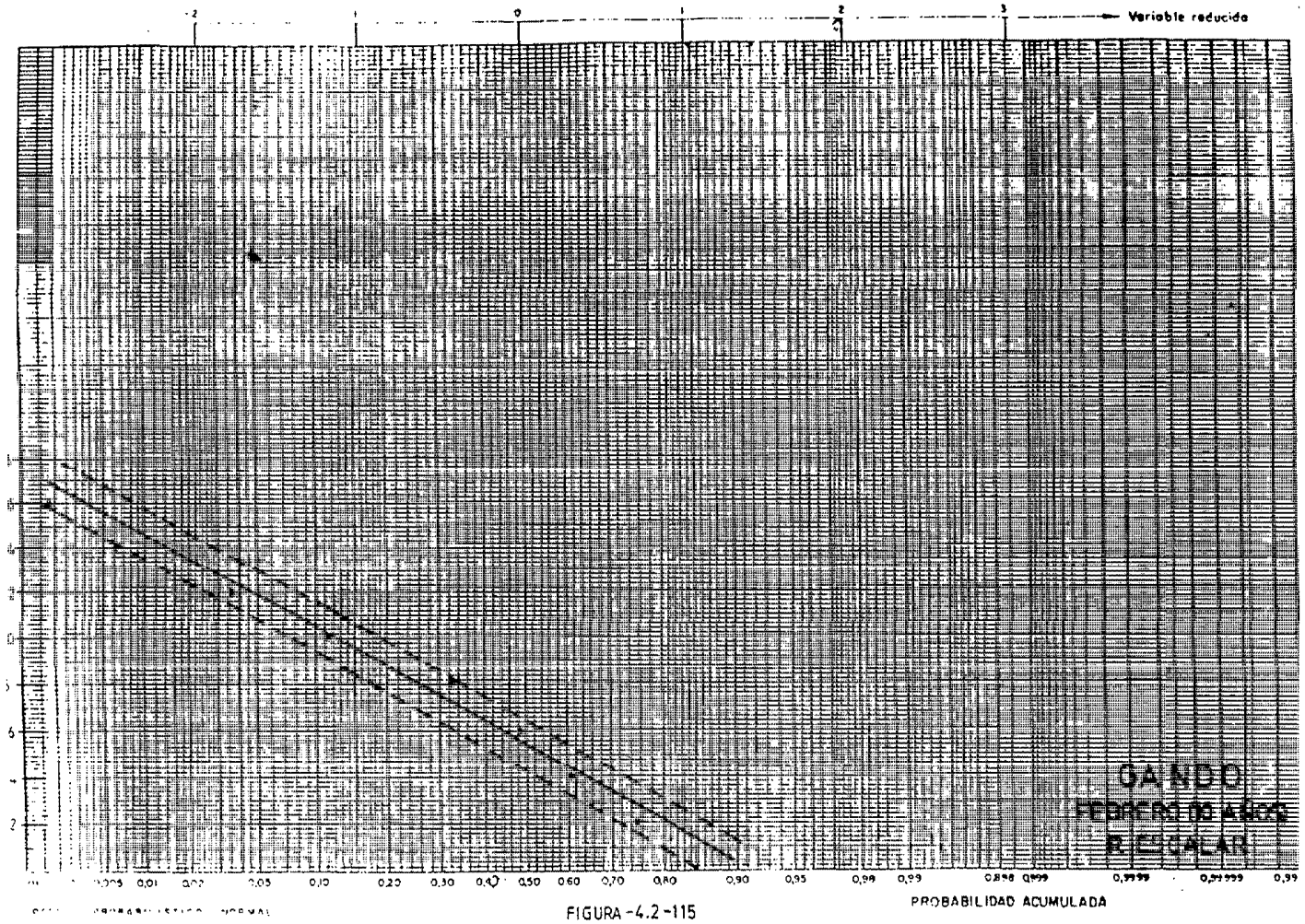


FIGURA - 4.2 - 115

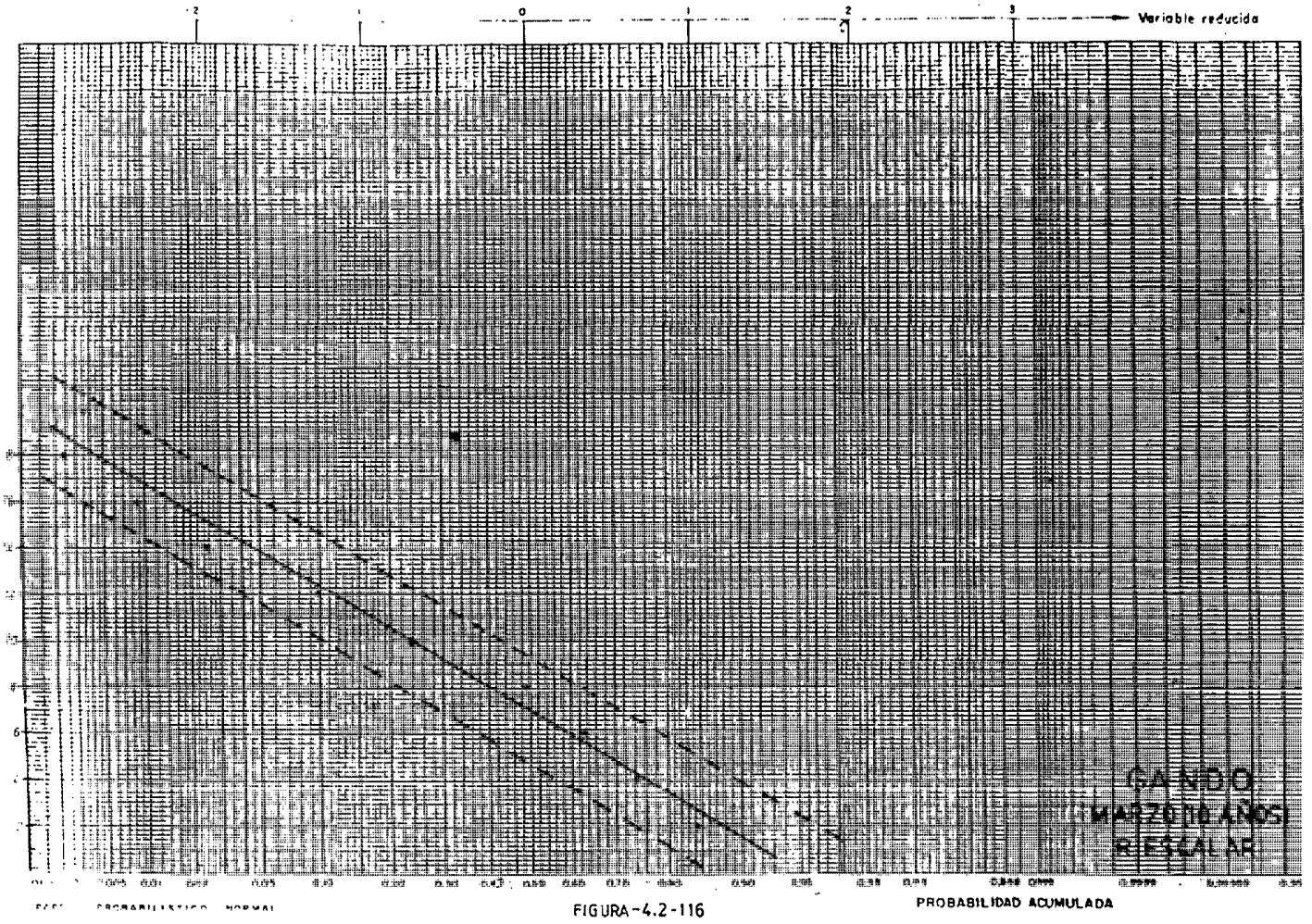


FIGURA - 4.2 - 116

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

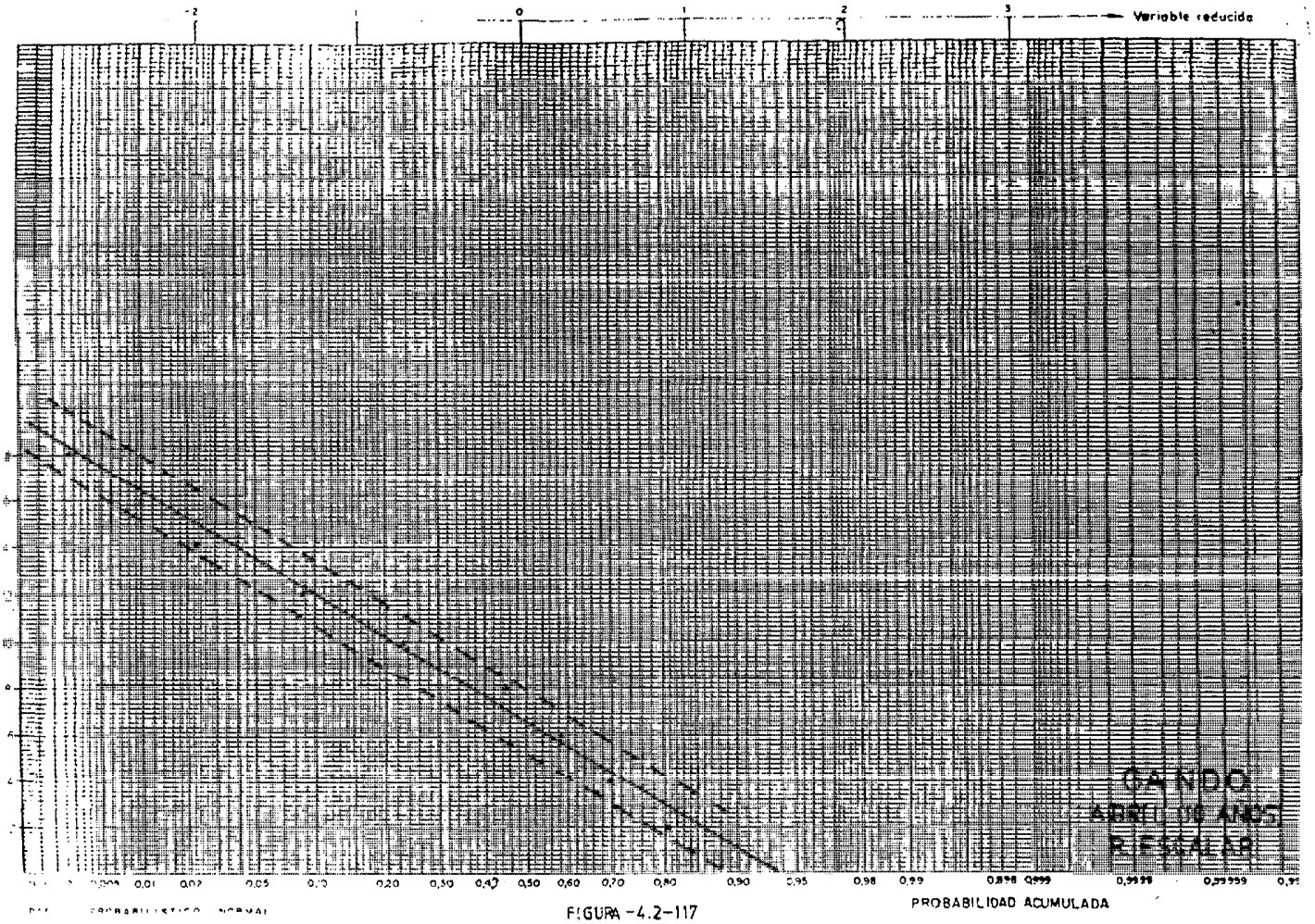


FIGURA-4.2-117

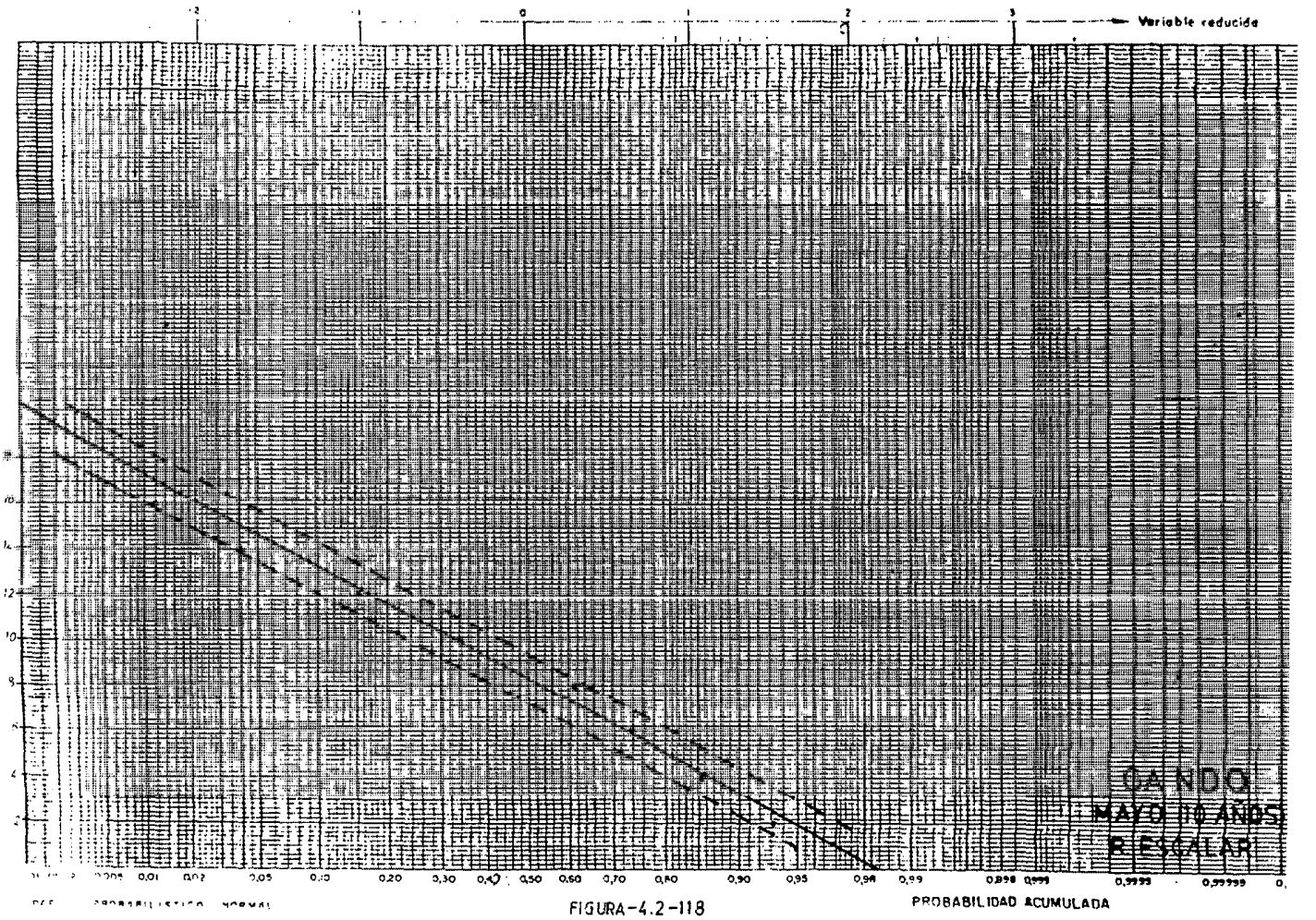


FIGURA-4.2-118

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

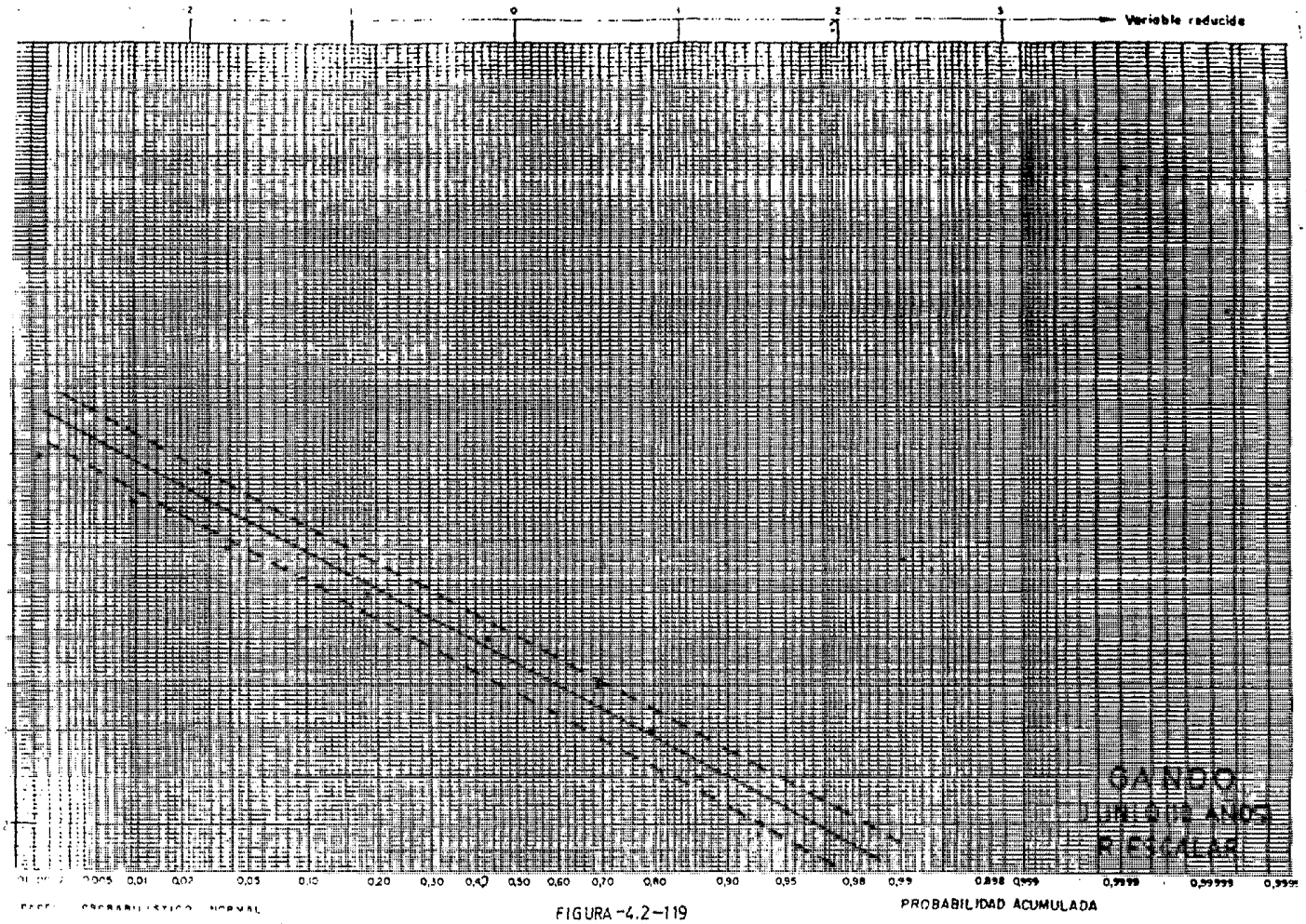


FIGURA-4.2-119

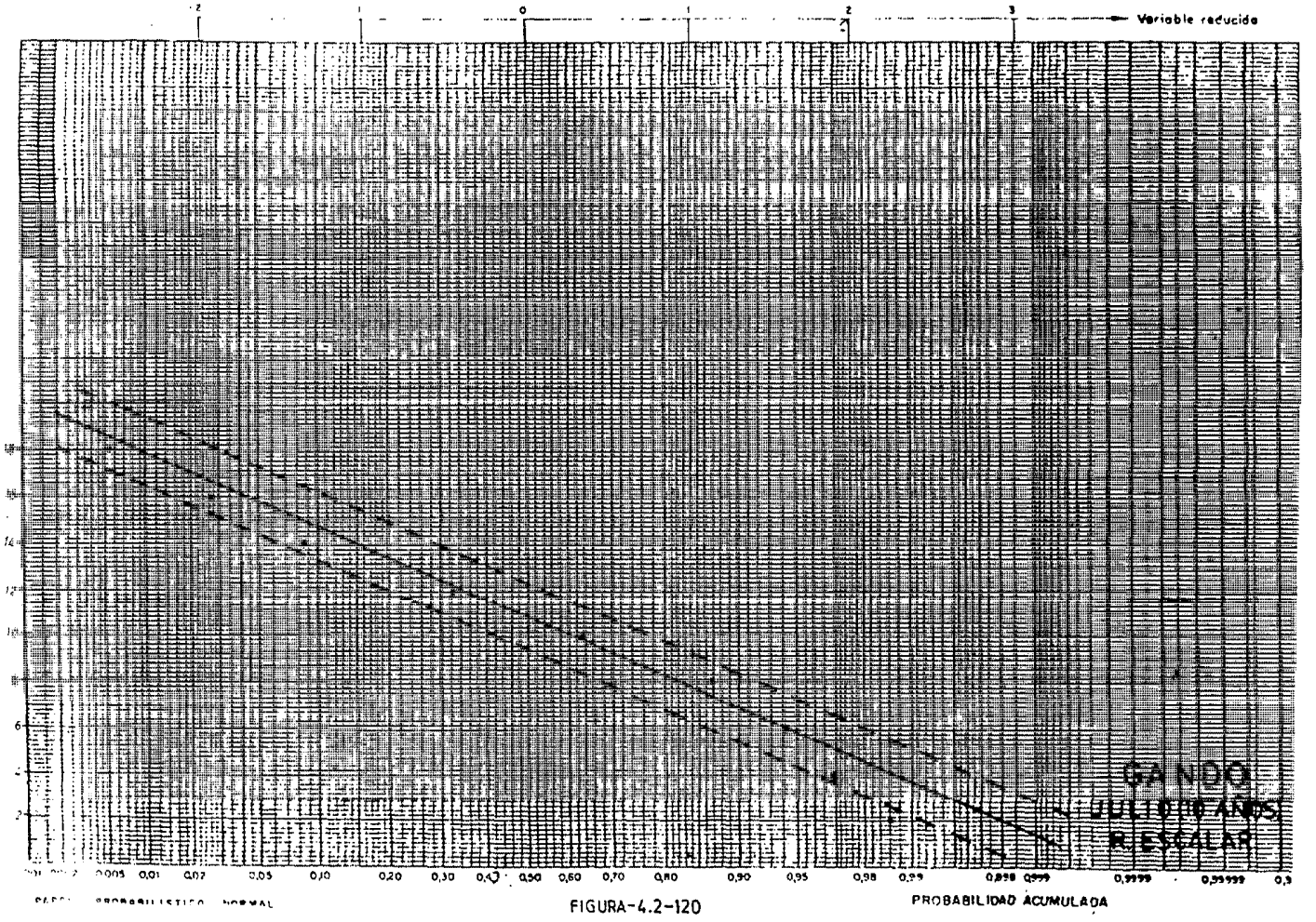


FIGURA-4.2-120

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

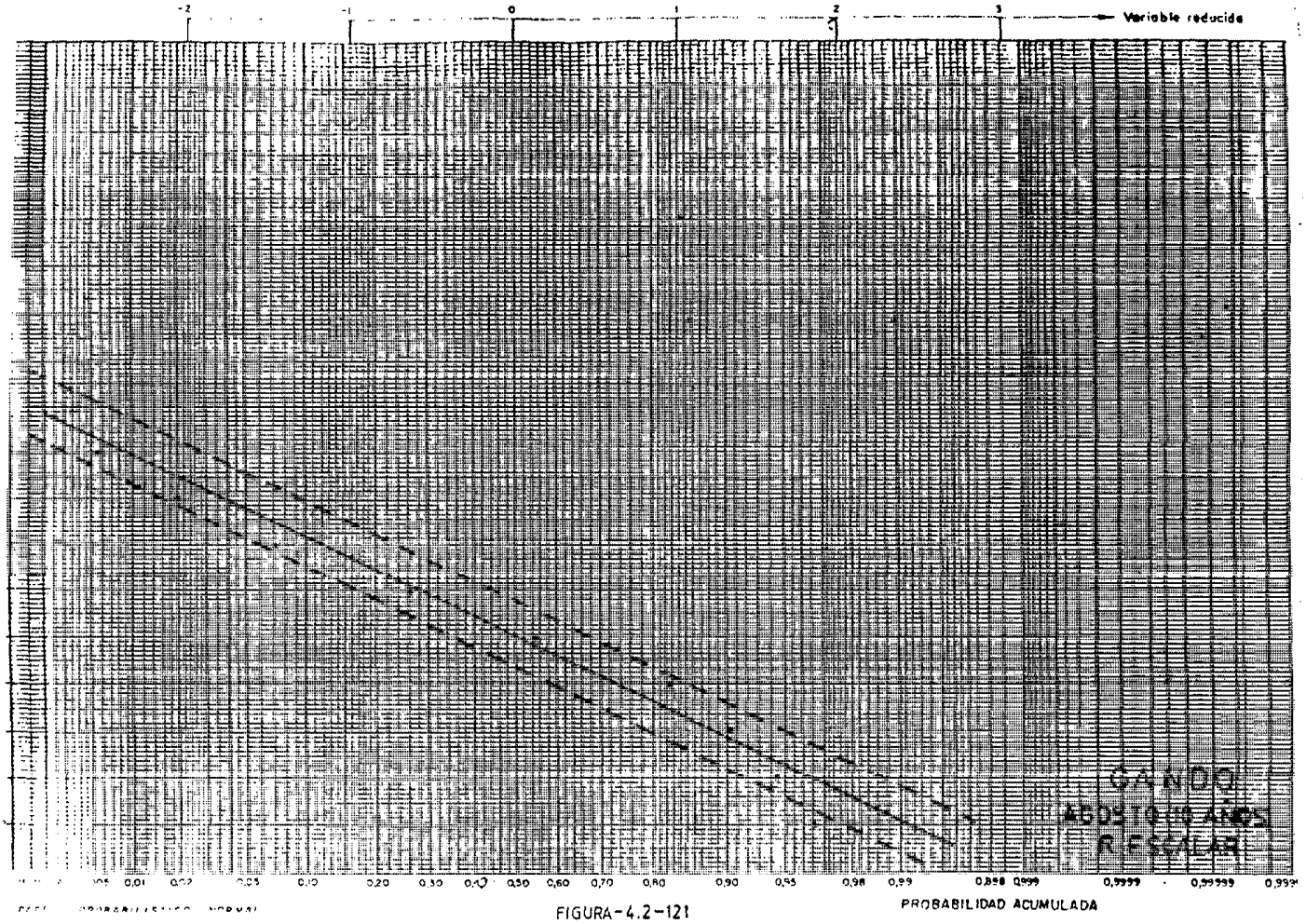


FIGURA-4.2-121

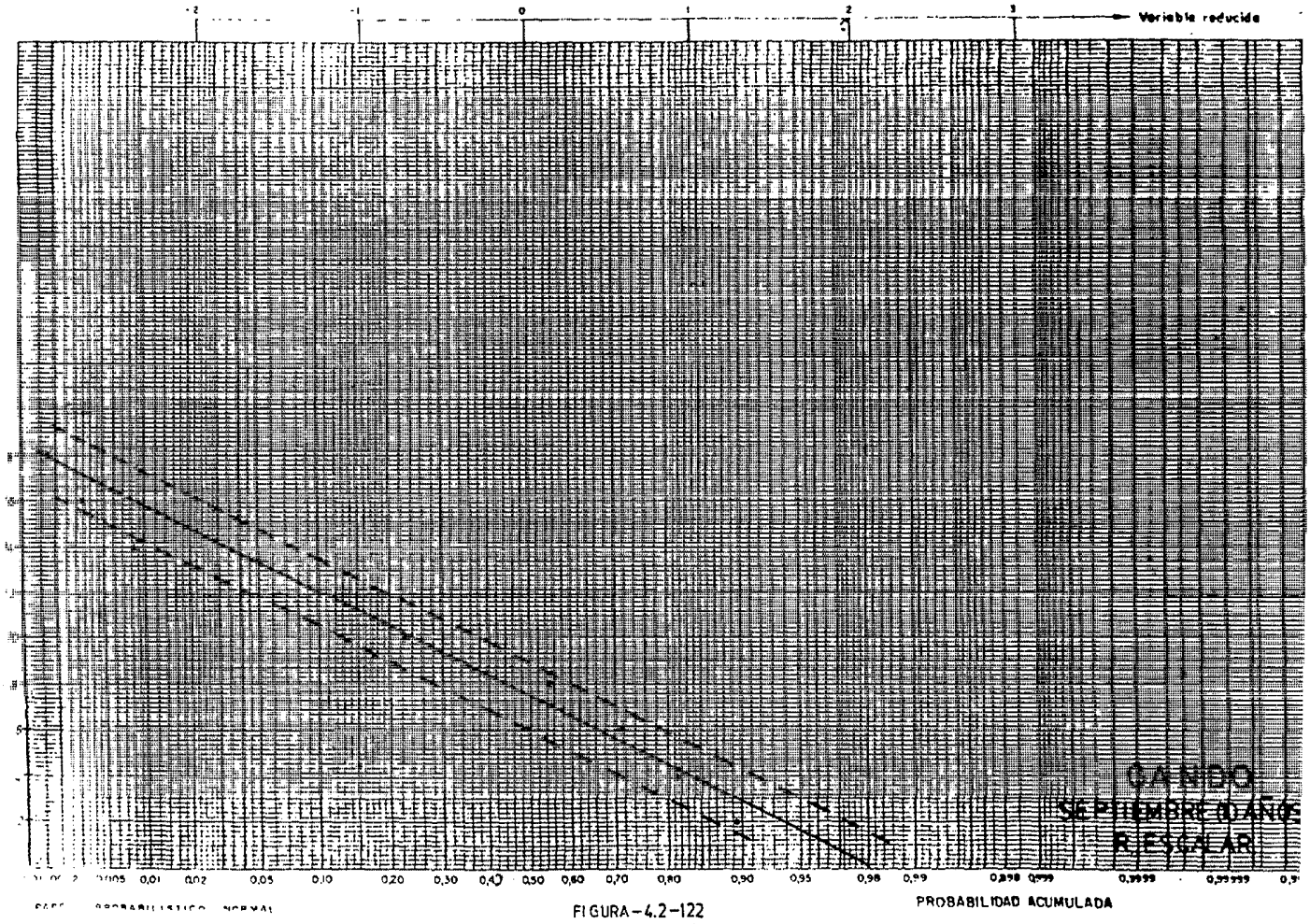


FIGURA-4.2-122

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

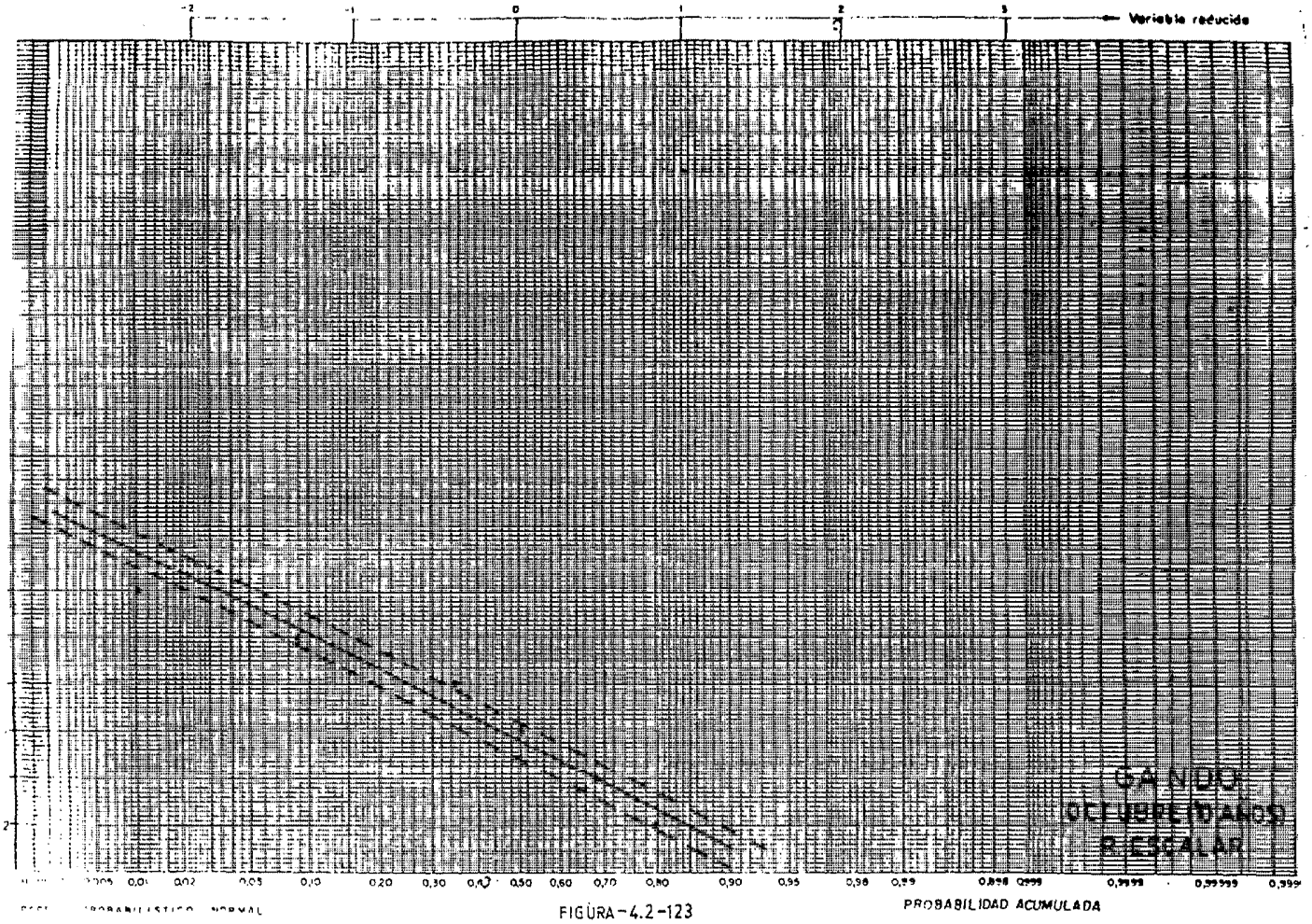


FIGURA-4.2-123

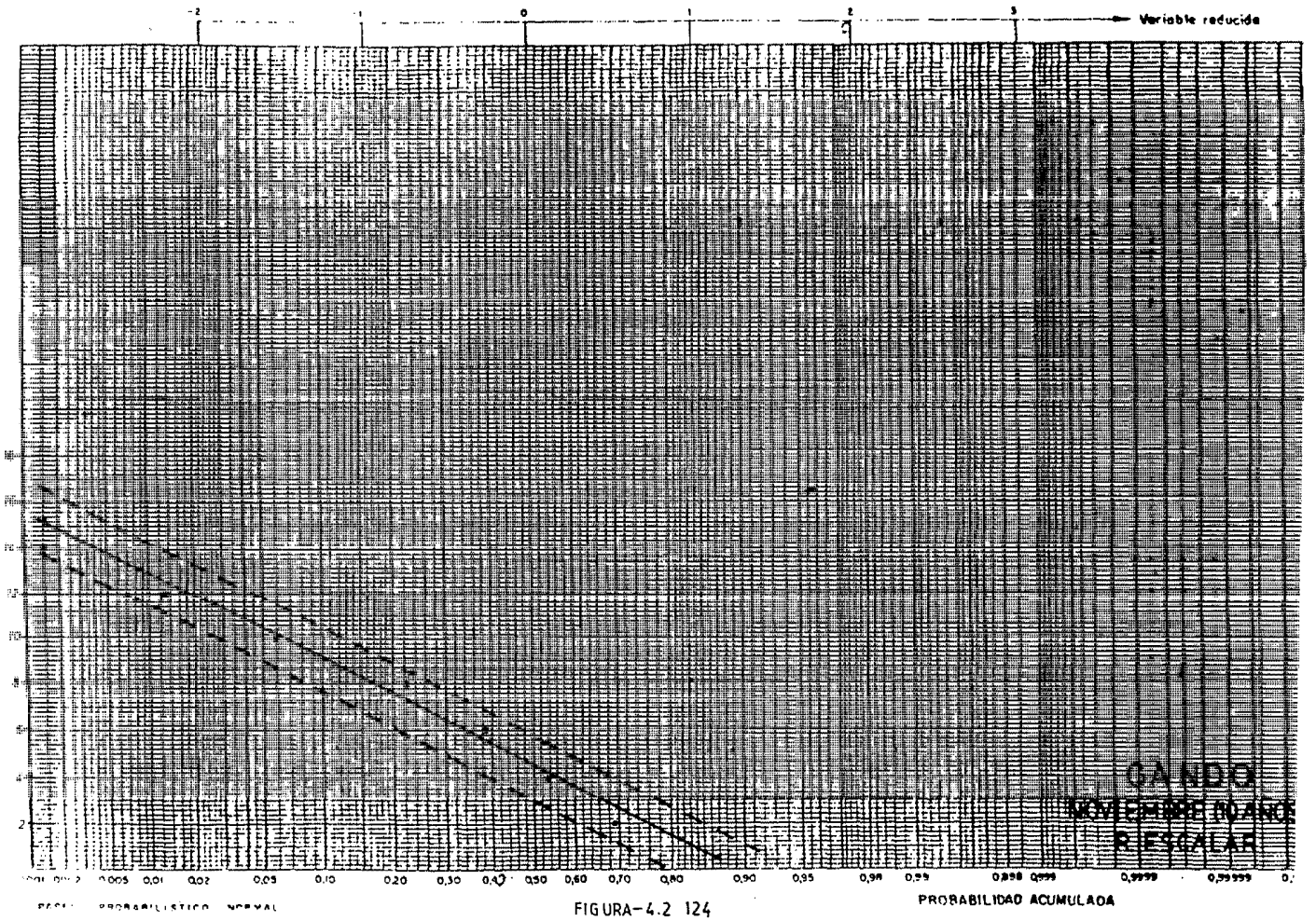


FIGURA-4.2 124

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

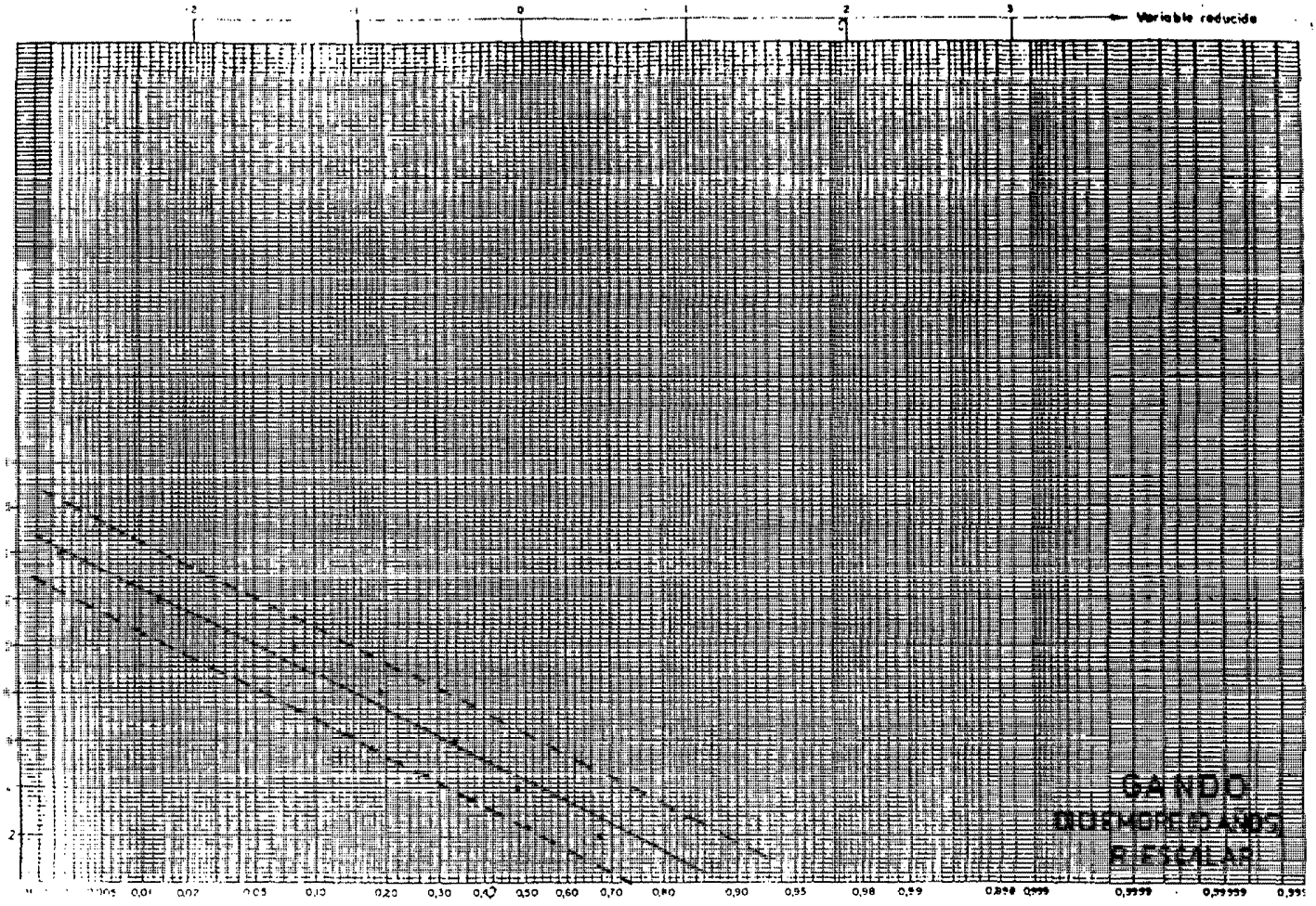


FIGURA-4.2-125

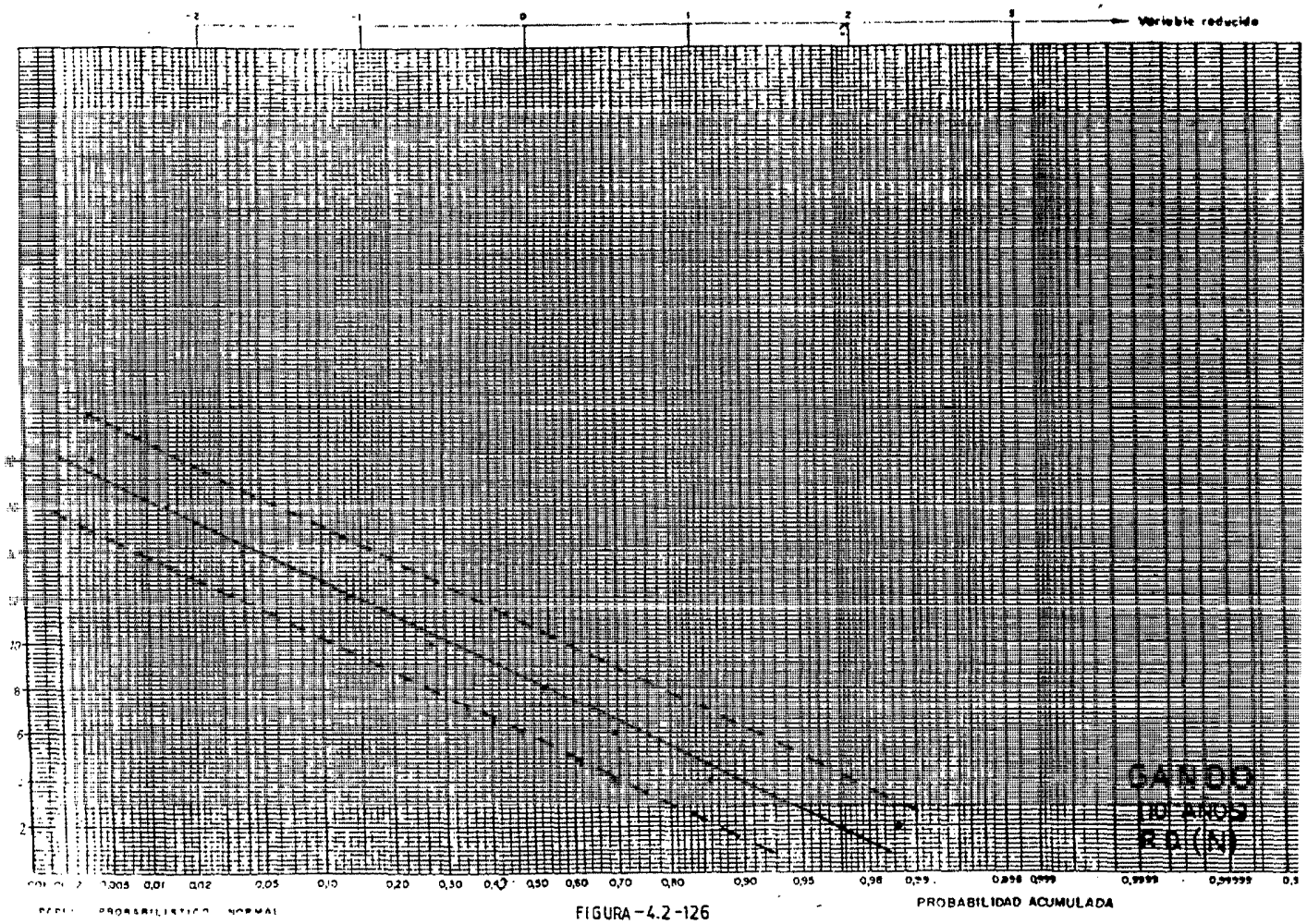


FIGURA-4.2-126

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

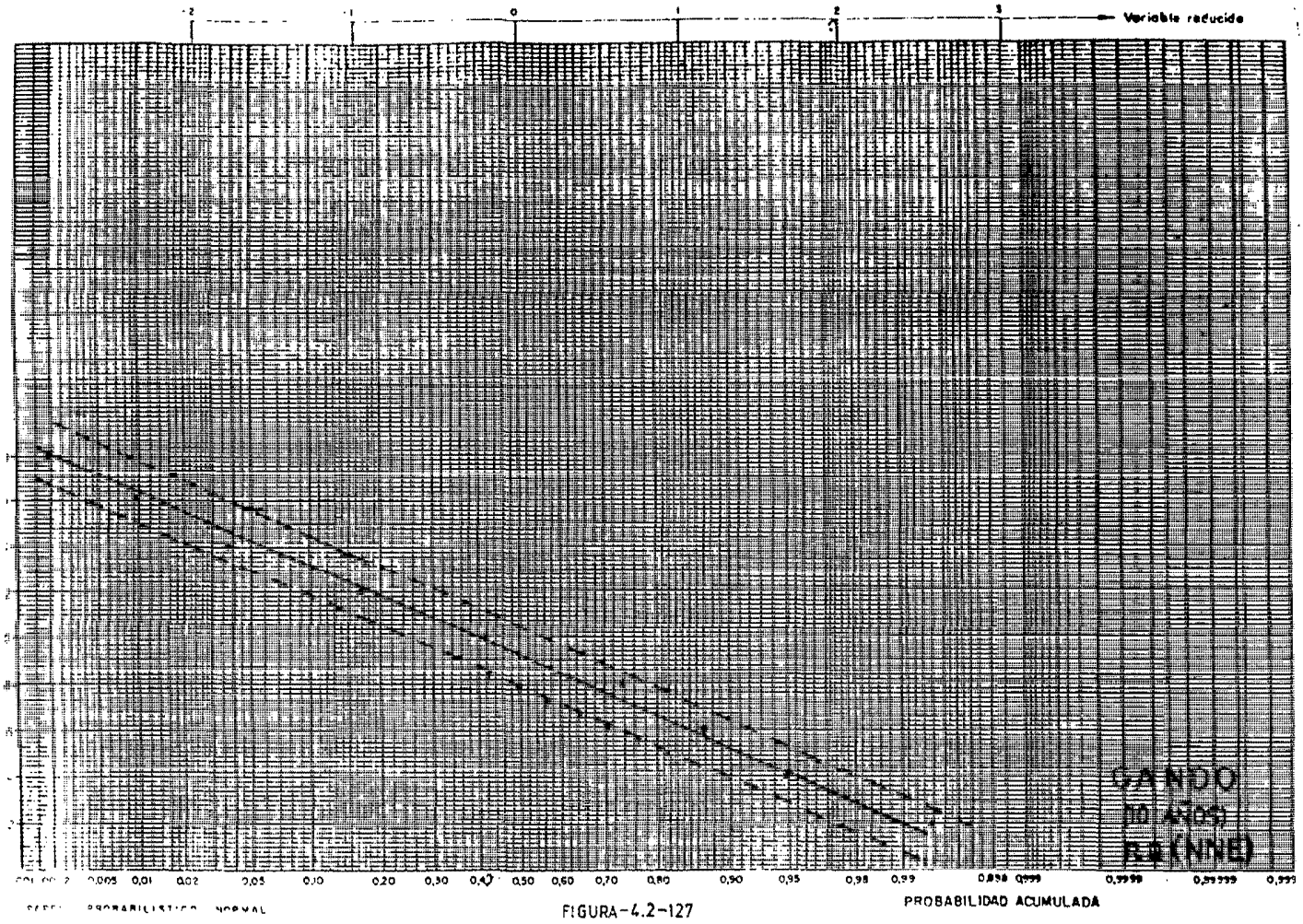


FIGURA-4.2-127

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
13- 1-87 a 31- 1-87 (888 datos)

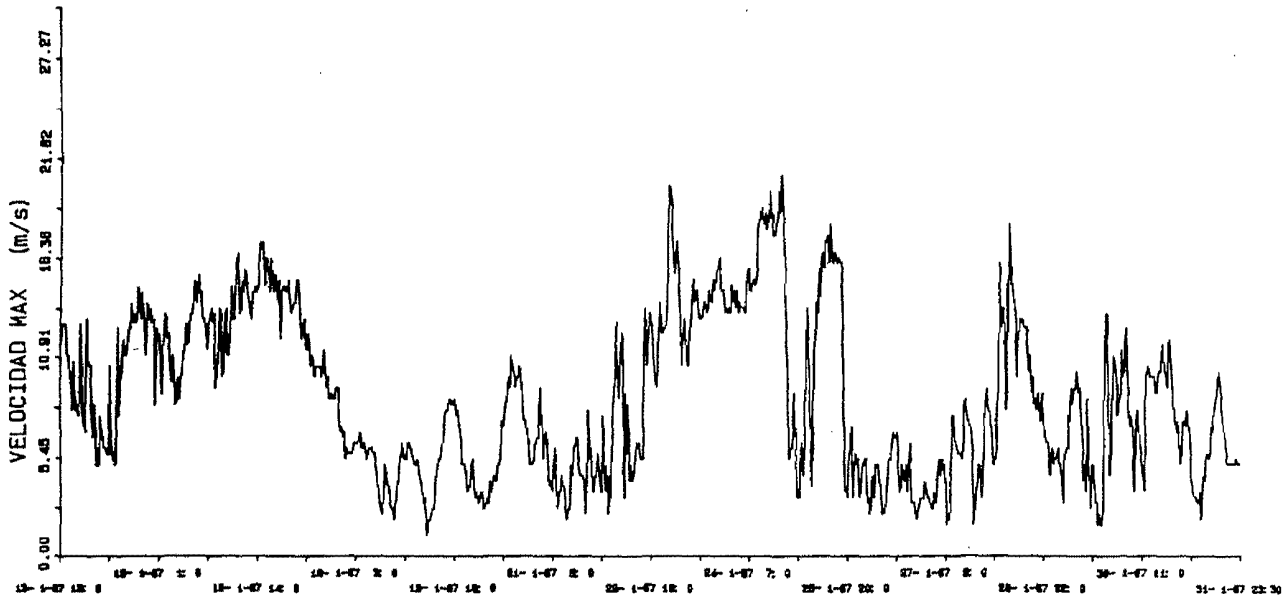


Figura 5.1-1

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 2-87 a 28- 2-87 (1344 datos)

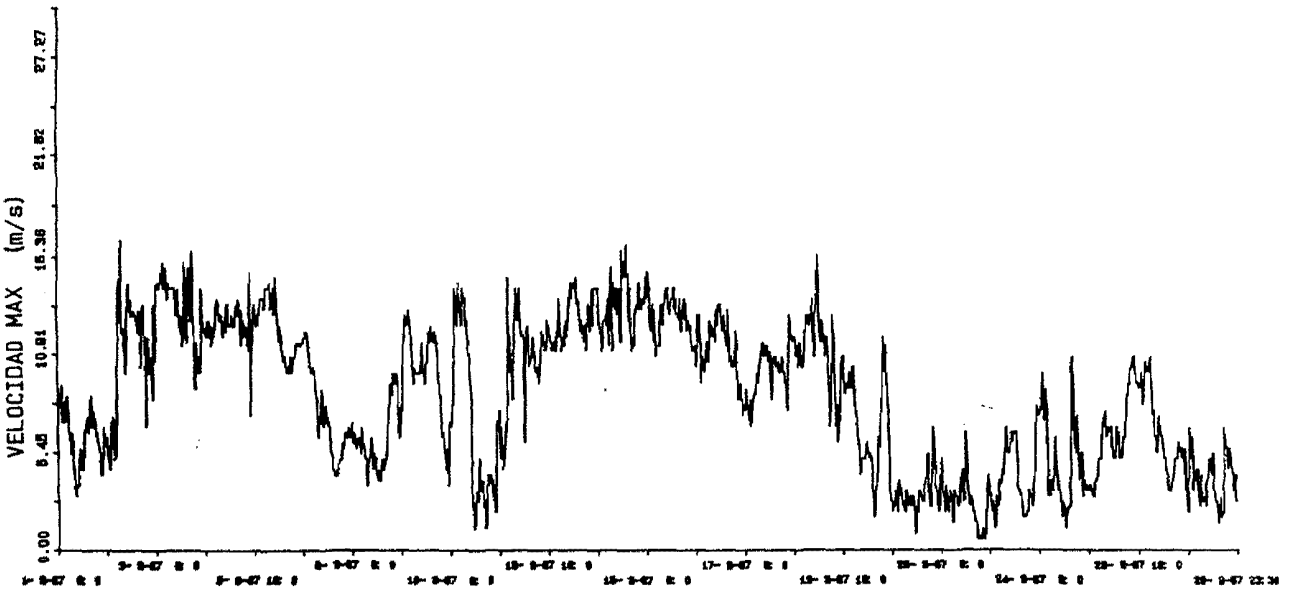


Figura 5.1-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 3-87 a 31- 3-87 (1488 datos)

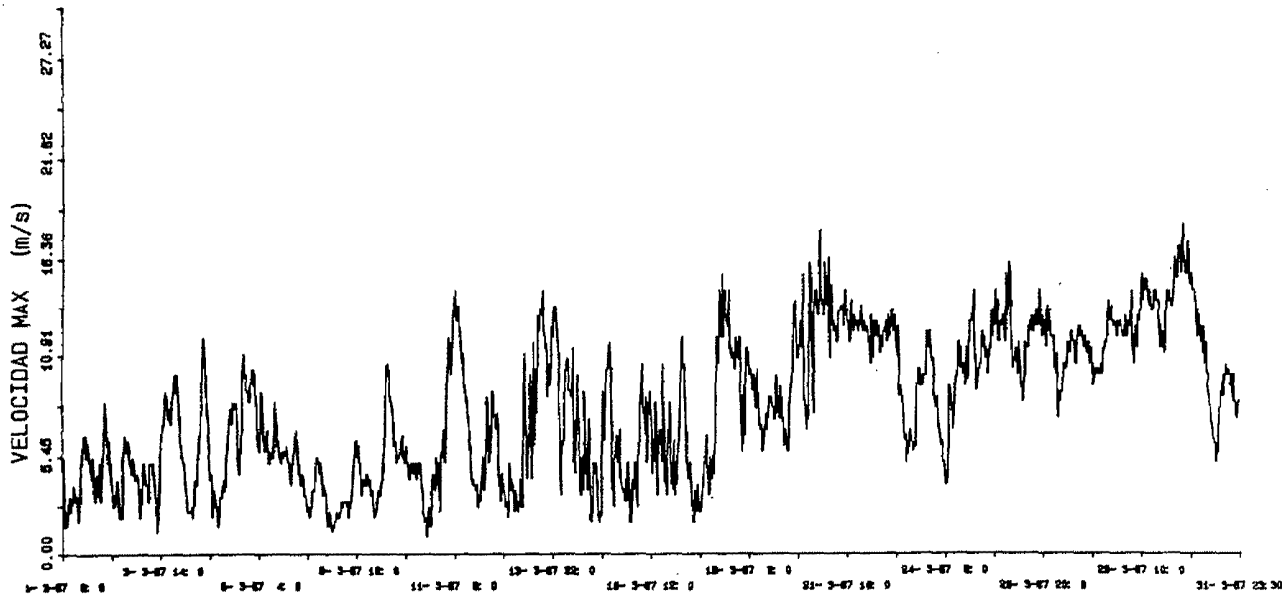


Figura 5.1-3

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
2- 4-87 a 30- 4-87 (1368 datos)

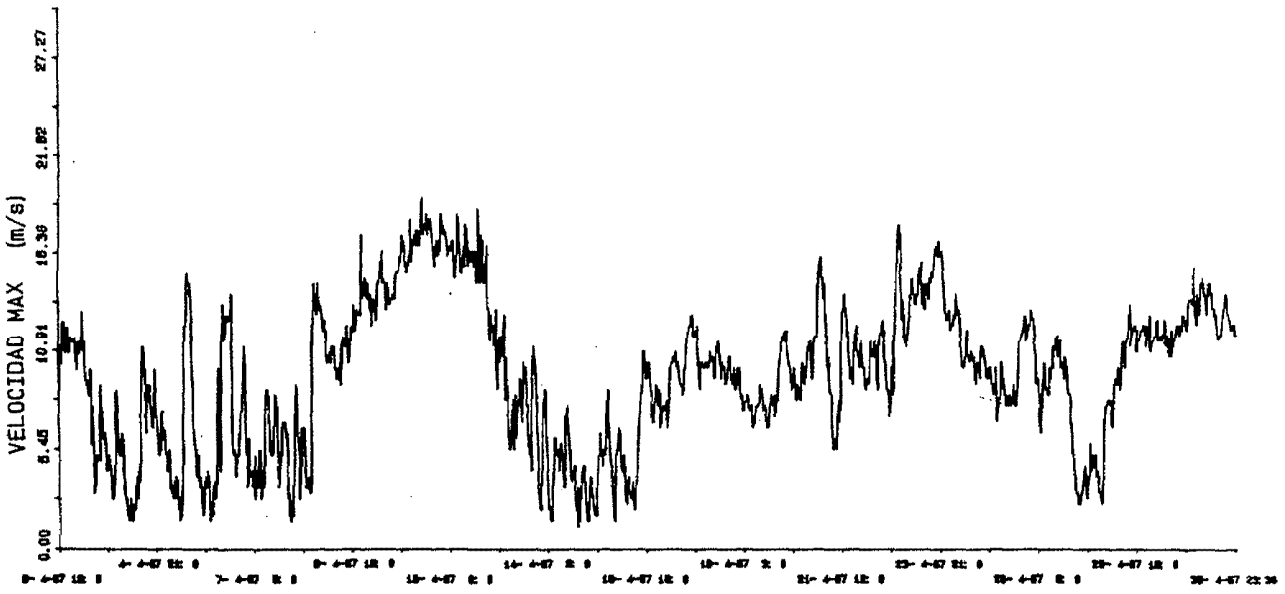


Figura 5.1-4

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 5-87 a 31- 5-87 (1488 datos)

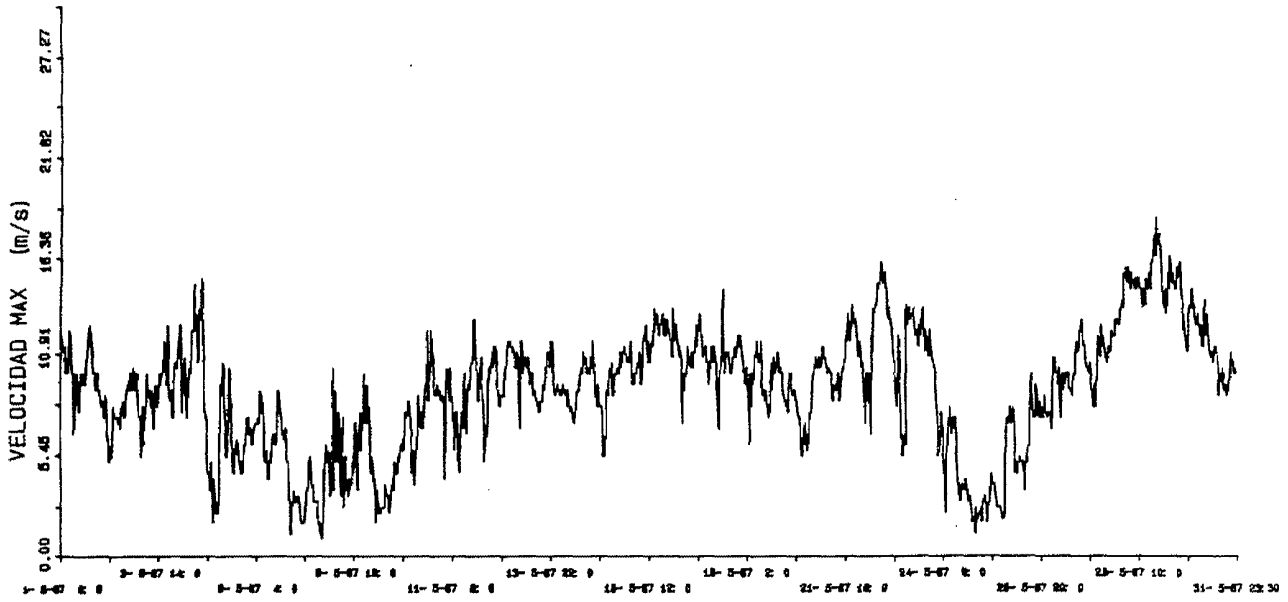


Figura 5.1-5

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 6-87 a 14- 6-87 (643 datos)

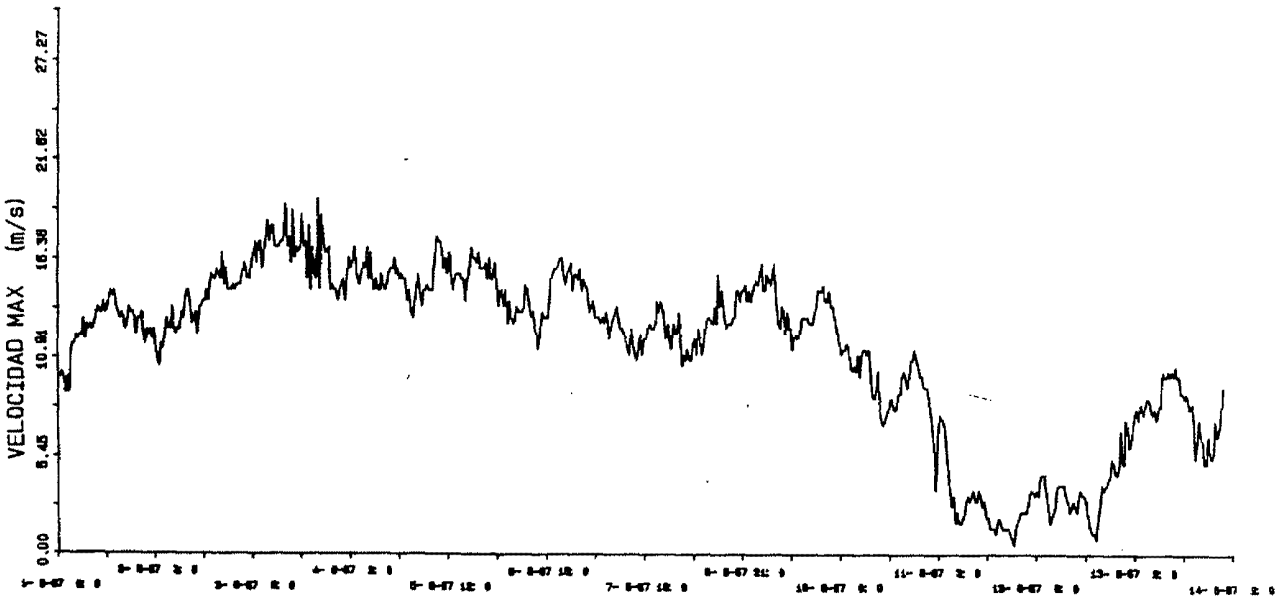


Figura 5.1-6

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
25- 6-87 a 30- 6-87 (287 datos)

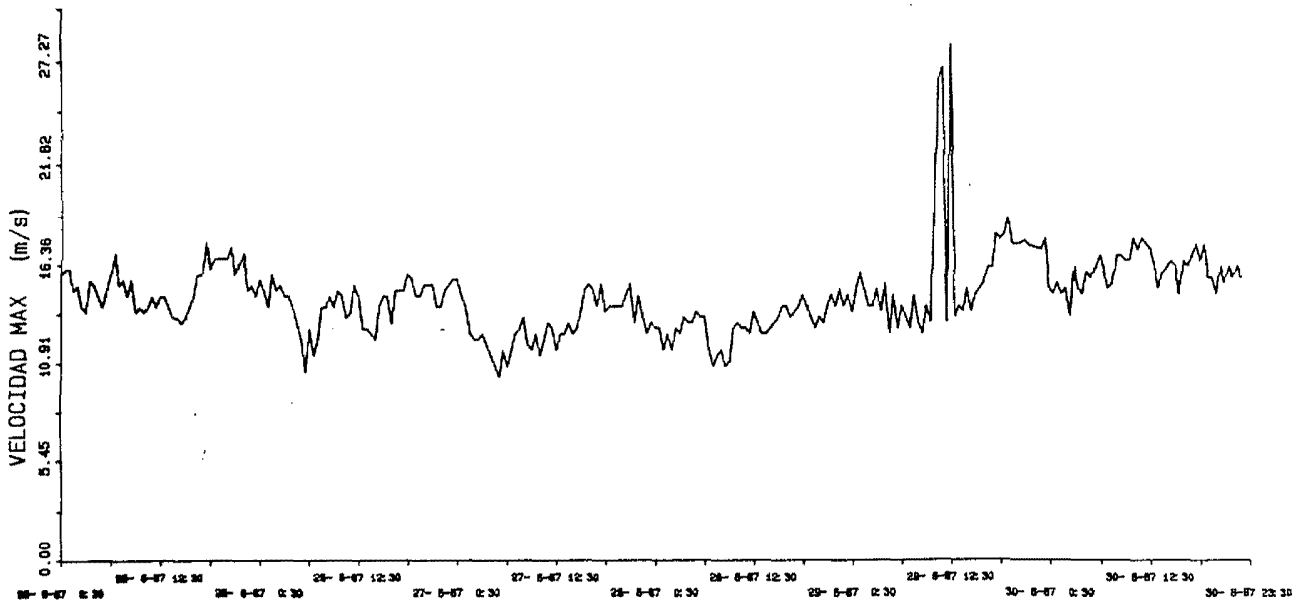


Figura 5.1-7

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
1- 7-87 a 9- 7-87 (409 datos)

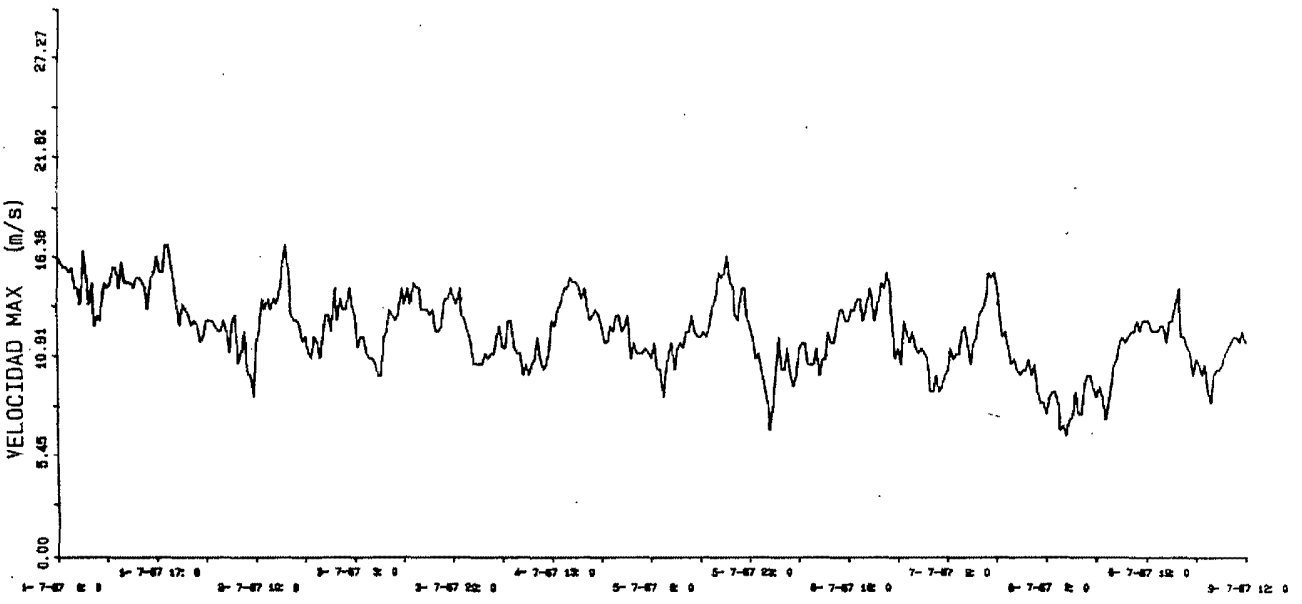


Figura 5.1-8

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
11- 7-87 a 31- 7-87 (984 datos)

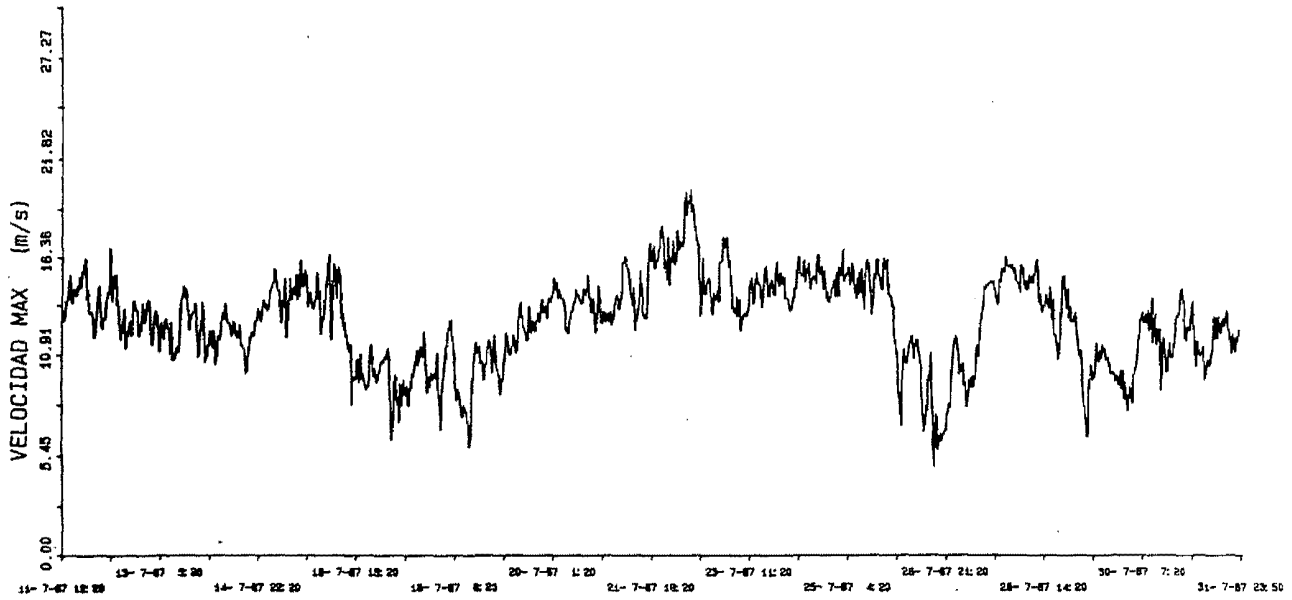


Figura 5.1-9

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
1- 8-87 a 7- 8-87 (336 datos)

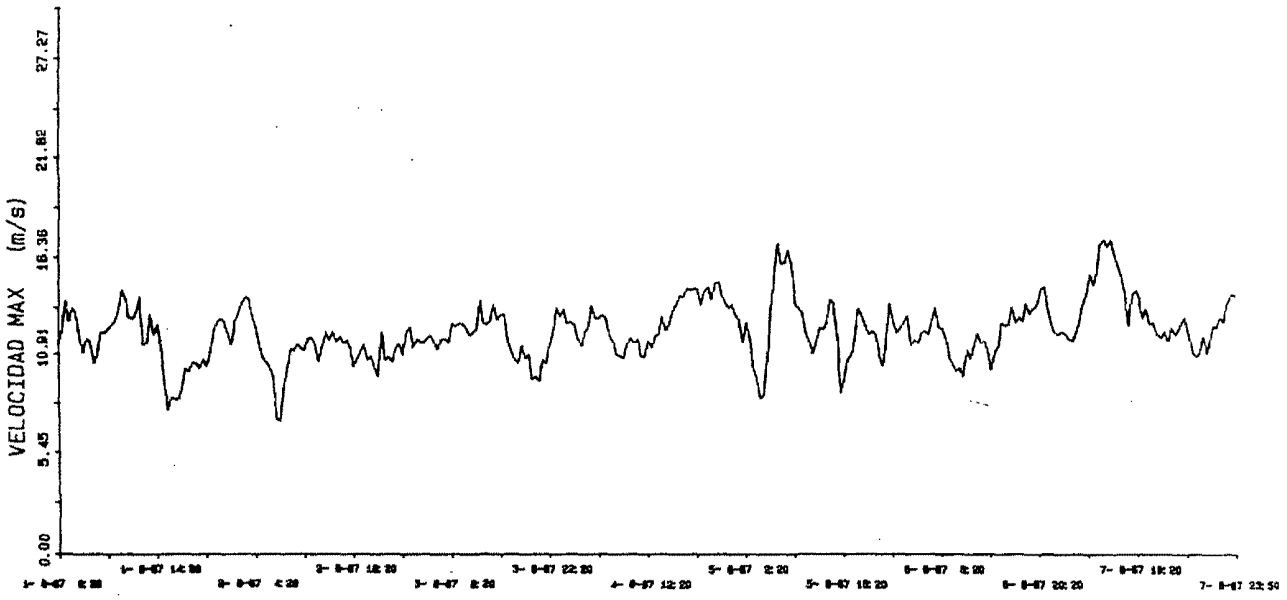


Figura 5.1-10

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos)
1- 9-87 a 9- 9-87 (402 datos)

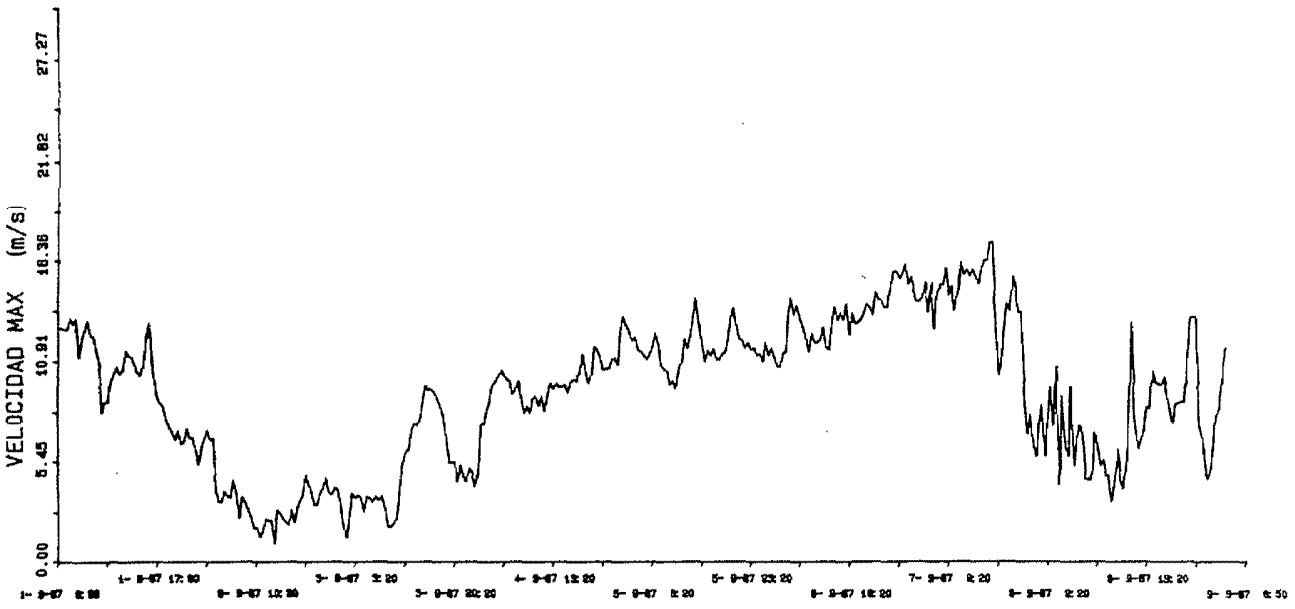


Figura 5.1-11

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
9- 9-87 a 30- 9-87 (519 datos)

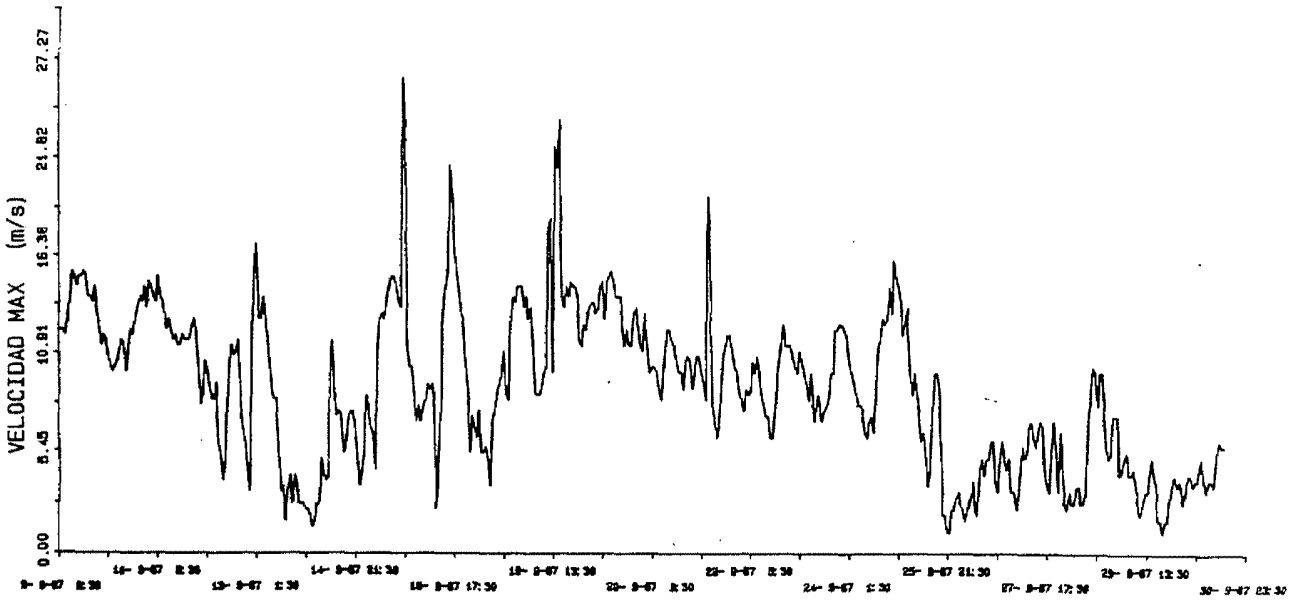


Figura 5.1-12

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
1-10-87 a 23-10-87 (543 datos)

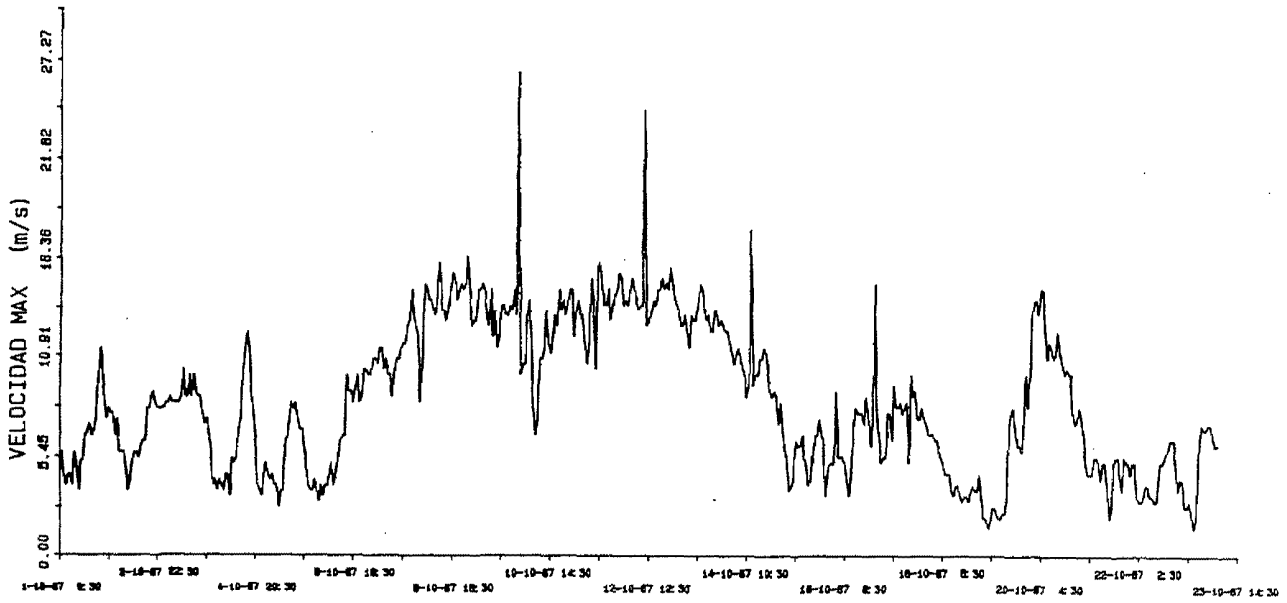


Figura 5.1-13

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
28-10-87 a 31-10-87 (168 datos)

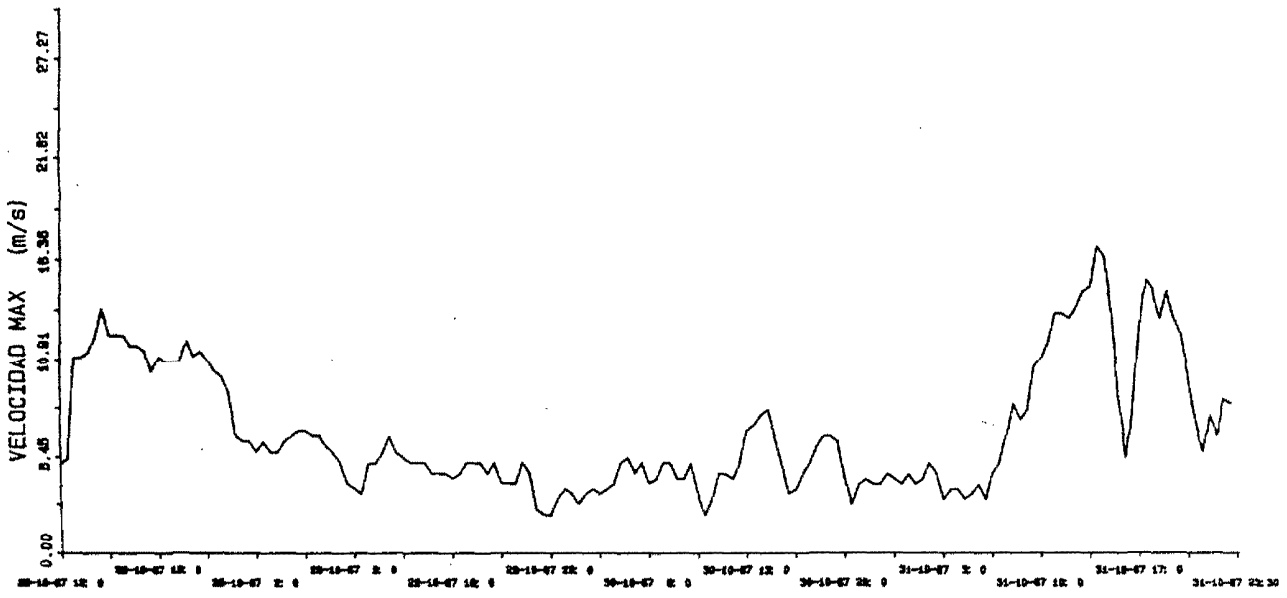


Figura 5.1-14

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-11-87 a 30-11-87 (1440 datos)

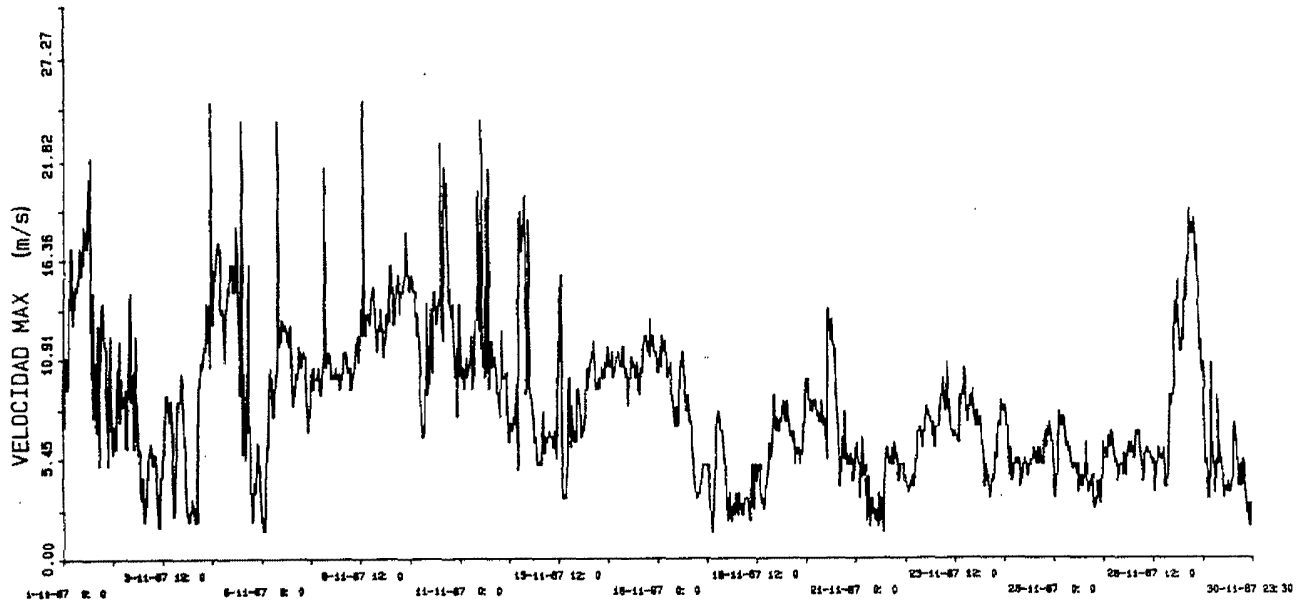


Figura 5.1-15

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-12-87 a 27-12-87 (1273 datos)

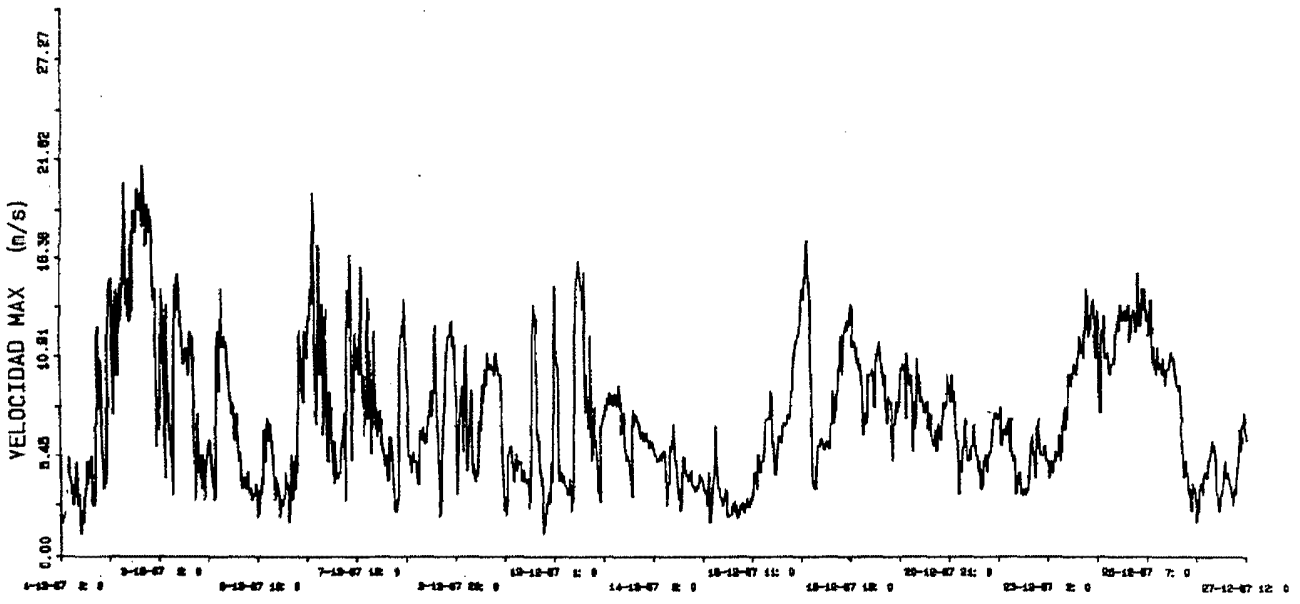


Figura 5.1-16

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
13- 1-87 a 31- 1-87 (888 datos)

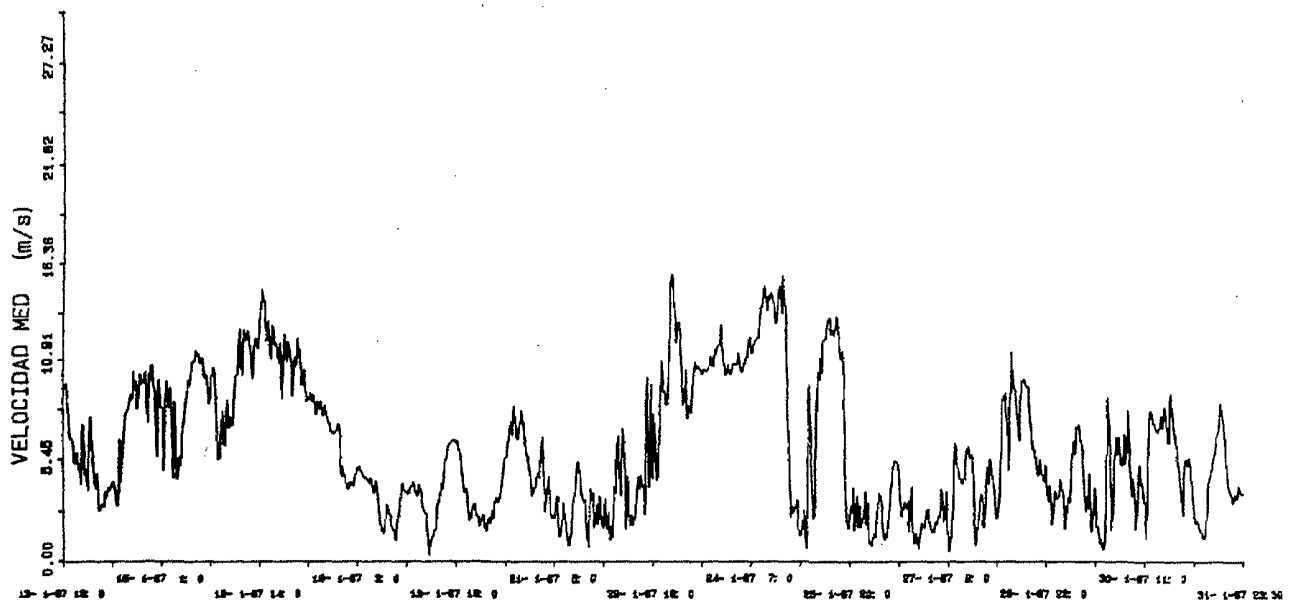


Figura 5.1-17

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 2-87 a 28- 2-87 (1344 datos)

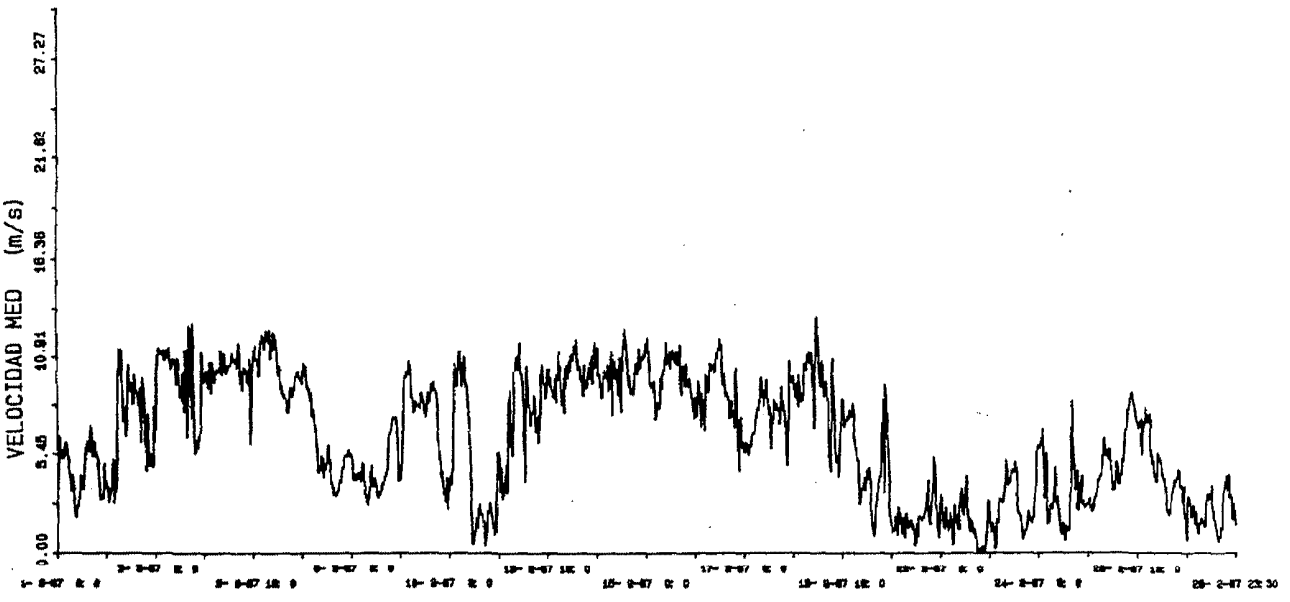


Figura 5.1-18

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 3-87 a 31- 3-87 (1488 datos)

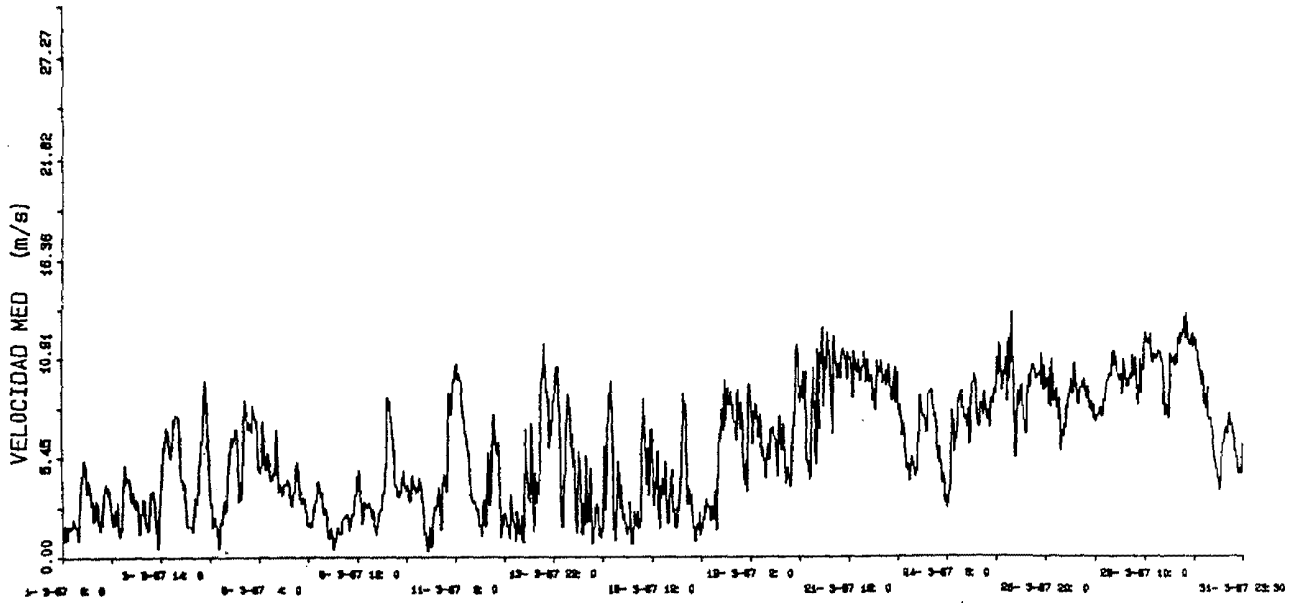


Figura 5.1-19

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
2- 4-87 a 30- 4-87 (1368 datos)

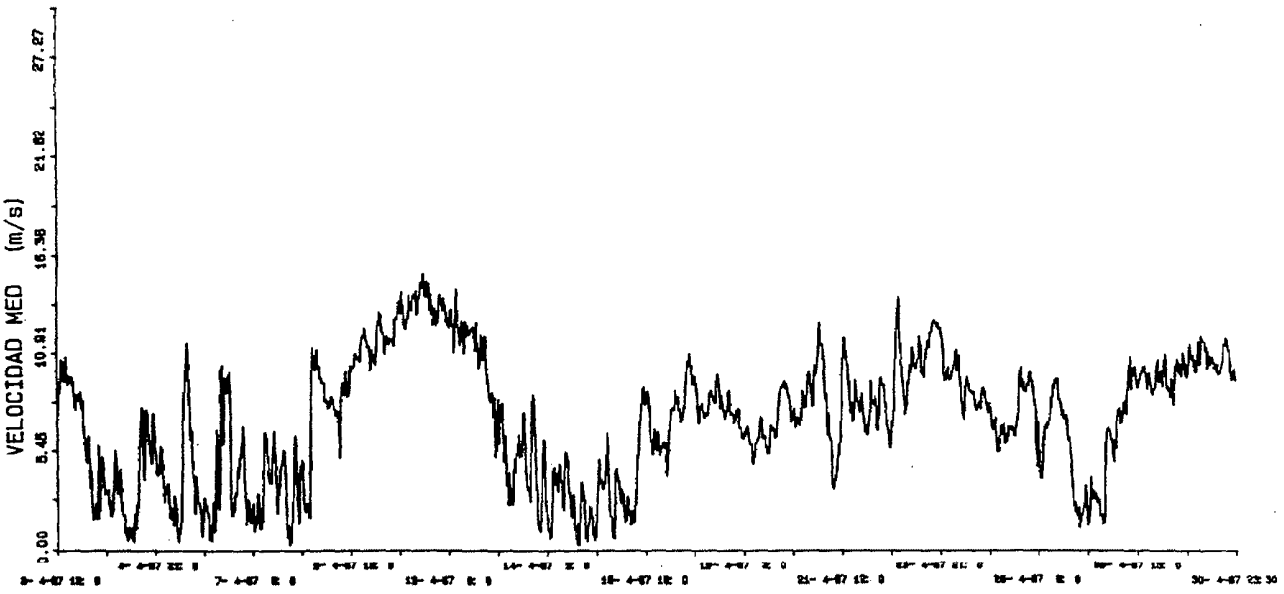


Figura 5.1-20

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 5-87 a 31- 5-87 (1488 datos)

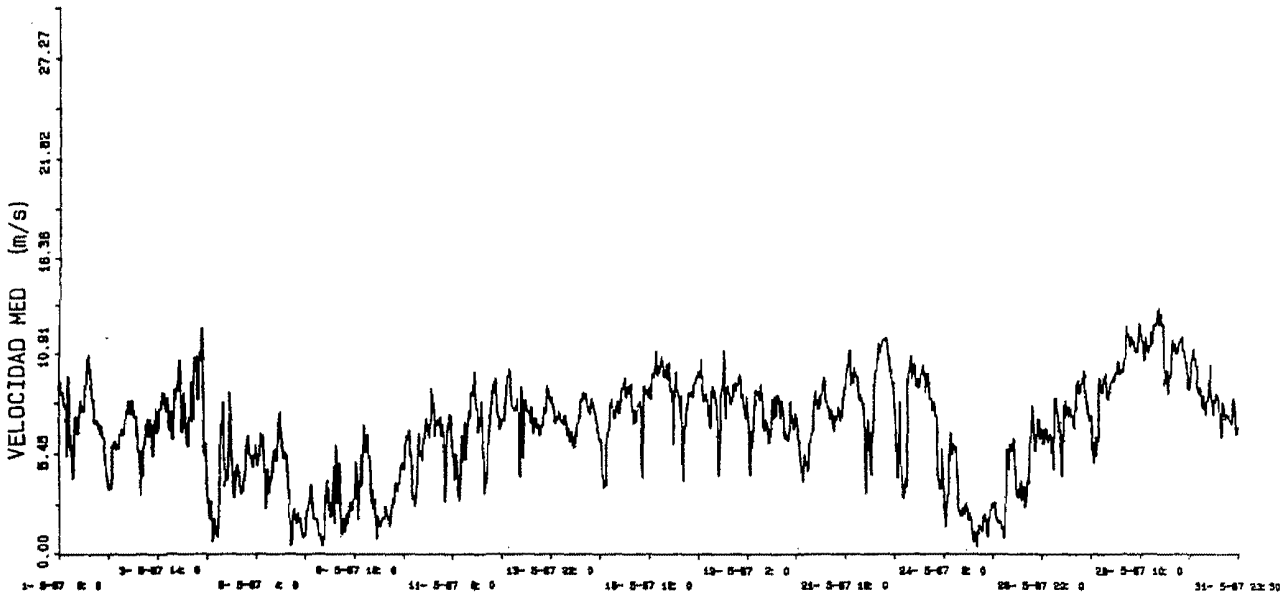


Figura 5.1-21

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 6-87 a 14- 6-87 (643 datos)

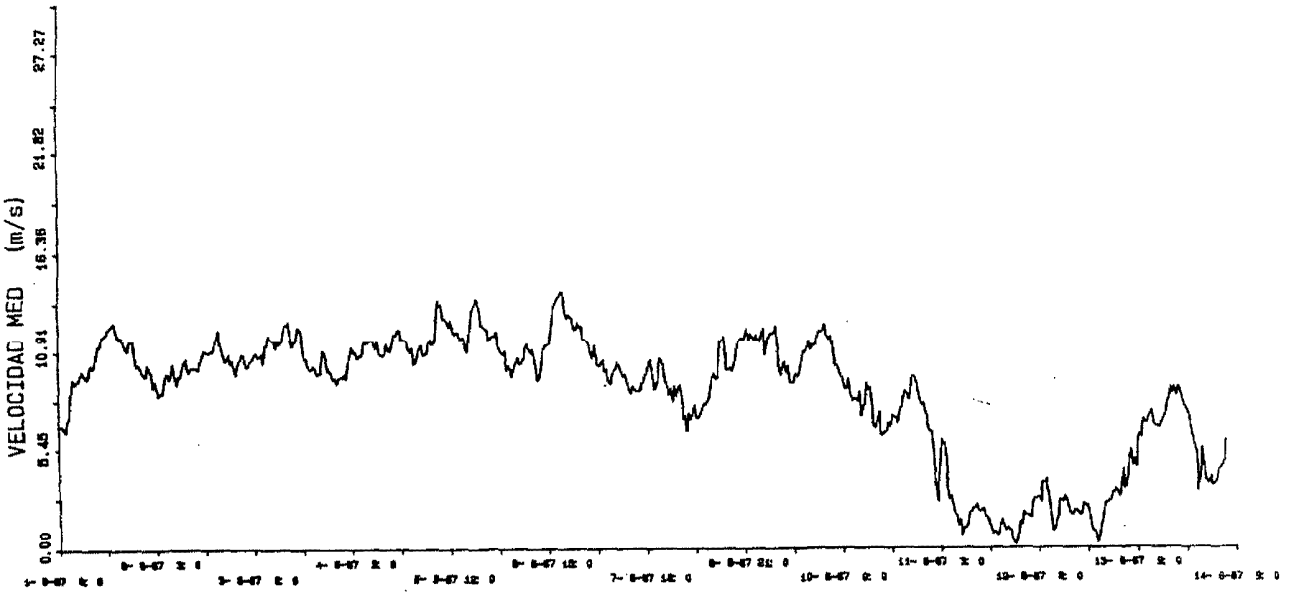


Figura 5.1-22

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
25- 6-87 a 30- 6-87 (287 datos)

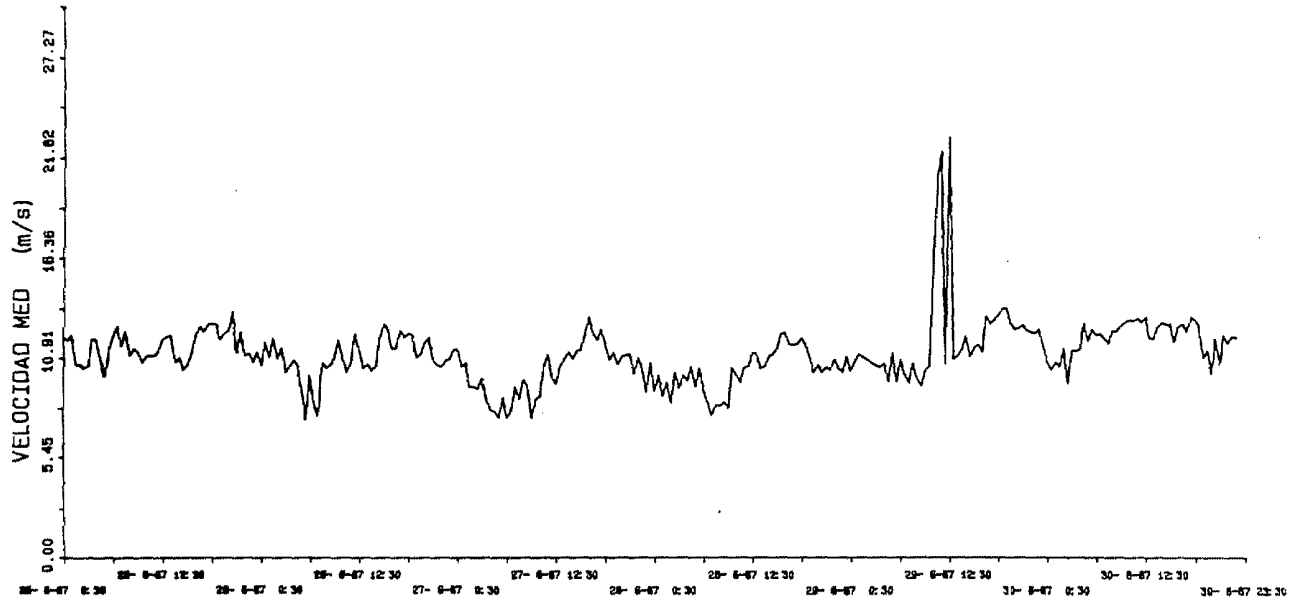


Figura 5.1-23

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
1- 7-87 a 9- 7-87 (409 datos)

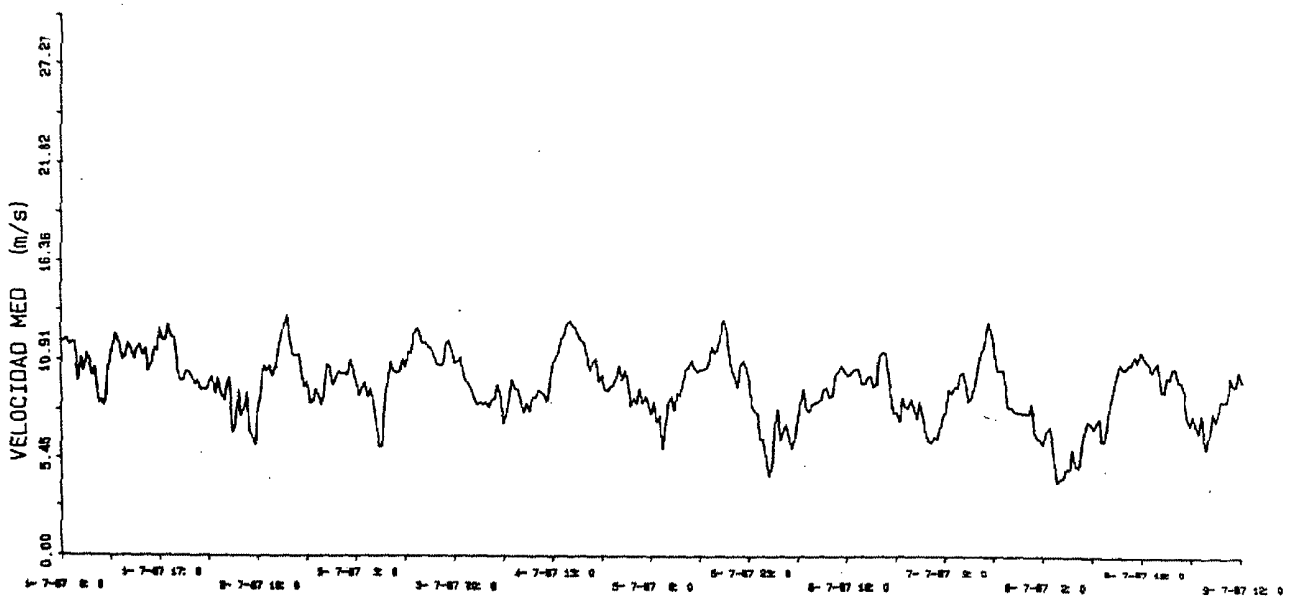


Figura 5.1-24

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
11- 7-87 a 31- 7-87 (984 datos)

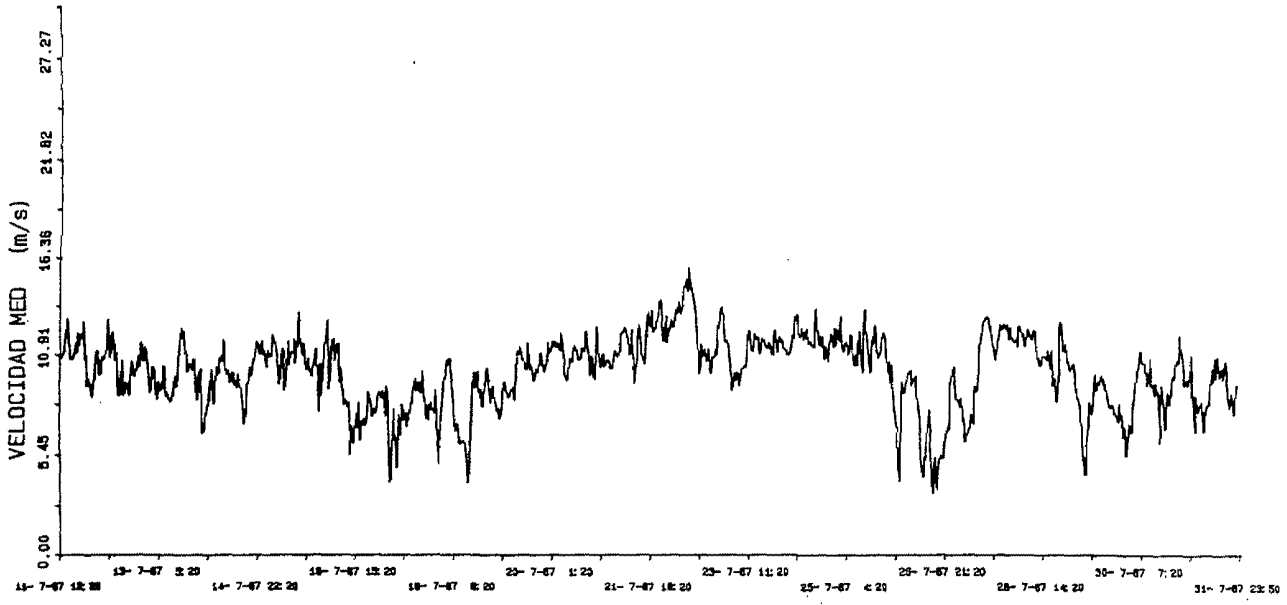


Figura 5.1-25

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
1- 8-87 a 7- 8-87 (335 datos)

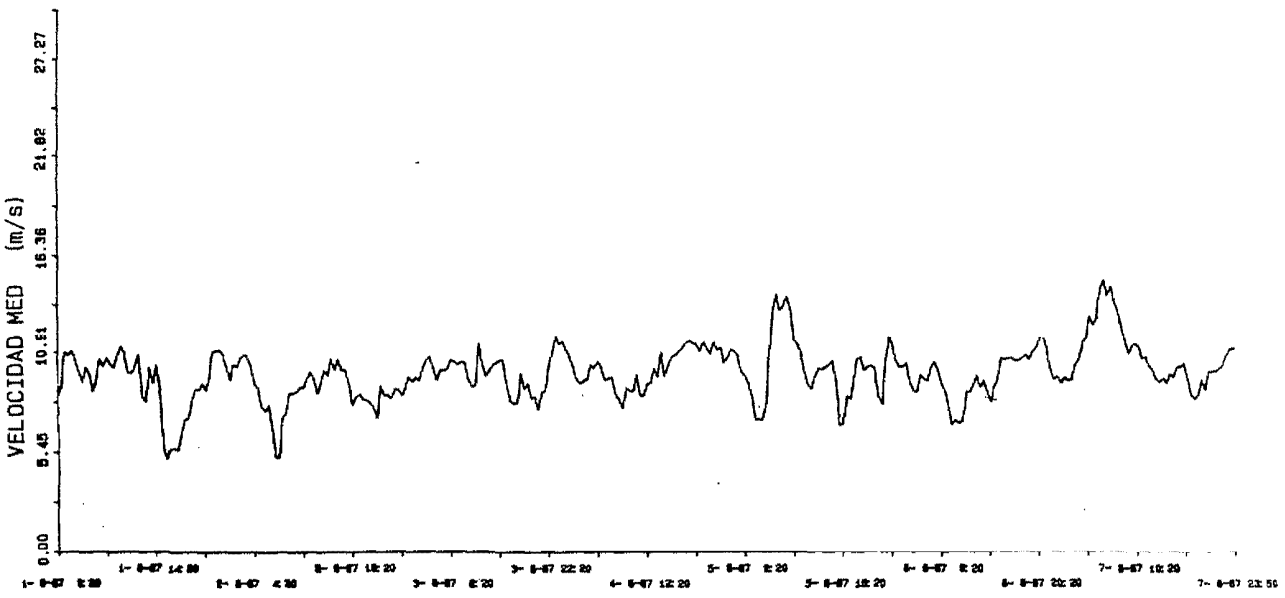


Figura 5.1-26

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos)
1- 9-87 a 9- 9-87 (402 datos)

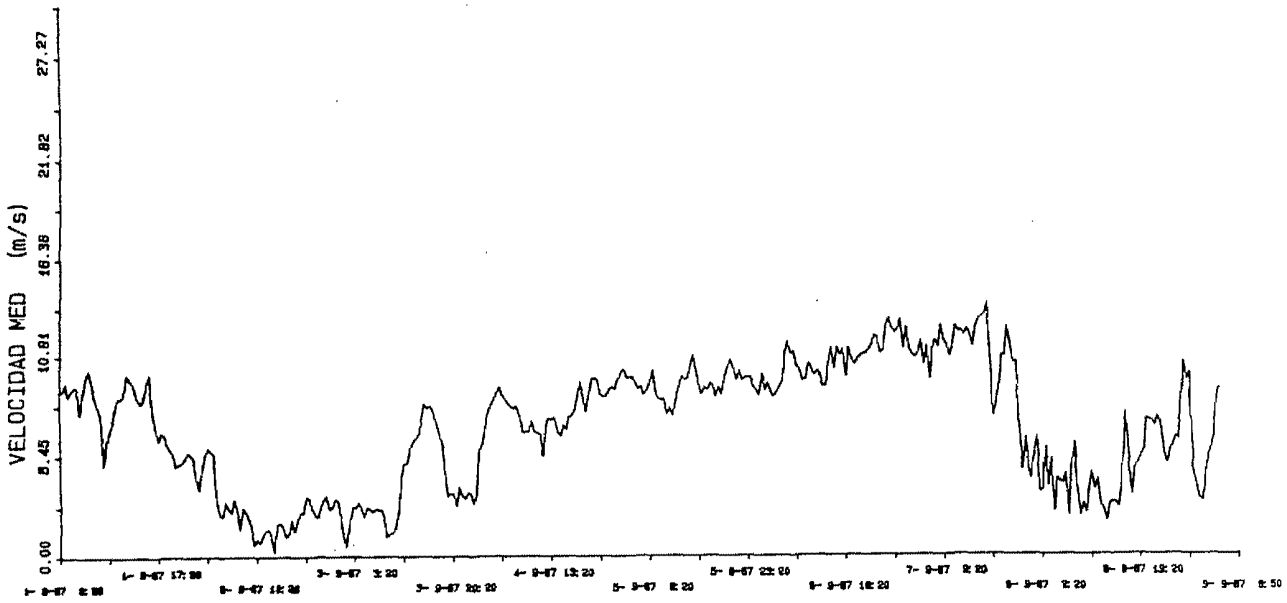


Figura 5.1-27

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
9- 9-87 a 30- 9-87 (519 datos)

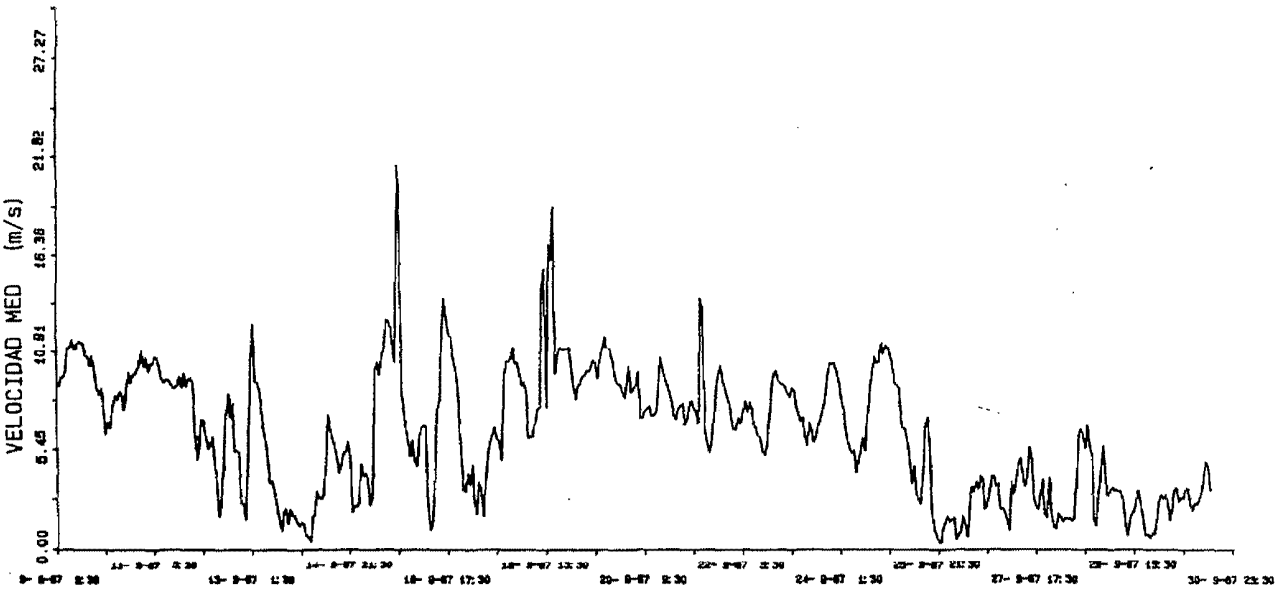


Figura 5.1-28

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
1-10-87 a 23-10-87 (543 datos)

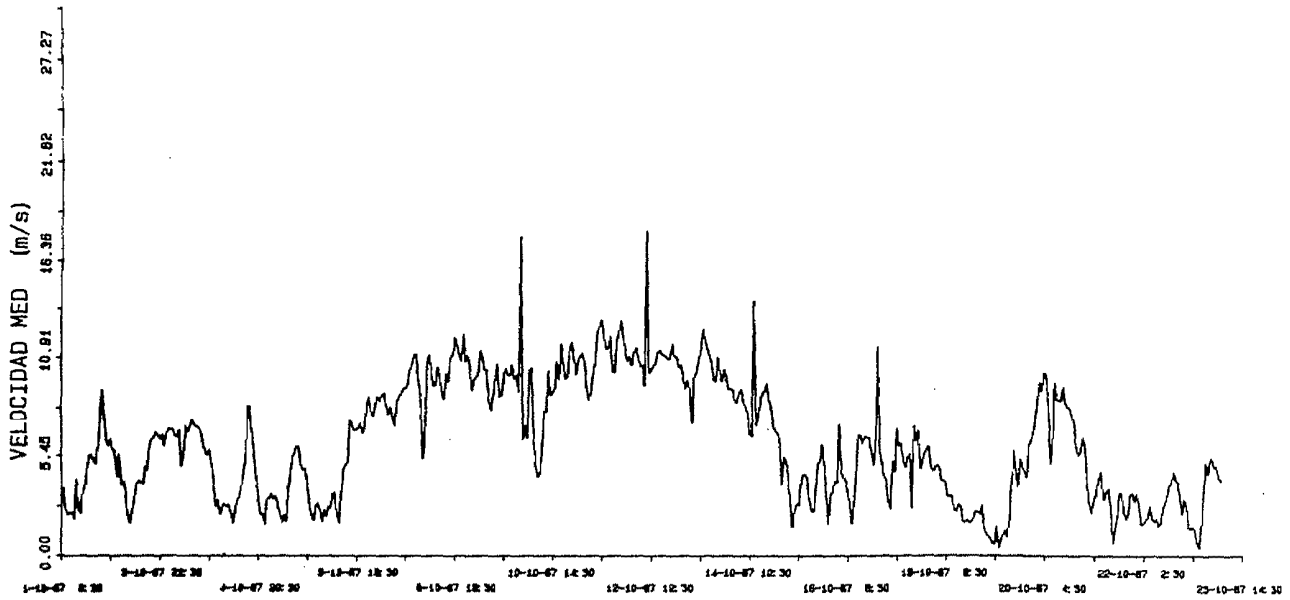


Figura 5.1-29

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
28-10-87 a 31-10-87 (168 datos)

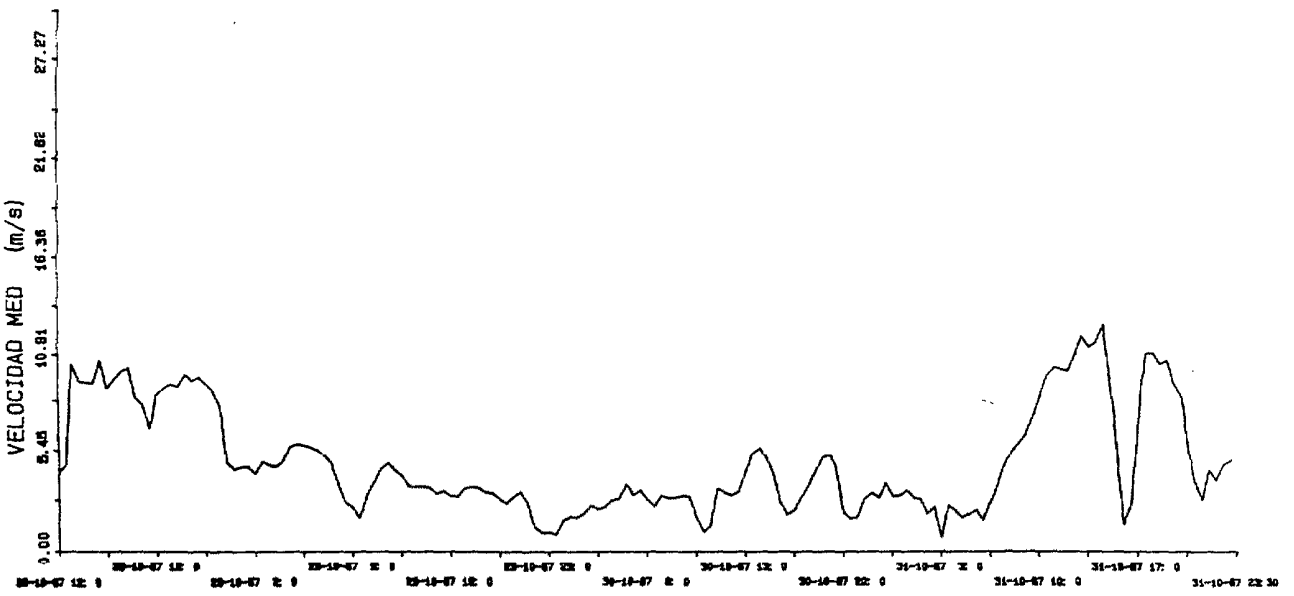


Figura 5.1-30

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-11-87 a 30-11-87 (1440 datos)

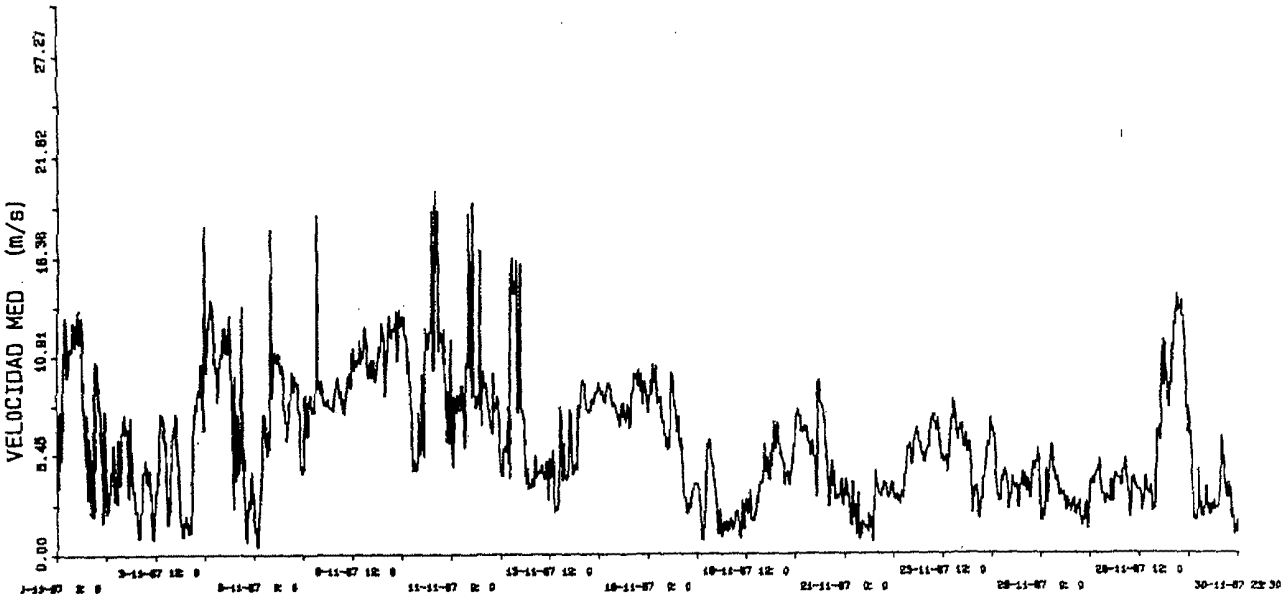


Figura 5.1-31

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-12-87 a 27-12-87 (1273 datos)

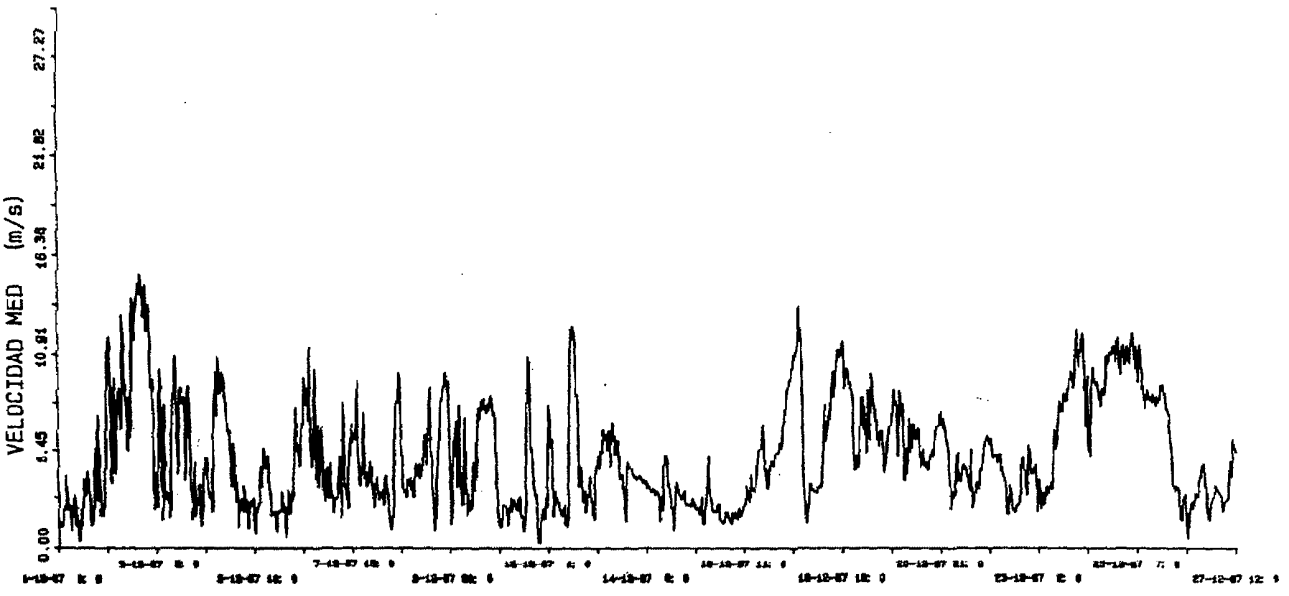


Figura 5.1-32

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
13- 1-87 a 31- 1-87 (888 datos)

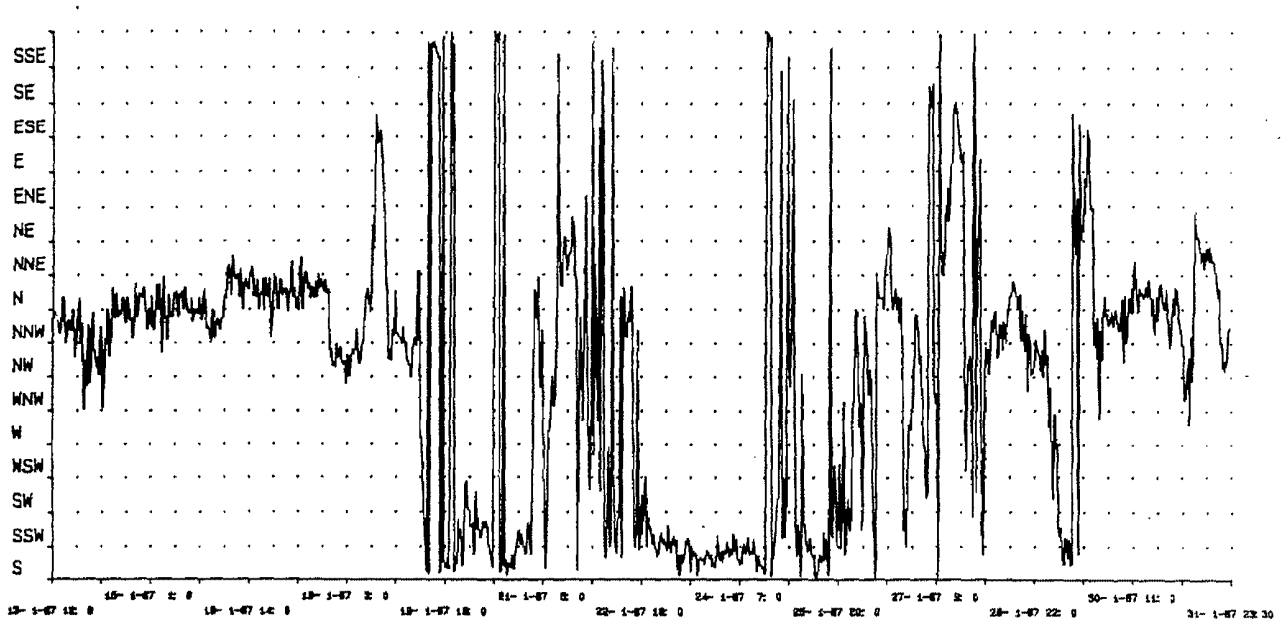


Figura 5.1-33

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 2-87 a 28- 2-87 (1344 datos)

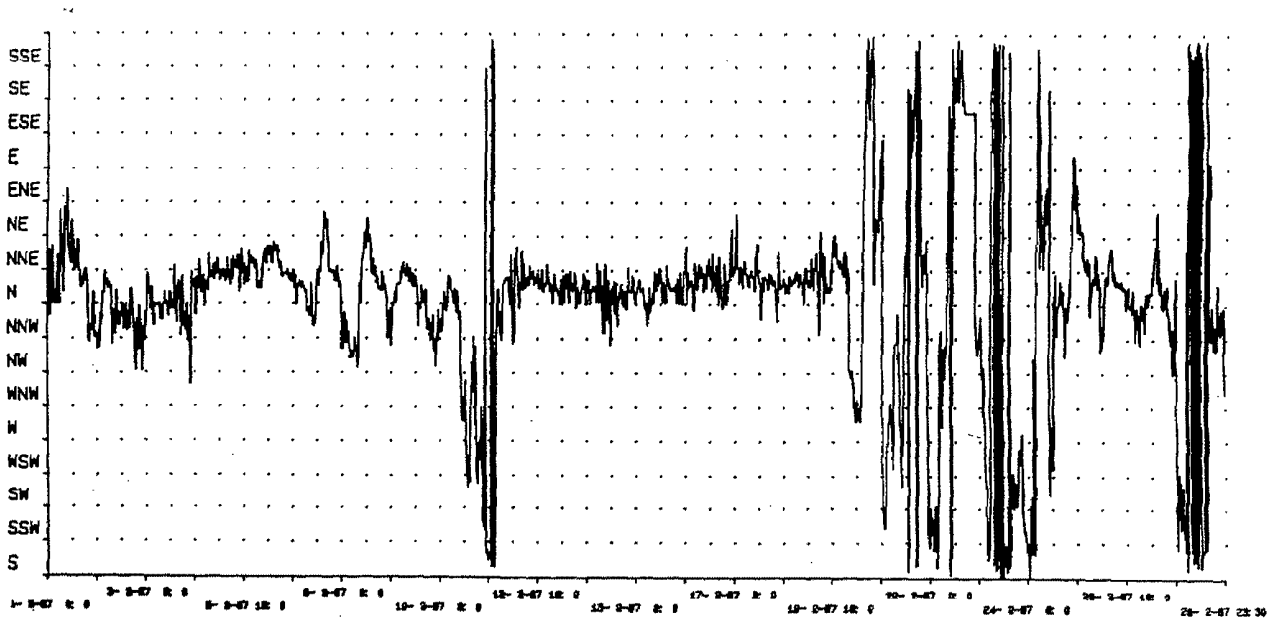


Figura 5.1-34

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 3-87 a 31- 3-87 (1488 datos)

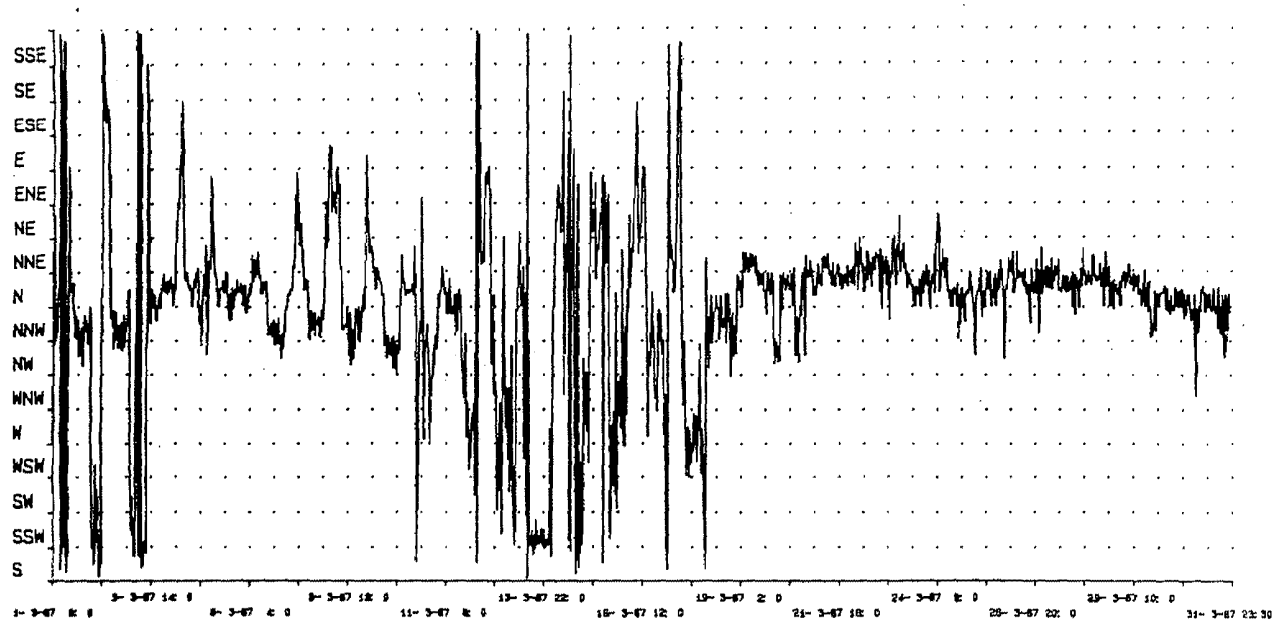


Figura 5.1-35

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
2- 4-87 a 30- 4-87 (1368 datos)

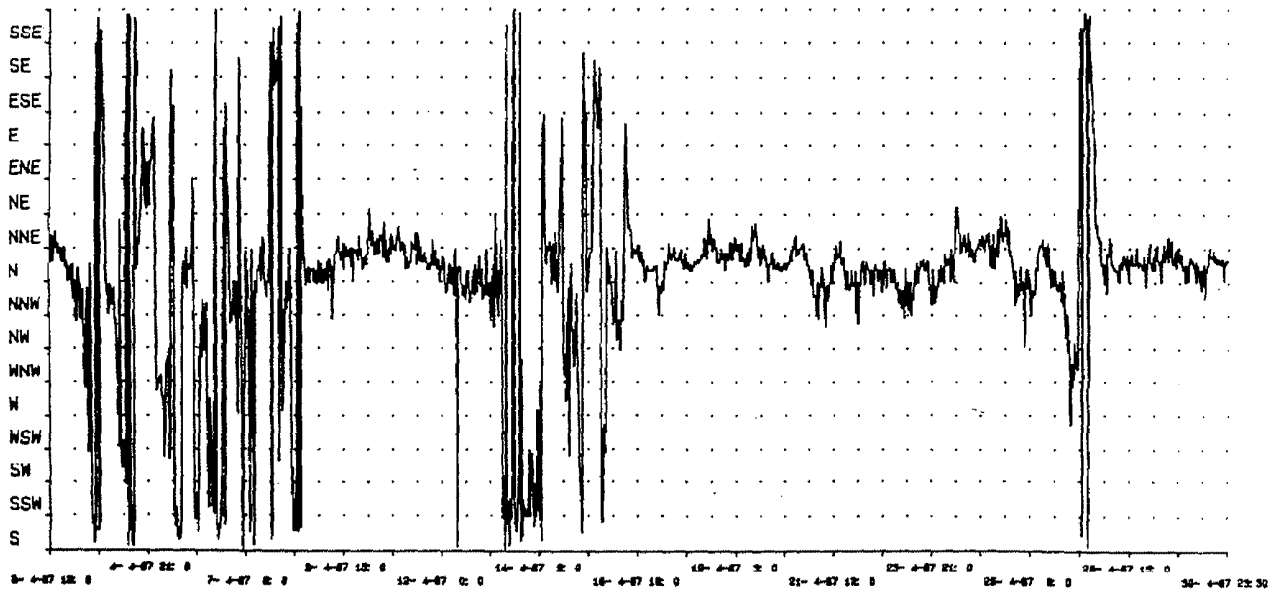


Figura 5.1-36

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 5-87 a 31- 5-87 (1488 datos)

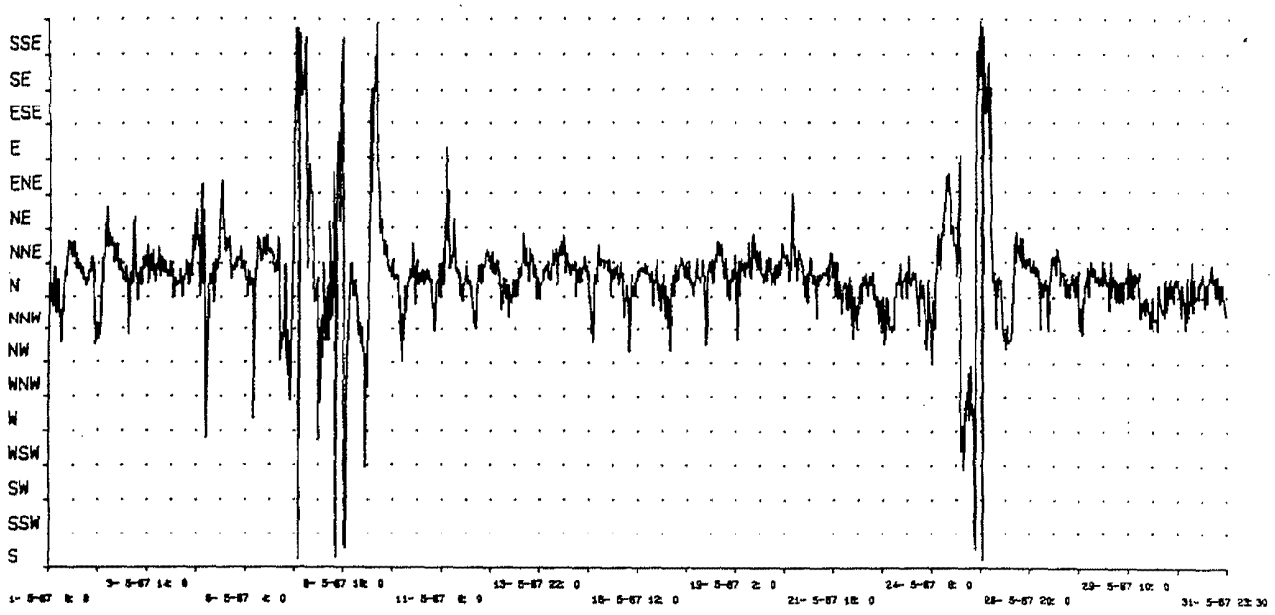


Figura 5.1-37

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 6-87 a 14- 6-87 (643 datos)

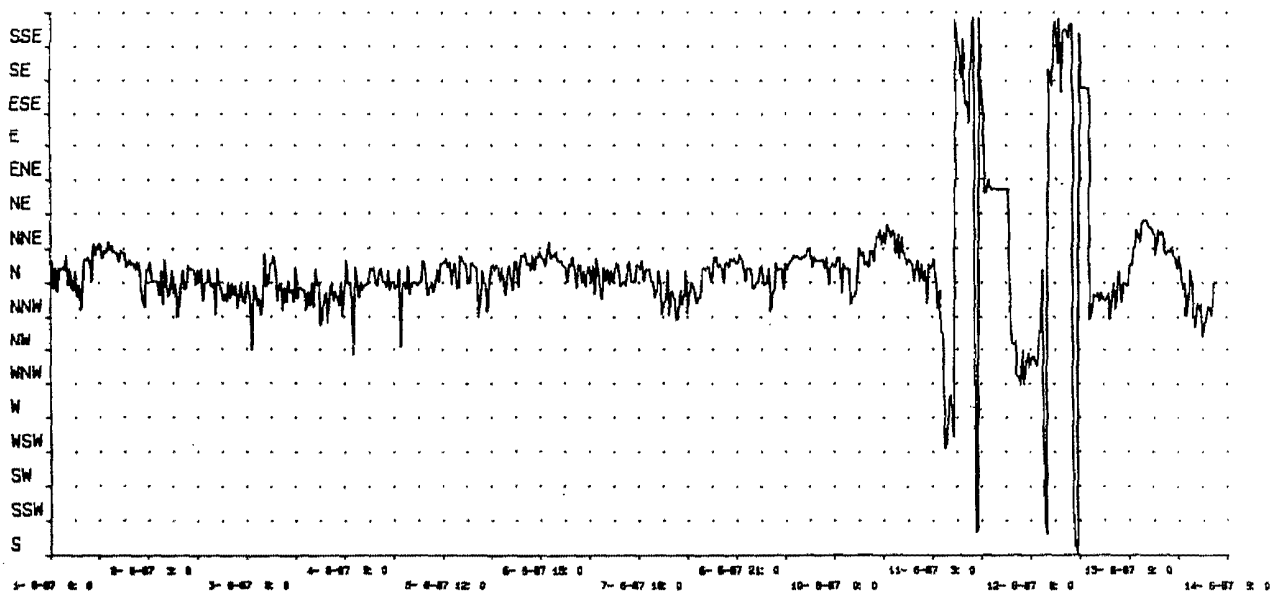


Figura 5.1-38

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
25- 6-87 a 30- 6-87 (287 datos)

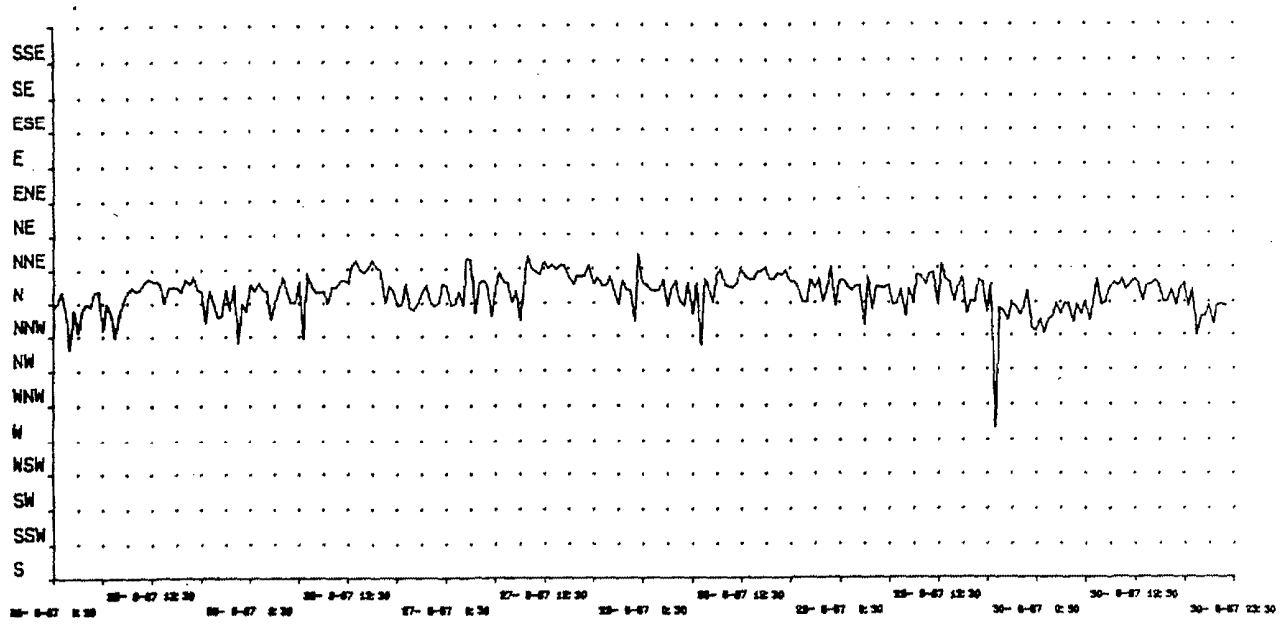


Figura 5.1-39

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
1- 7-87 a 9- 7-87 (409 datos)

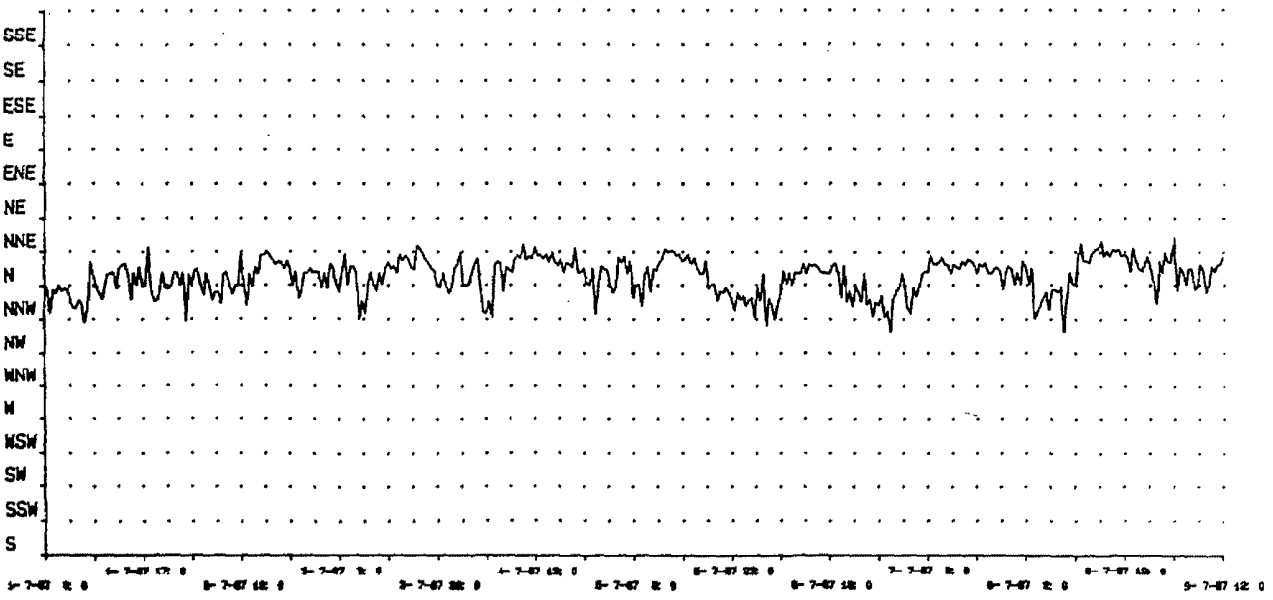


Figura 5.1-40

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
11- 7-87 a 31- 7-87 (984 datos)

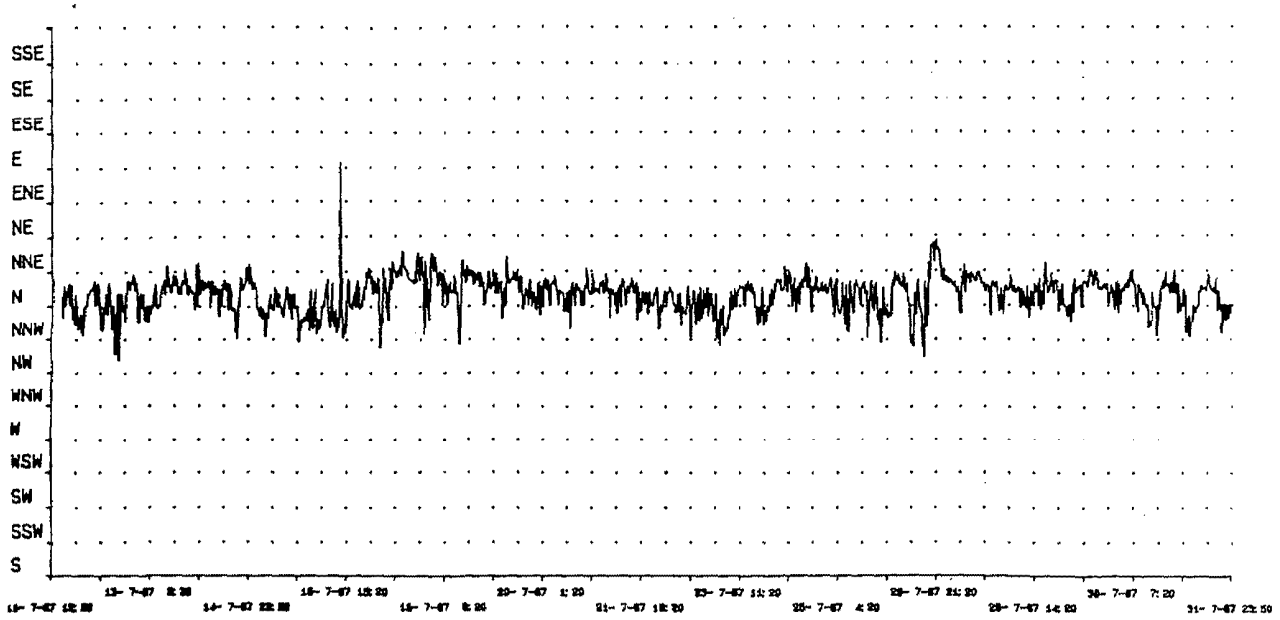


Figura 5.1-41

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
1- 8-87 a 7- 8-87 (336 datos)

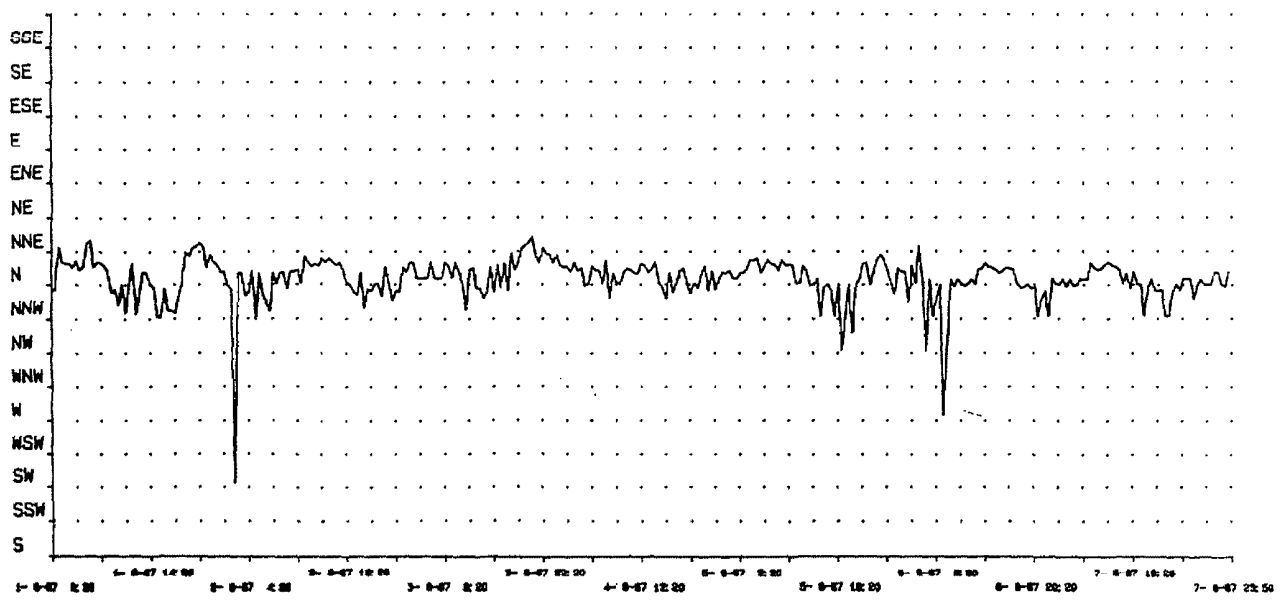


Figura 5.1-42

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos)
1- 9-87 a 9- 9-87 (402 datos)

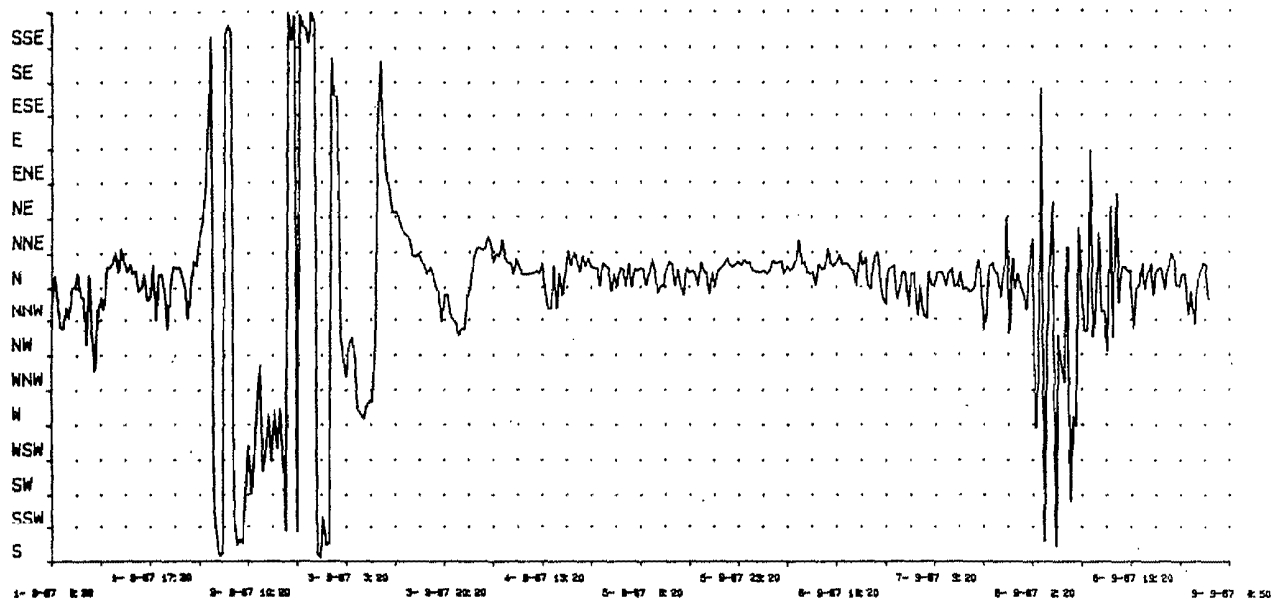


Figura 5.1-43

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
9- 9-87 a 30- 9-87 (519 datos)

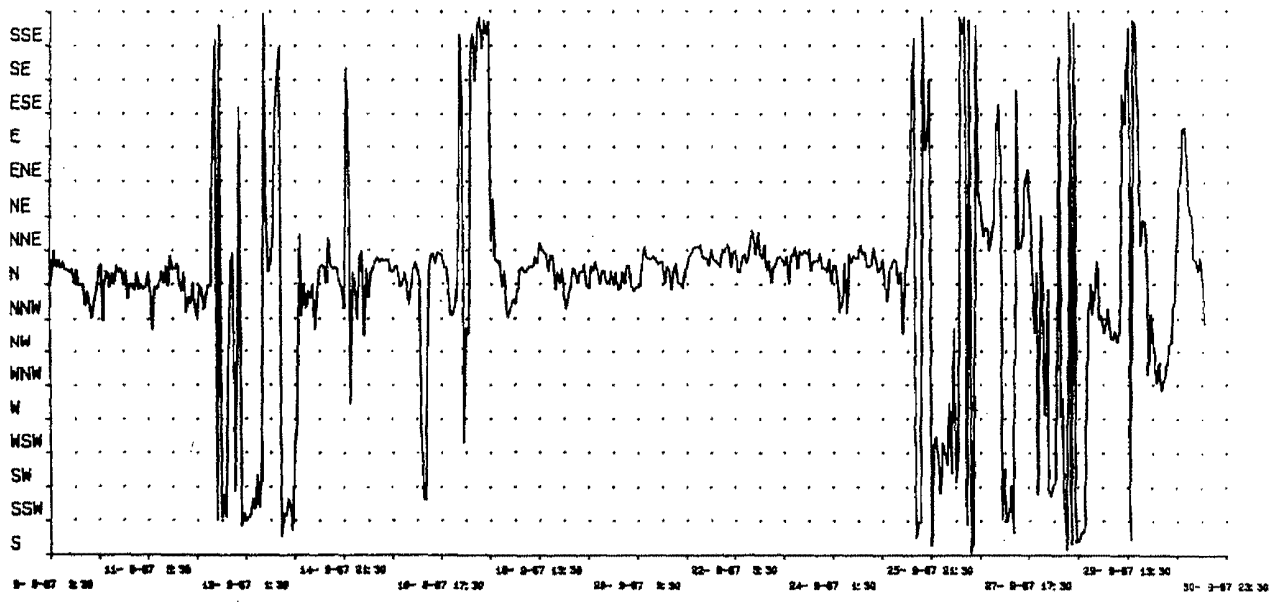


Figura 5.1-44

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
1-10-87 a 23-10-87 (543 datos)

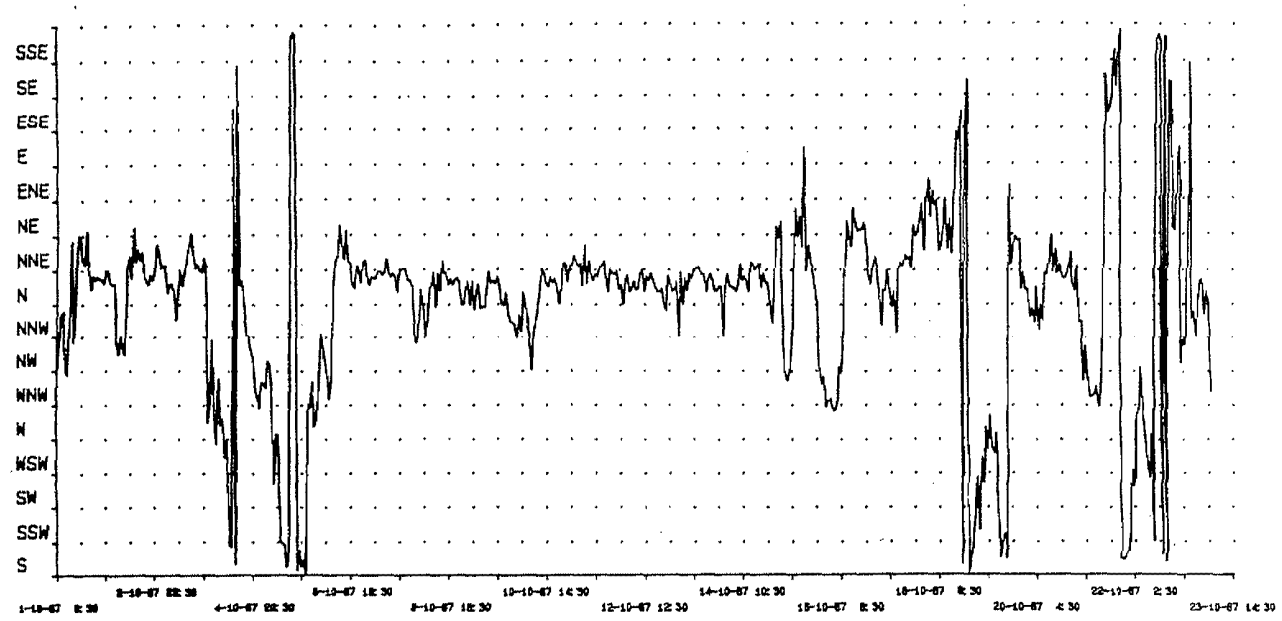


Figura 5.1-45

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
28-10-87 a 31-10-87 (168 datos)

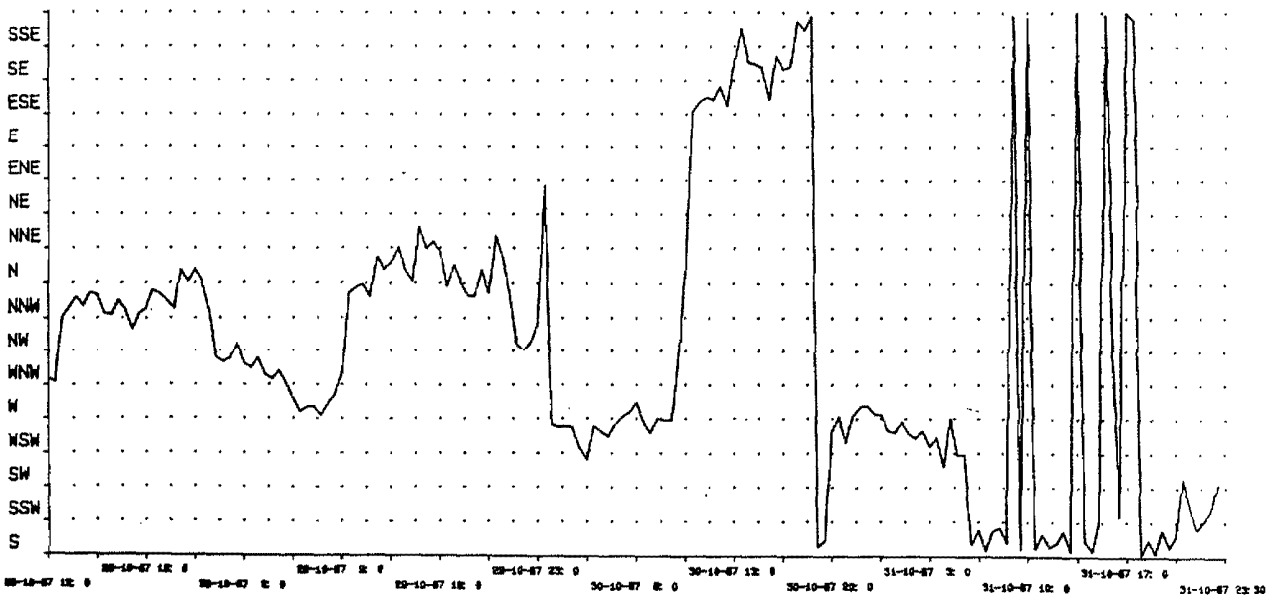


Figura 5.1-46

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-11-87 a 30-11-87 (1440 datos)

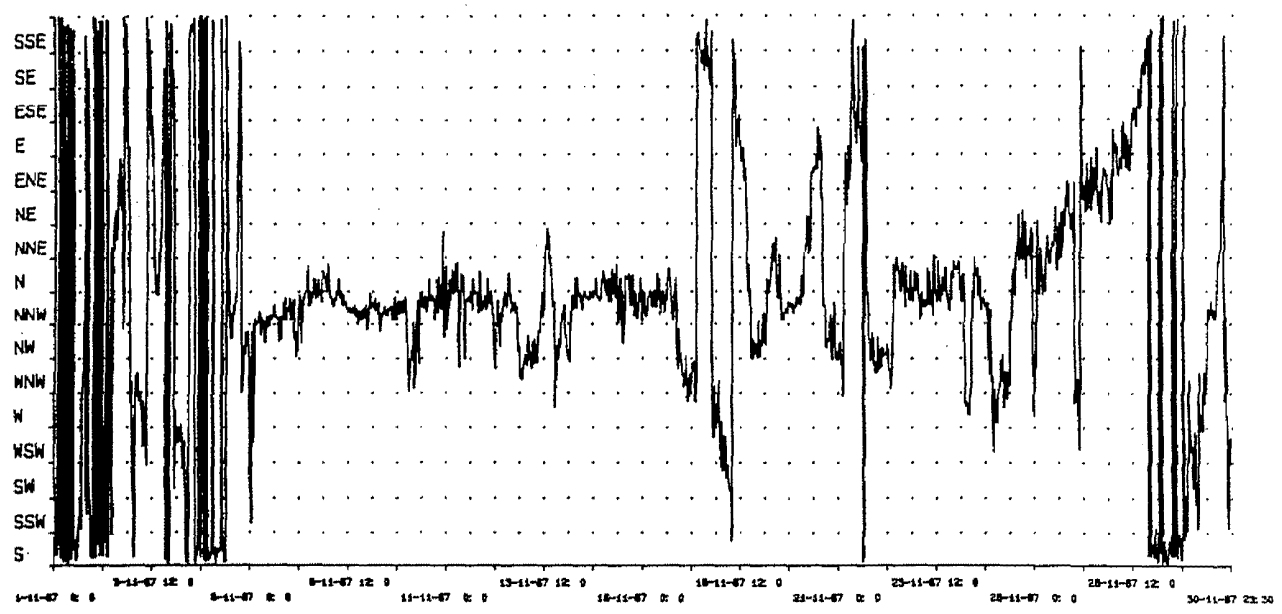


Figura 5.1-47

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-12-87 a 27-12-87 (1273 datos)

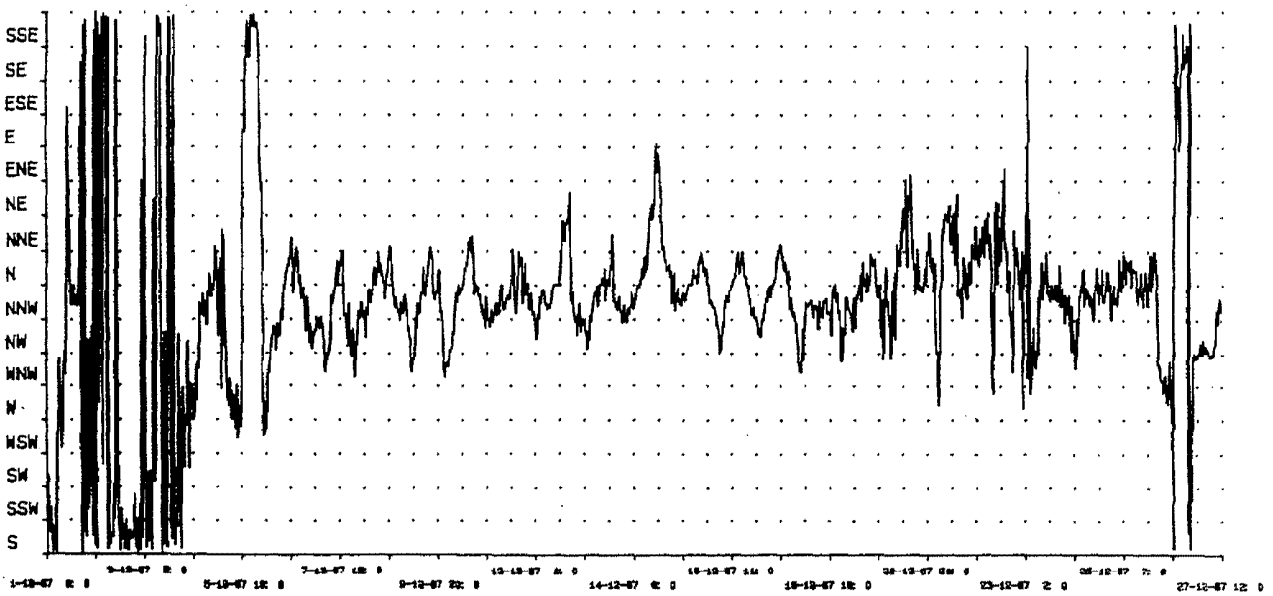


Figura 5.1-48

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
13- 1-87 a 31- 1-87 (888 datos)

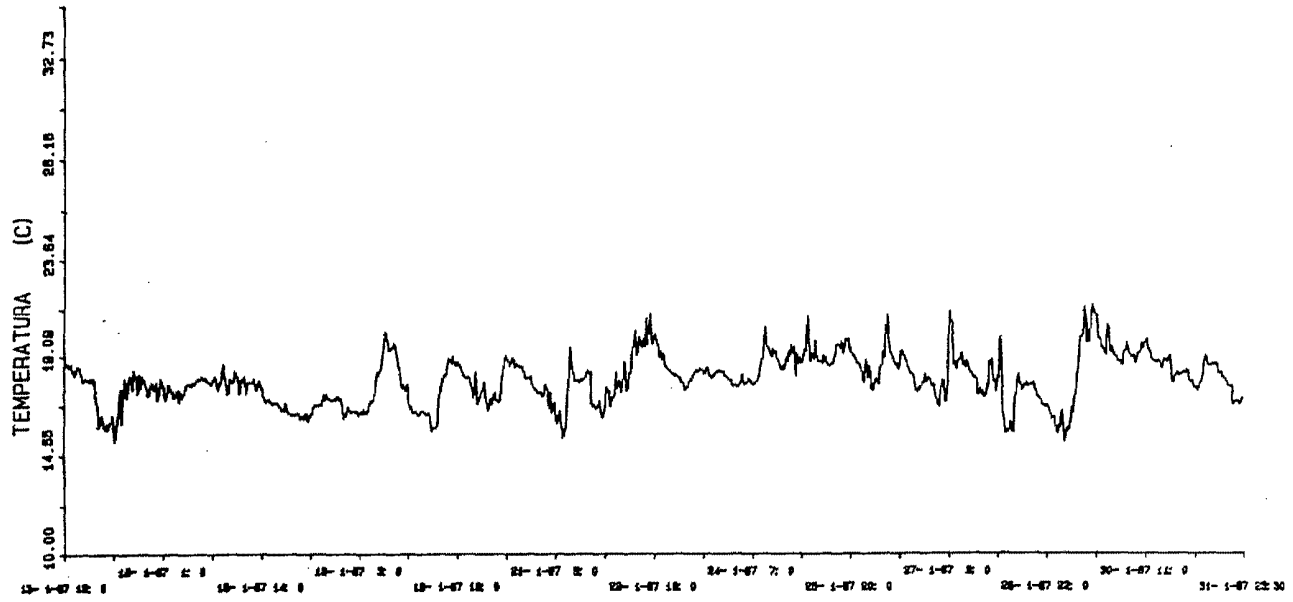


Figura 5.1-49

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 2-87 a 28- 2-87 (1344 datos)

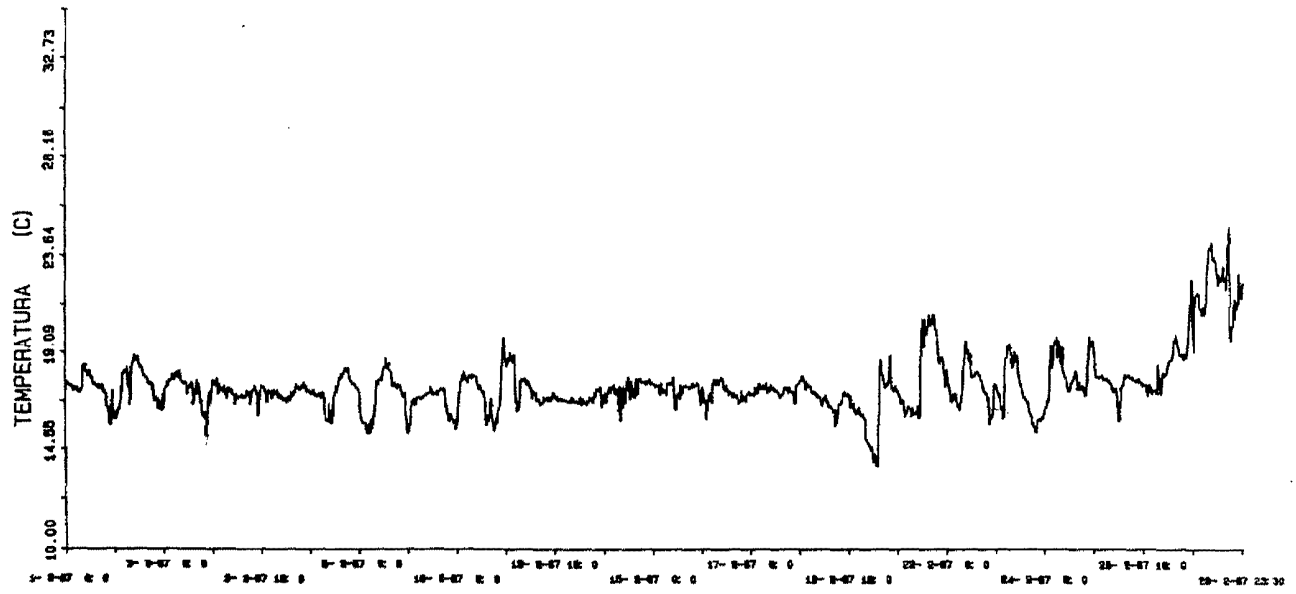


Figura 5.1-50

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 3-87 a 31- 3-87 (1488 datos)

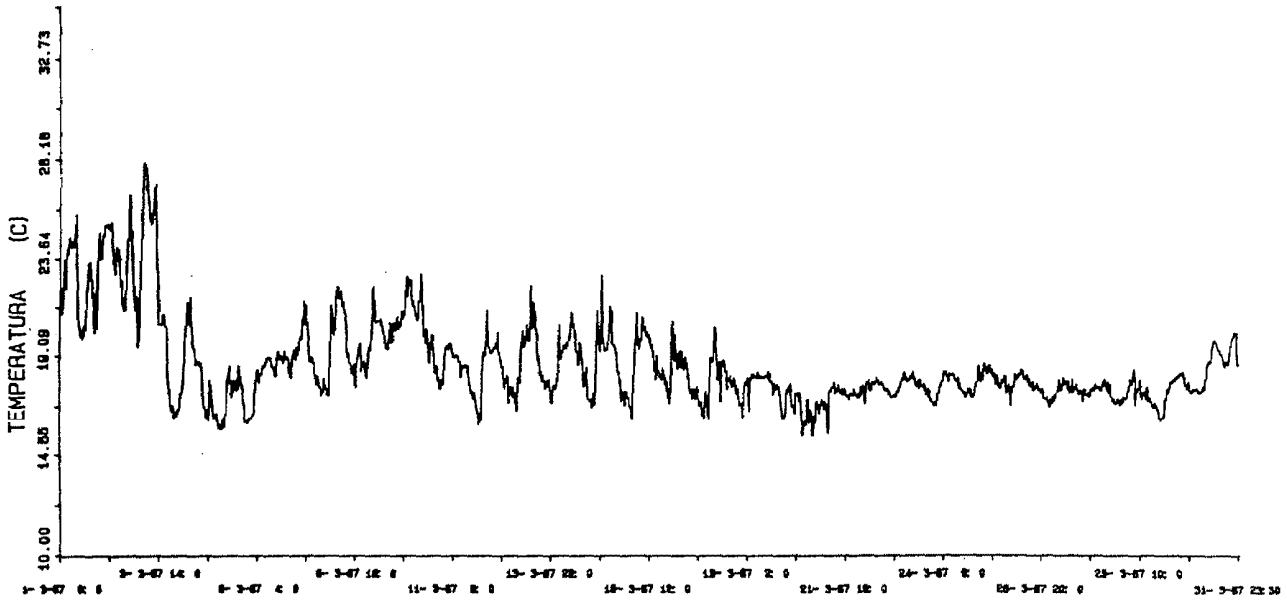


Figura 5.1-51

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
2- 4-87 a 30- 4-87 (1368 datos)

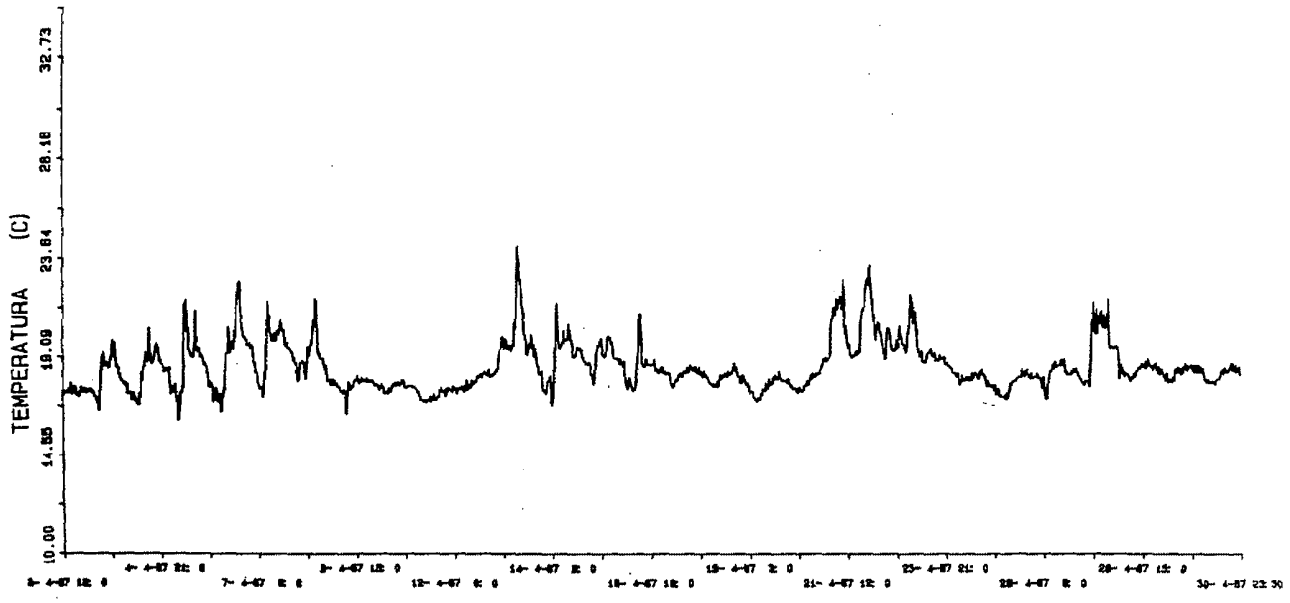


Figura 5.1-52

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 5-87 a 31- 5-87 (1488 datos)

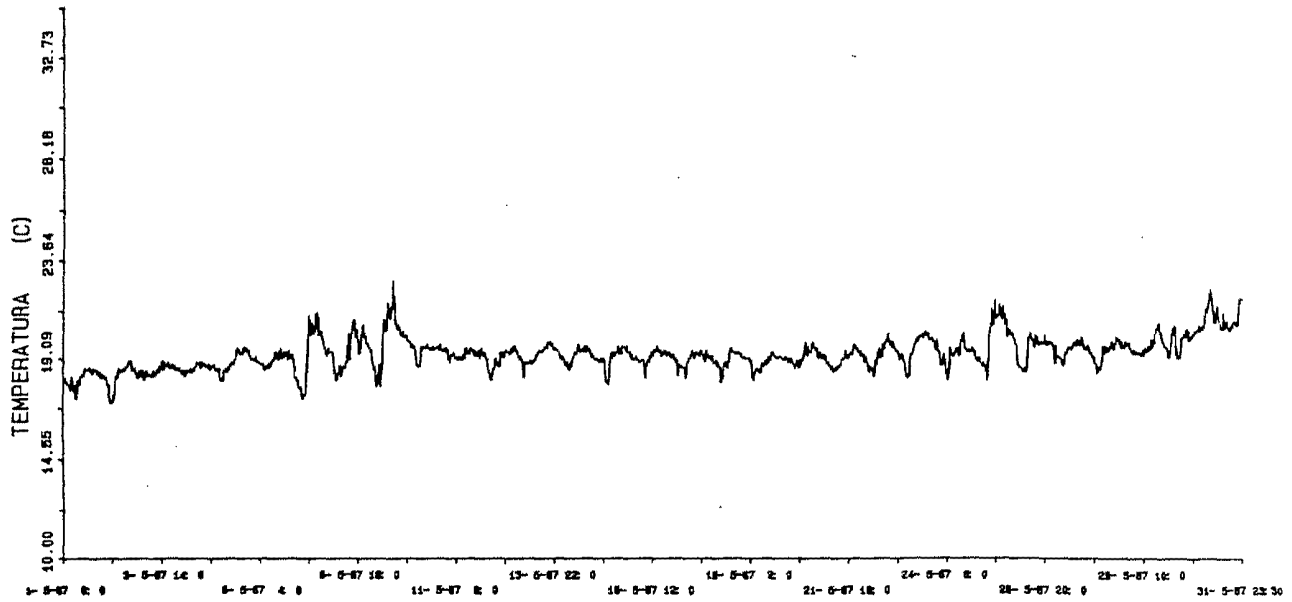


Figura 5.1-53

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 6-87 a 14- 6-87 (643 datos)

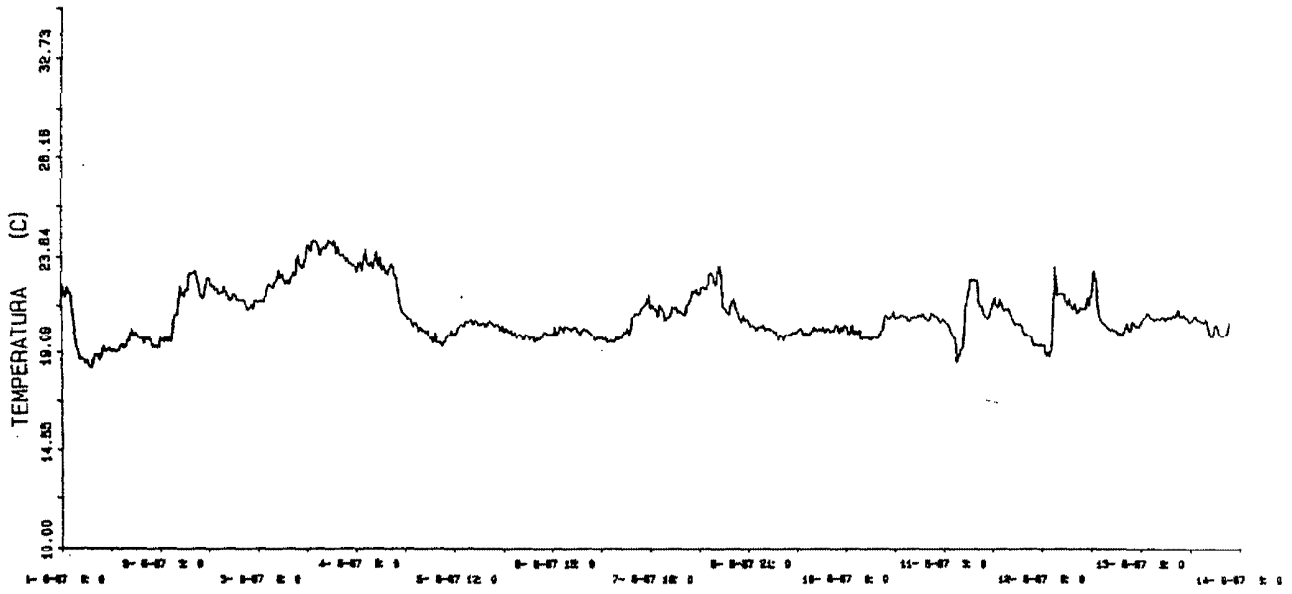


Figura 5.1-54

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
25- 6-87 a 30 6-87 (287 datos)

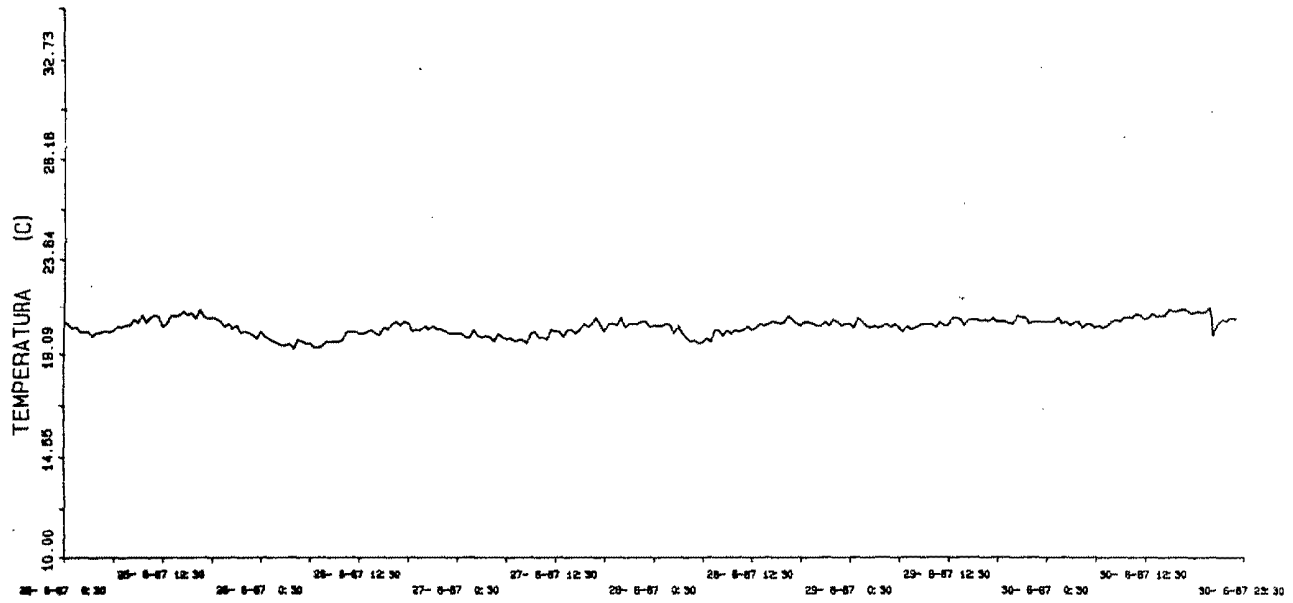


Figura 5.1-55

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
1- 7-87 a 9- 7-87 (409 datos)

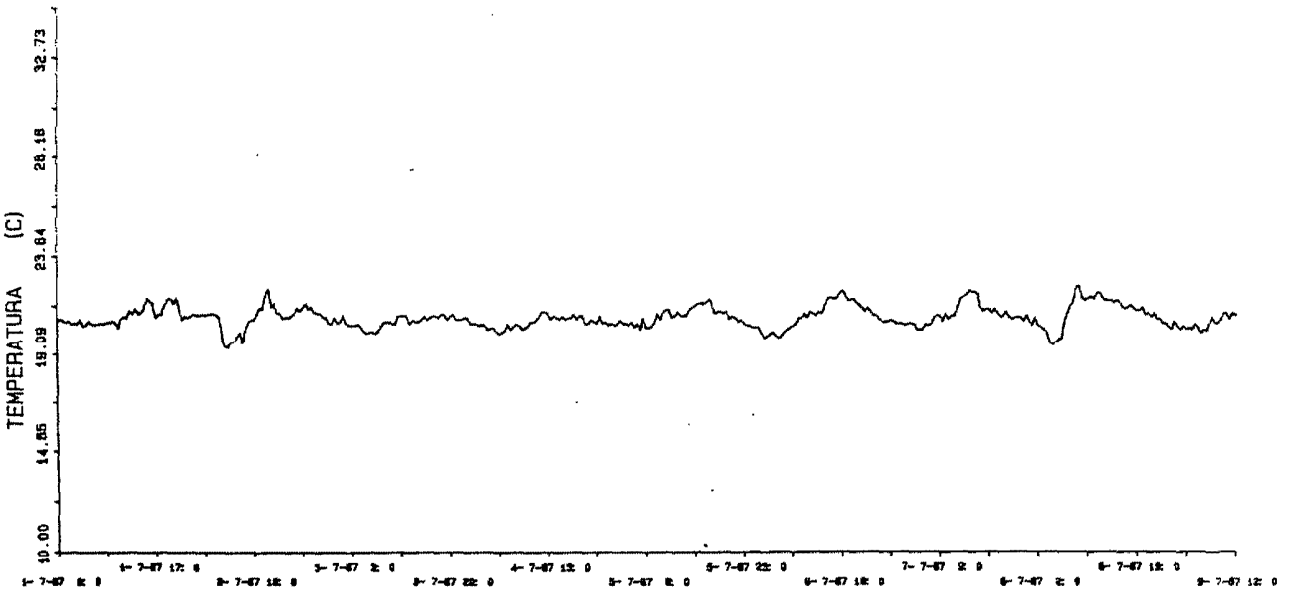


Figura 5.1-56

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
11- 7-87 a 31- 7-87 (984 datos)

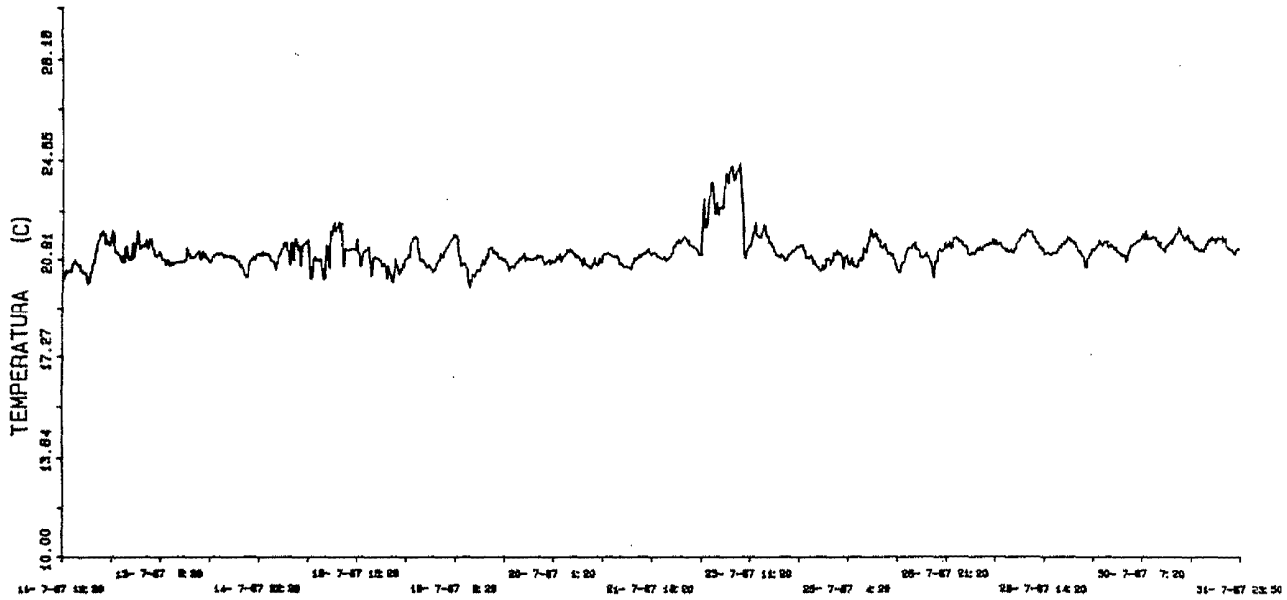


Figura 5.1-57

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
1- 8-87 a 4- 8-87 (192 datos)

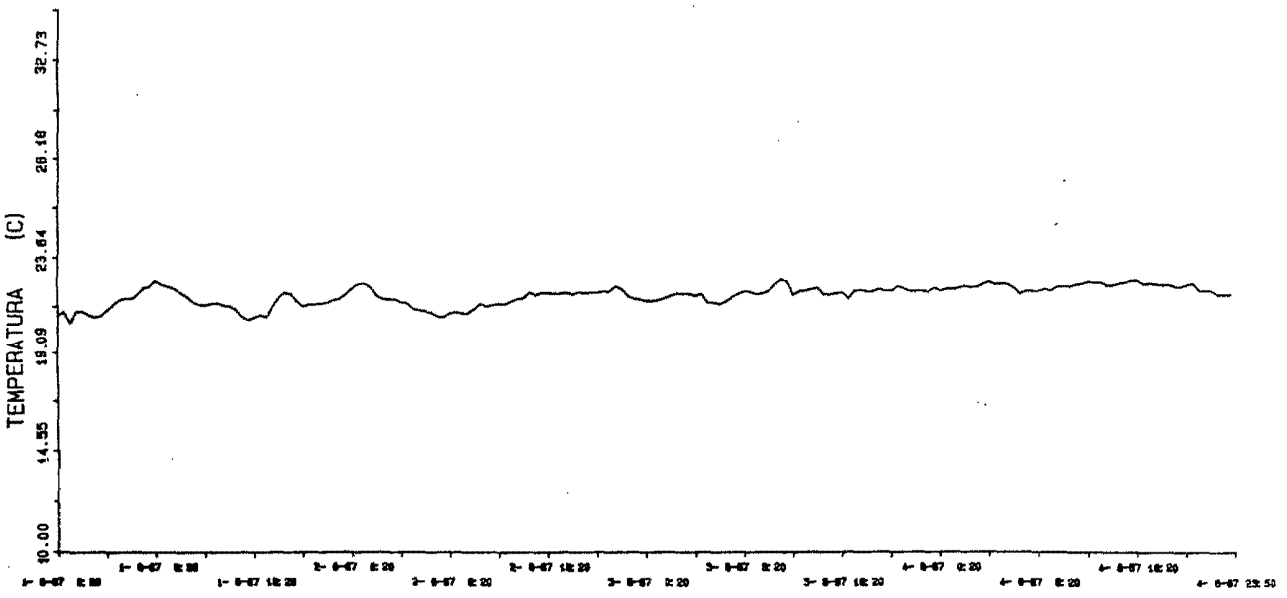


Figura 5.1-58

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

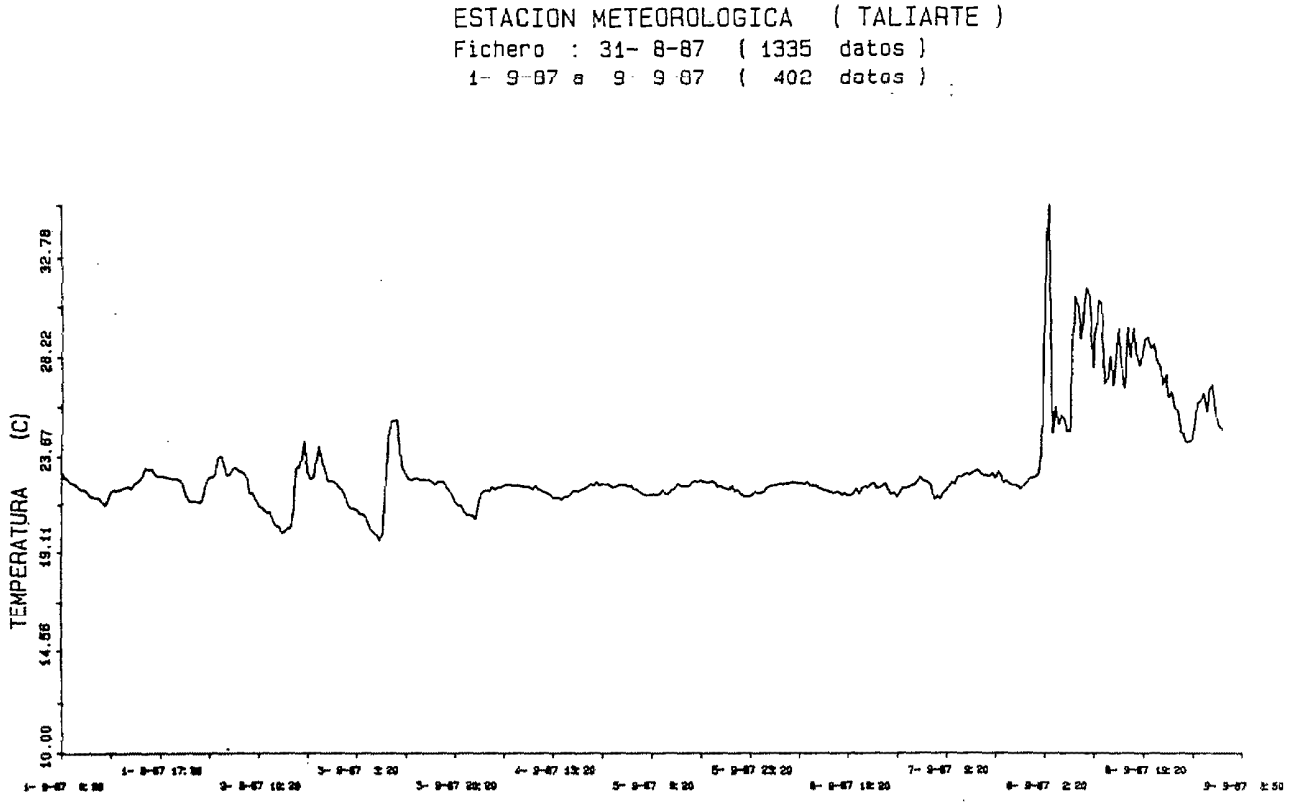


Figura 5.1-59

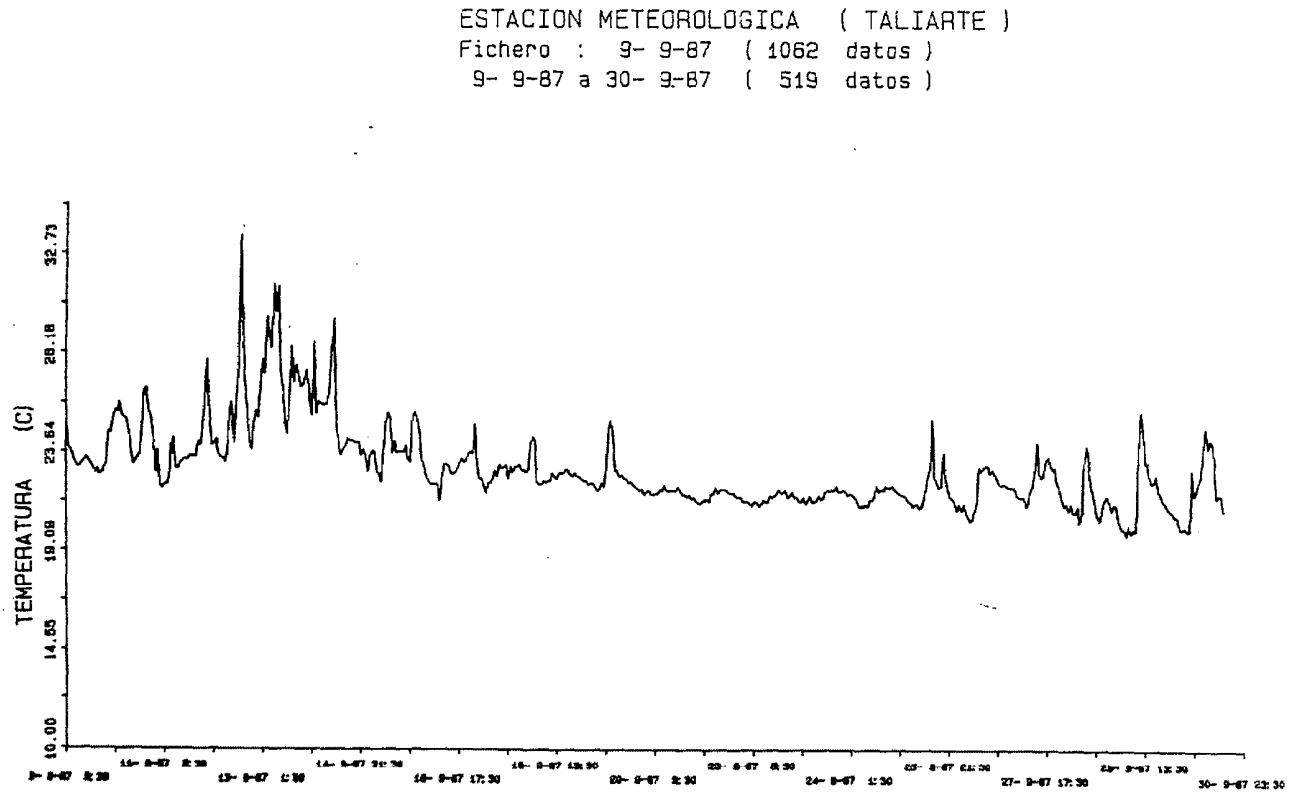


Figura 5.1-60

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
1-10-87 a 23-10-87 (543 datos)

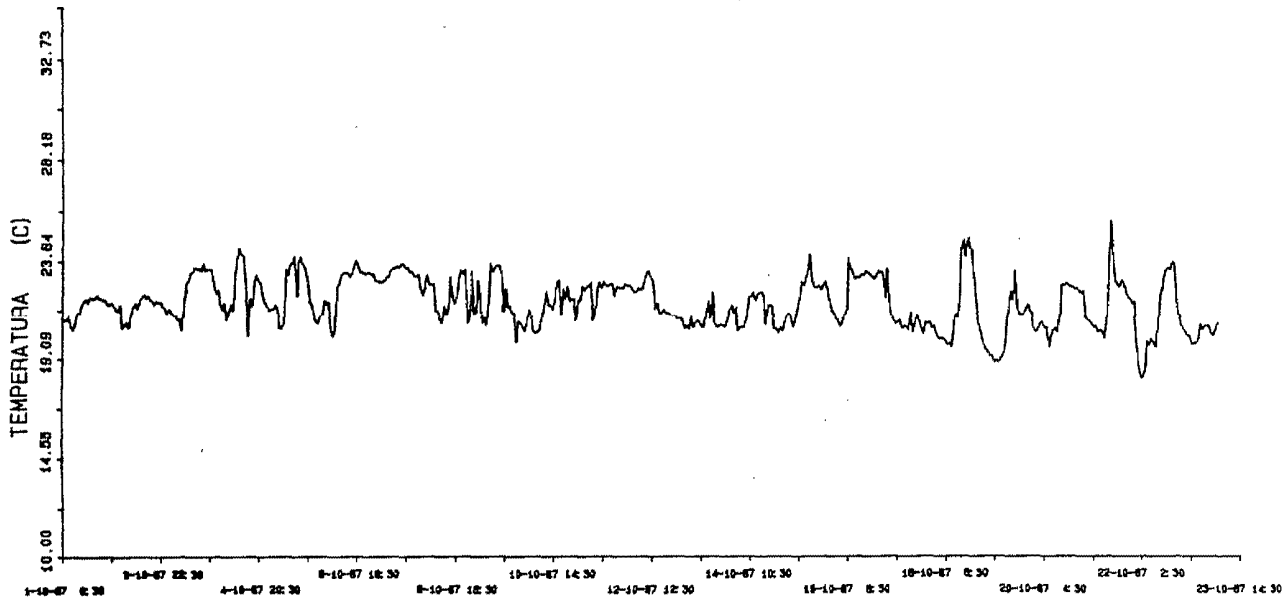


Figura 5.1-61

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
28-10-87 a 31-10-87 (168 datos)

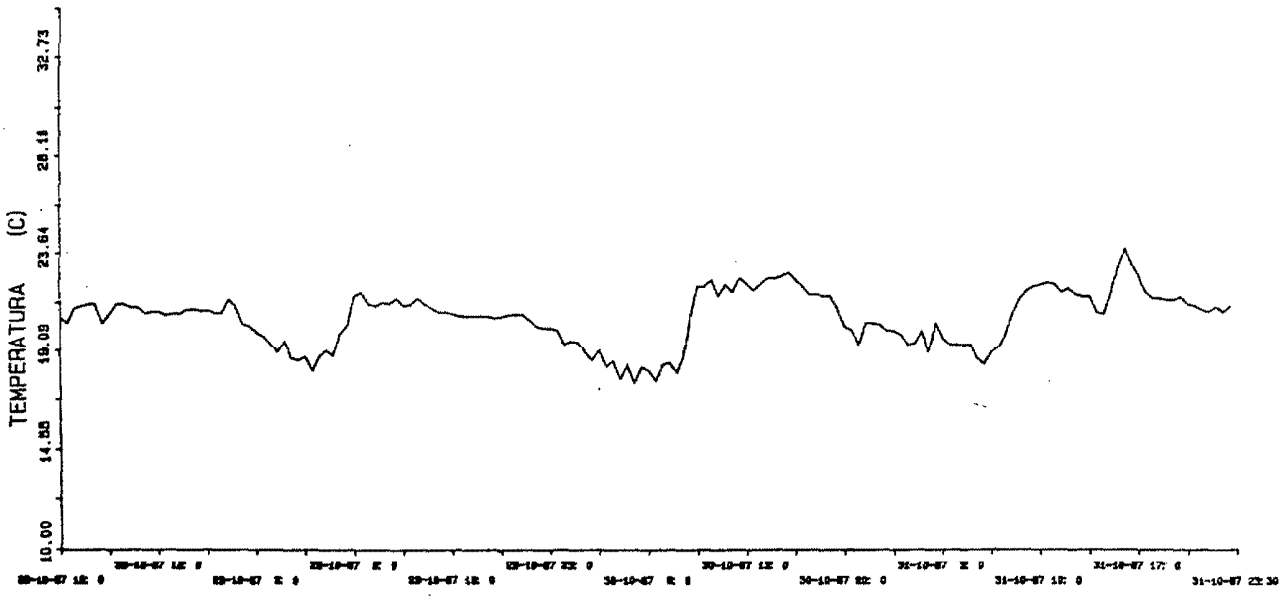


Figura 5.1-62

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-11-87 a 30-11-87 (1440 datos)

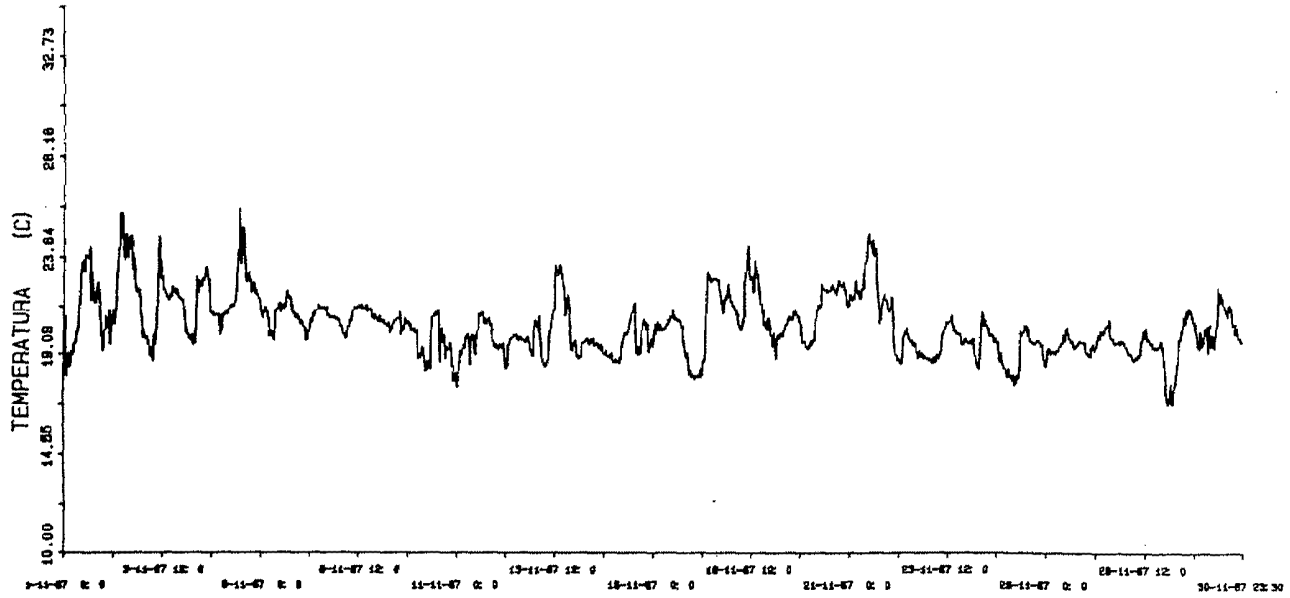


Figura 5.1-63

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-12-87 a 27-12-87 (1273 datos)

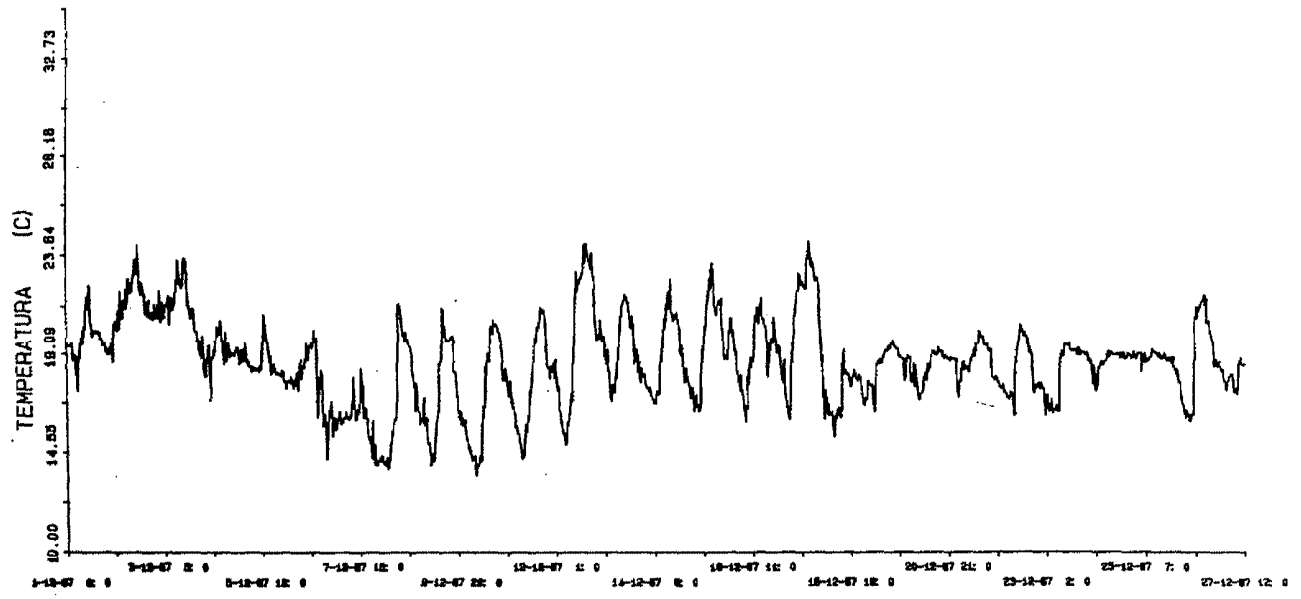
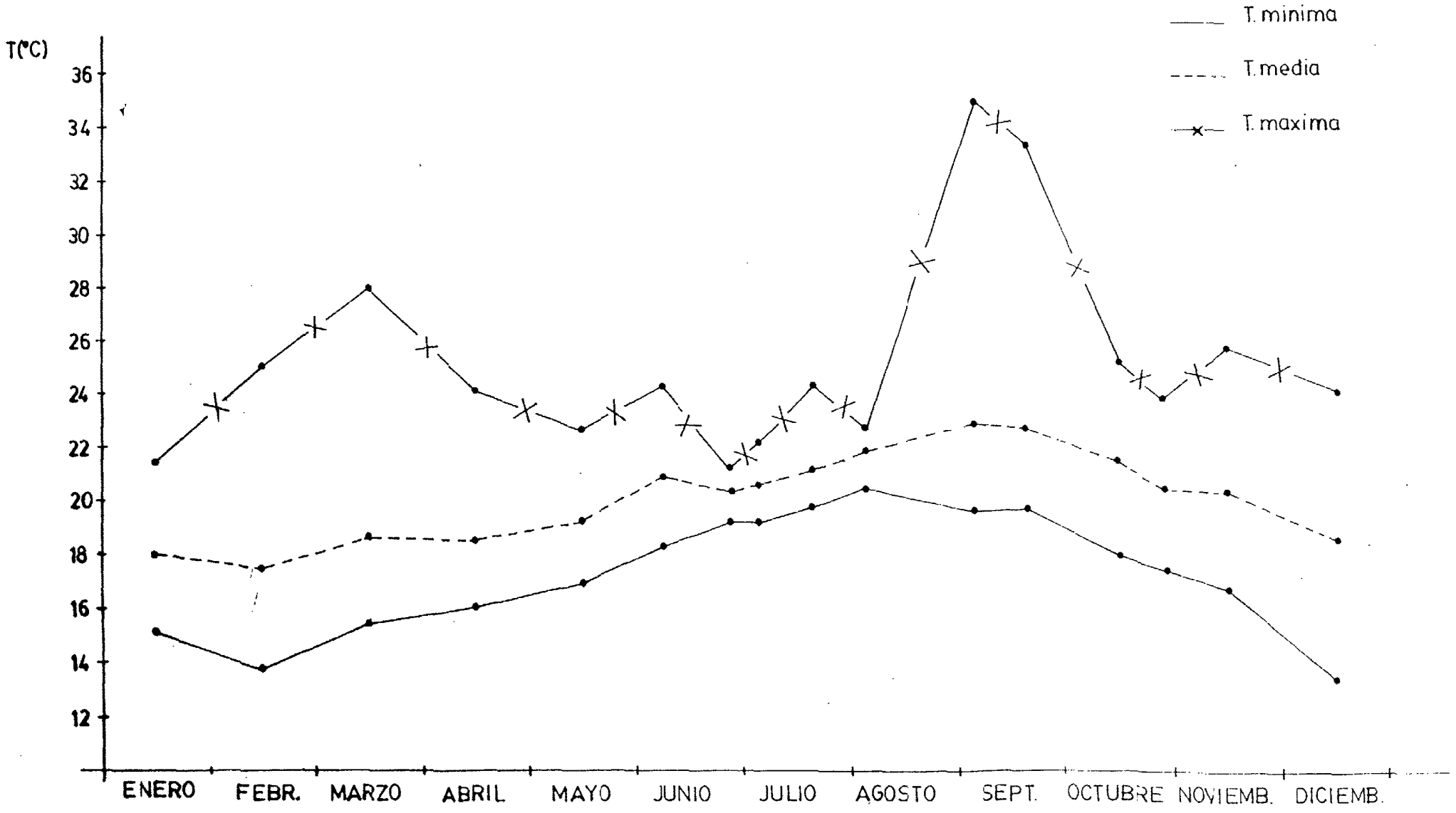


Figura 5.1-64

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

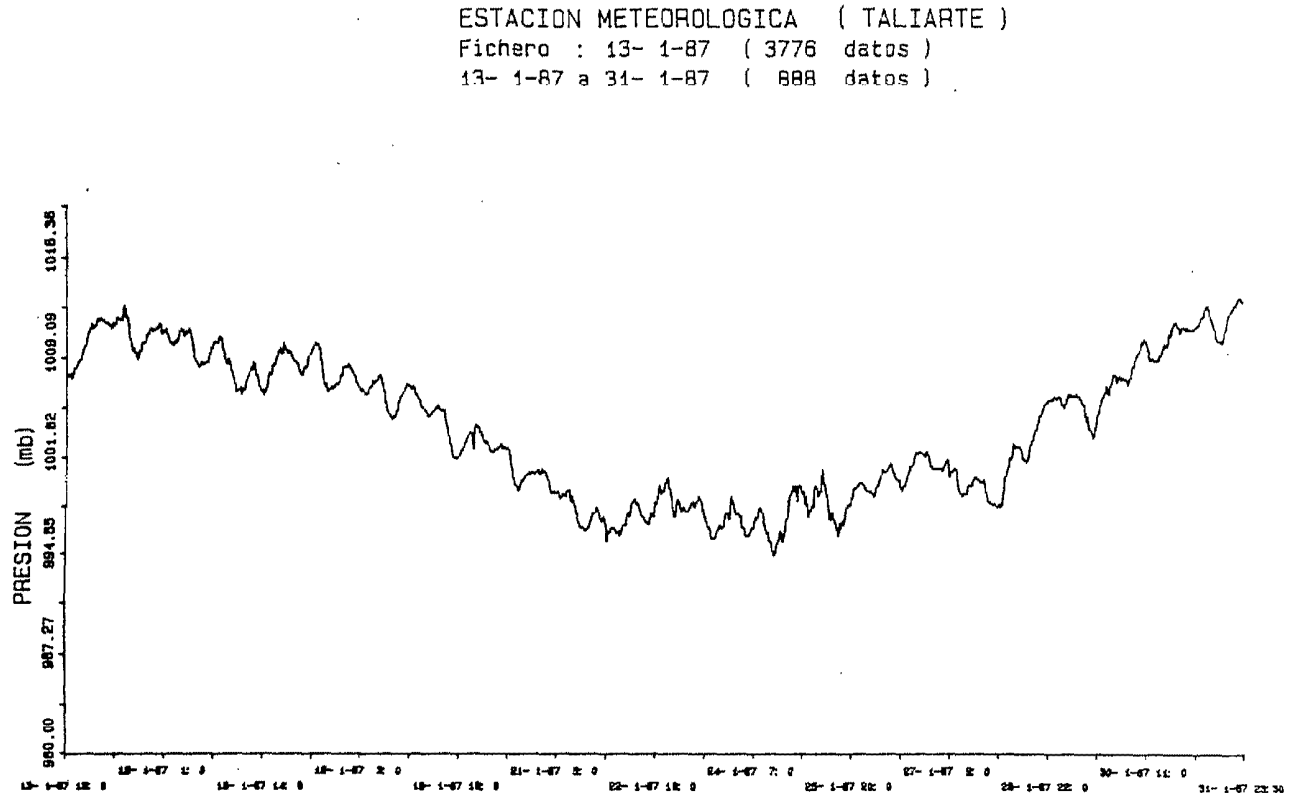


Figura 5.1-66

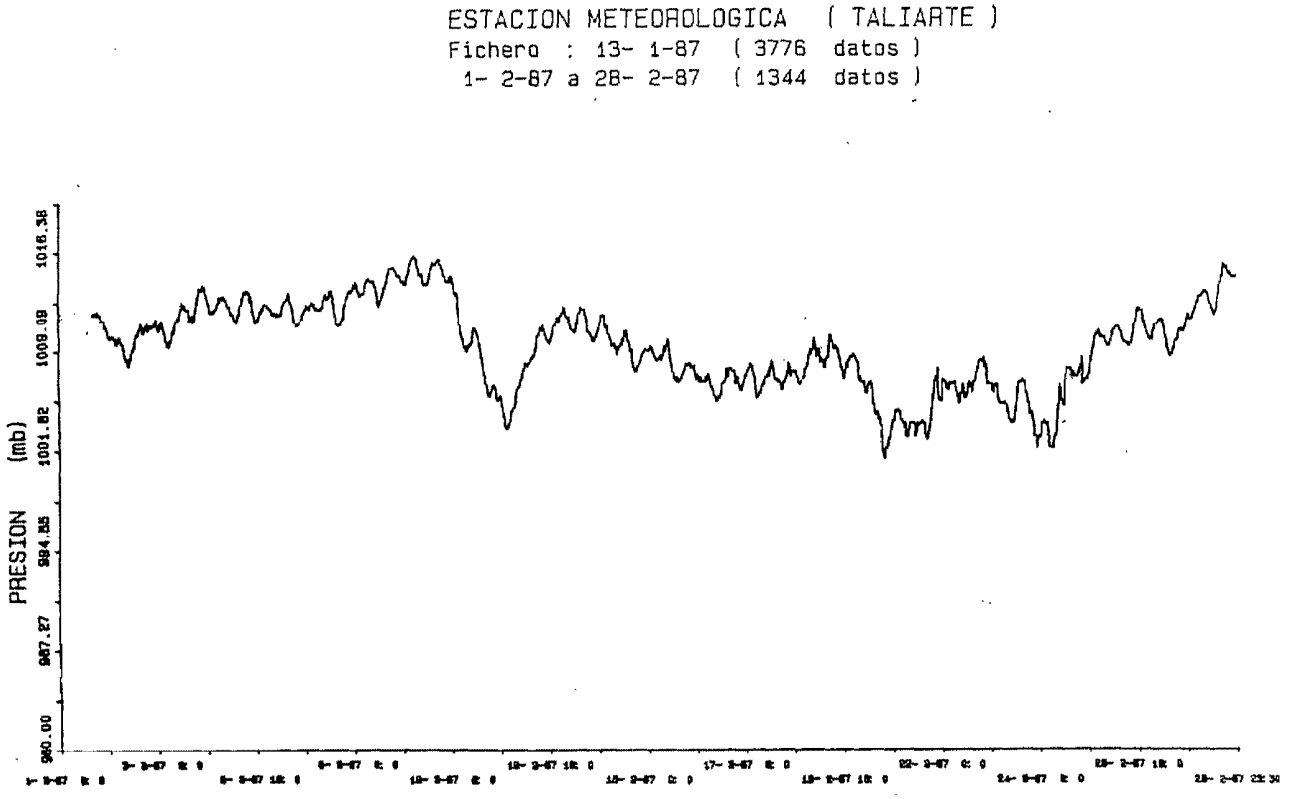


Figura 5.1-67

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos)
1- 3-87 a 31- 3-87 (1488 datos)

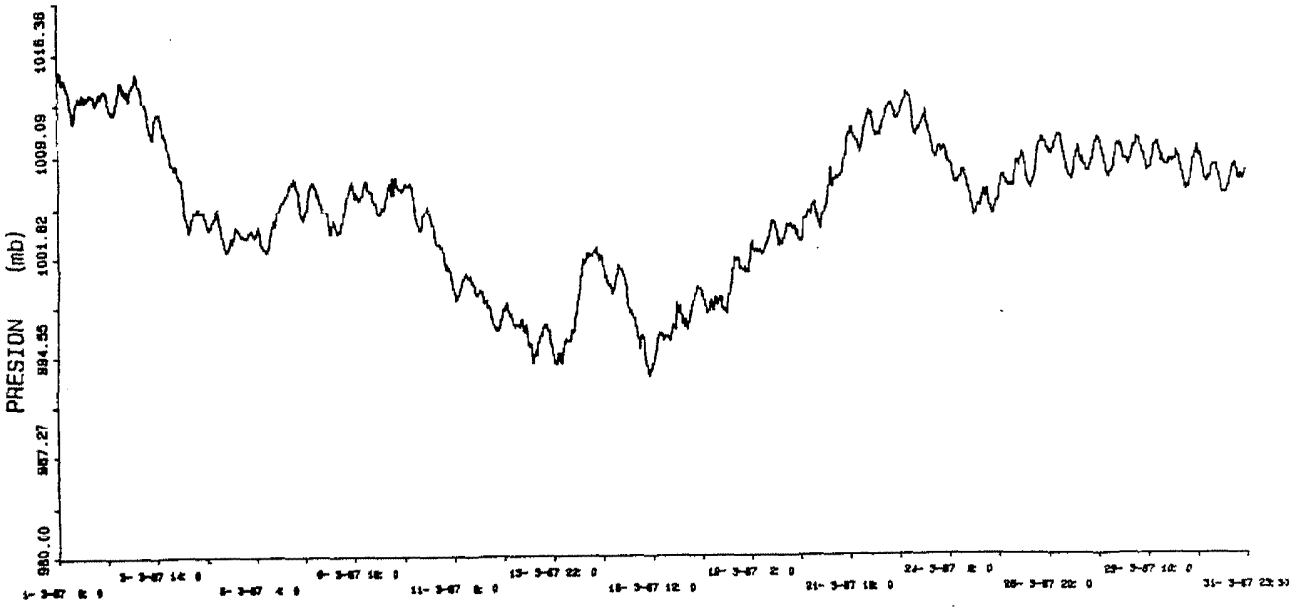


Figura 5.1-68

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
2- 4-87 a 30- 4-87 (1368 datos)

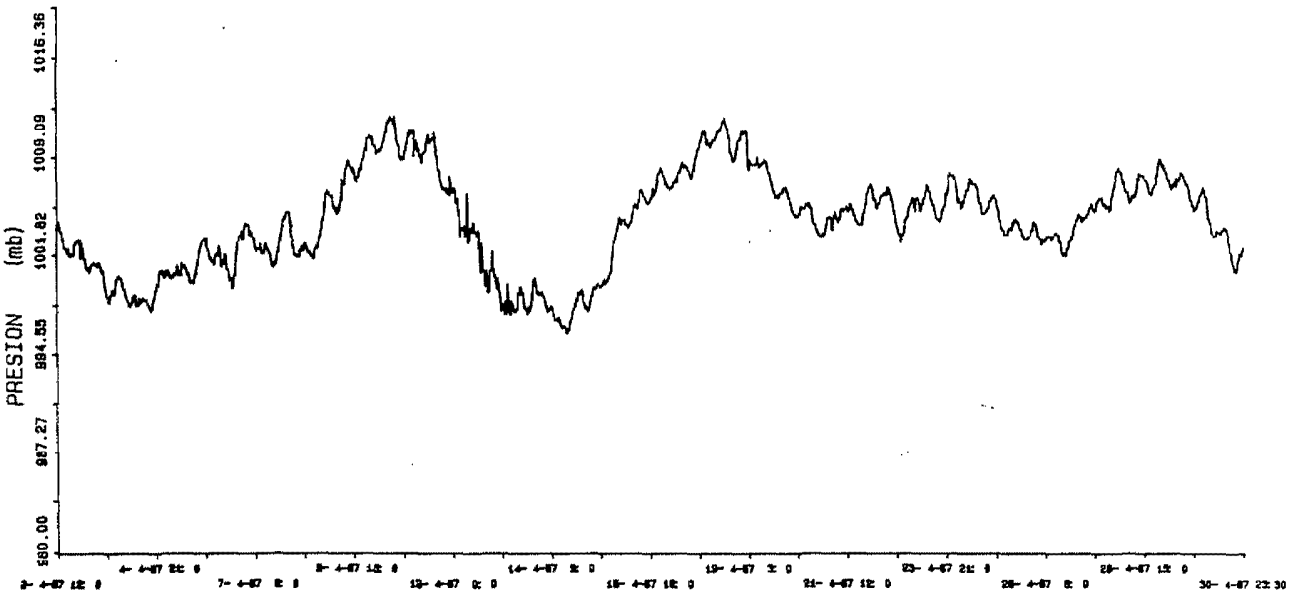


Figura 5.1-69

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 5-87 a 31- 5-87 (1488 datos)

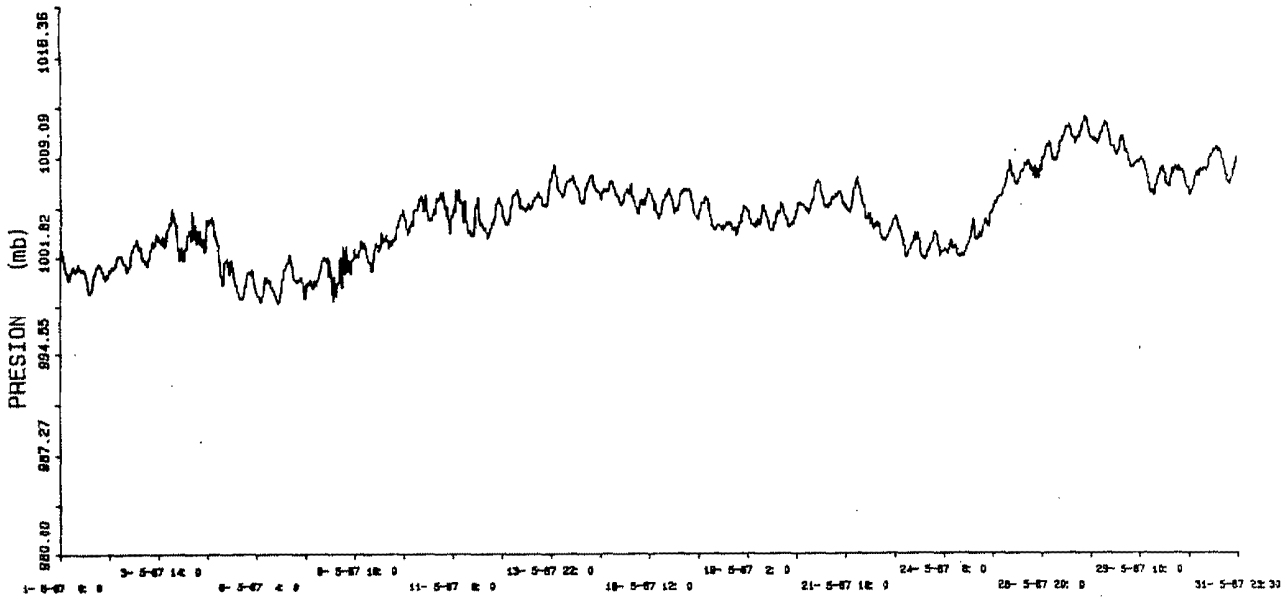


Figura 5.1-70

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos)
1- 6-87 a 14- 6-87 (643 datos)

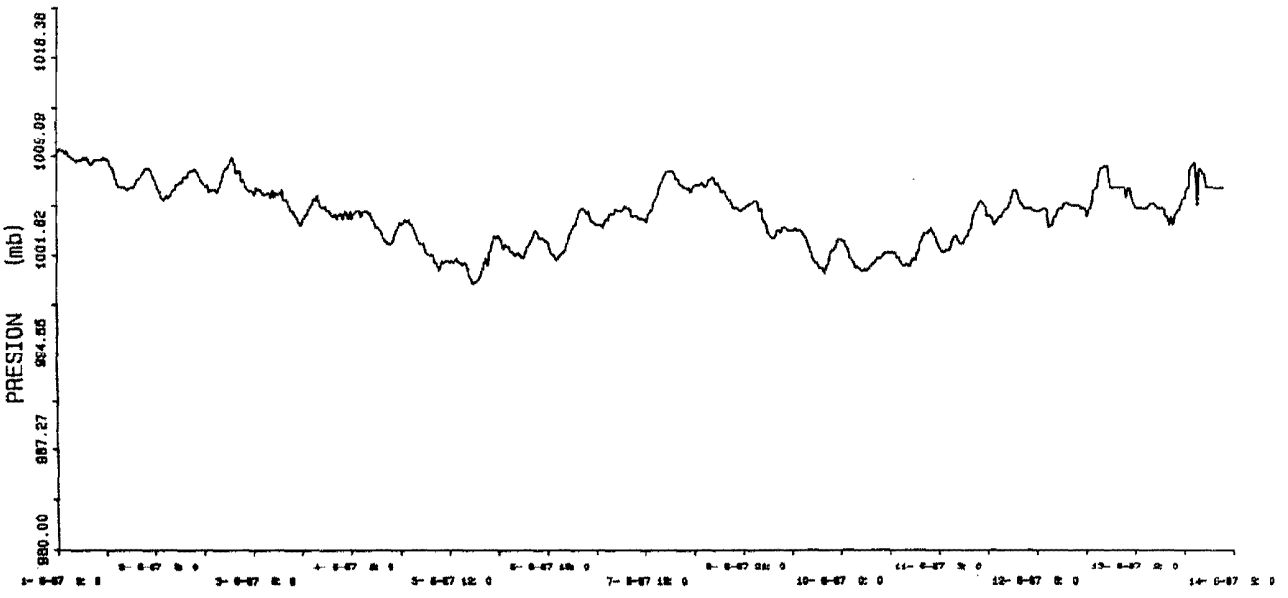


Figura 5.1 71

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
25- 6-87 a 30- 6-87 (287 datos)

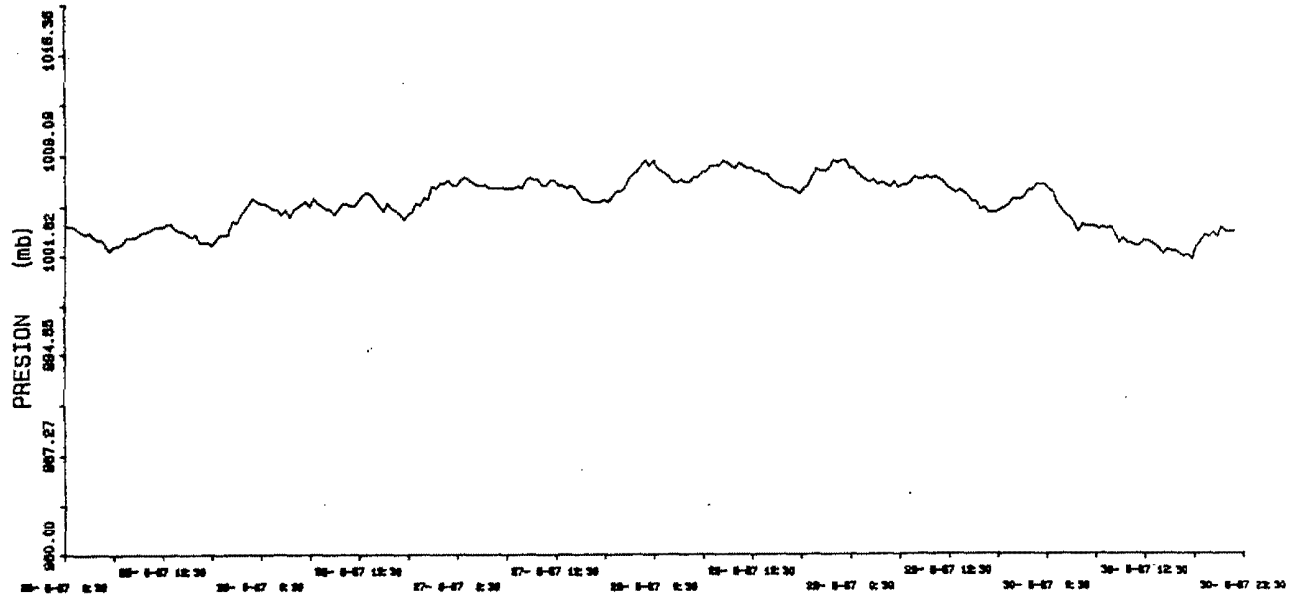


Figura 5.1-72

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos)
1- 7-87 a 9- 7-87 (409 datos)

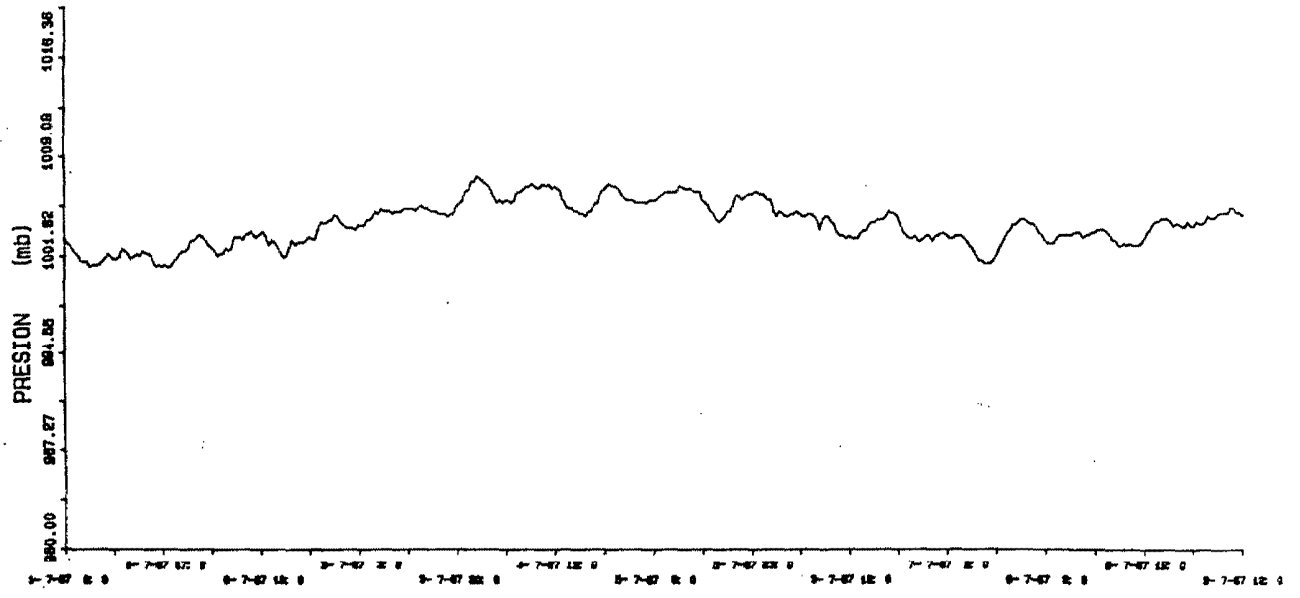


Figura 5.1-73

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
11- 7-87 a 31- 7-87 (984 datos)

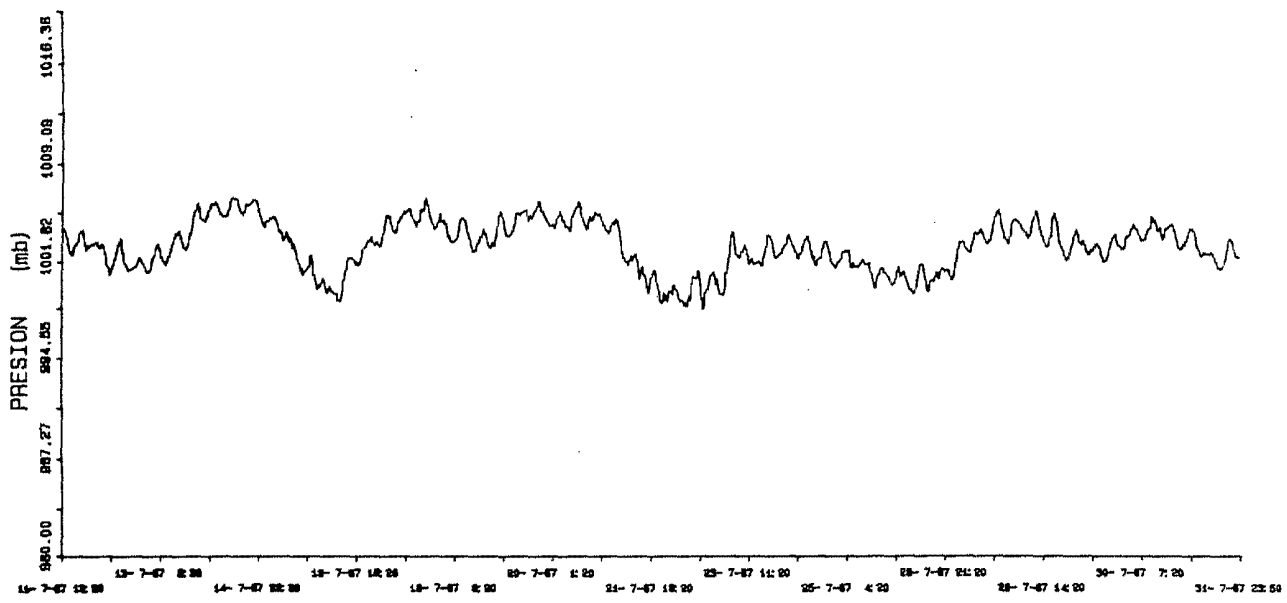


Figura 5.1-74

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos)
1- 8-87 a 4- 8-87 (192 datos)

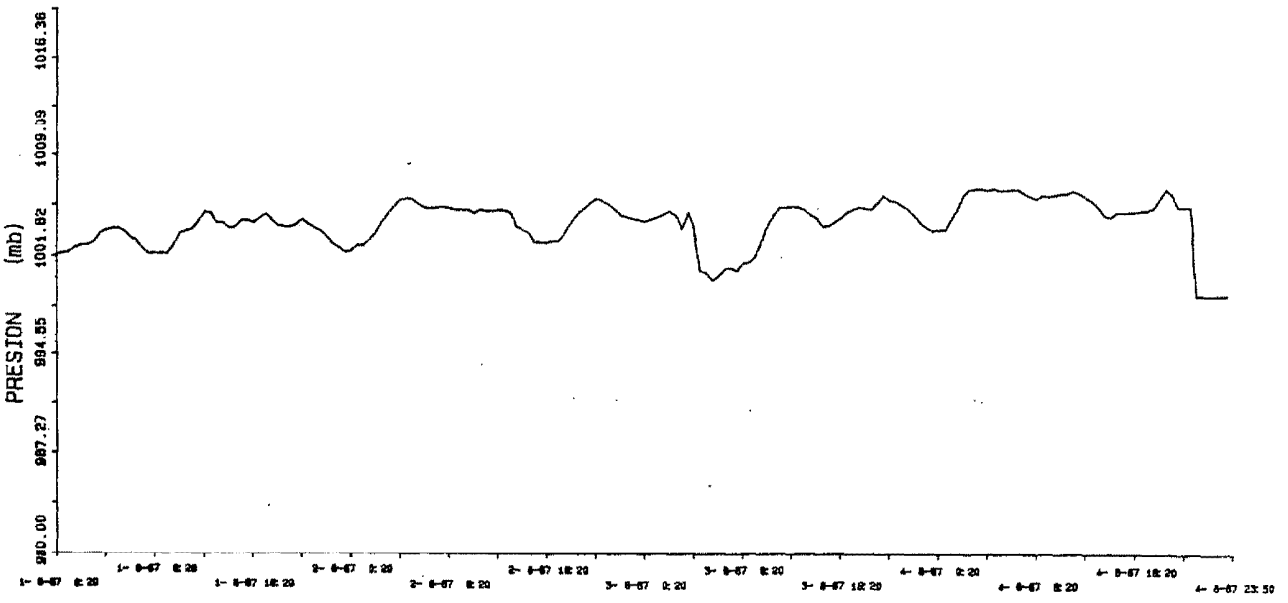


Figura 5.1-75

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos)
1- 9-87 a 9- 9-87 (402 datos)

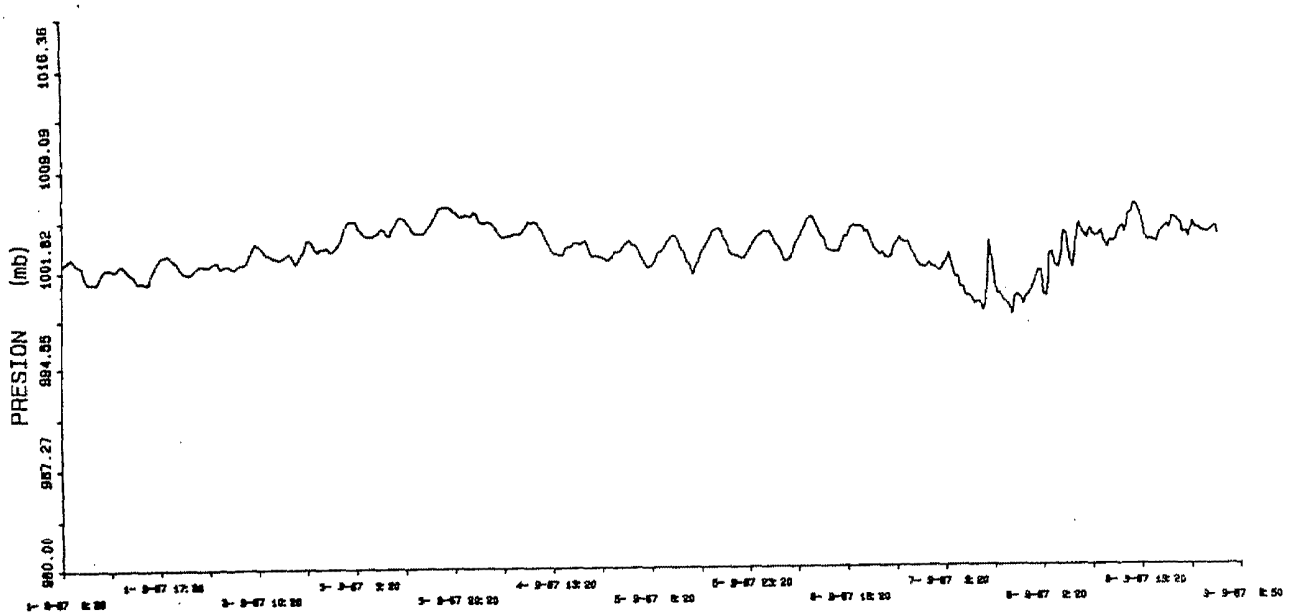


Figura 5.1-76

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
9- 9-87 a 30- 9-87 (519 datos)

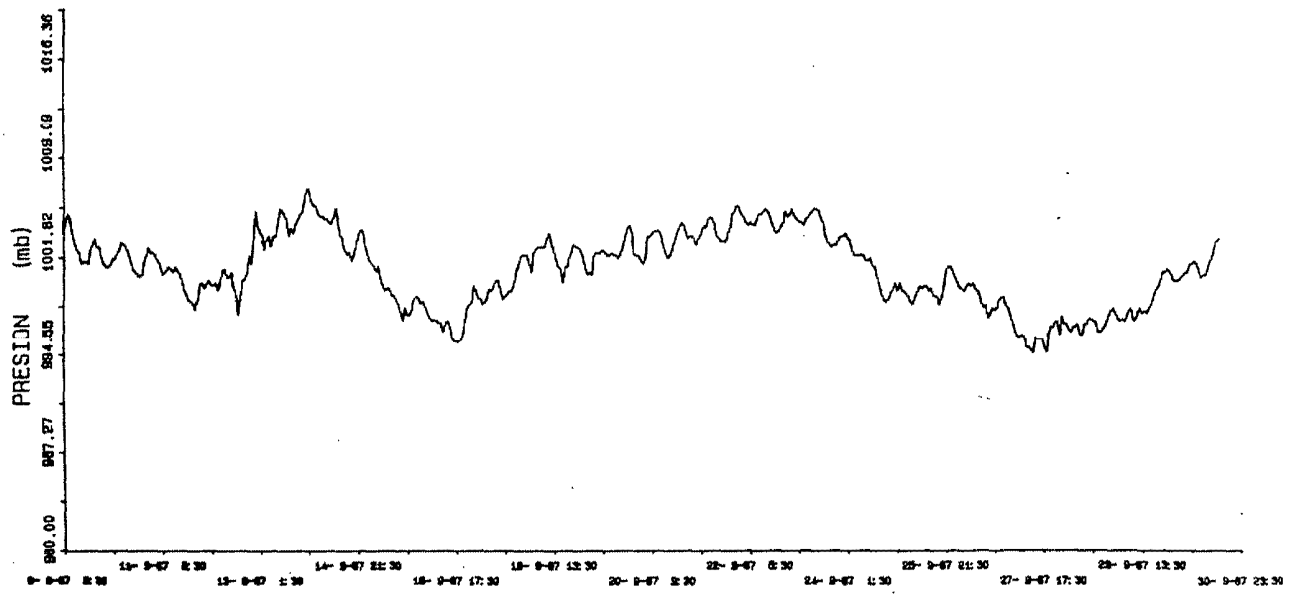


Figura 5.1-77

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos)
1-10-87 a 23-10-87 (543 datos) .

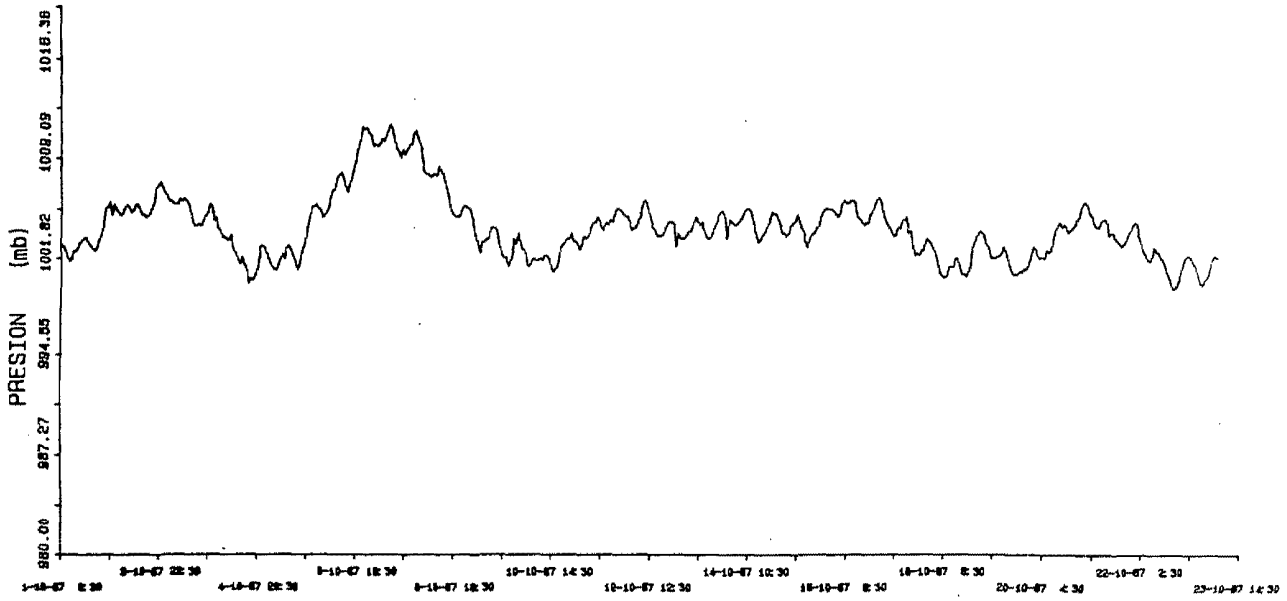


Figura 5.1-78

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
28-10-87 a 31-10-87 (168 datos)

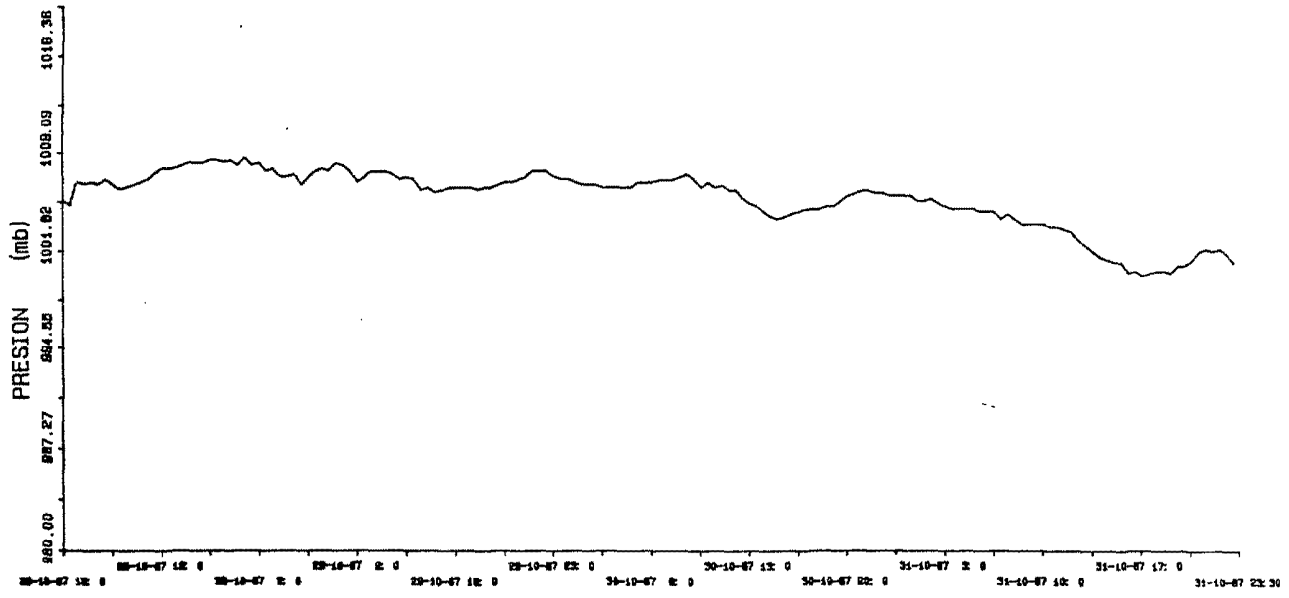


Figura 5.1-79

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-11-87 a 30-11-87 (1440 datos)

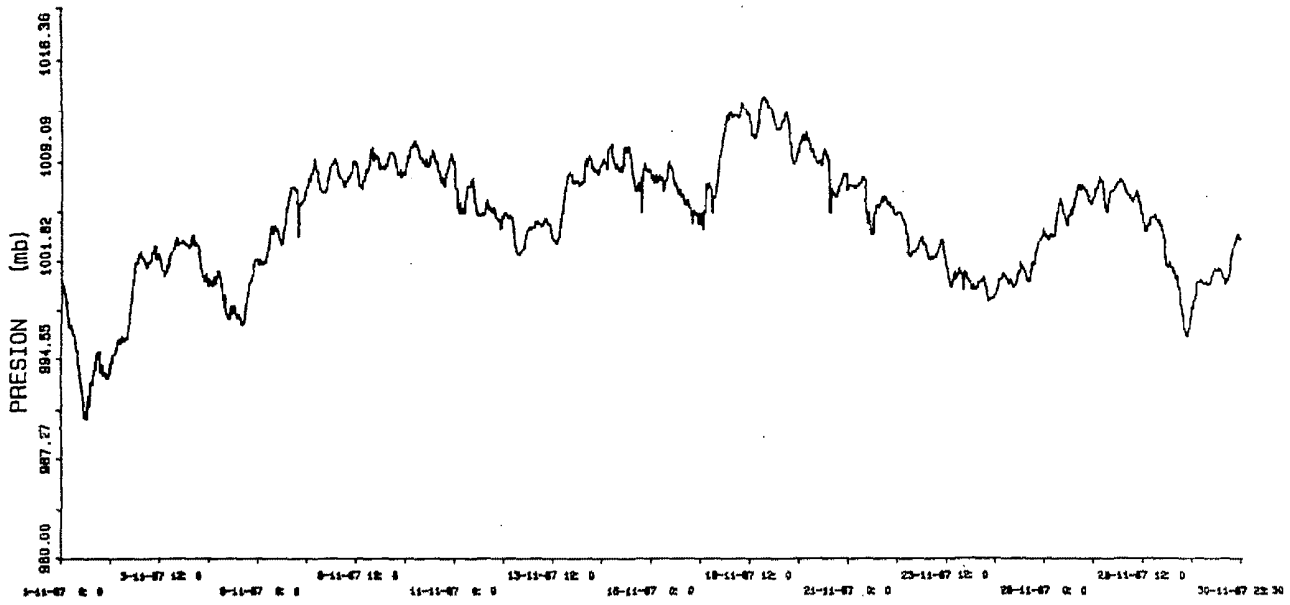


Figura 5.1-80

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos)
1-12-87 a 27-12-87 (1273 datos)

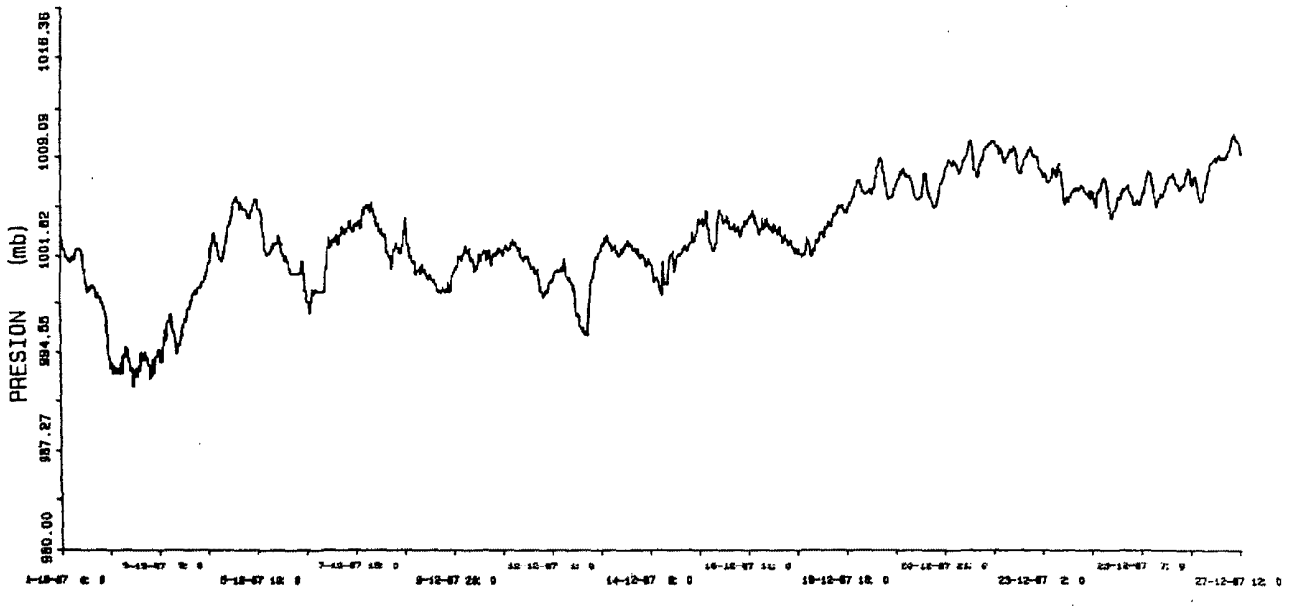
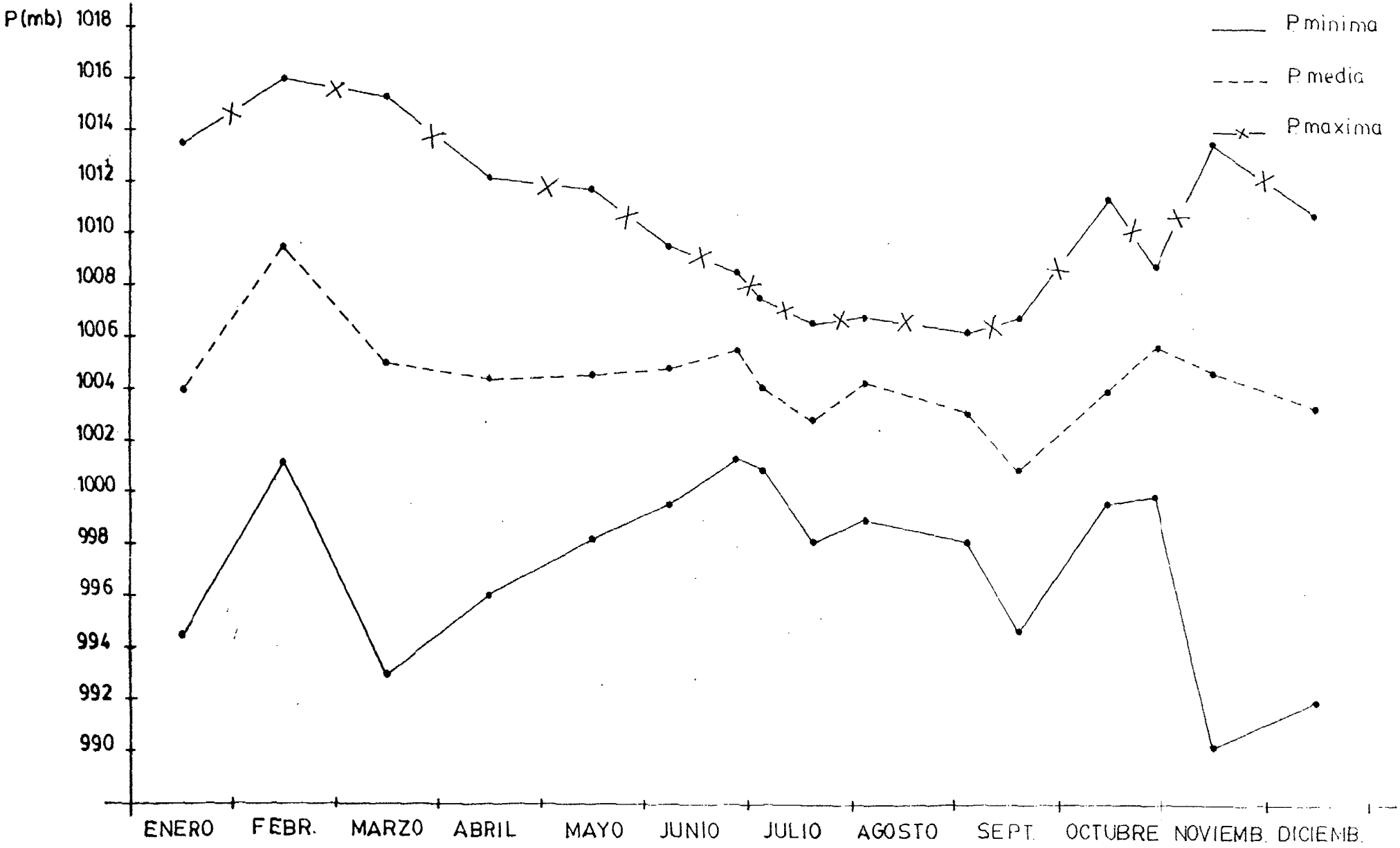


Figura 5.1-81

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
13- 1-87 a 31- 1-87 , 888 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

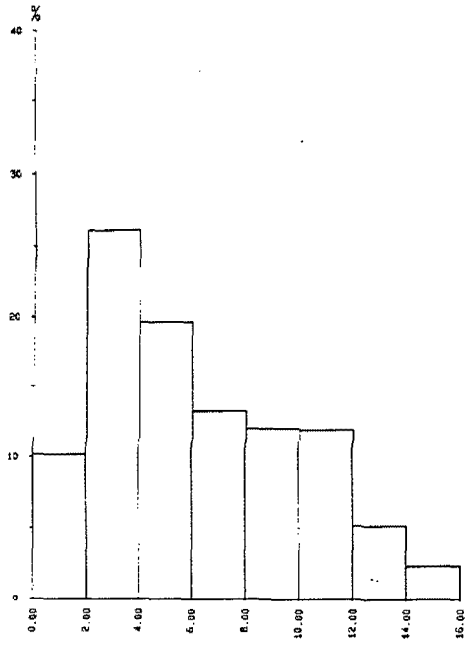


Figura 5.1-83

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 2-87 a 28- 2-87 , 1344 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

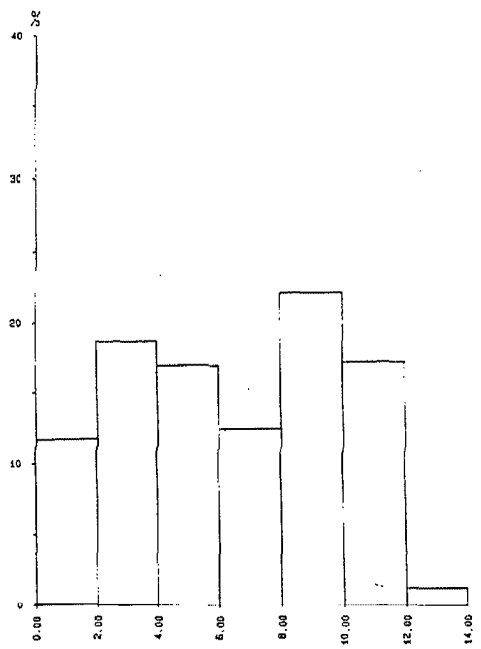


Figura 5.1-84

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 3-87 a 31- 3-87 , 1488 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

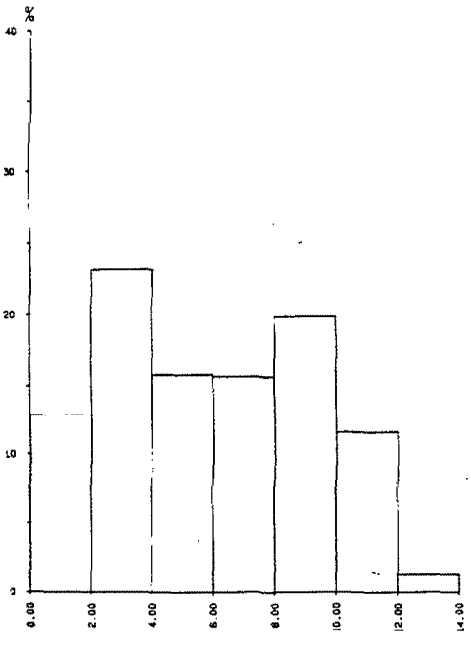


Figura 5.1-85

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
2- 4-87 a 30- 4-87 , 1368 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

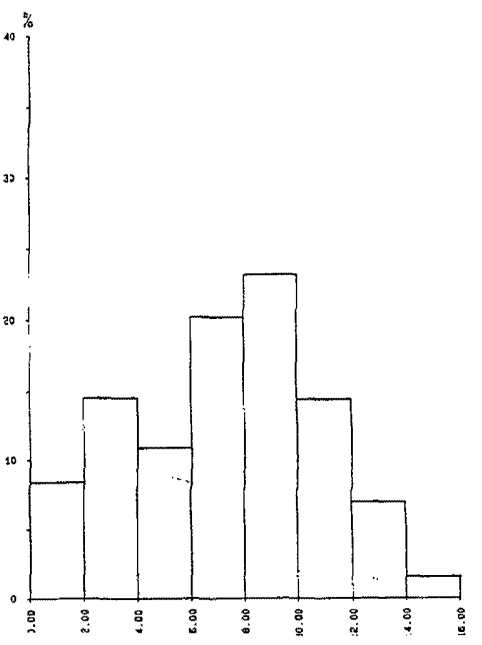


Figura 5.1-86

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
1- 5-87 a 31- 5-87 , 1488 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

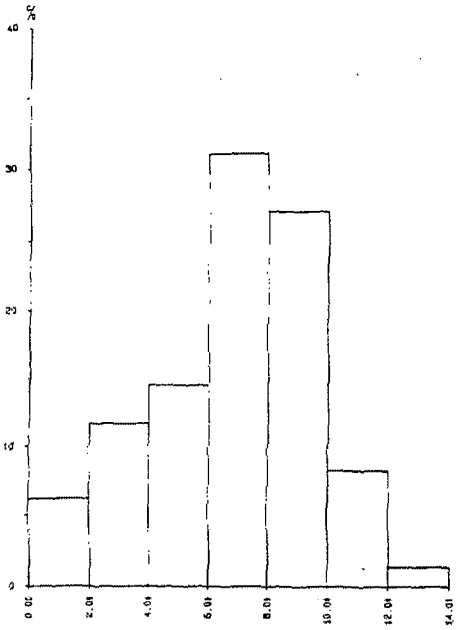


Figura 5.1-87

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 1- 6-87 (930 datos, 30 minutos)
1- 6-87 a 14- 6-87, 25- 6-87 a 30- 6-87 ; 930 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

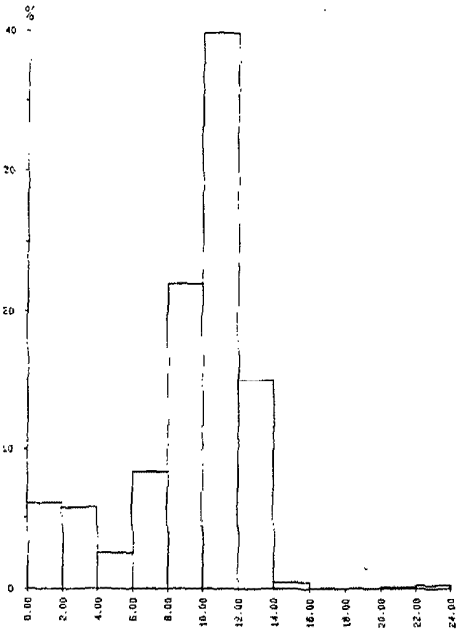


Figura 5.1-88

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (596 datos, 30 minutos)
1- 7-87 a 9- 7-87 , 409 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

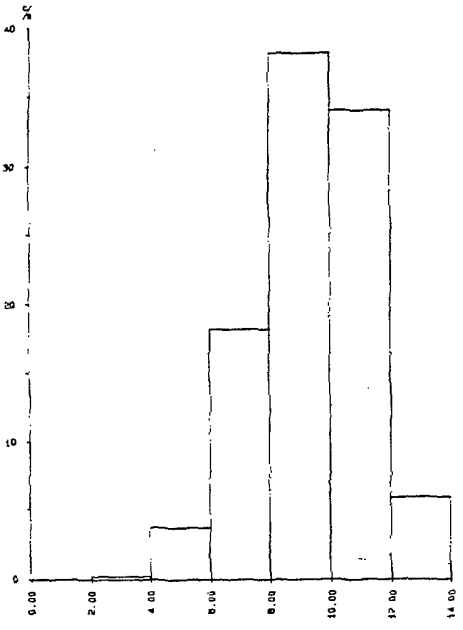


Figura 5.1-89

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
11- 7-87 a 31- 7-87 , 984 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

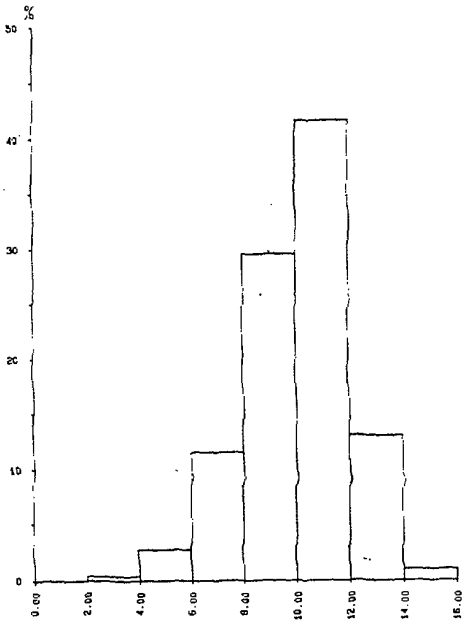


Figura 5.1-90

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
1- 8-87 a 7- 8-87 , 336 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

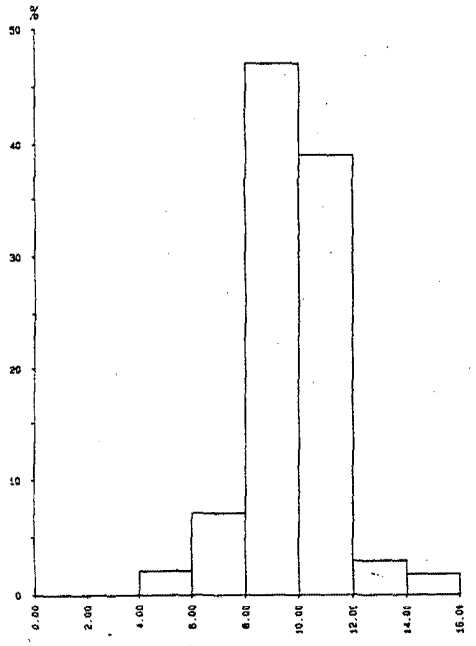


Figura 5.1-91

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos, 10 minutos)
1- 9-87 a 9- 9-87 , 402 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

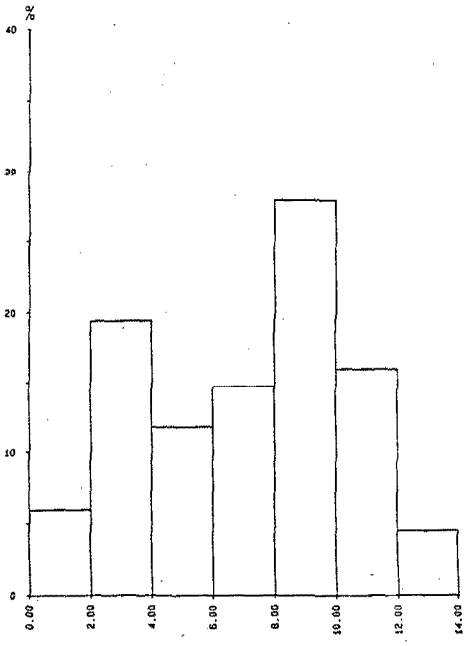


Figura 5.1-92

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
9- 9-87 a 30- 9-87 , 519 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

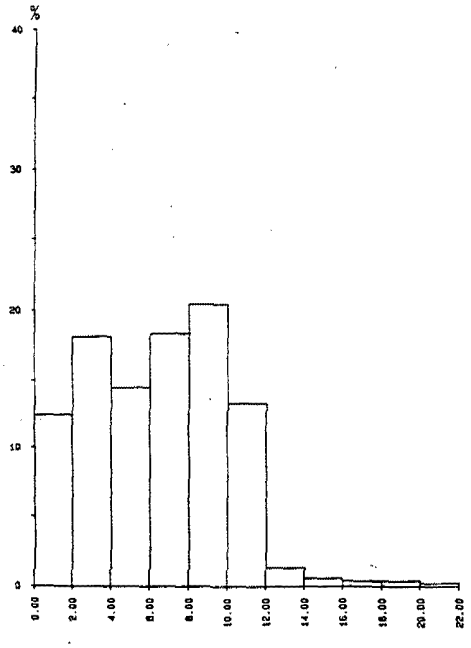


Figura 5.1-93

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
1-10-87 a 23-10-87 , 543 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

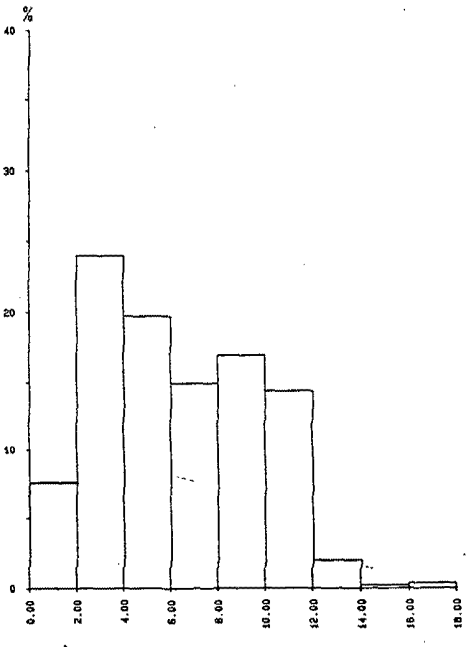


Figura 5.1-94

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
28-10-87 a 31-10-87 . 168 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

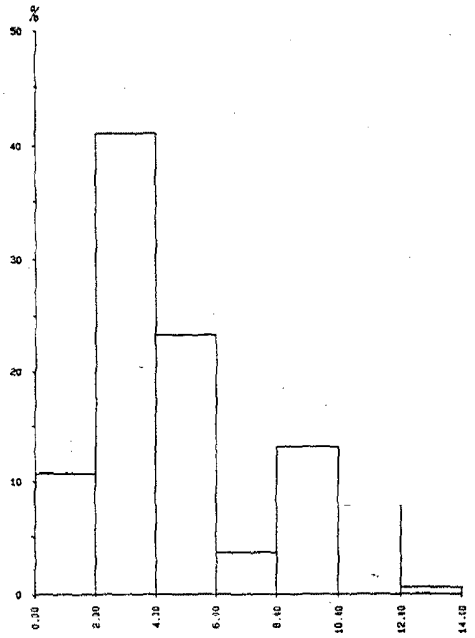


Figura 5.1-95

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-11-87 a 30-11-87 . 1440 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

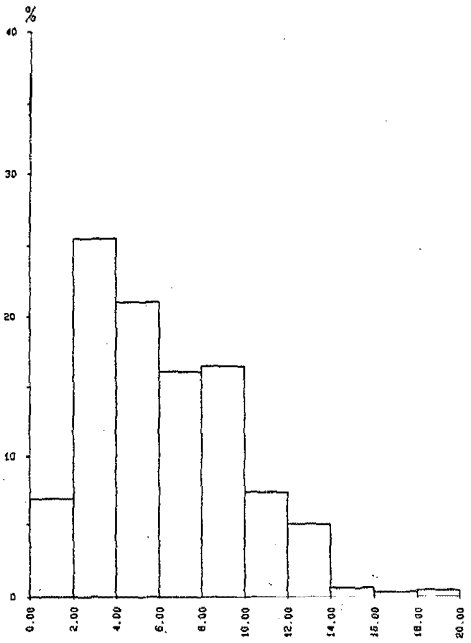


Figura 5.1-96

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-12-87 a 27-12-87 . 1273 datos
Histograma de VELOCIDAD MED (m/s)

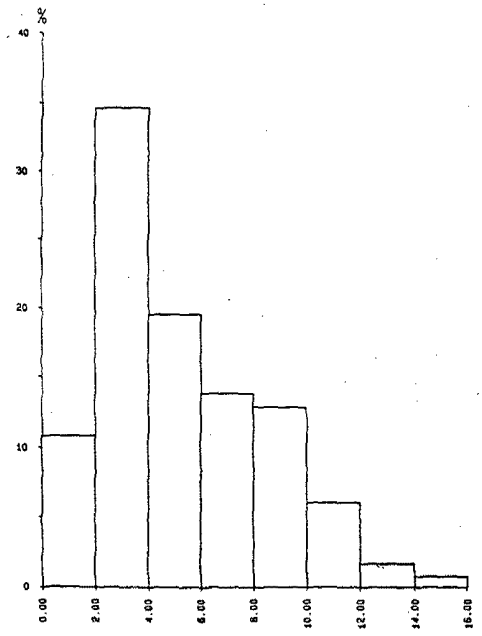


Figura 5.1-97

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
13- 1-87 a 31- 1-87 , 888 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

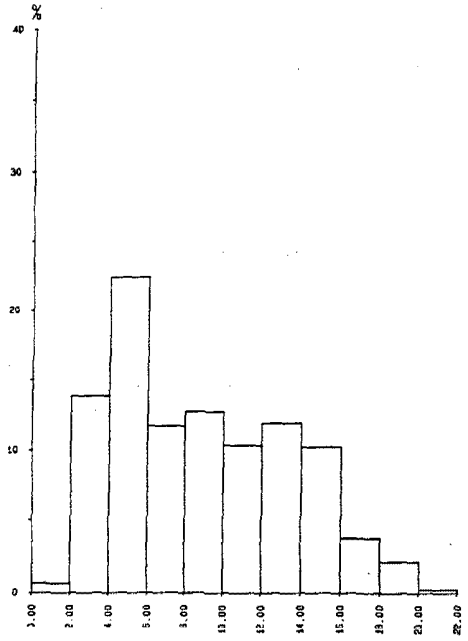


Figura 5.1-98

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 2-87 a 28- 2-87 , 1344 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

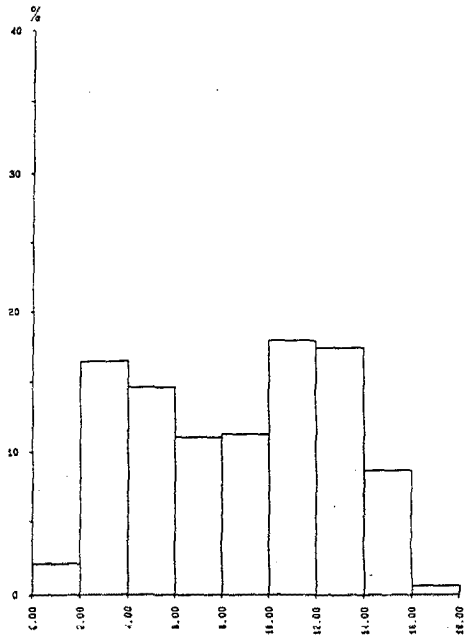


Figura 5.1-99

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 3-87 a 31- 3-87 , 1488 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

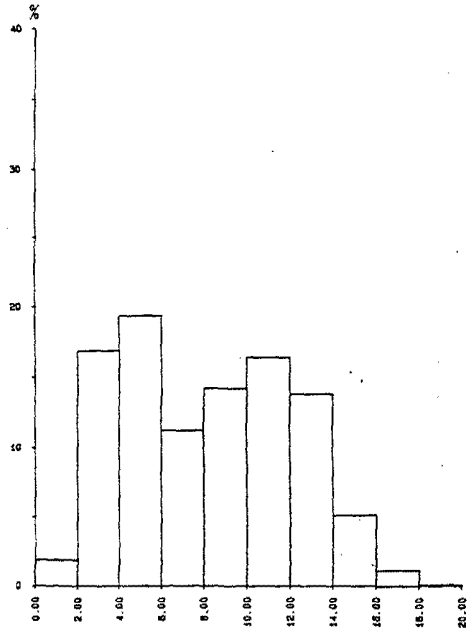


Figura 5.1-100

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
2- 4-87 a 30- 4-87 , 1368 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

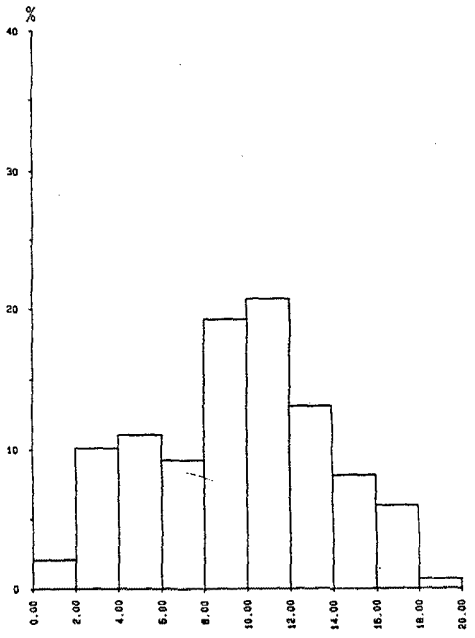


Figura 5.1-101

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
1- 5-87 a 31- 5-87 , 1488 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

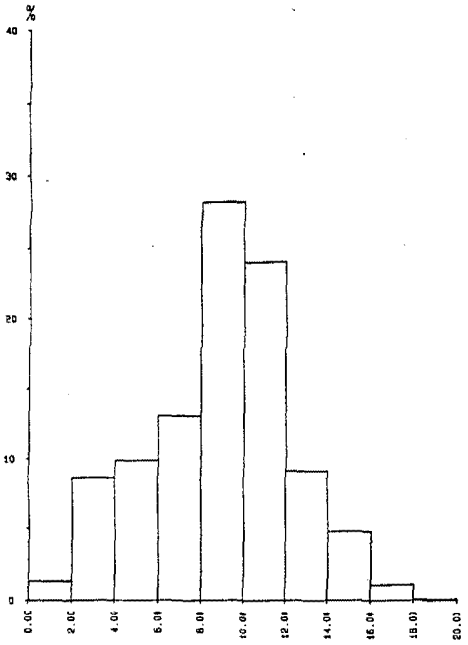


Figura 5.1-102

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 1- 6-87 (930 datos, 30 minutos)
1- 6-87 a 14- 6-87, 25- 6-87 a 30- 6-87 ; 930 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

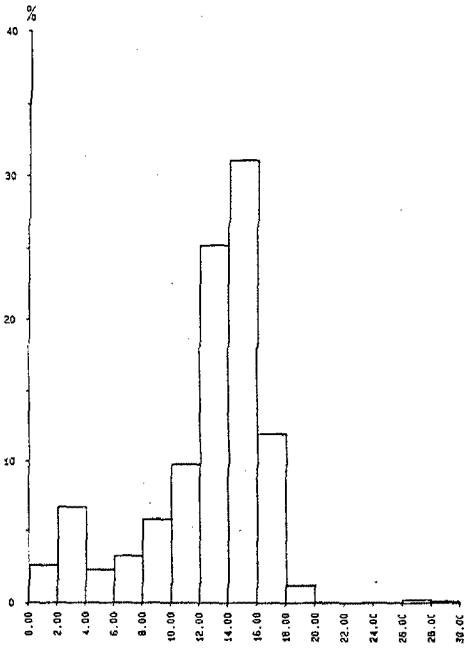


Figura 5.1-103

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos, 30 minutos)
1- 7-87 a 9- 7-87 , 409 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

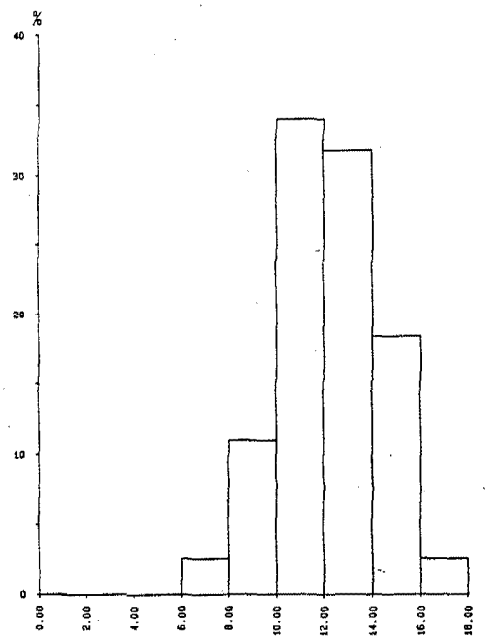


Figura 5.1-104

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
11- 7-87 a 31- 7-87 , 984 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

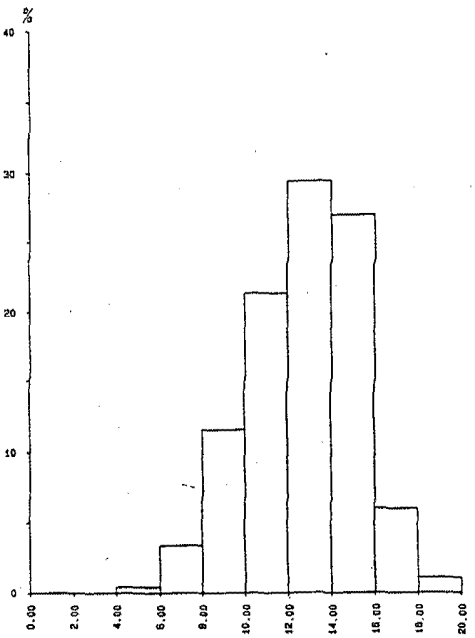


Figura 5.1-105

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
1- 8-87 a 7- 8-87 , 336 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

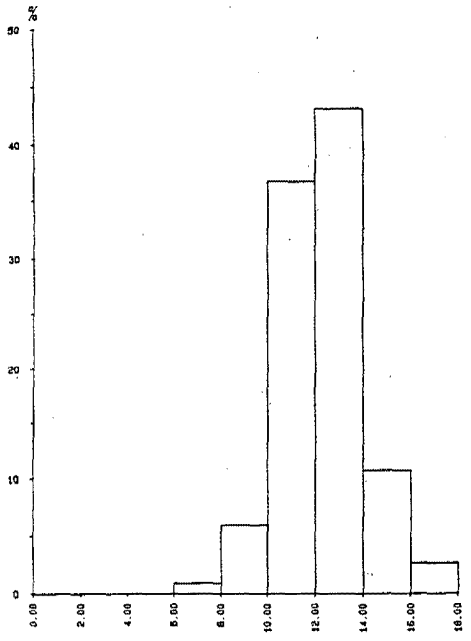


Figura 5.1-106

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos, 10 minutos)
1- 9-87 a 9- 9-87 , 402 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

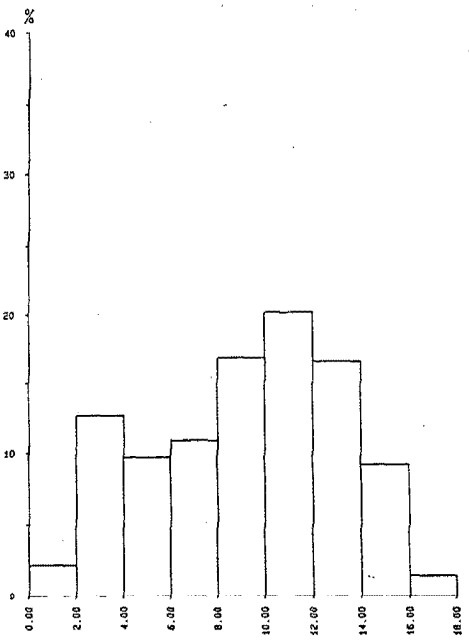


Figura 5.1-107

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
9- 9-87 a 30- 9-87 , 519 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

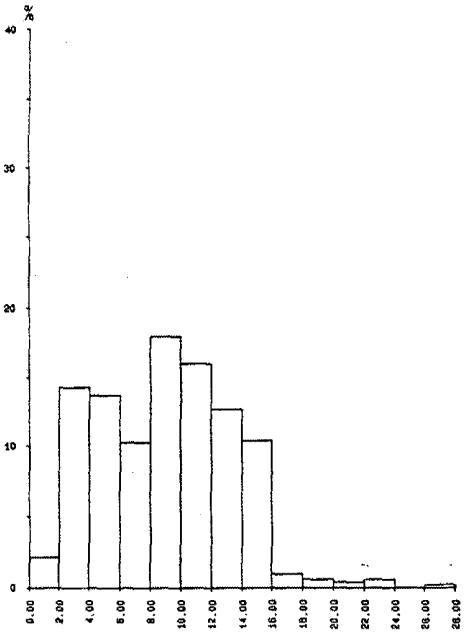


Figura 5.1-108

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
1-10-87 a 23-10-87 , 543 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

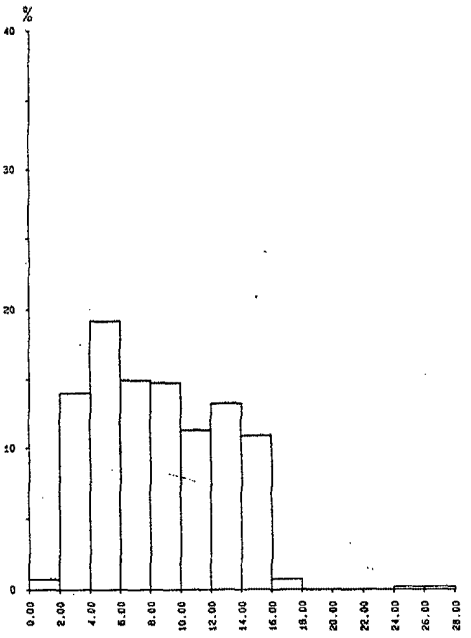


Figura 5.1-109

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
28-10-87 a 31-10-87 , 168 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

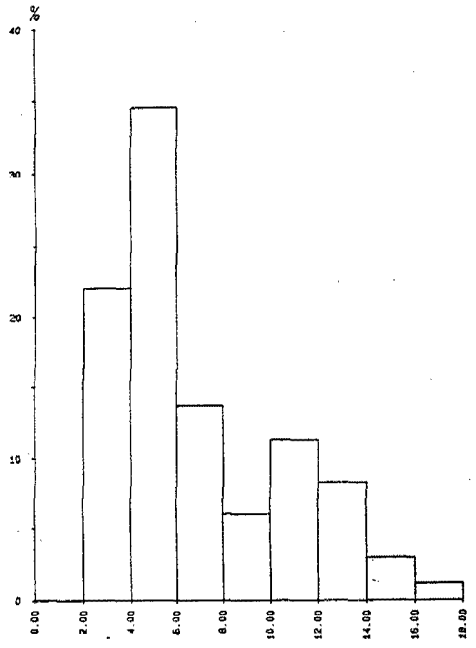


Figura 5.1-110

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-11-87 a 30-11-87 , 1440 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

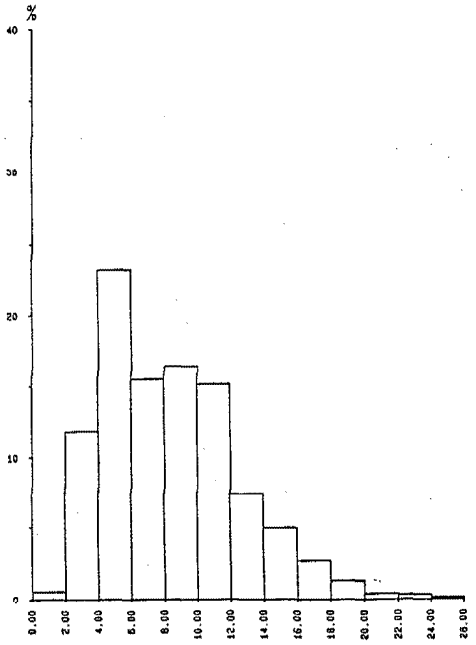


Figura 5.1-111

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-12-87 a 27-12-87 , 1273 datos
Histograma de VELOCIDAD MAX (m/s)

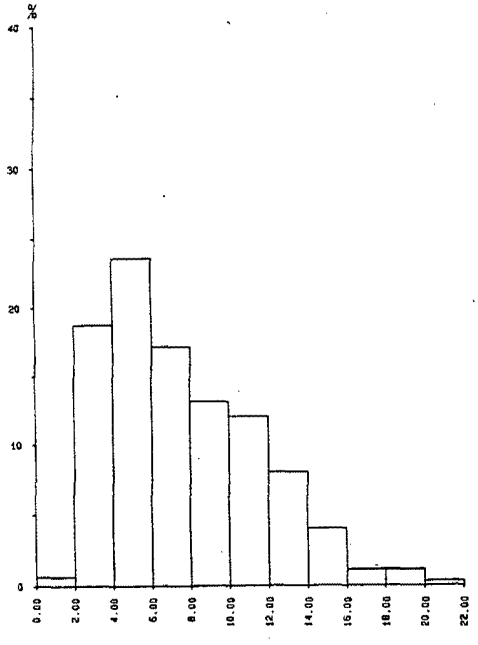


Figura 5.1-112

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
13- 1-87 a 31- 1-87 , 888 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

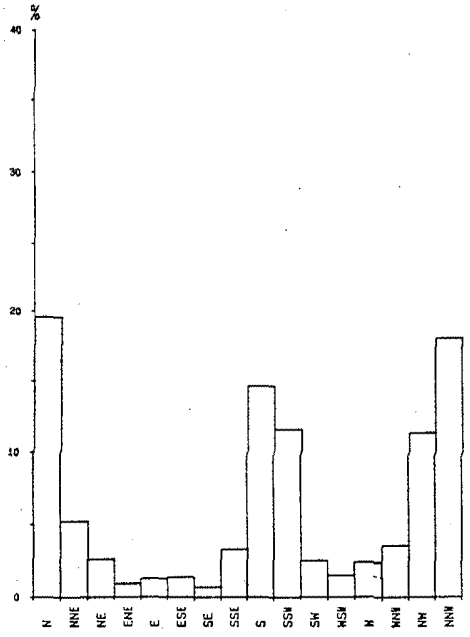


Figura 5.1-113

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 2-87 a 28- 2-87 , 1344 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

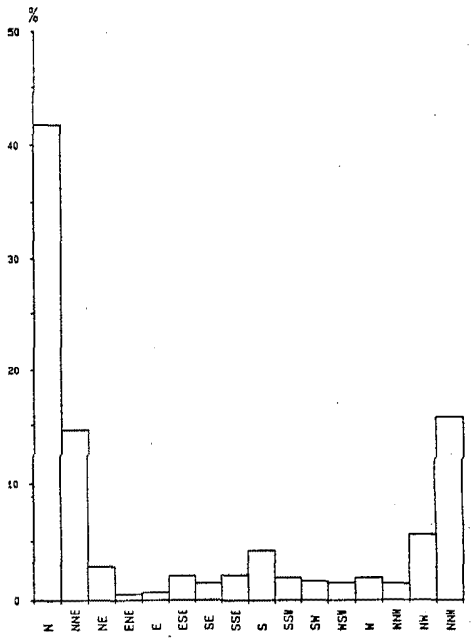


Figura 5.1-114

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 3-87 a 31- 3-87 , 1488 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

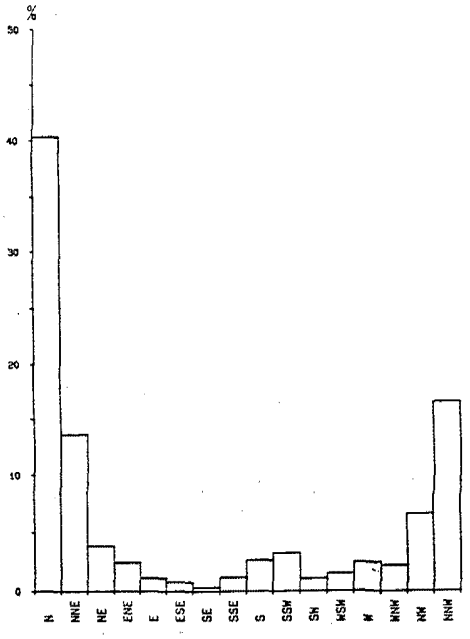


Figura 5.1-115

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
2- 4-87 a 30- 4-87 , 1368 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

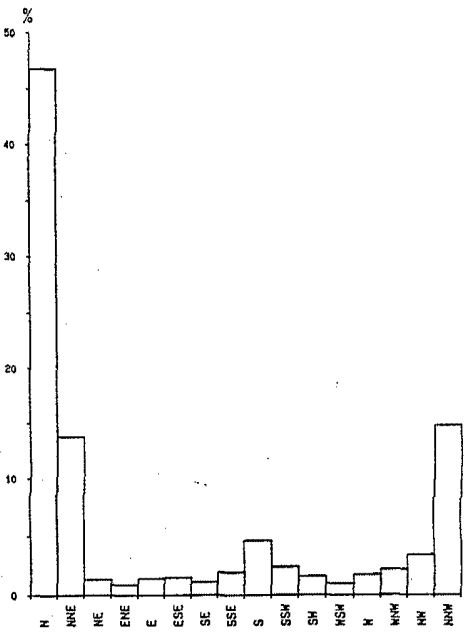


Figura 5.1-116

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

-STACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
1- 5-87 a 31- 5-87 , 1488 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

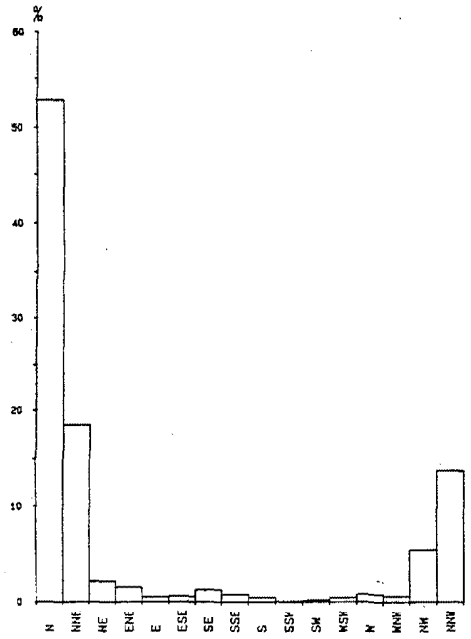


Figura 5.1-117

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 1- 6-87 (930 datos, 30 minutos)
1- 6-87 a 14- 6-87, 25- 6-87 a 30- 6-87 ; 930 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

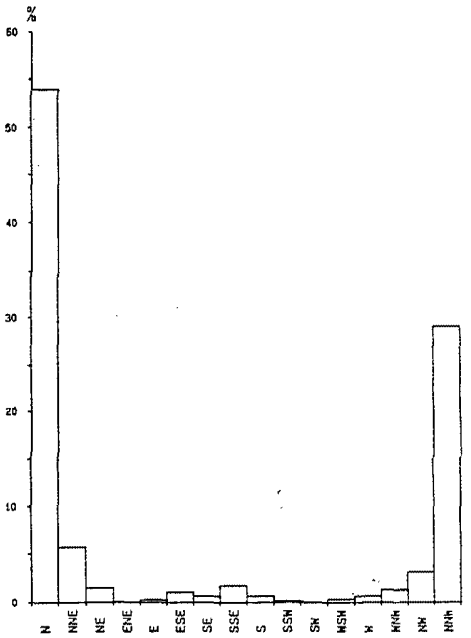


Figura 5.1-118

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos, 30 minutos)
1- 7-87 a 9- 7-87 , 409 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

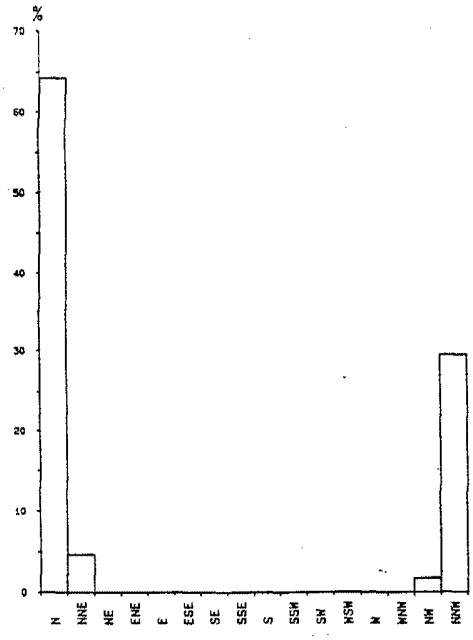


Figura 5.1-119

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
11- 7-87 a 31- 7-87 , 984 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

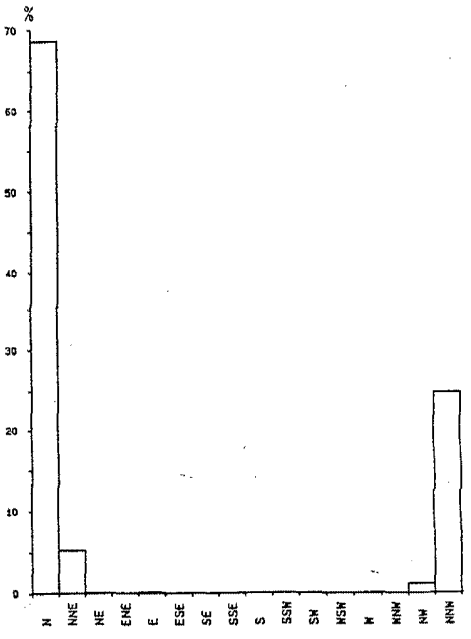


Figura 5.1-120

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
1- 8-87 a 7- 8-87 , 336 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

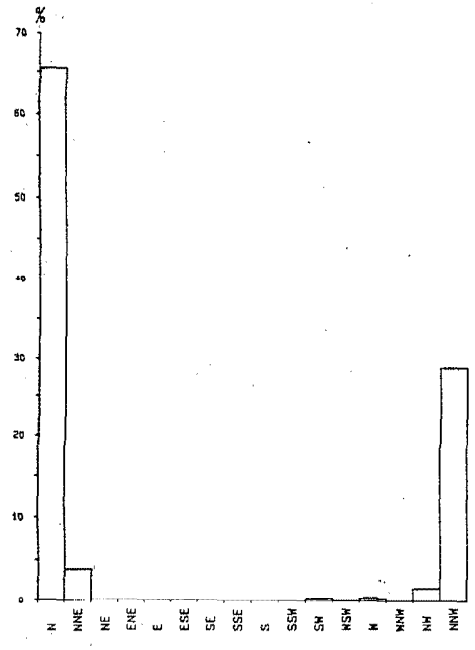


Figura 5.1-121

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos, 10 minutos)
1- 9-87 a 9- 9-87 , 402 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

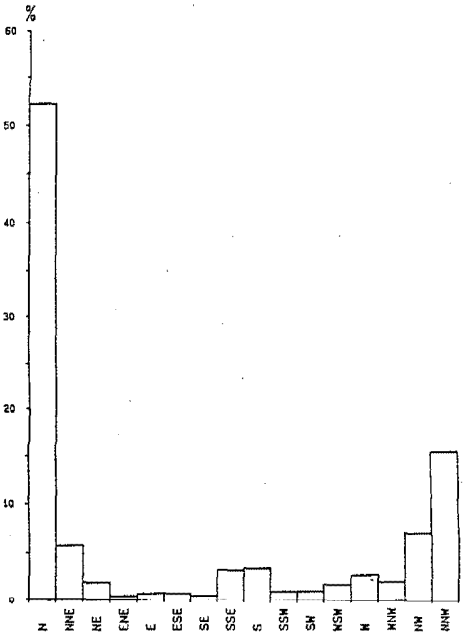


Figura 5.1-122

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
9- 9-87 a 30- 9-87 , 519 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

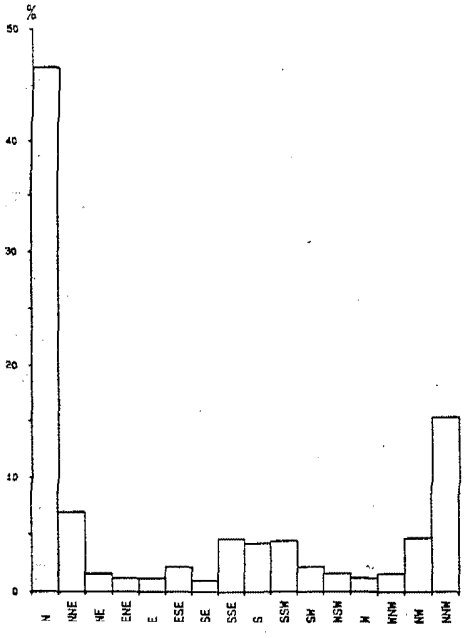


Figura 5.1-123

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
1-10-87 a 23-10-87 , 543 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

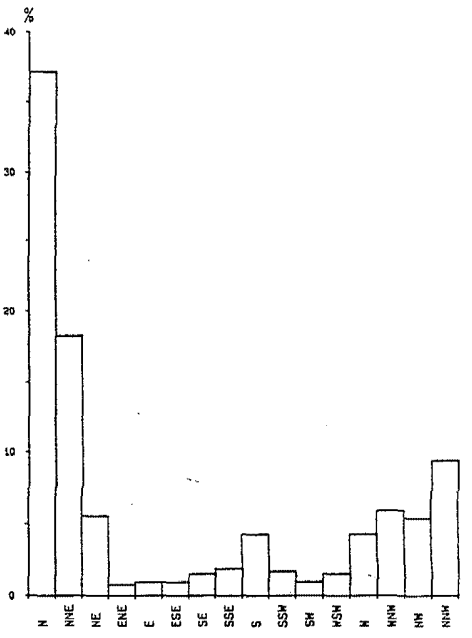


Figura 5.1-124

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
28-10-87 a 31-10-87 , 168 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

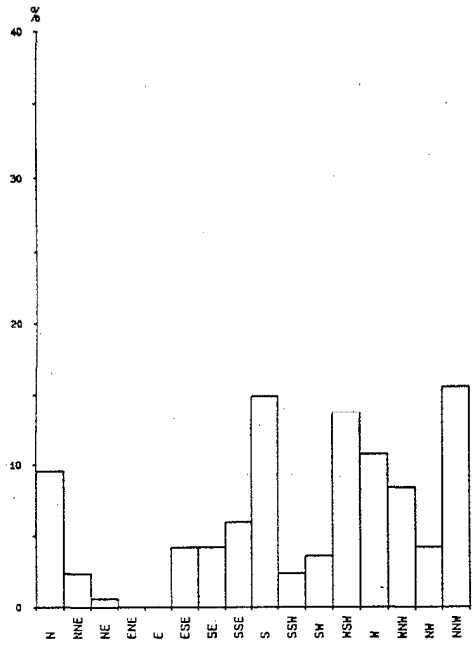


Figura 5.1-125

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-11-87 a 30-11-87 , 1440 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

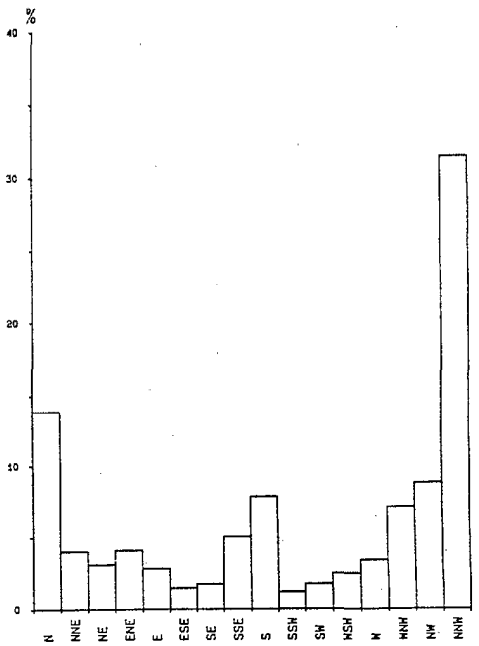


Figura 5.1-126

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-12-87 a 27-12-87 , 1273 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

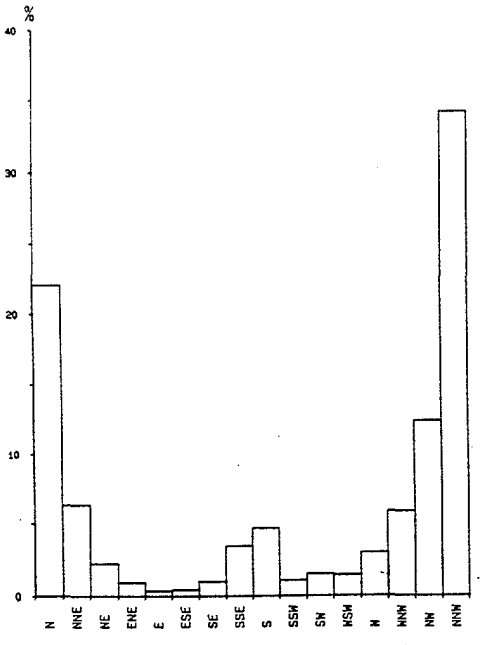


Figura 5.1-127

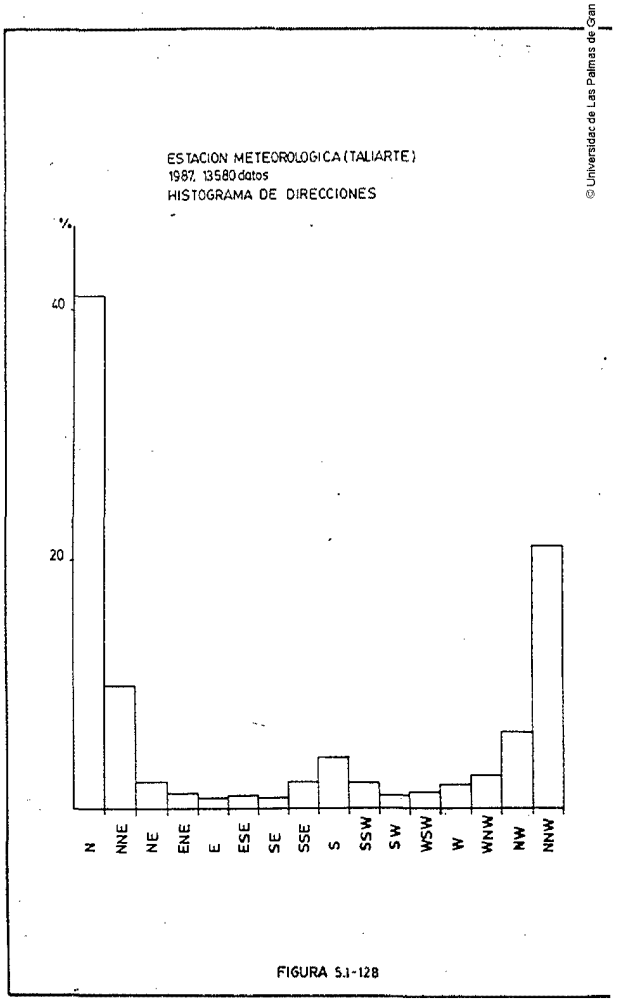


FIGURA 5.1-128

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

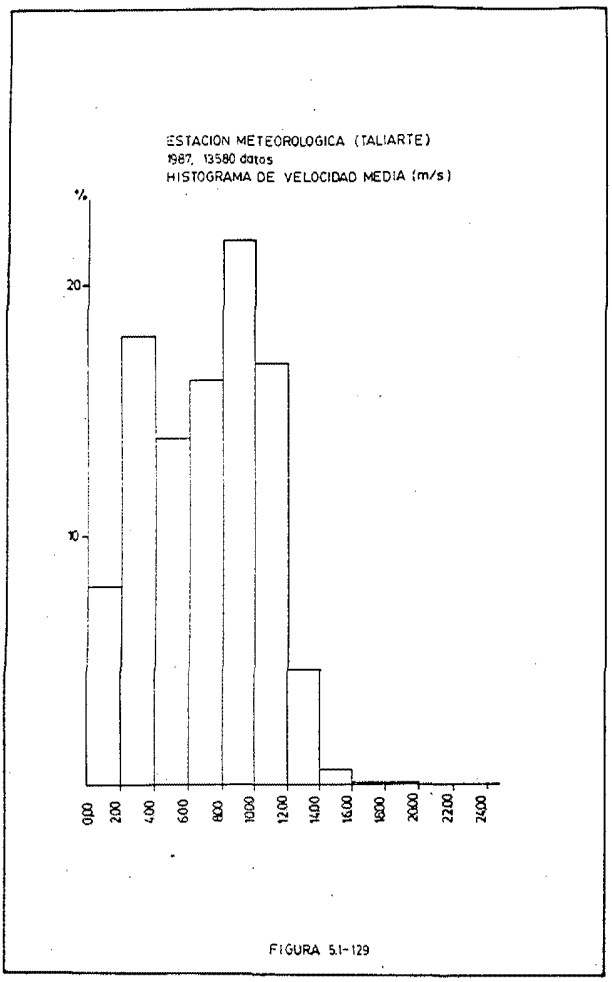


FIGURA 5.1-129

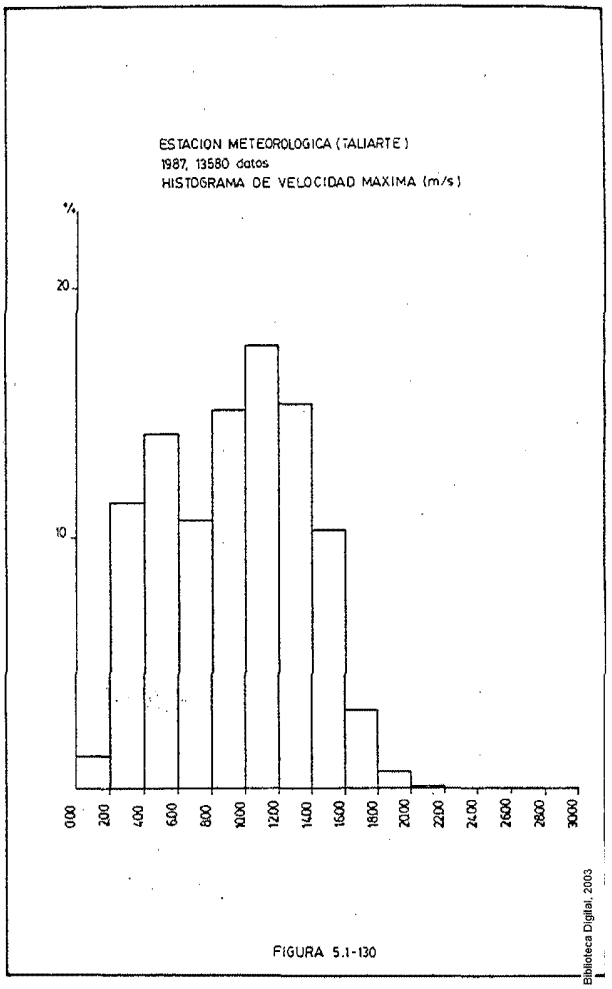


FIGURA 5.1-130

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
13- 1-87 a 31- 1-87 , 888 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

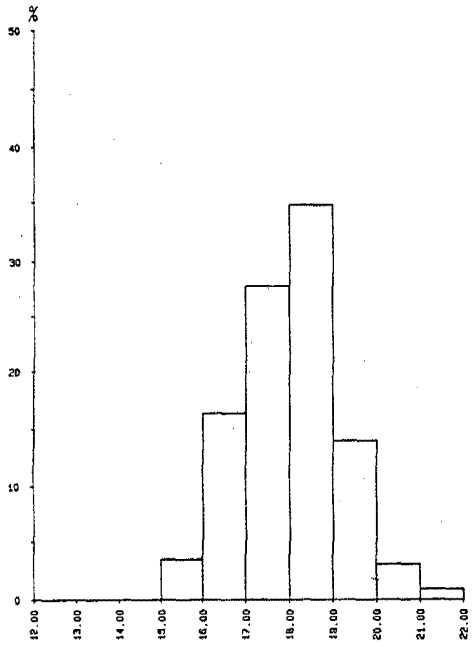


Figura 5.1-131

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 2-87 a 28- 2-87 , 1344 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

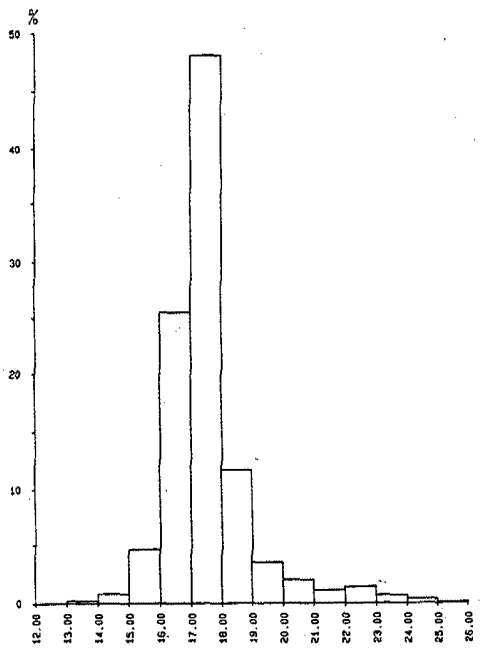


Figura 5.1-132

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 3-87 a 31- 3-87 , 1488 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

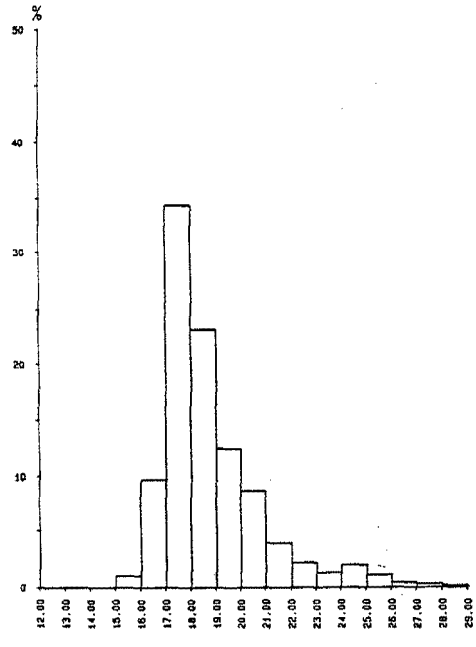


Figura 5.1-133

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
2- 4-87 a 30- 4-87 , 1368 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

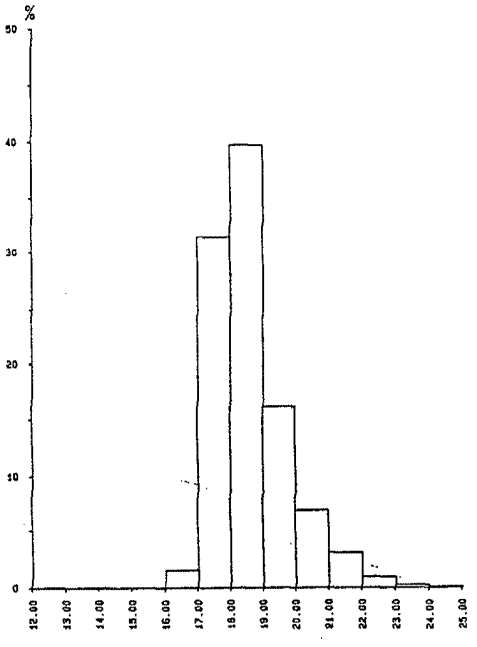


Figura 5.1-134

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
1- 5-87 a 31- 5-87 . 1488 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

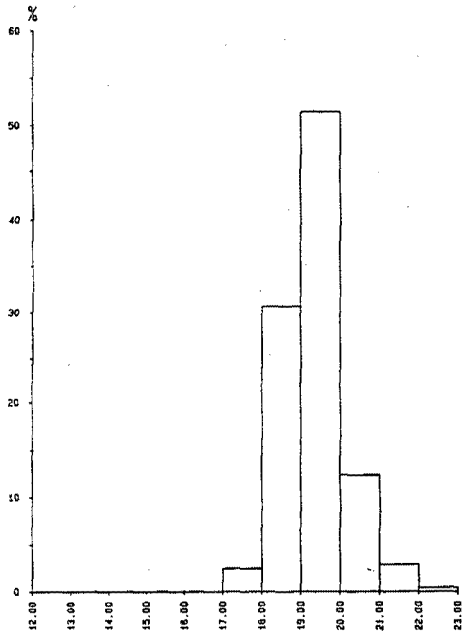


Figura 5.1-135

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 1- 6-87 (930 datos, 30 minutos)
1- 6-87 a 14- 6-87 , 25- 6-87 a 30- 6-87 : 930 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

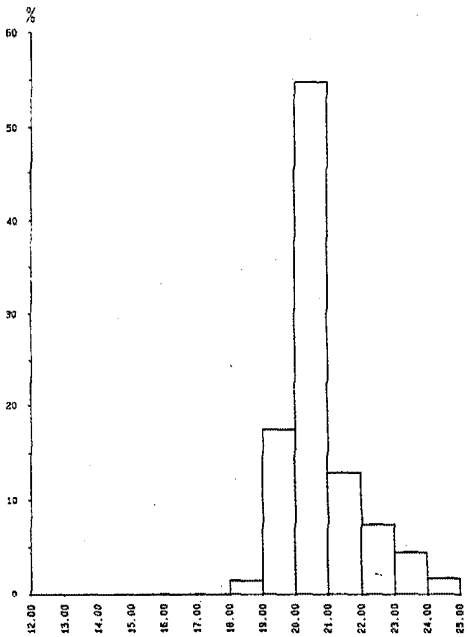


Figura 5.1-136

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos, 30 minutos)
1- 7-87 a 9- 7-87 , 409 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

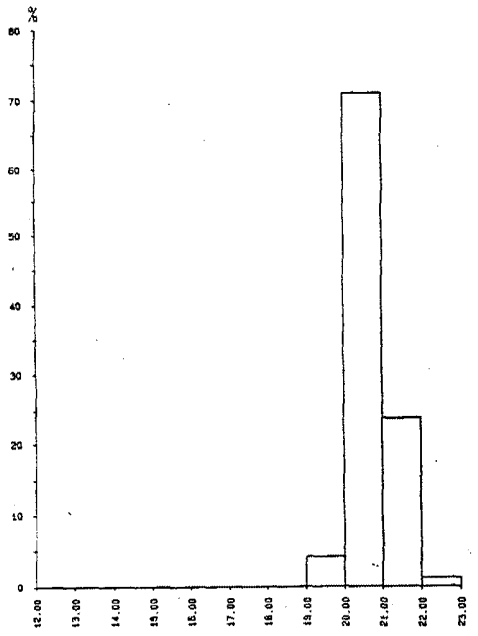


Figura 5.1-137

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
11- 7-87 a 31- 7-87 , 984 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

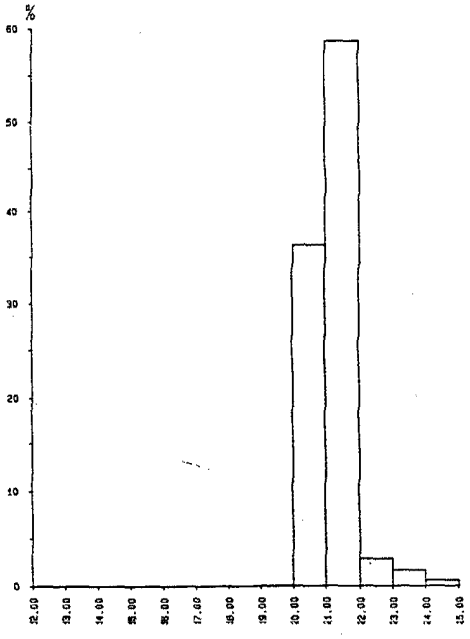


Figura 5.1-138

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
1- 8-87 a 4- 8-87 , 192 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

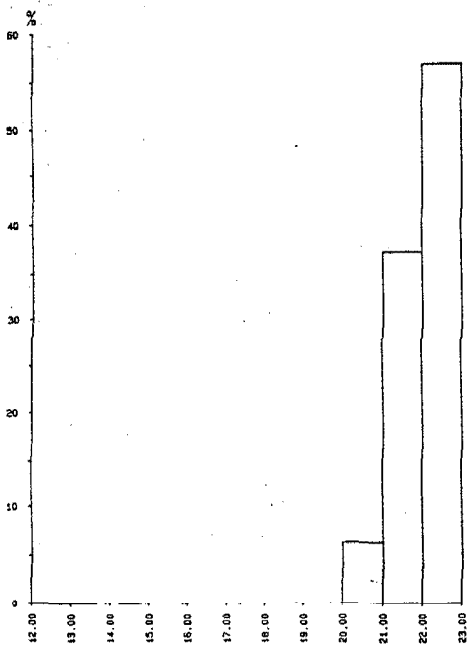


Figura 5.1-139

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos, 10 minutos)
1- 9-87 a 9- 9-87 , 402 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

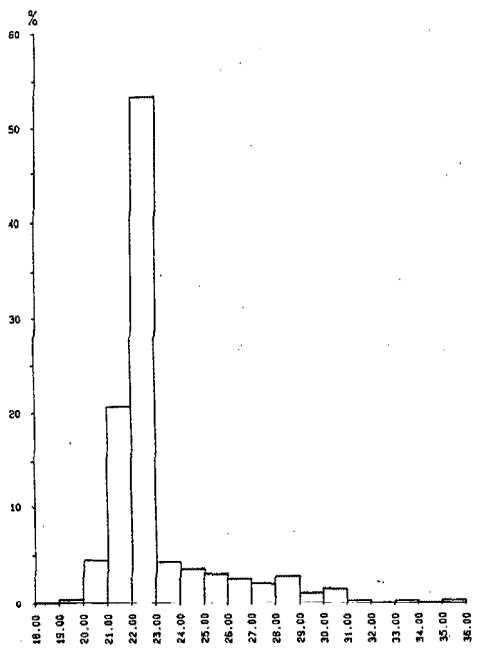


Figura 5.1-140

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
9- 9-87 a 30- 9-87 , 519 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

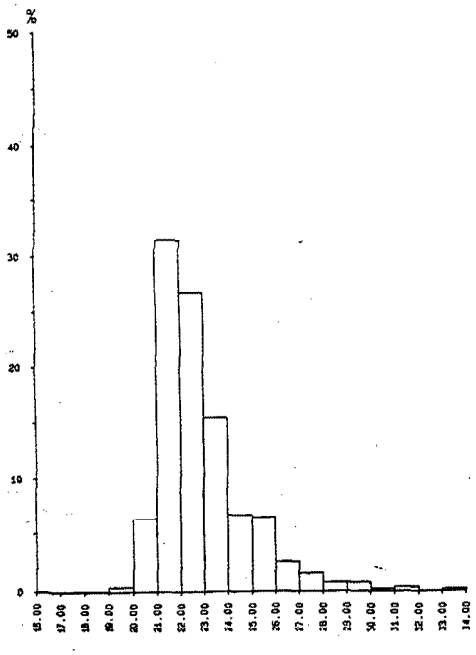


Figura 5.1-141

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
1-10-87 a 23-10-87 , 543 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

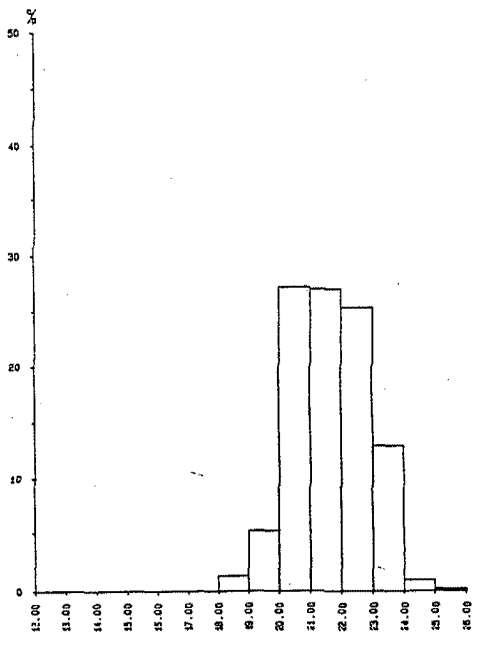


Figura 5.1-142

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
28-10-87 a 31-10-87 , 168 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

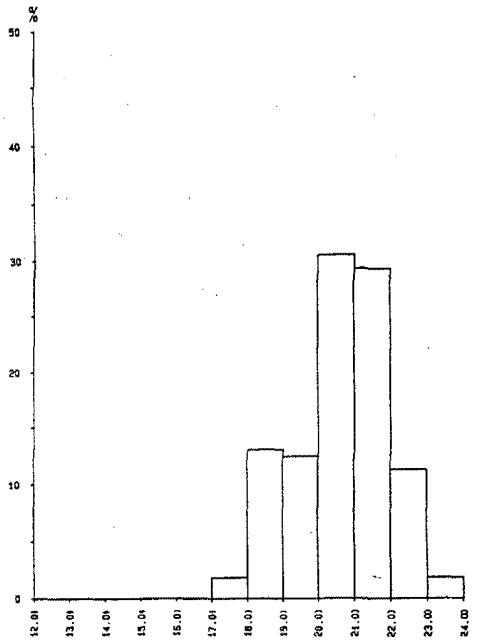


Figura 5.1-143

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-11-87 a 30-11-87 , 1440 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

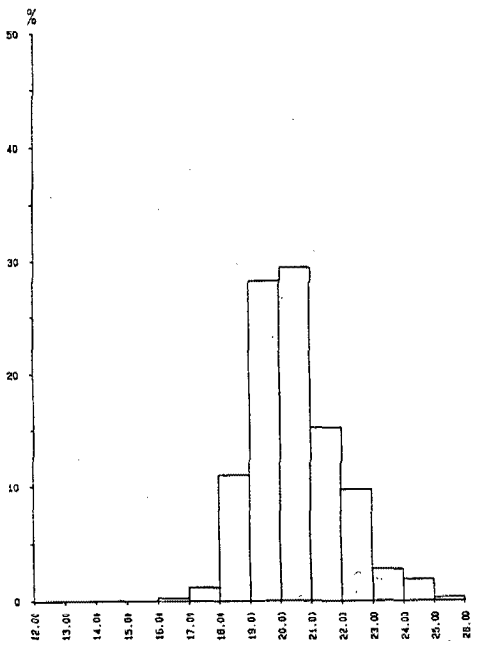


Figura 5.1-144

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-12-87 a 27-12-87 , 1273 datos
Histograma de TEMPERATURA (C)

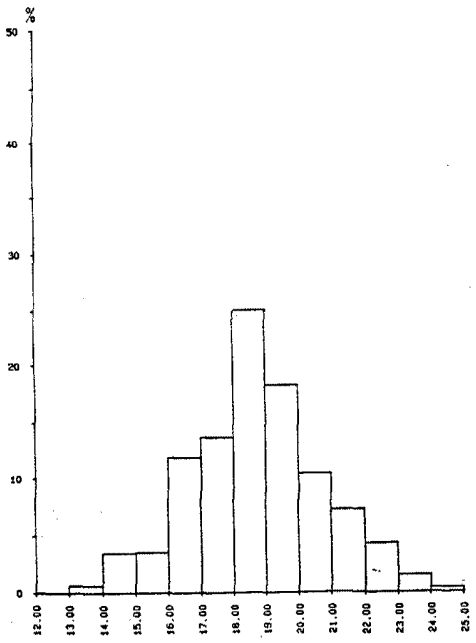


Figura 5.1-145

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
1987,13421 datos
HISTOGRAMA DE TEMPERATURA (°c)

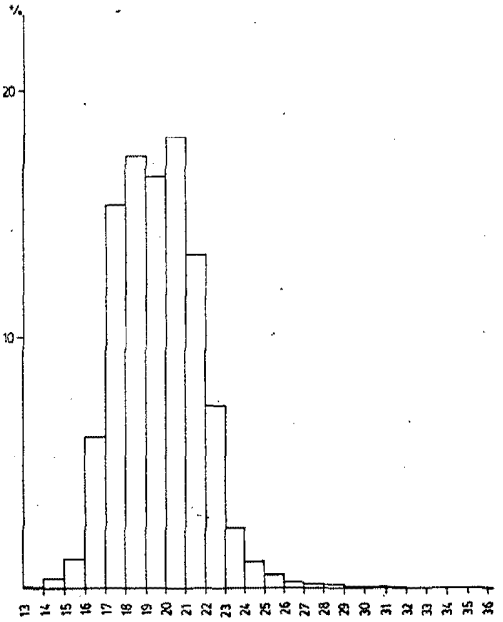


FIGURA 5.1-146

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
13- 1-87 a 31- 1-87 , 888 datos
Histograma de PRESION (mb)

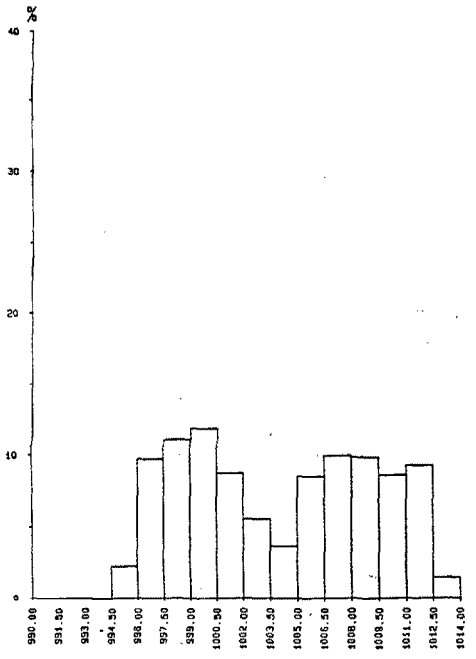


Figura 5.1-147

FSTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 2-87 a 28- 2-87 , 1344 datos
Histograma de PRESION (mb)

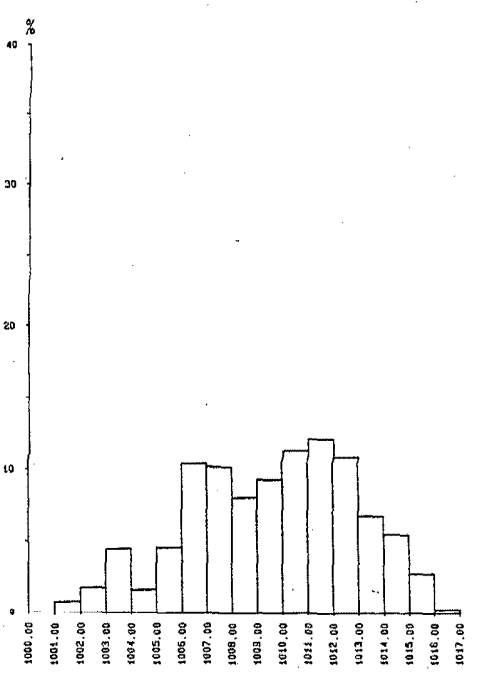


Figura 5.1-148

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 13- 1-87 (3776 datos, 30 minutos)
1- 3-87 a 31- 3-87 , 1488 datos
Histograma de PRESION (mb)

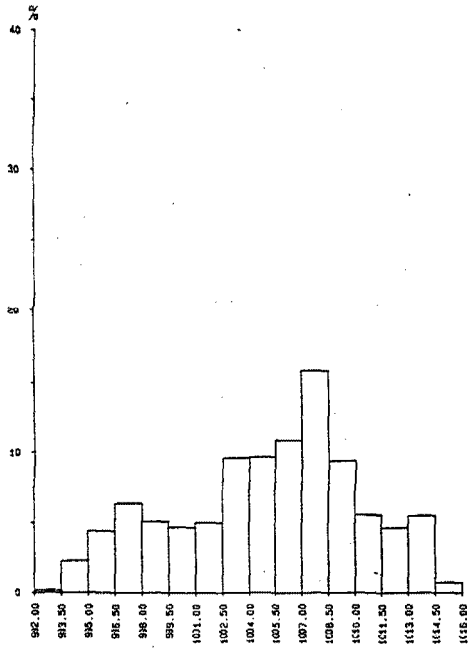


Figura 5.1-149

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
2- 4-87 a 30- 4-87 , 1368 datos
Histograma de PRESION (mb)

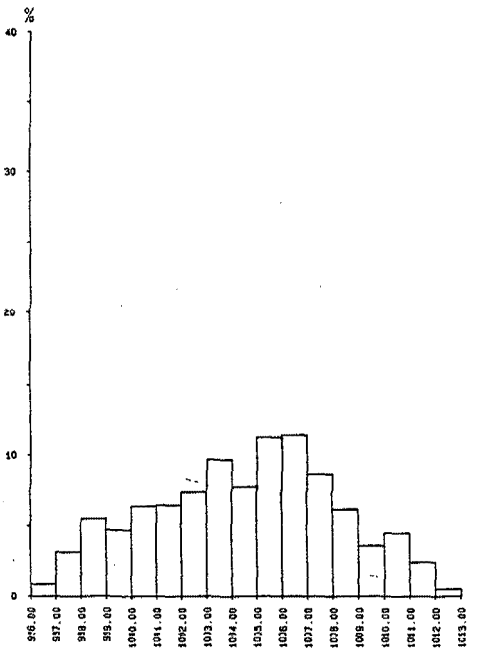


Figura 5.1-150

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 2- 4-87 (3499 datos, 30 minutos)
1- 5-87 a 31- 5-87 , 1488 datos
Histograma de PRESION (mb)

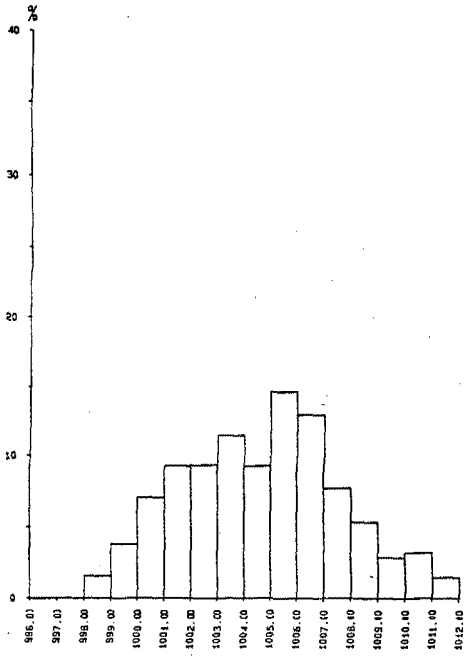


Figura 5.1-151

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 1- 6-87 (930 datos, 30 minutos)
1- 6-87 a 14- 6-87 , 25- 6-87 a 30- 6-87 ; 930 datos
Histograma de PRESION (mb)

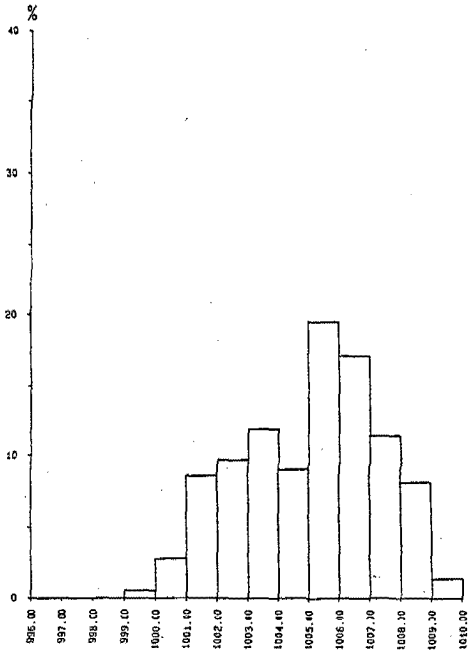


Figura 5.1-152

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 25- 6-87 (696 datos, 30 minutos)
1- 7-87 a 9- 7-87 , 409 datos
Histograma de PRESION (mb)

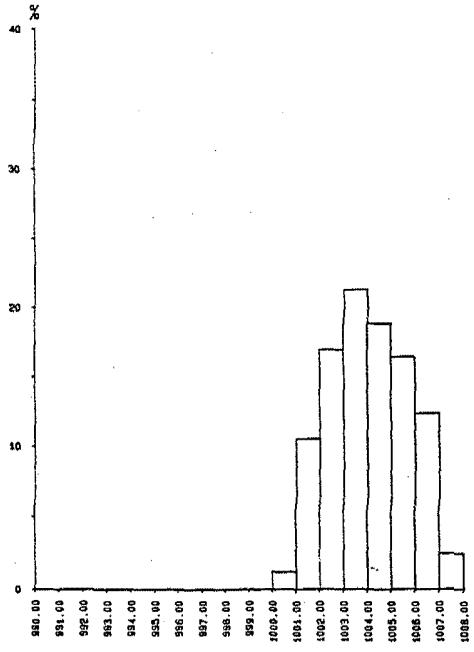


Figura 5.1-153

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
11- 7-87 a 31- 7-87 , 984 datos
Histograma de PRESION (mb)

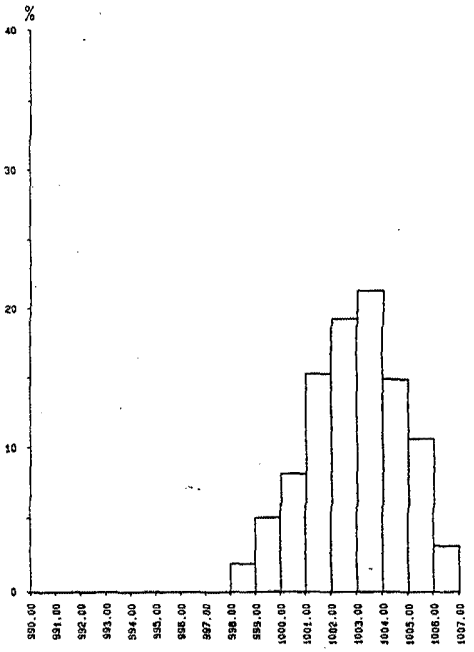


Figura 5.1-154

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 11- 7-87 (3960 datos, 10 minutos)
1- 8-87 a 4- 8-87 , 192 datos
Histograma de PRESION (mb)

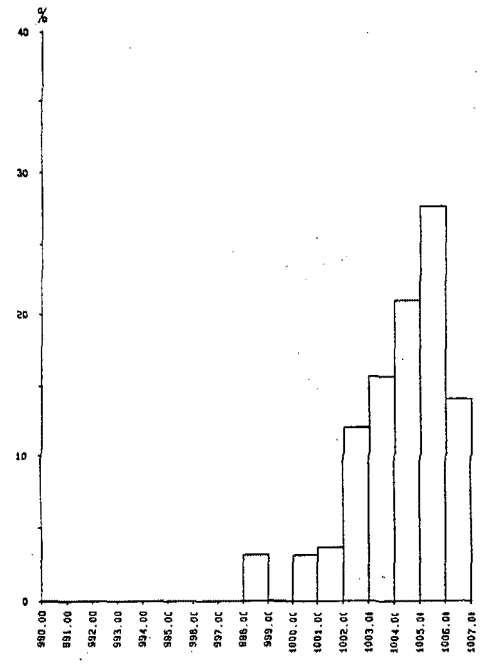


Figura 5.1-155

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE
Fichero : 31- 8-87 (1335 datos, 10 minutos)
1- 9-87 a 9- 9-87 , 402 datos
Histograma de PRESION (mb)

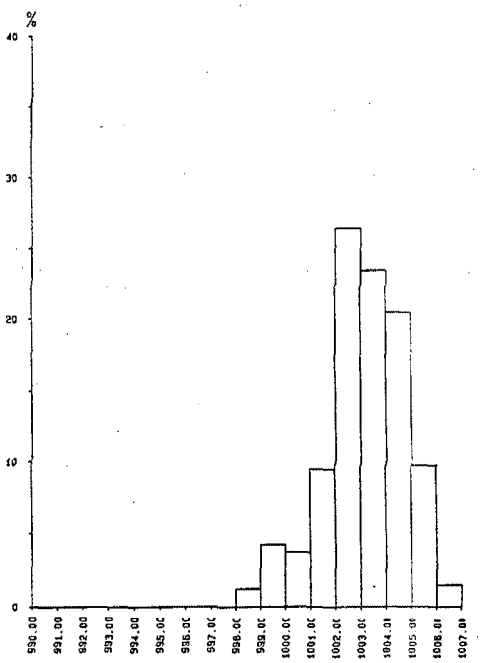


Figura 5.1-156

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
9- 9-87 a 30- 9-87 , 519 datos
Histograma de PRESION (mb)

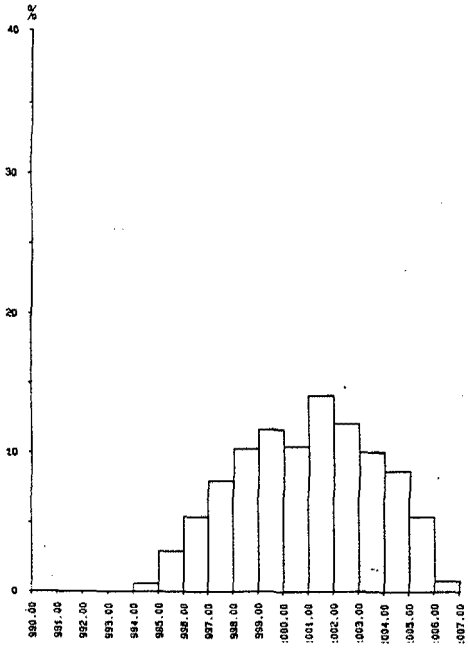


Figura 5.1-157

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 9- 9-87 (1062 datos, 60 minutos)
1-10-87 a 23-10-87 , 543 datos
Histograma de PRESION (mb)

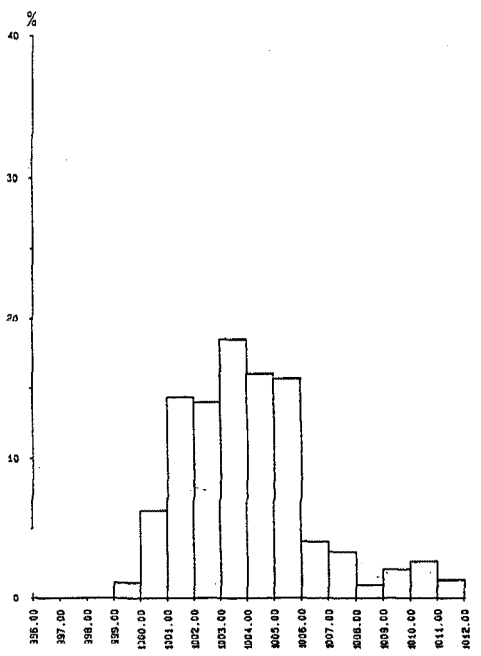


Figura 5.1-158

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
28-10-87 a 31-10-87 , 168 datos
Histograma de PRESION (mb)

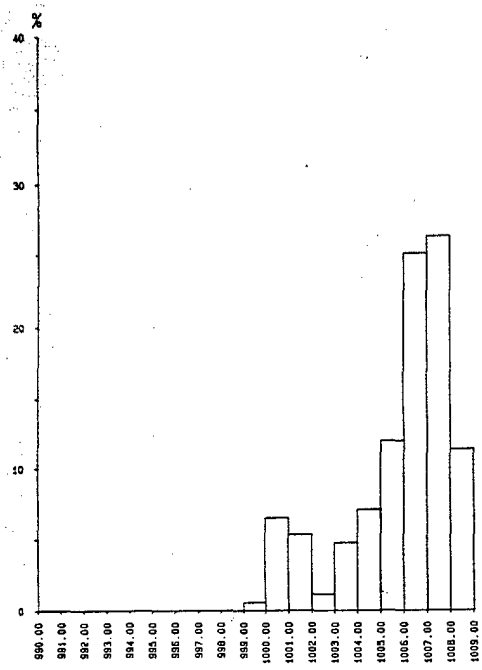


Figura 5.1-159

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-11-87 a 30-11-87 , 1440 datos
Histograma de PRESION (mb)

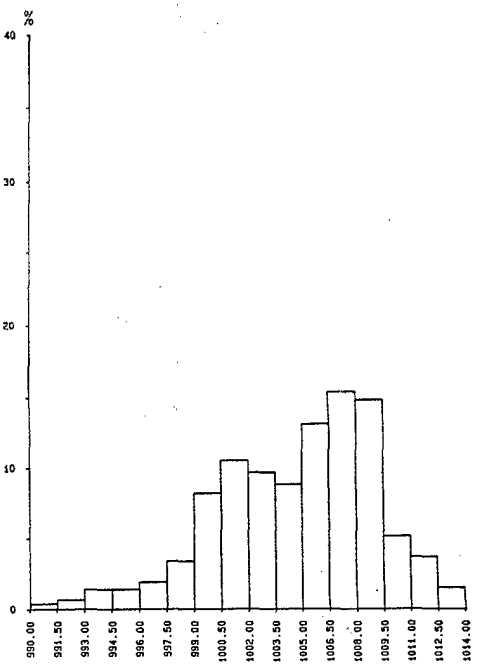


Figura 5.1-160

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
Fichero : 28-10-87 (2881 datos, 30 minutos)
1-12-87 a 27-12-87 , 1273 datos
Histograma de PRESION (mb)

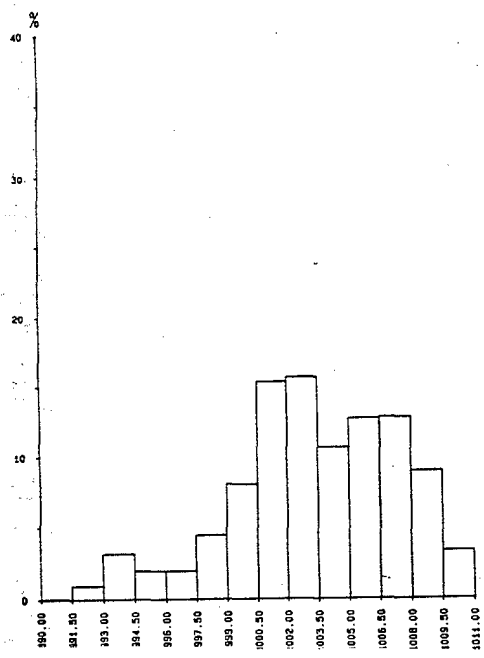


Figura 5.1-161

ESTACION METEOROLOGICA (TALIARTE)
1987, 13421 datos
HISTOGRAMA DE PRESION (mb)

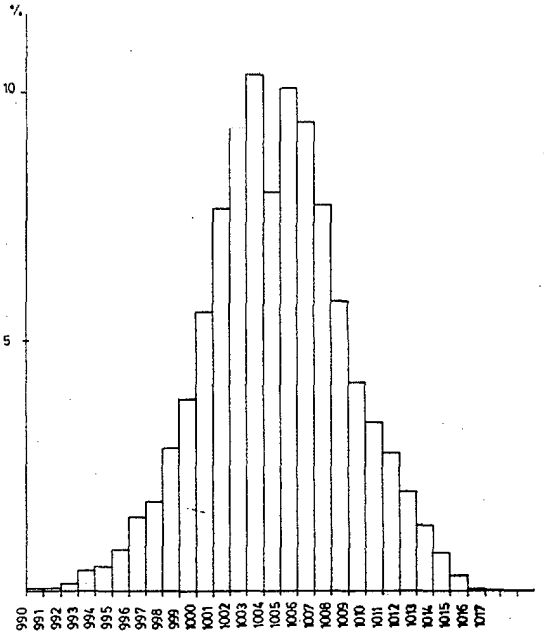
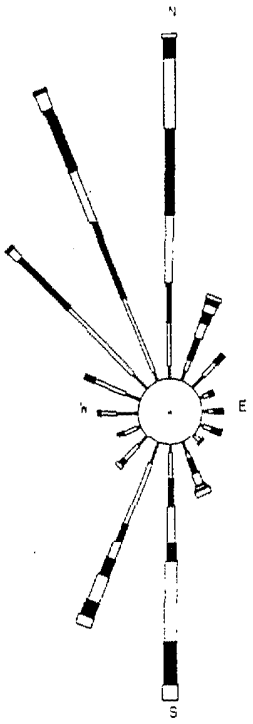


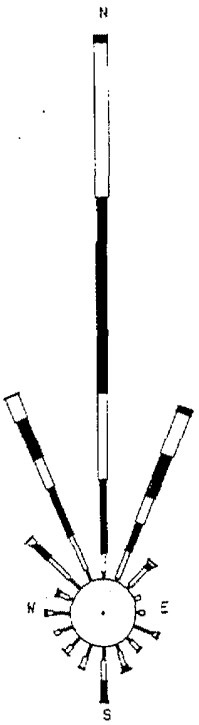
FIGURA 5.1-162

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



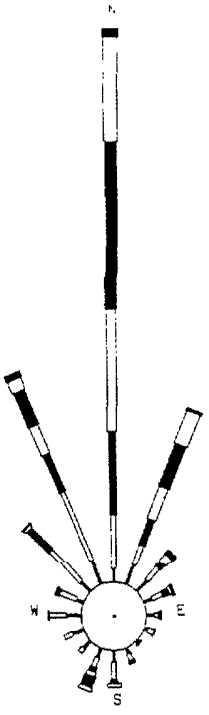
ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
13- 1-87 a 31- 1-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

Figura 5.1-163



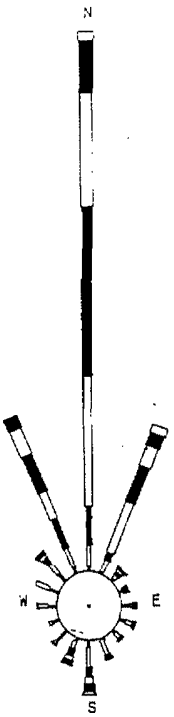
ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 2-87 a 28- 2-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

Figura 5.1-164



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 3-87 a 31- 3-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

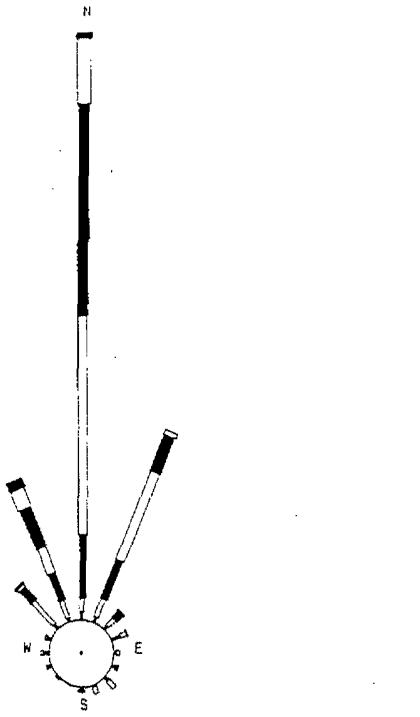
Figura 5.1-165



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
2- 4-87 a 30- 4-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

Figura 5.1-166

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 5-87 a 31- 5-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

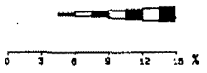
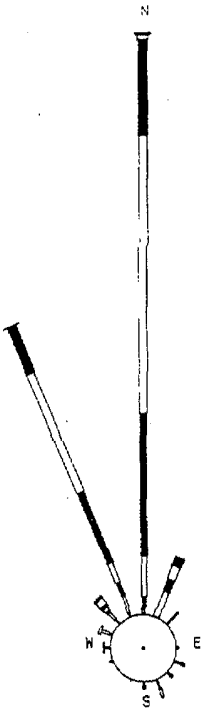


Figura 5.1-167



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 6-87 a 14- 6-87
25- 6-87 a 30- 6-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

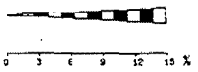
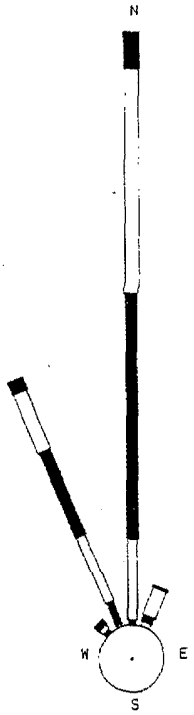


Figura 5.1-168



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 7-87 a 9- 7-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

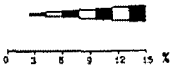
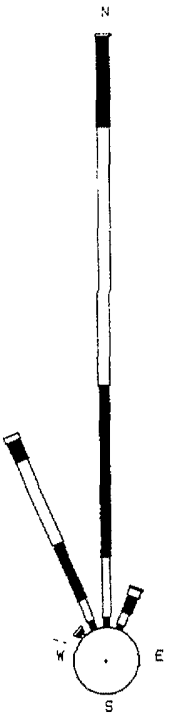


Figura 5.1-169



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 7-87 a 31- 7-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

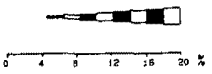
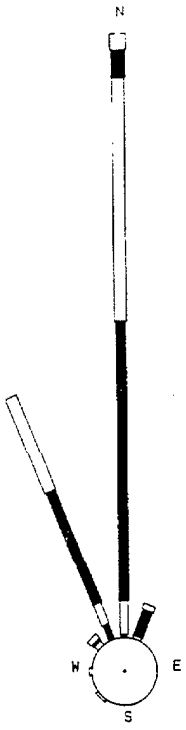


Figura 5.1-170

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 8-87 a 7- 8-87 (30 minutos)
1er. Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

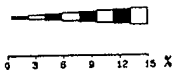


Figura 5.1-171

ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1- 9-87 a 9- 9-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

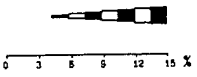
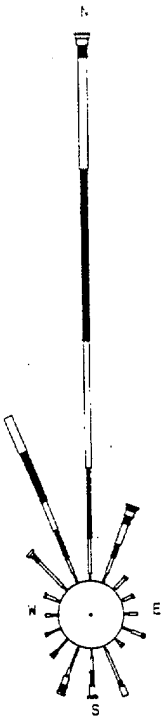


Figura 5.1-172



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
9- 9-87 a 30- 9-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

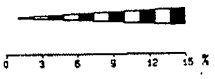
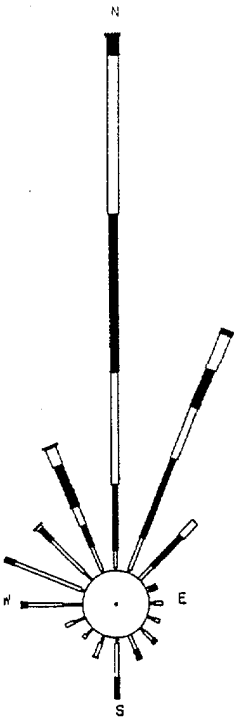


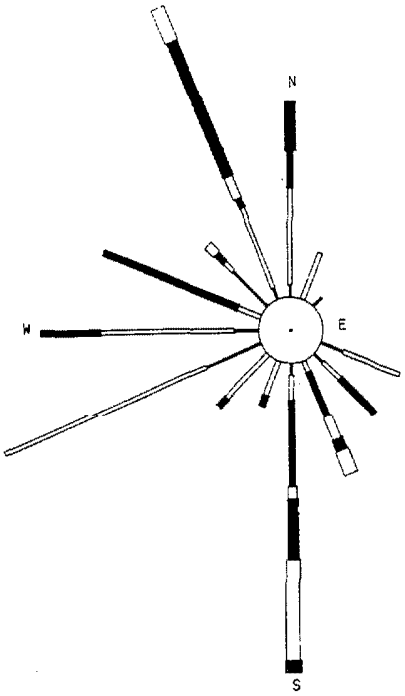
Figura 5.1-173



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1-10-87 a 23-10-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

Figura 5.1-174

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
28-10-87 a 31-10-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

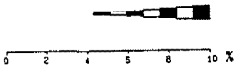
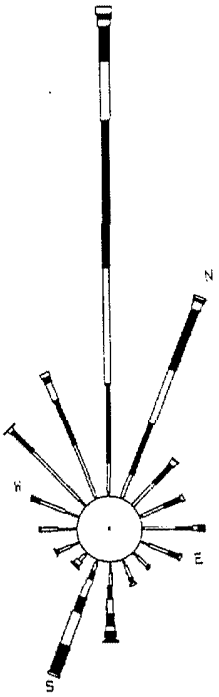


Figura 5.1-175



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1-11-87 a 30-11-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

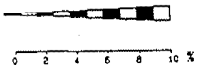
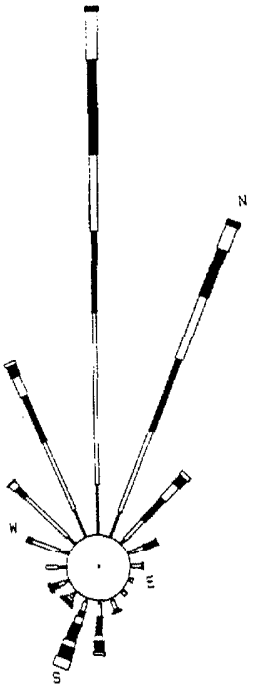


Figura 5.1-176



ROSA DE VIENTOS (TALIARTE)
1-12-87 a 27-12-87 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 2.0 m/s

Figura 5.1-177

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

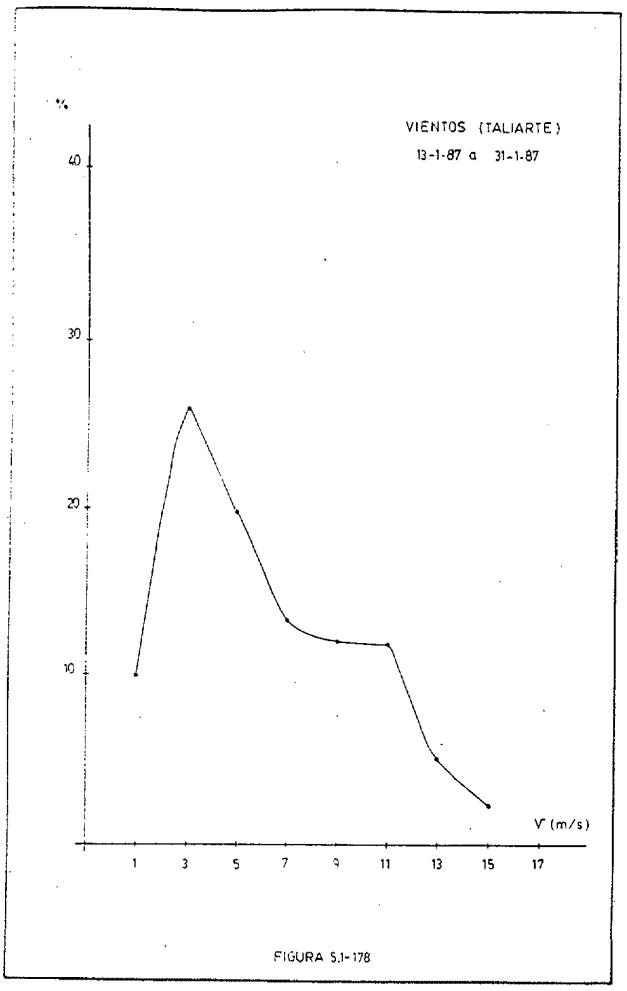


FIGURA 5.1-178

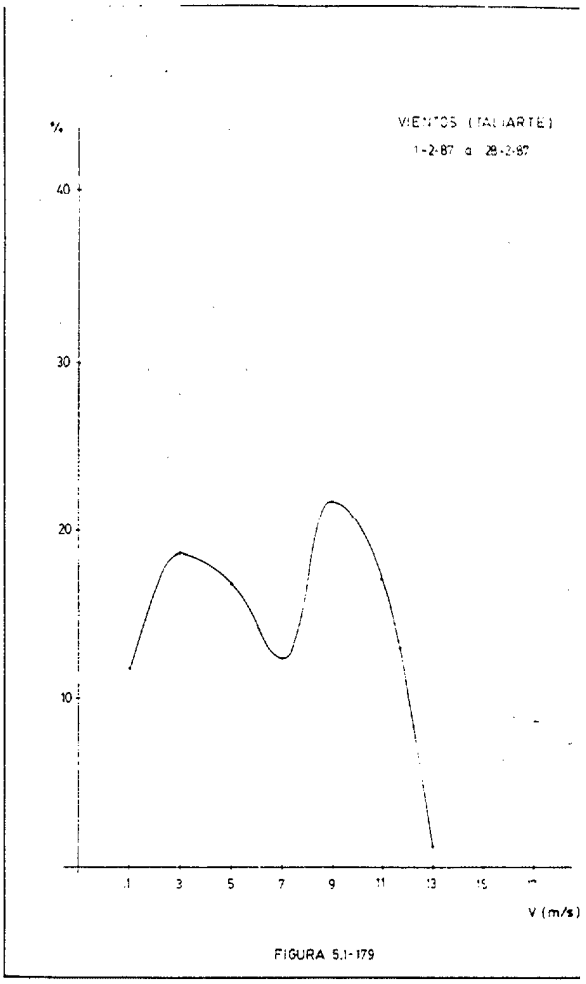


FIGURA 5.1-179

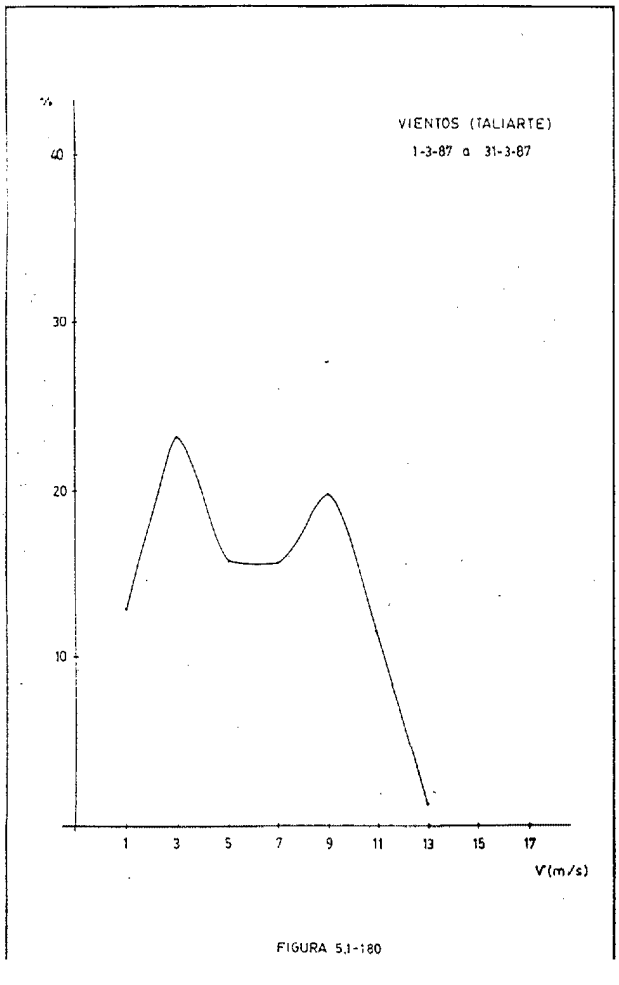


FIGURA 5.1-180

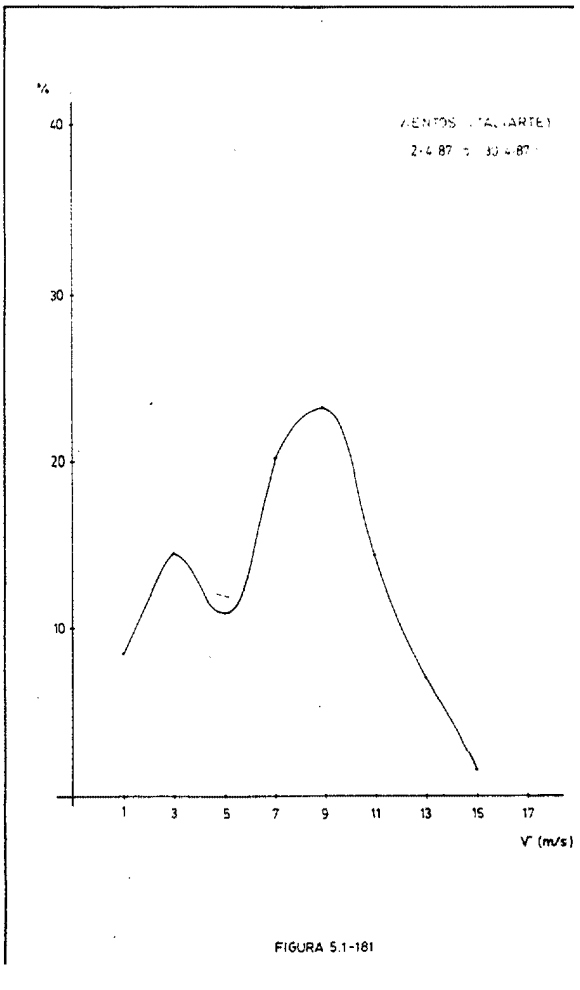


FIGURA 5.1-181

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

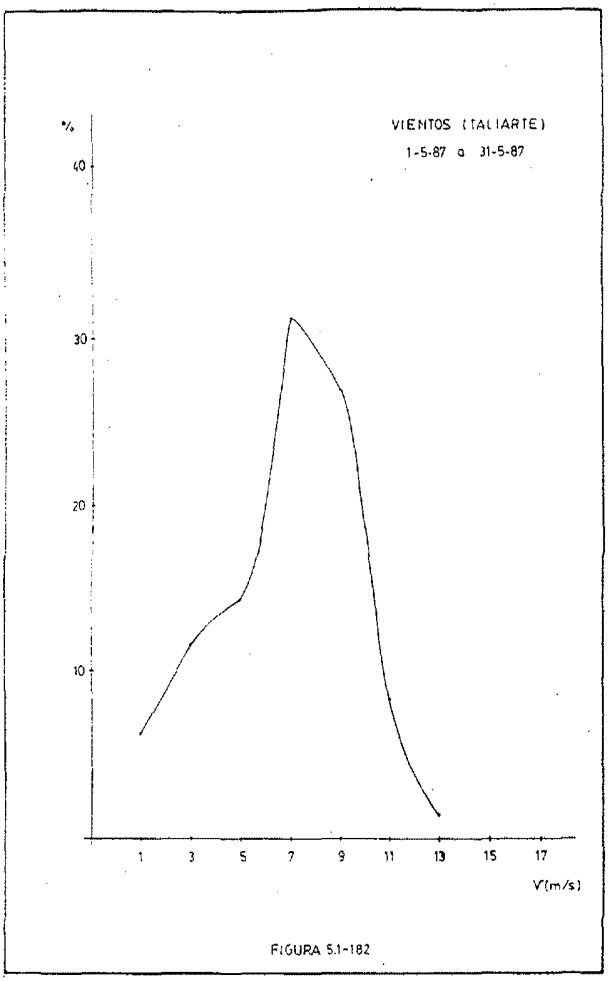


FIGURA 5.1-182

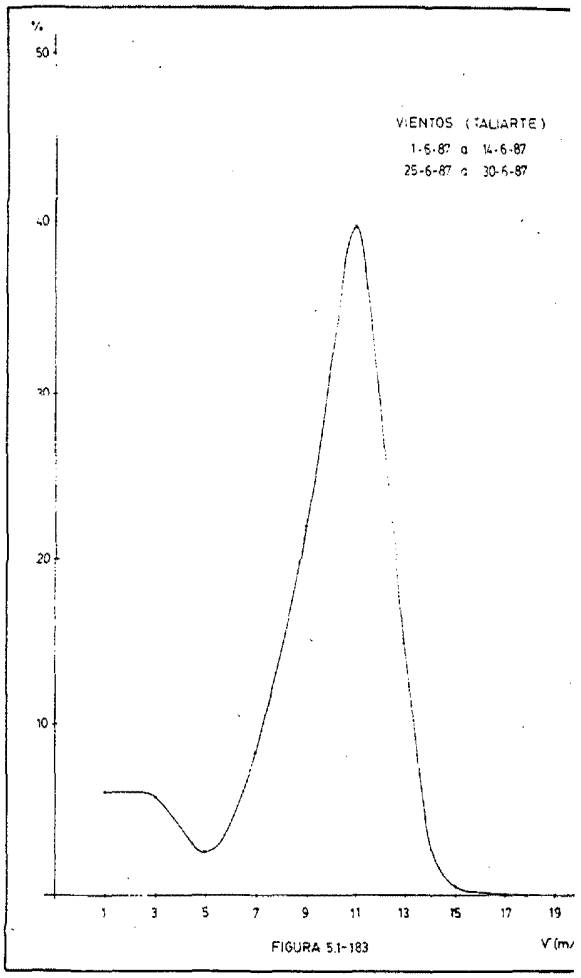


FIGURA 5.1-183

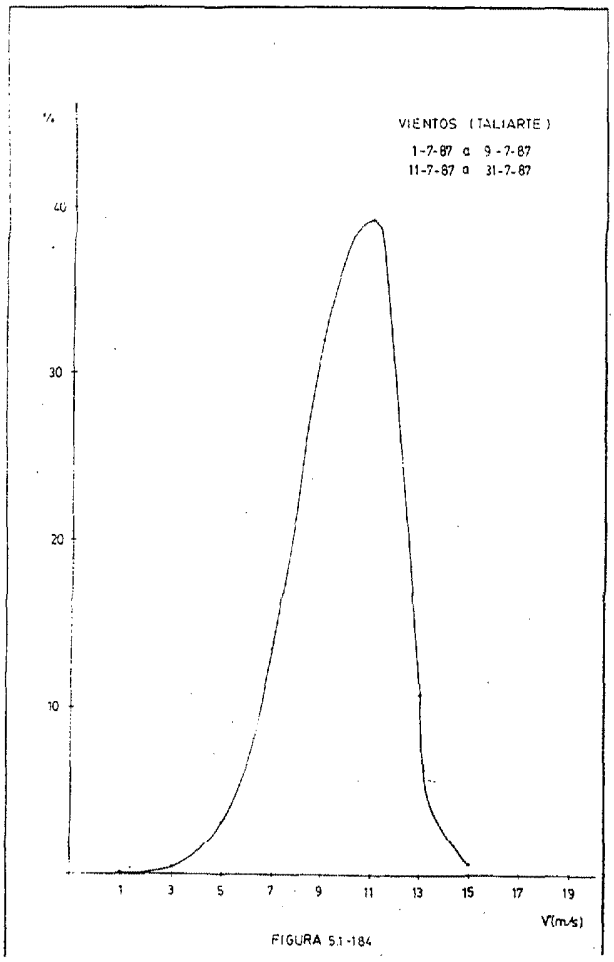


FIGURA 5.1-184

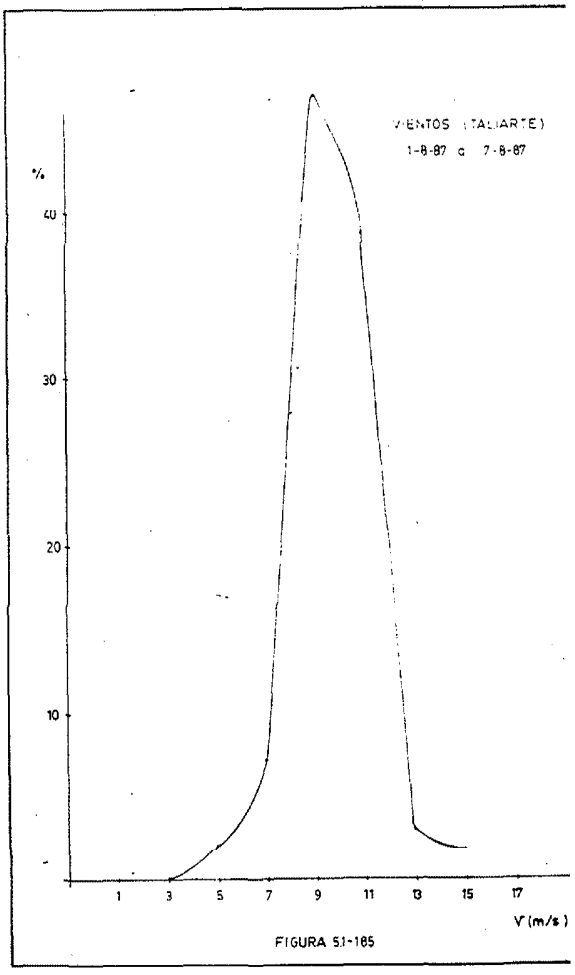


FIGURA 5.1-185

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

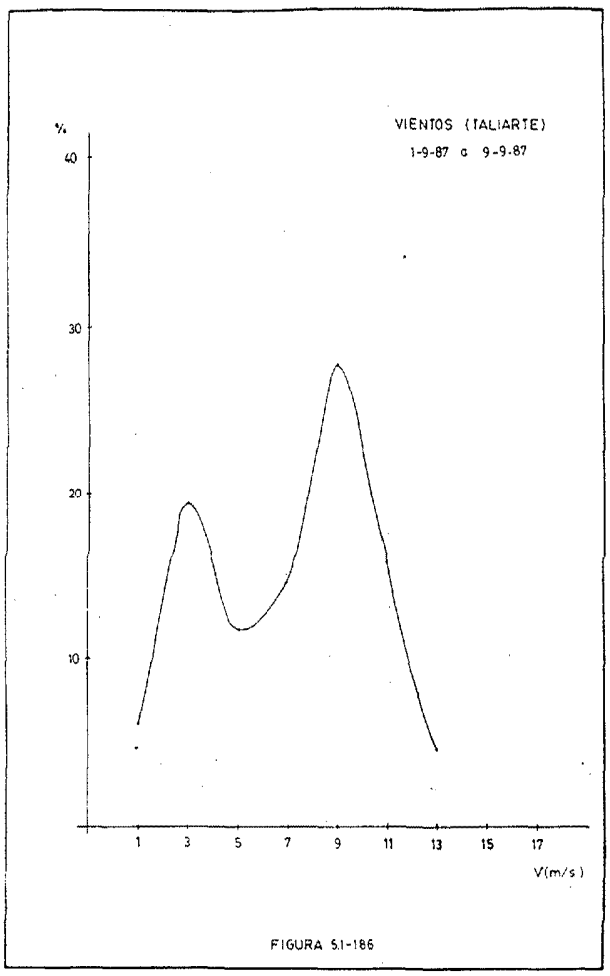


FIGURA 5.1-186

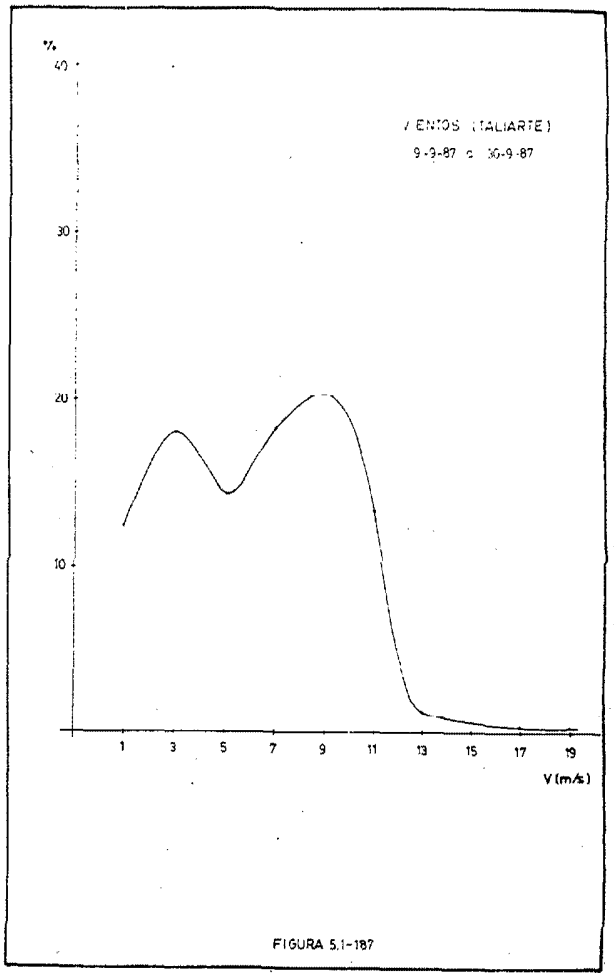


FIGURA 5.1-187

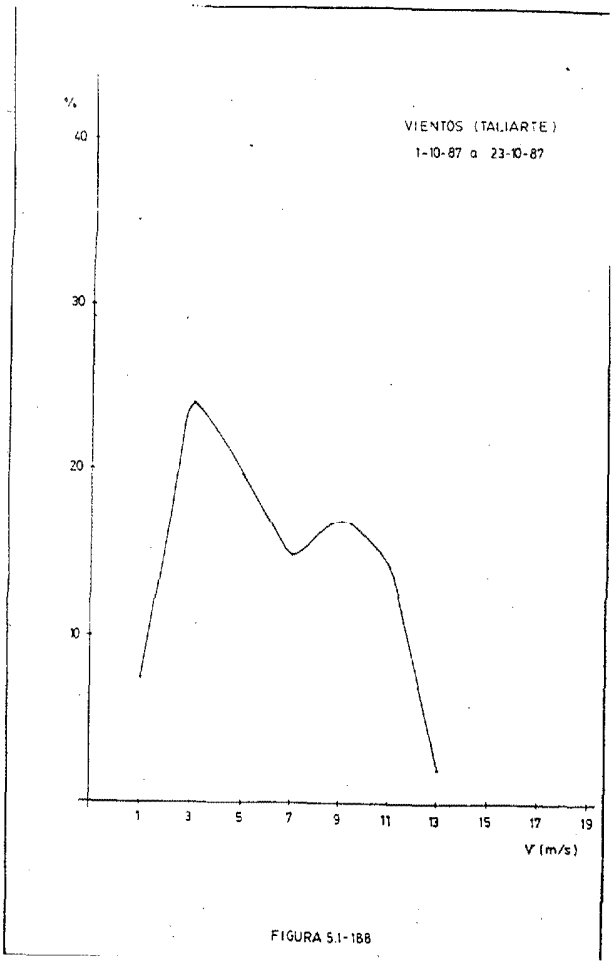


FIGURA 5.1-188

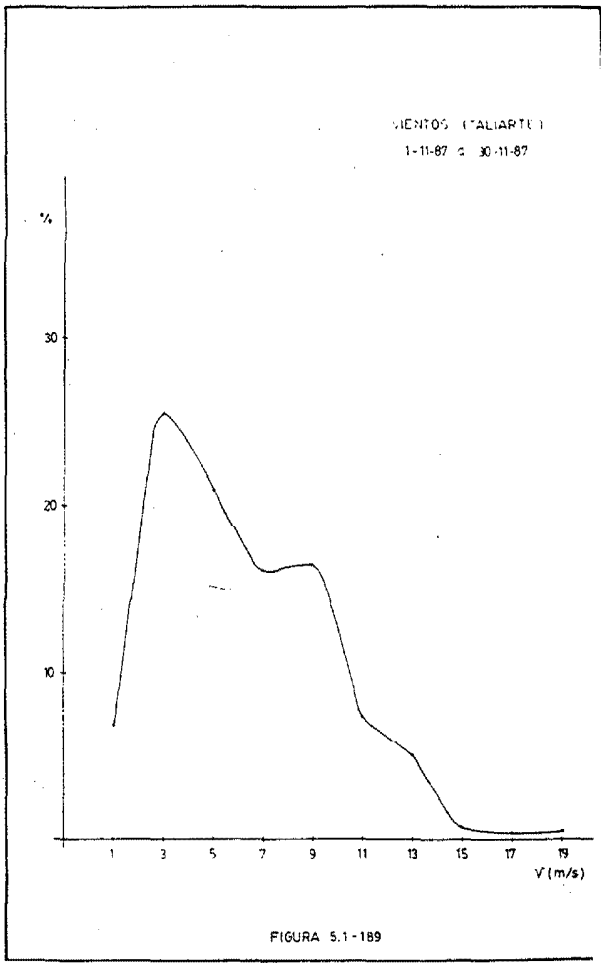


FIGURA 5.1-189

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

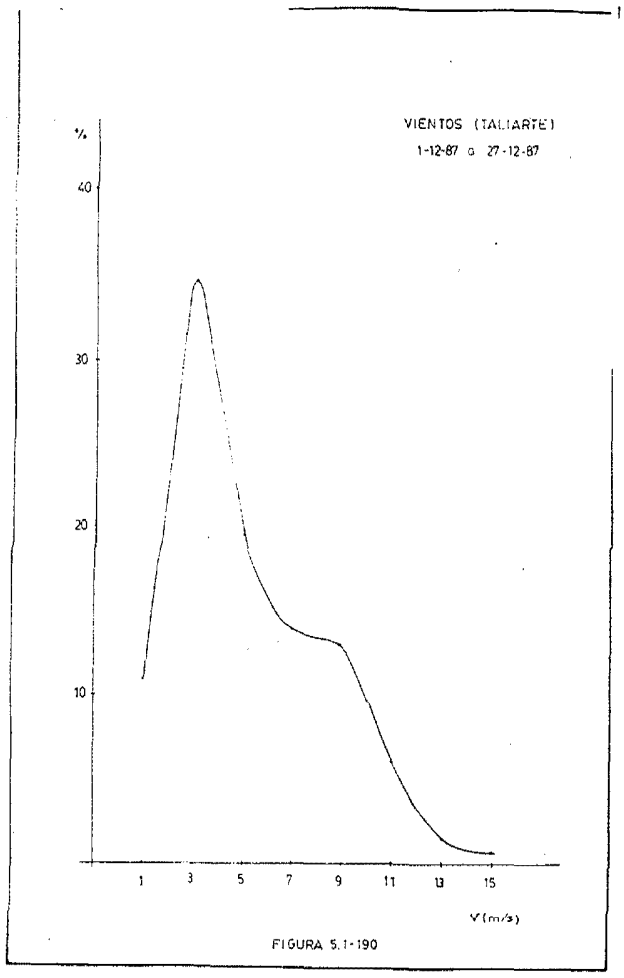


FIGURA 5.1-190

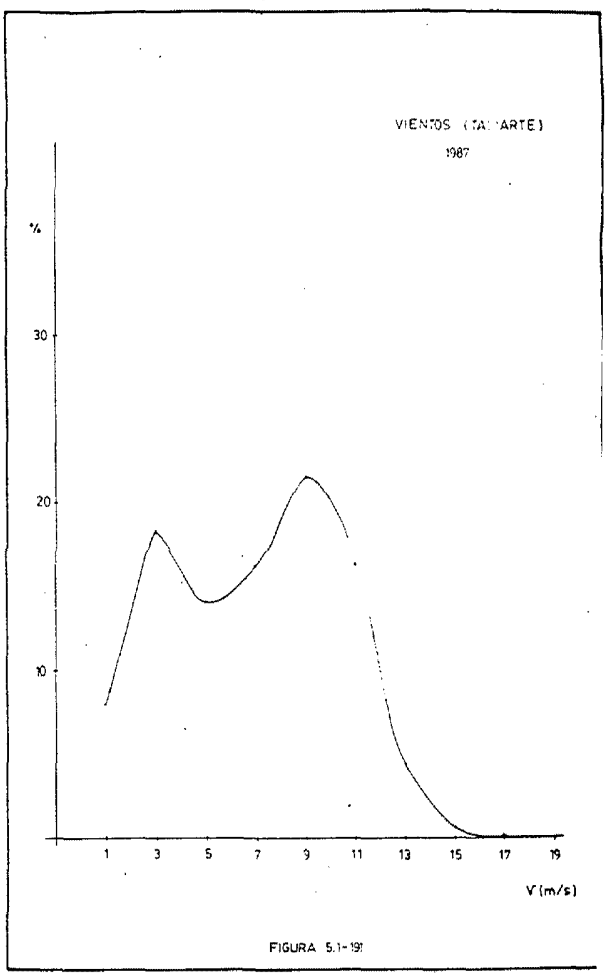


FIGURA 5.1-191

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

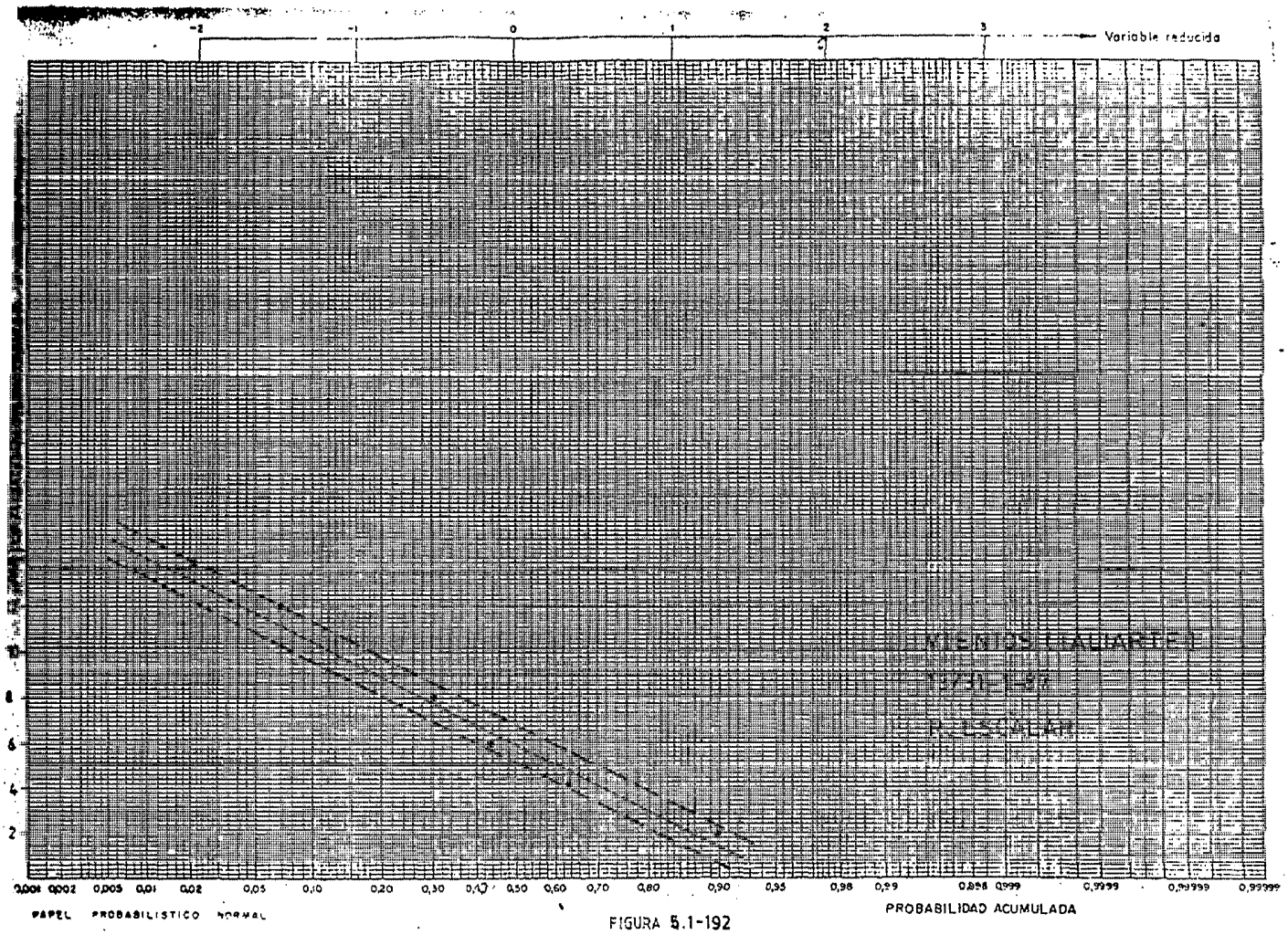


FIGURA 5.1-192

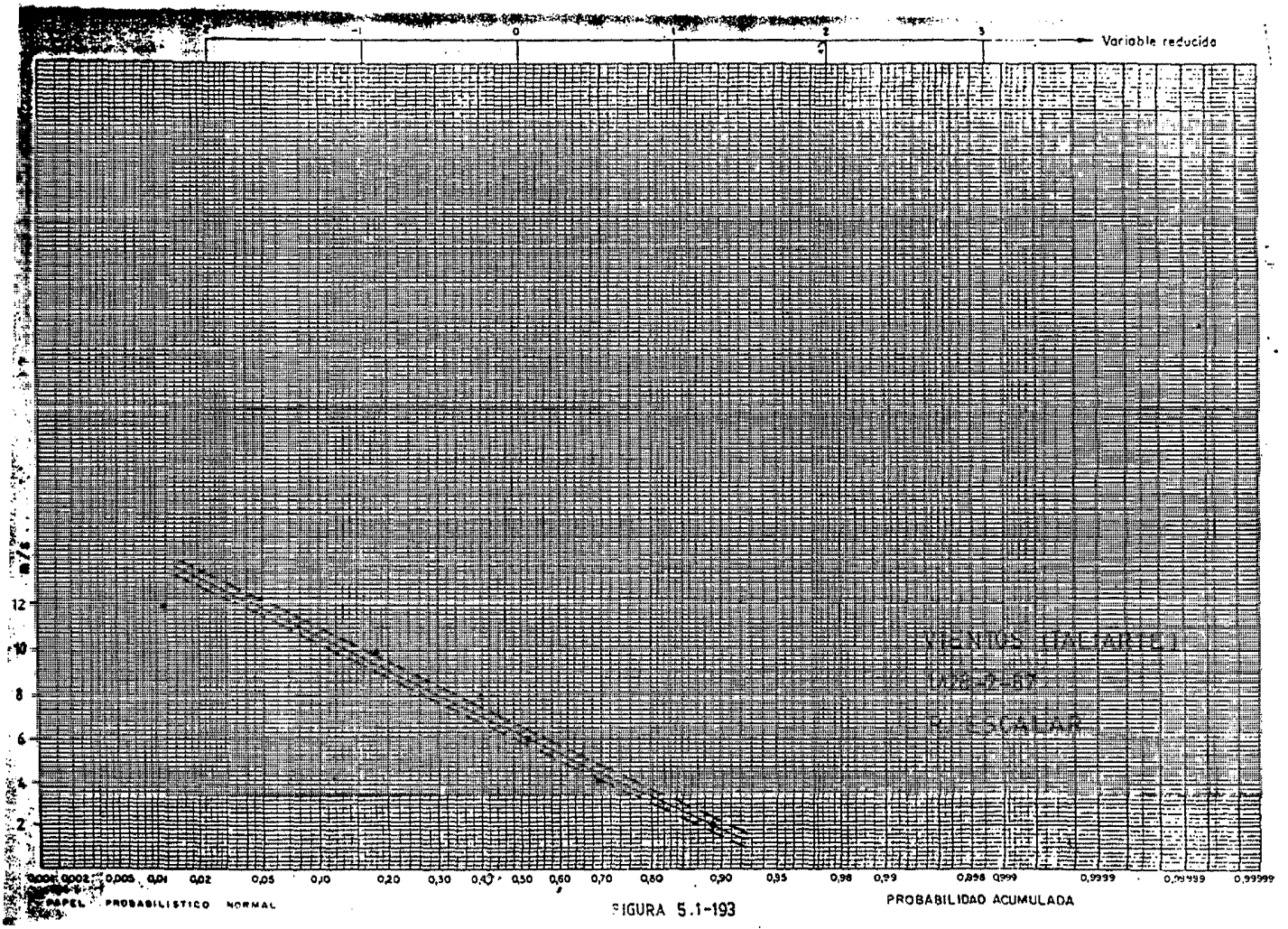


FIGURA 5.1-193

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

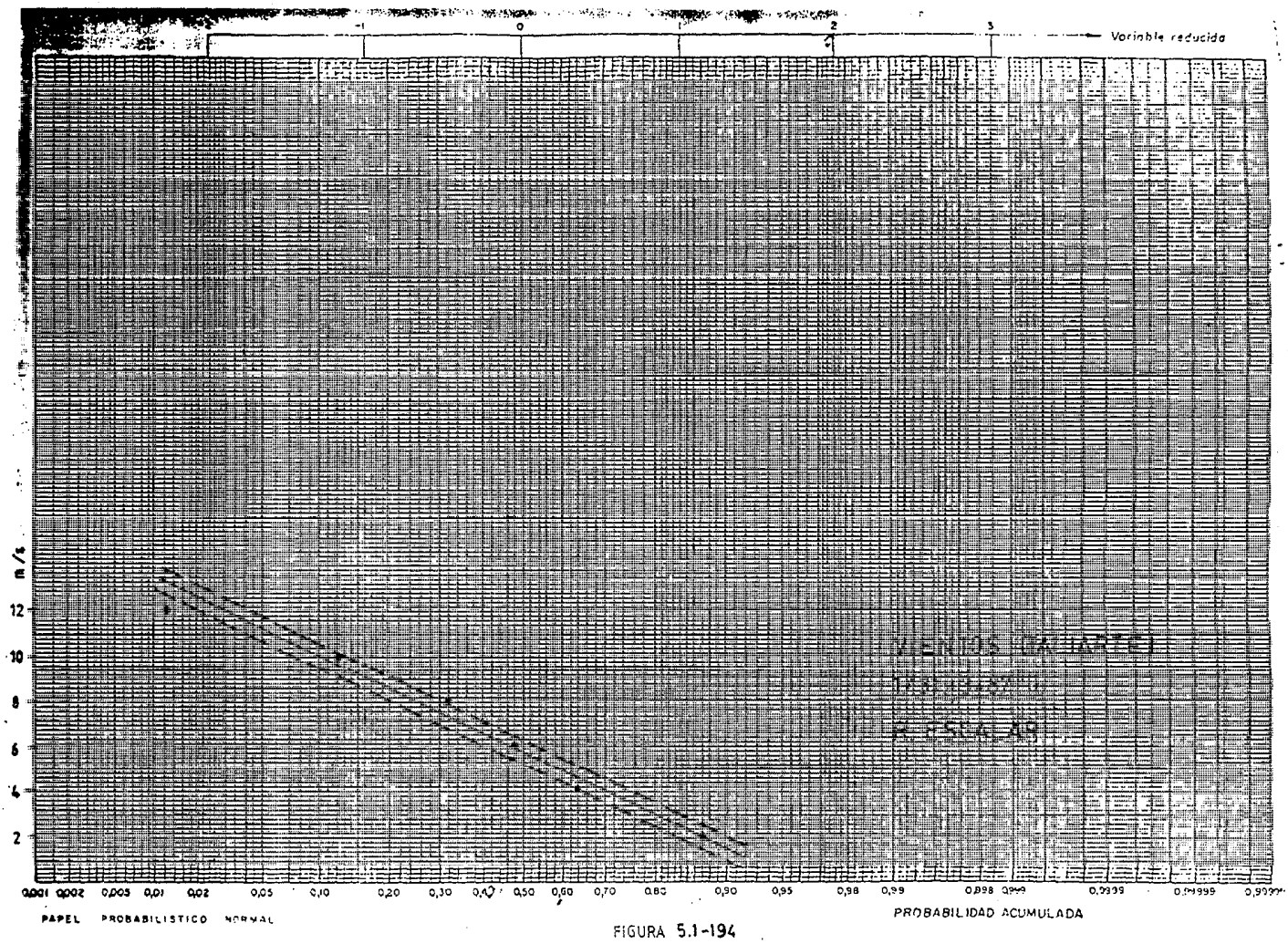


FIGURA 5.1-194

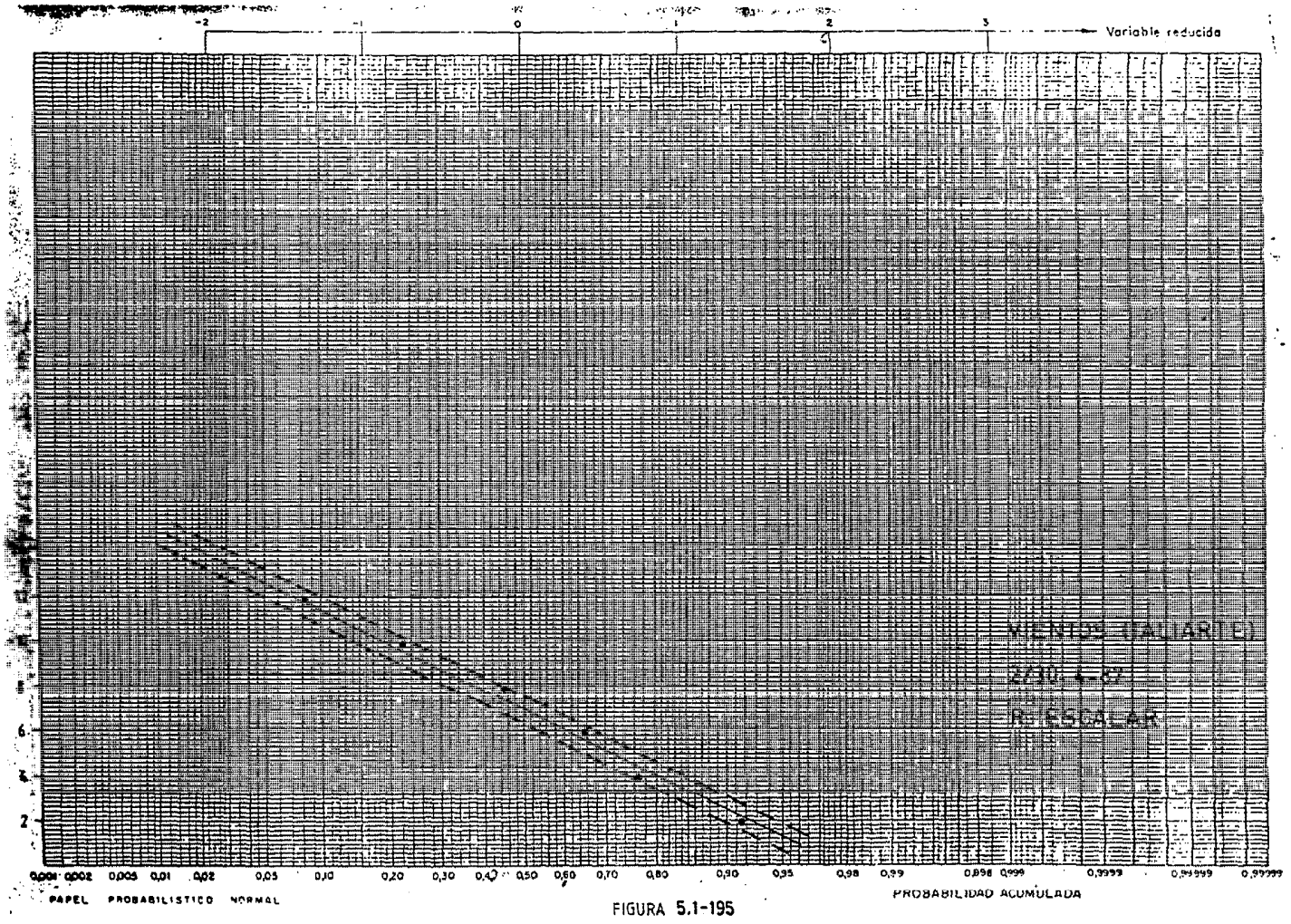


FIGURA 5.1-195

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

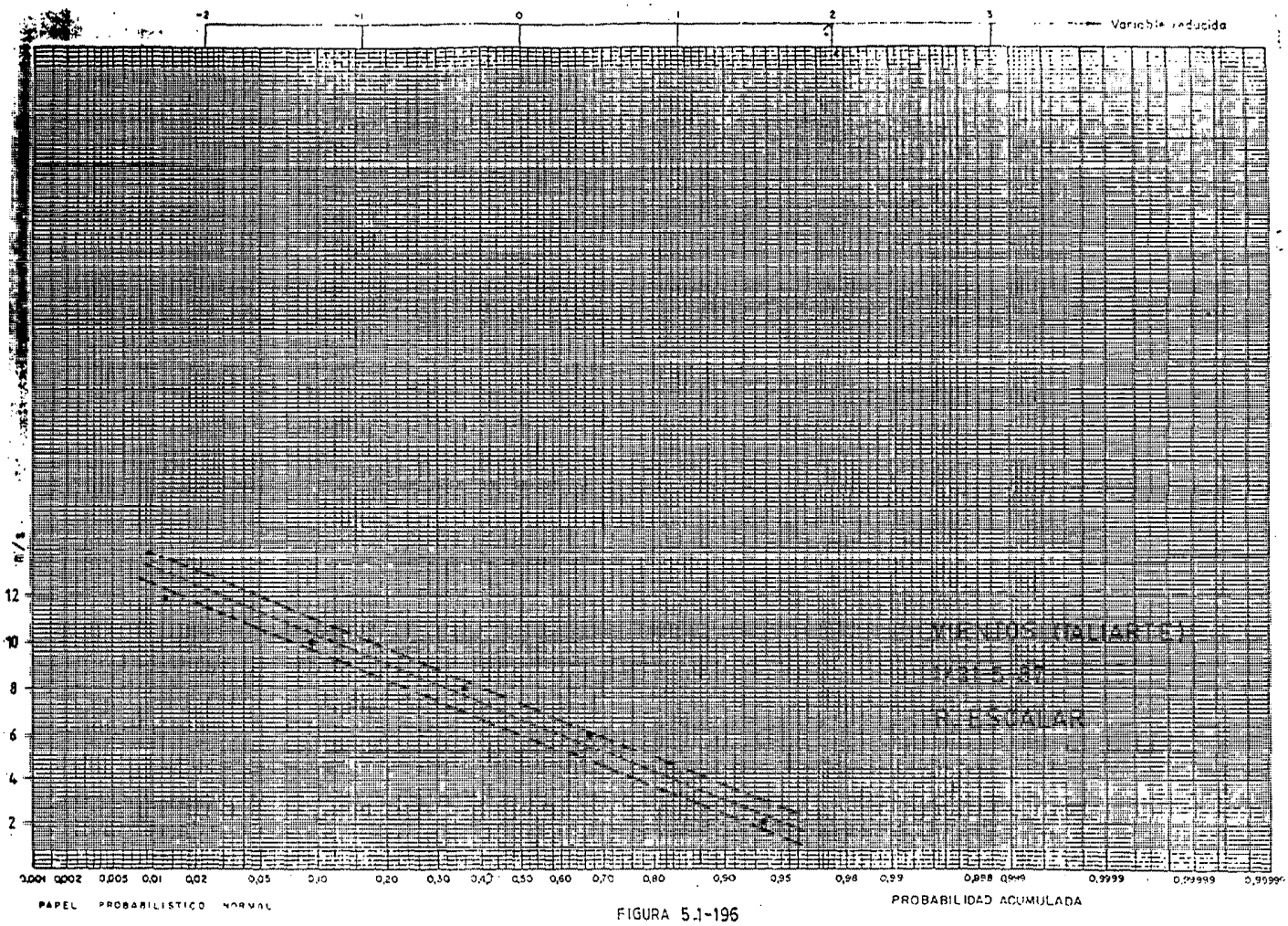


FIGURA 5.1-196

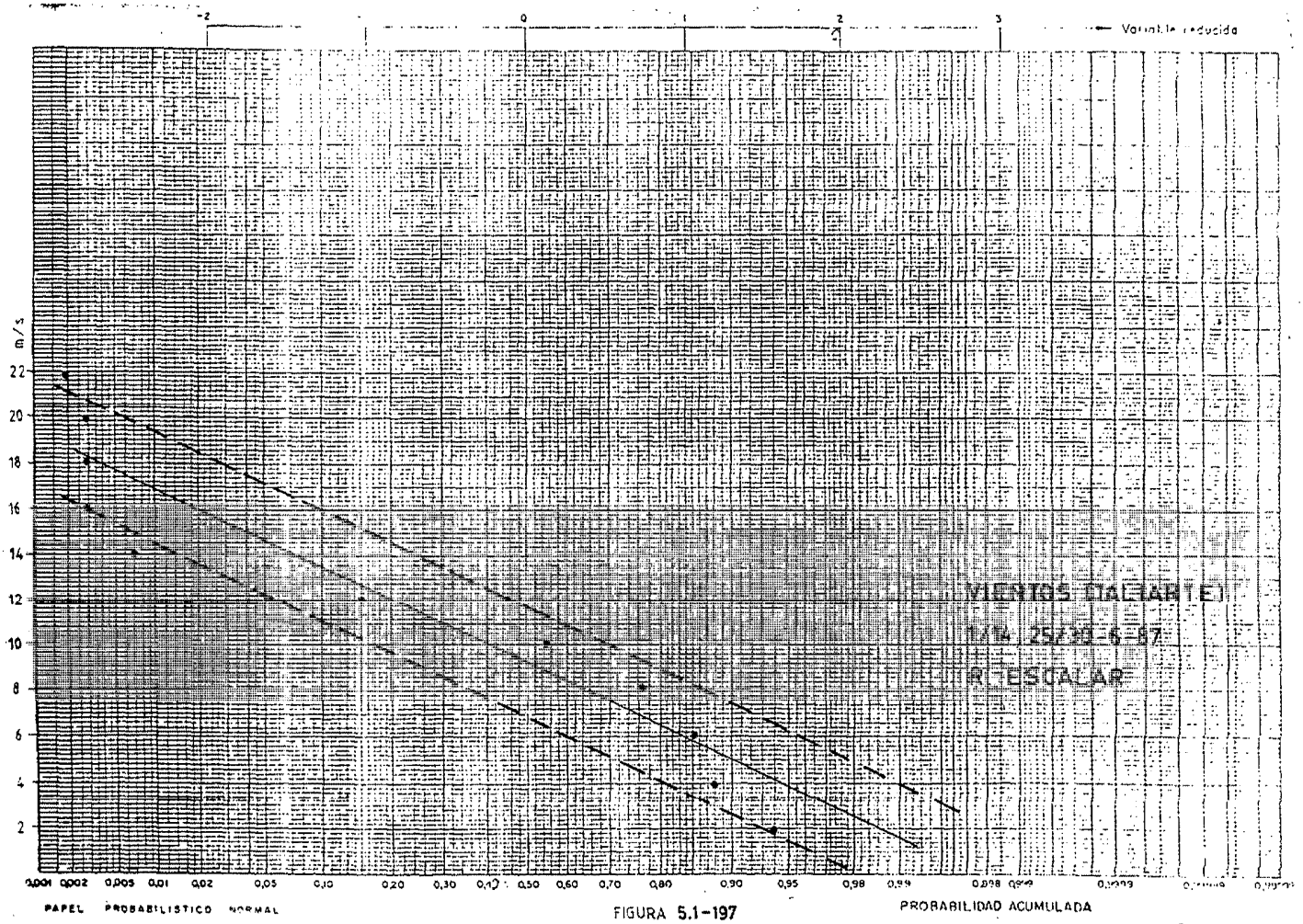


FIGURA 5.1-197

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

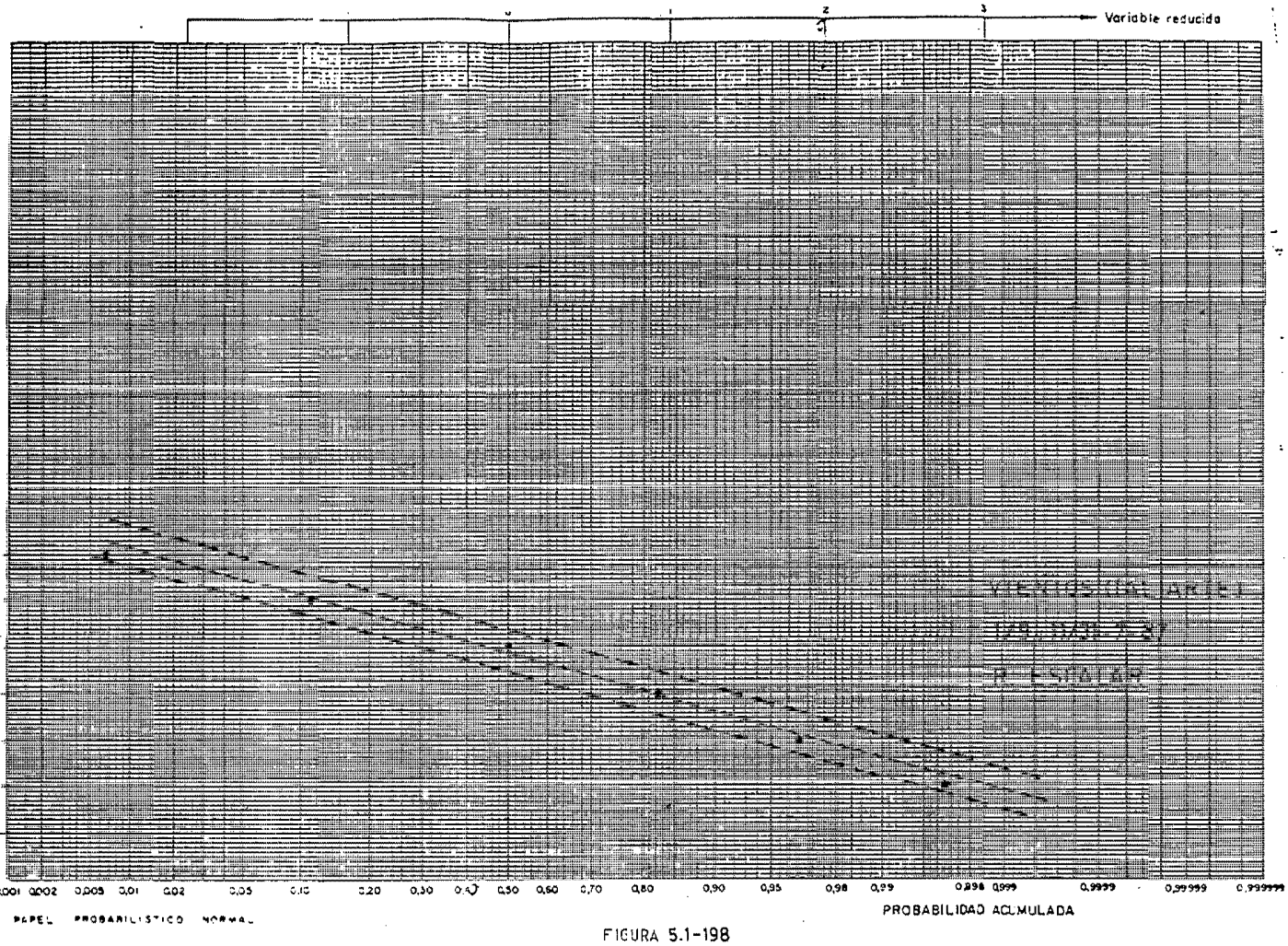


FIGURA 5.1-198

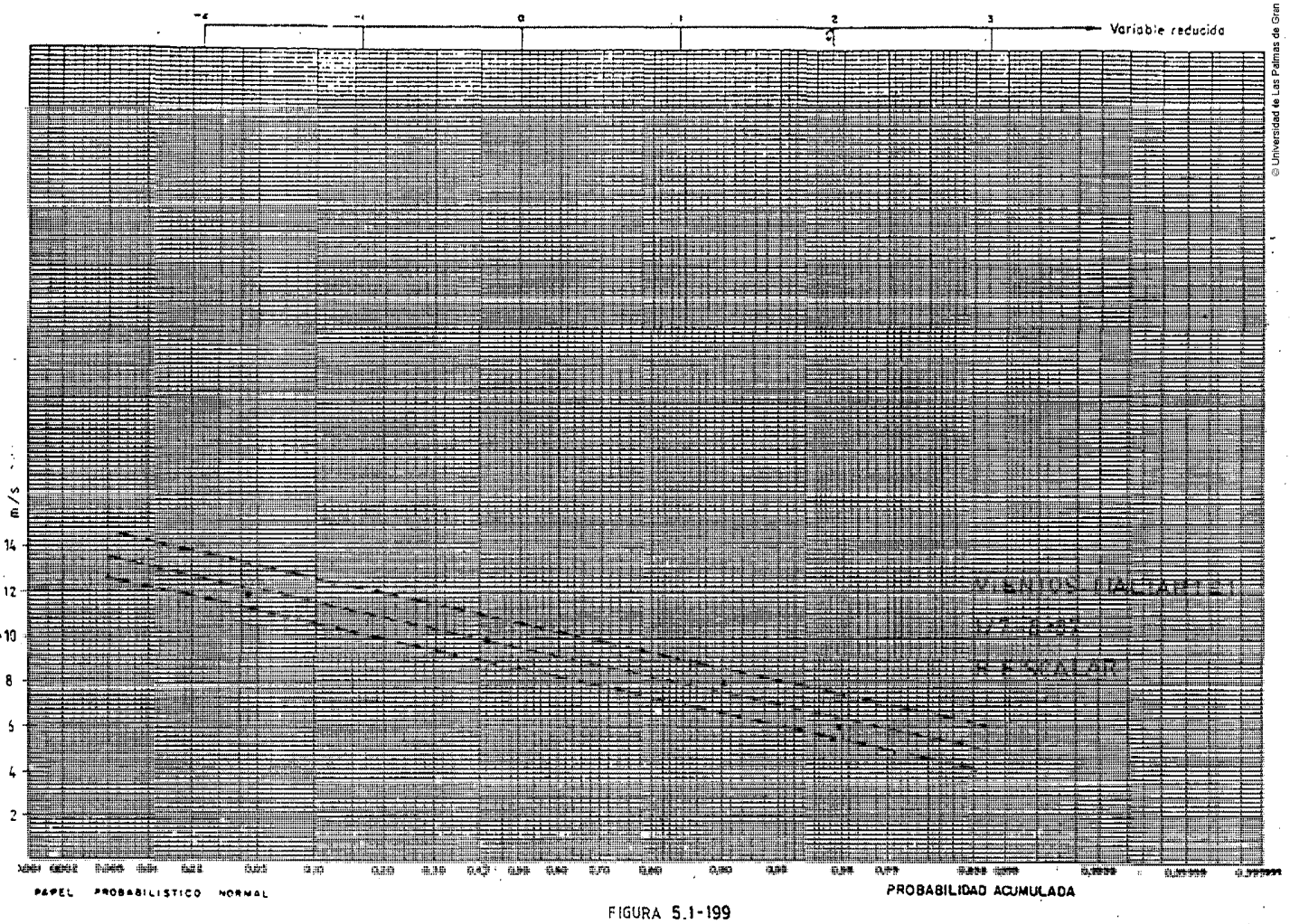


FIGURA 5.1-199

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

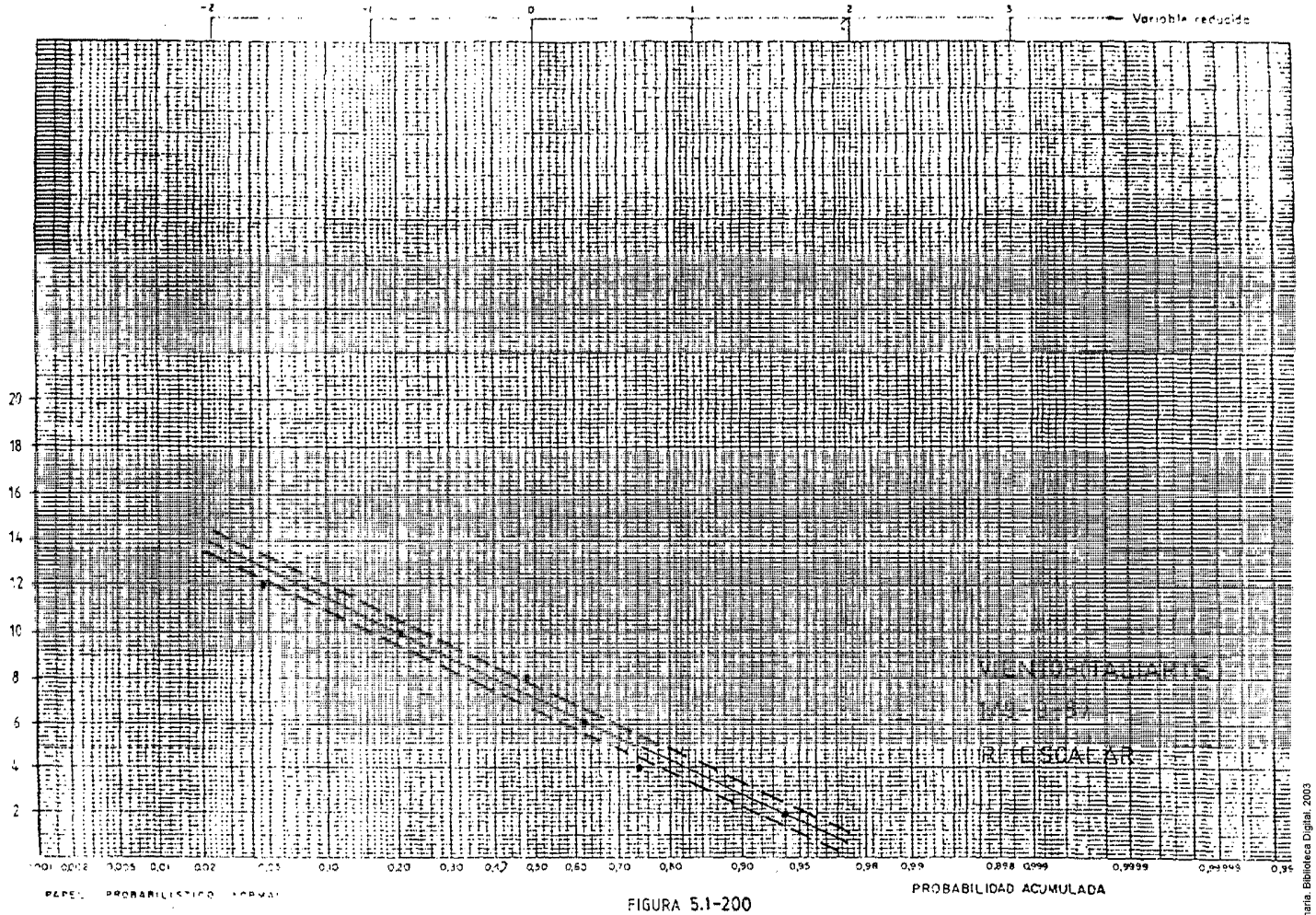


FIGURA 5.1-200

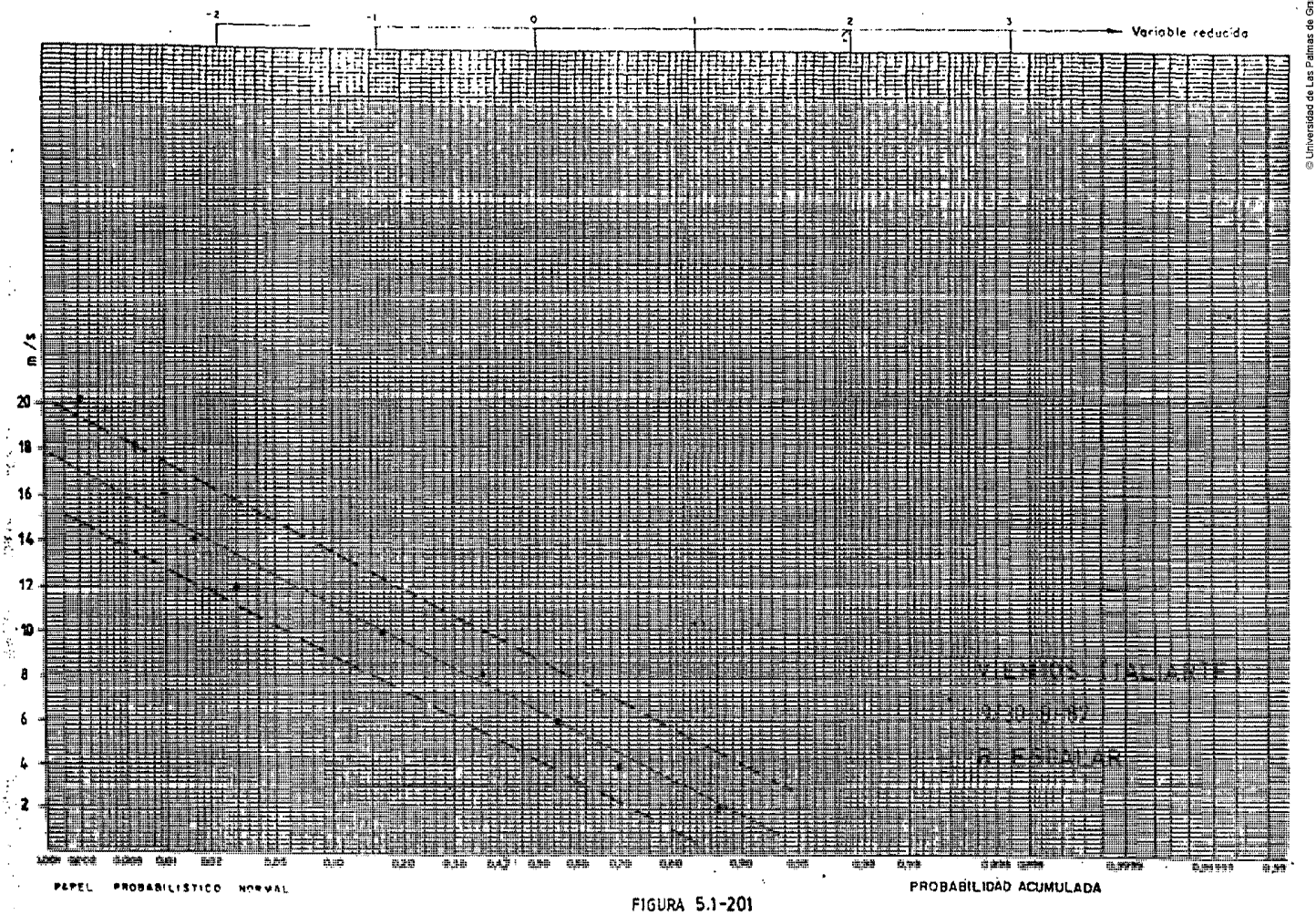


FIGURA 5.1-201

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

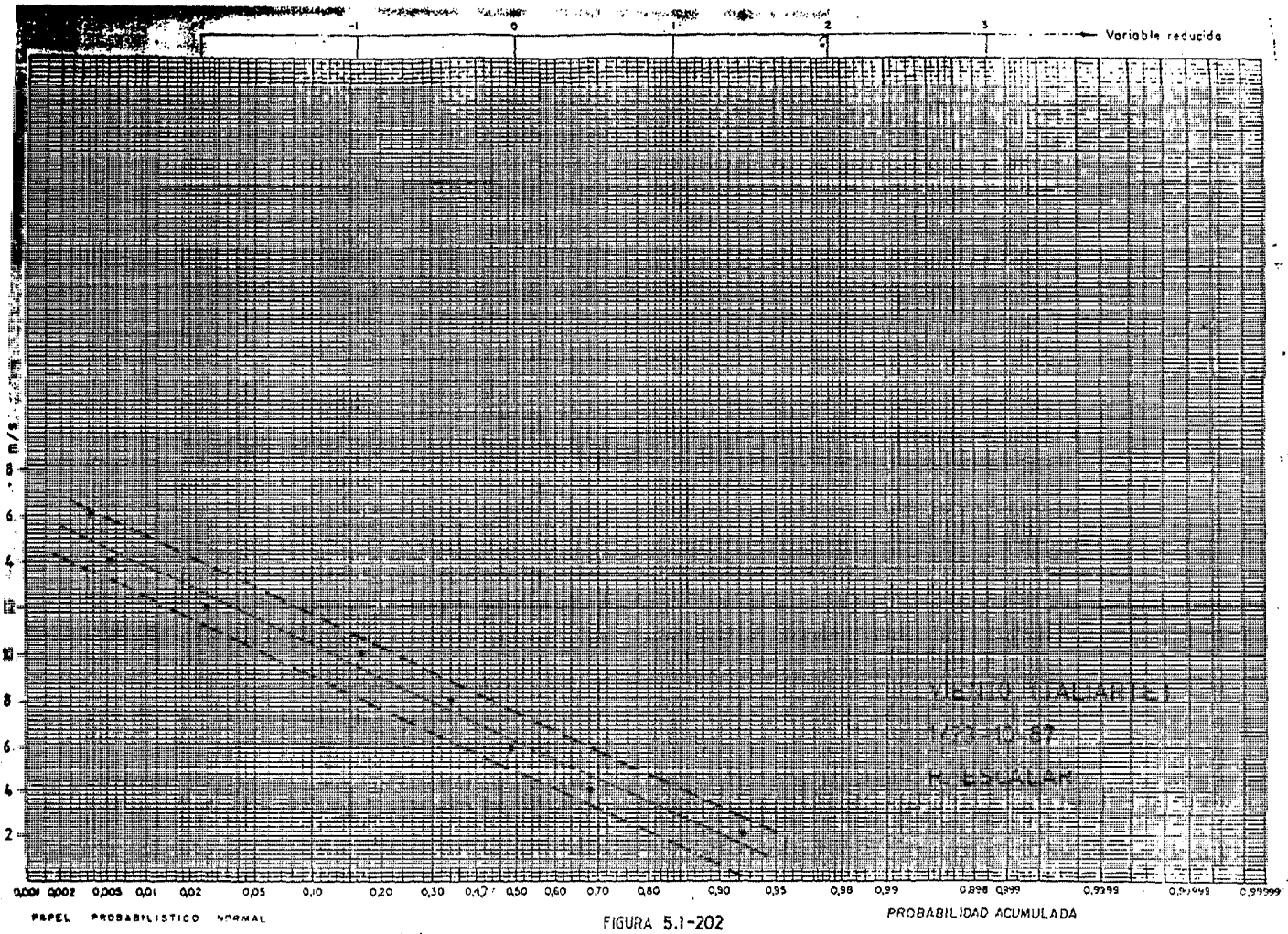


FIGURA 5.1-202

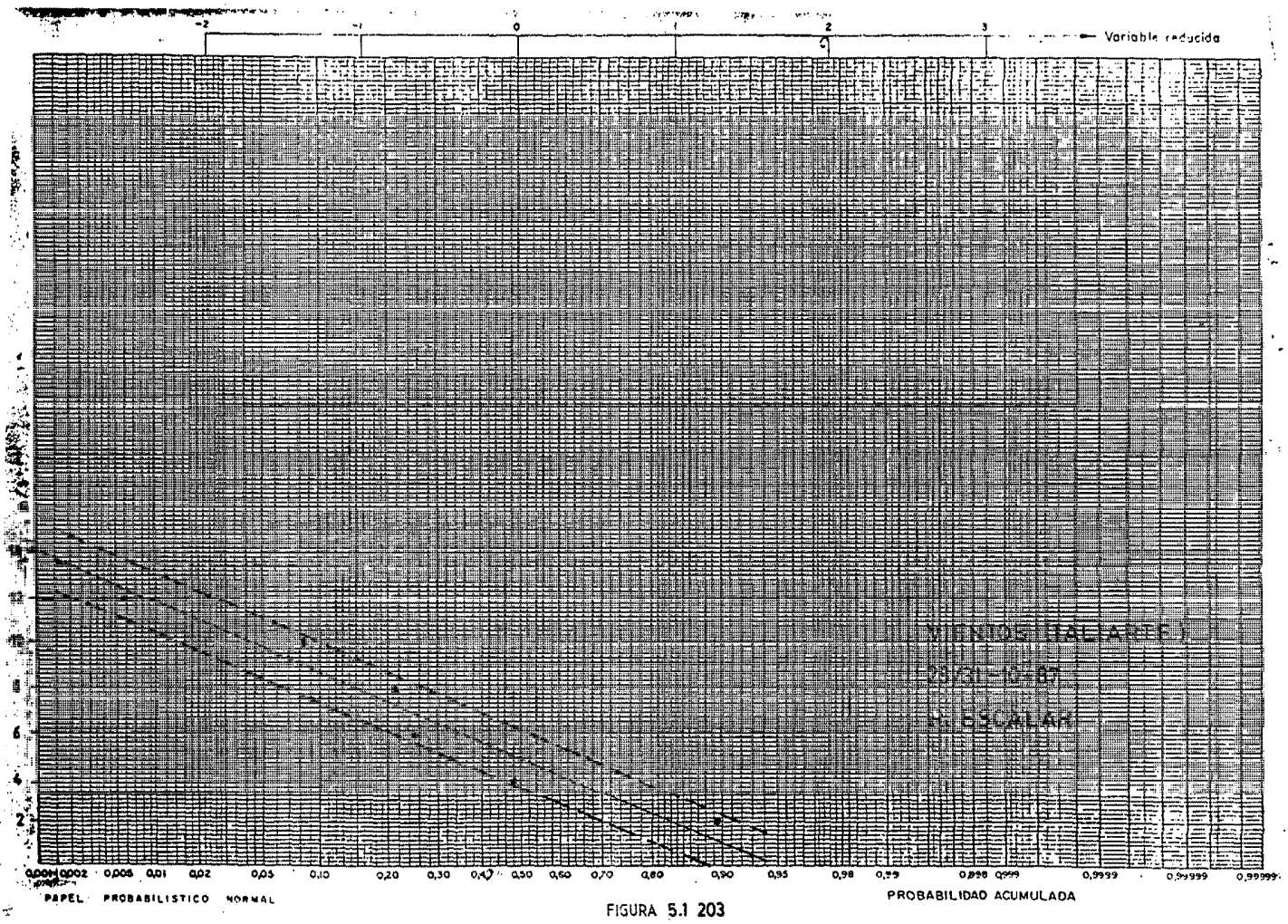


FIGURA 5.1 203

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

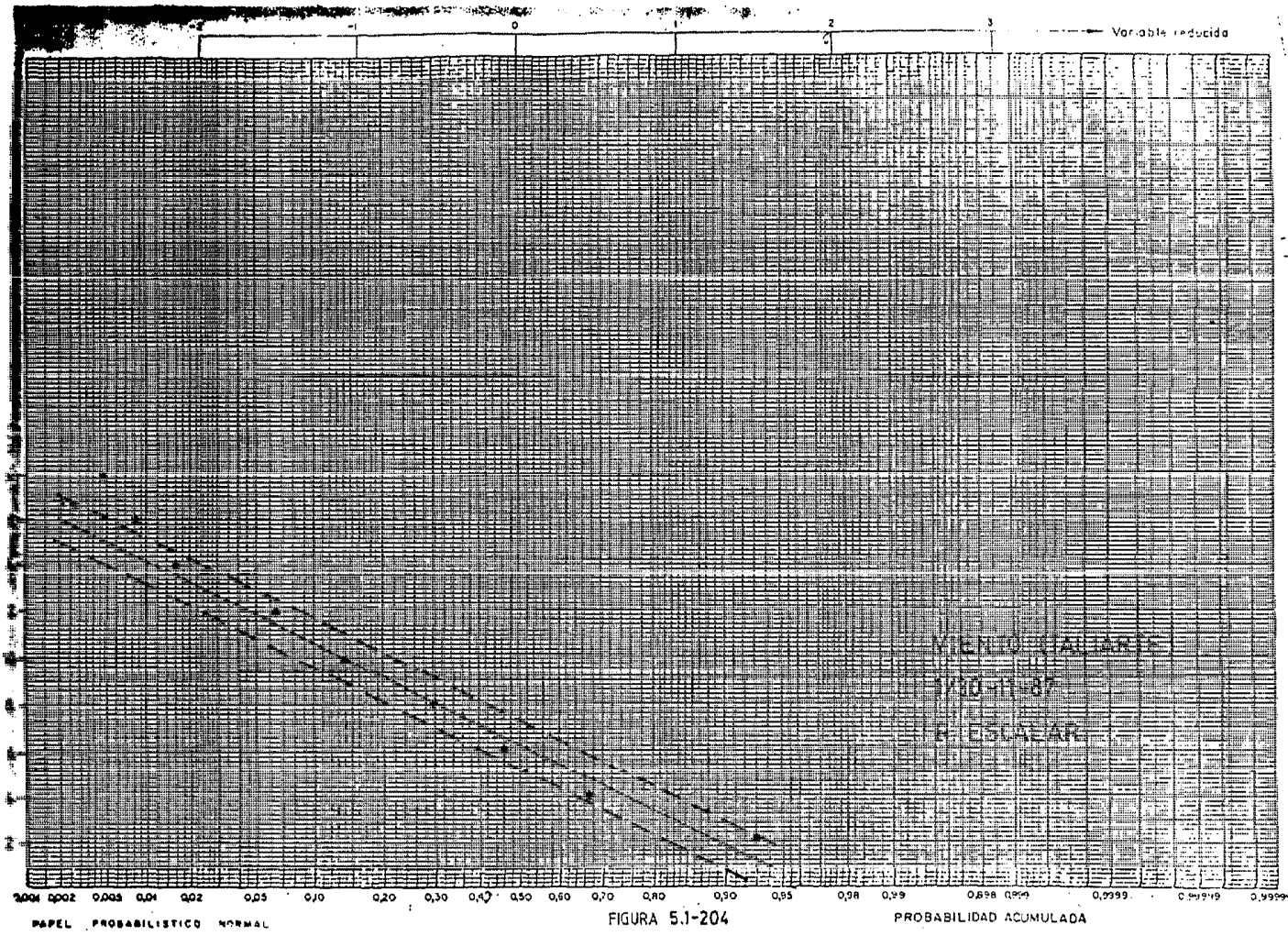


FIGURA 5.1-204

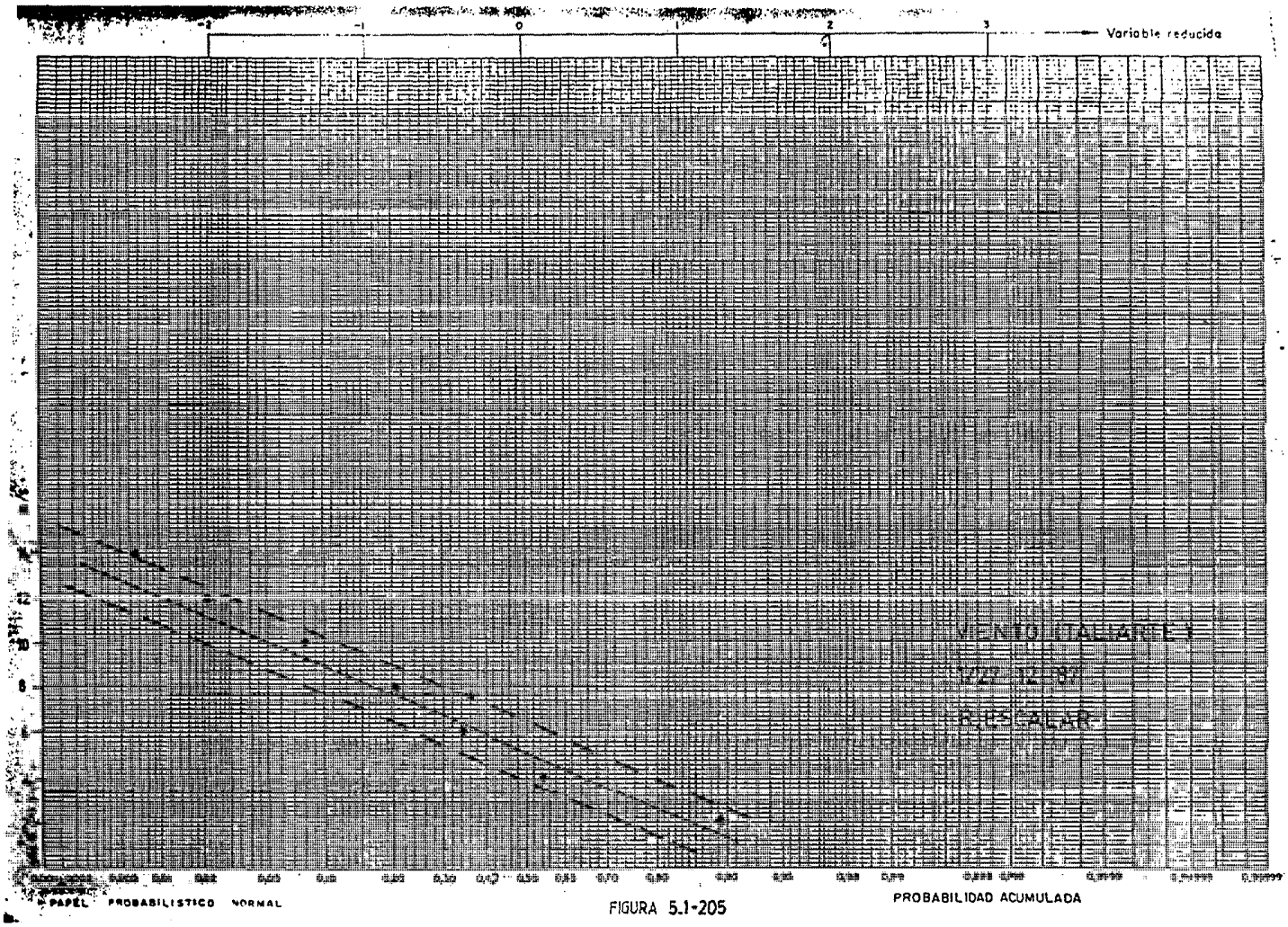


FIGURA 5.1-205

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

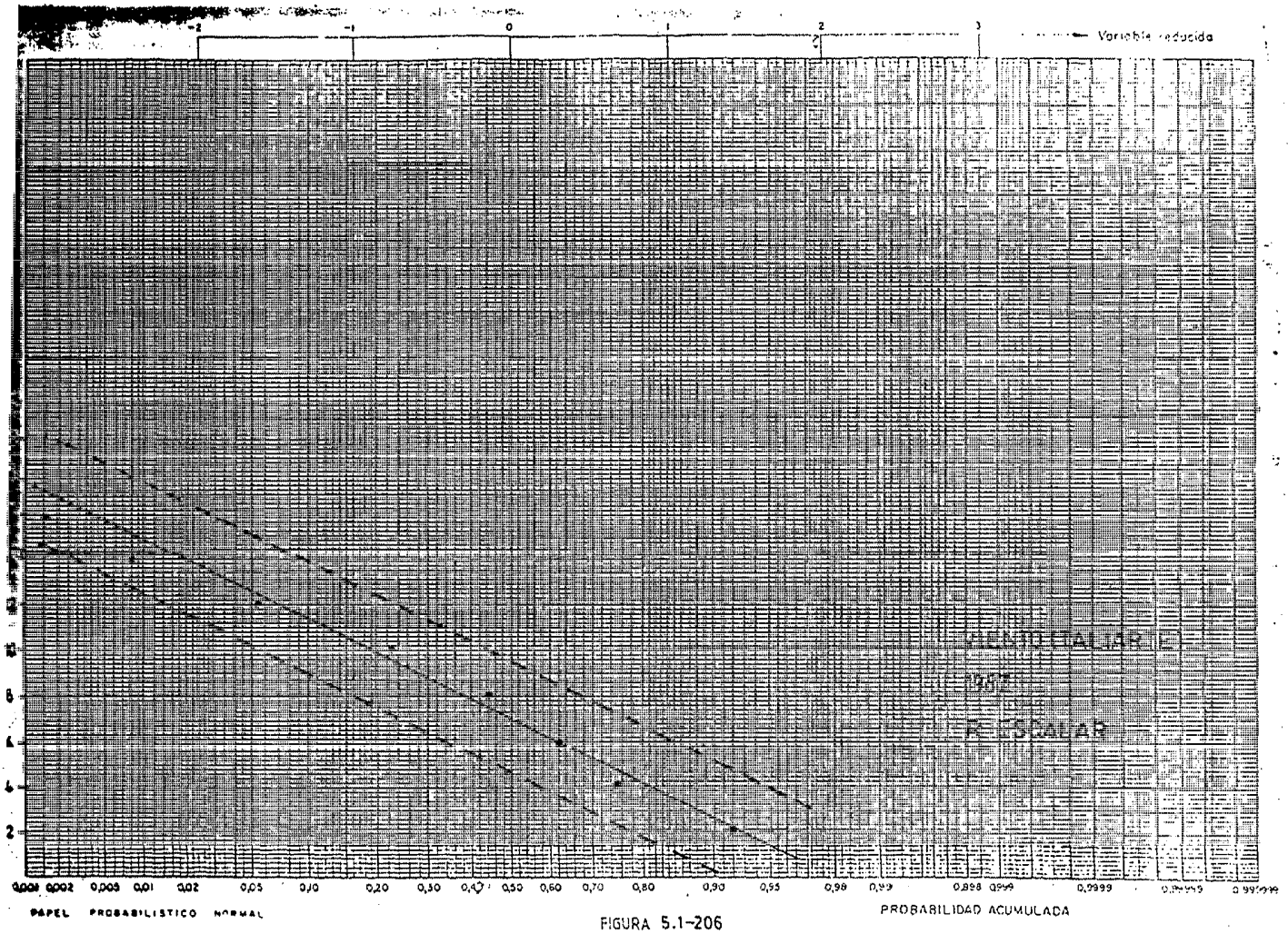


FIGURA 5.1-206

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

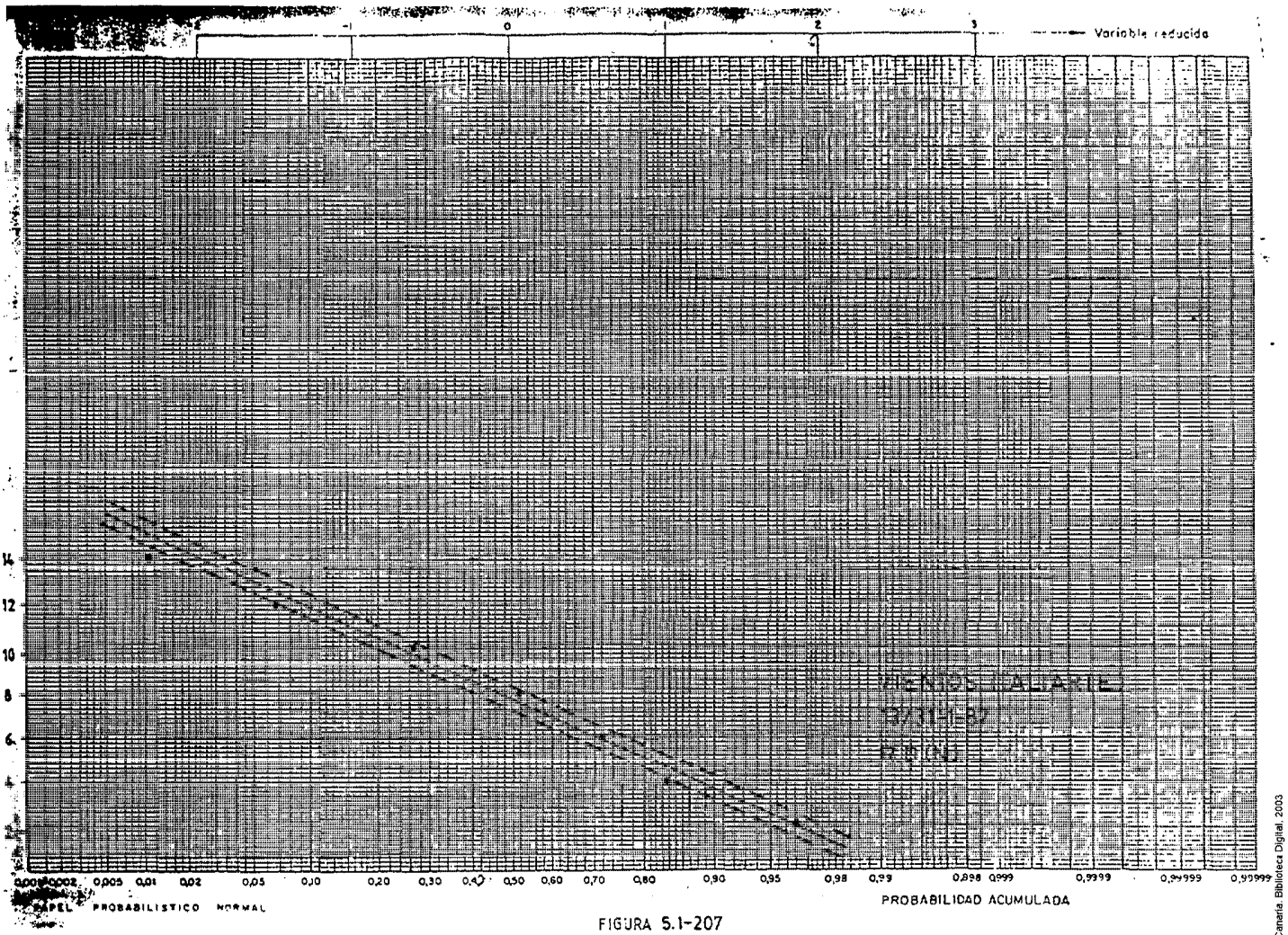


FIGURA 5.1-207

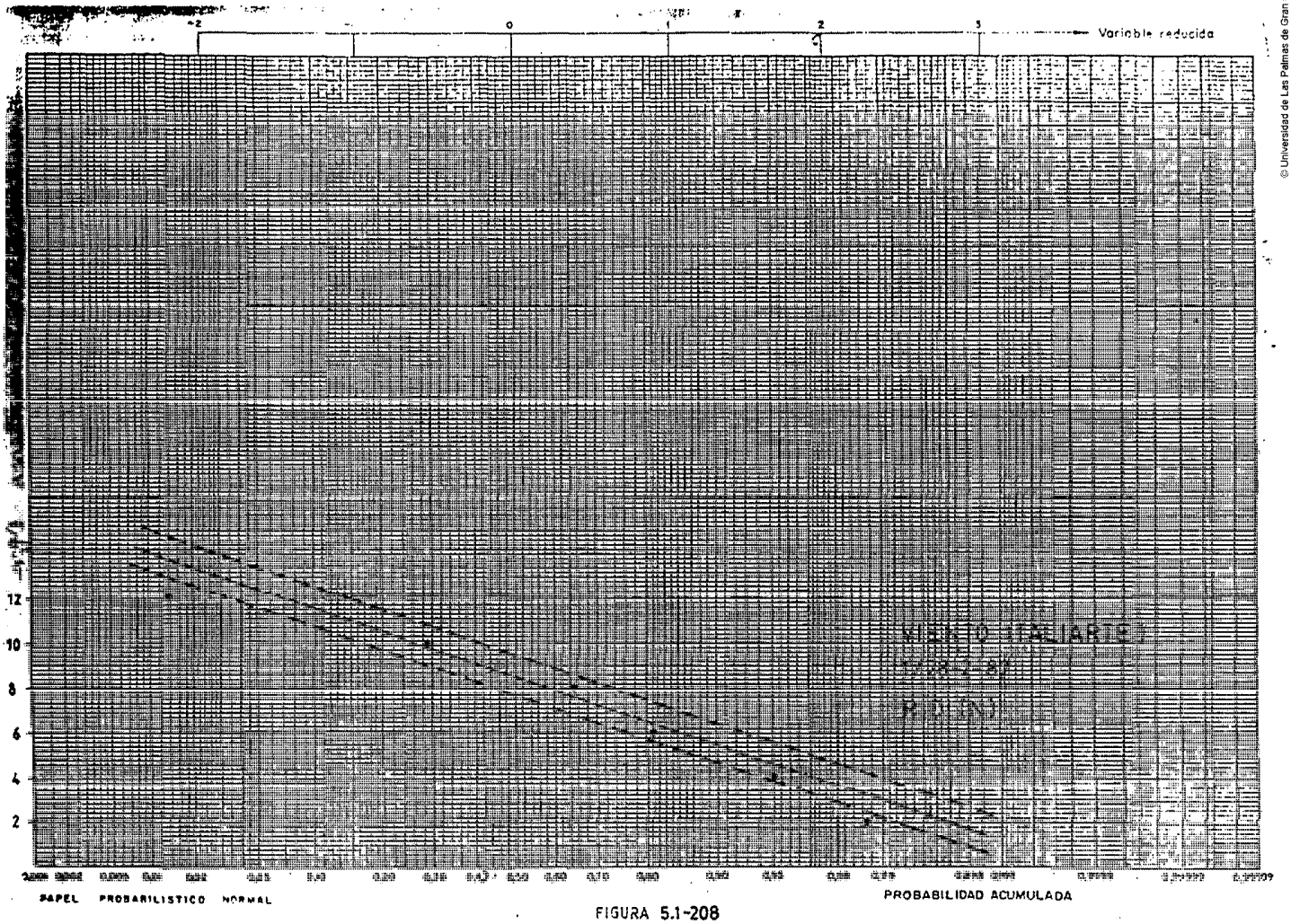


FIGURA 5.1-208

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

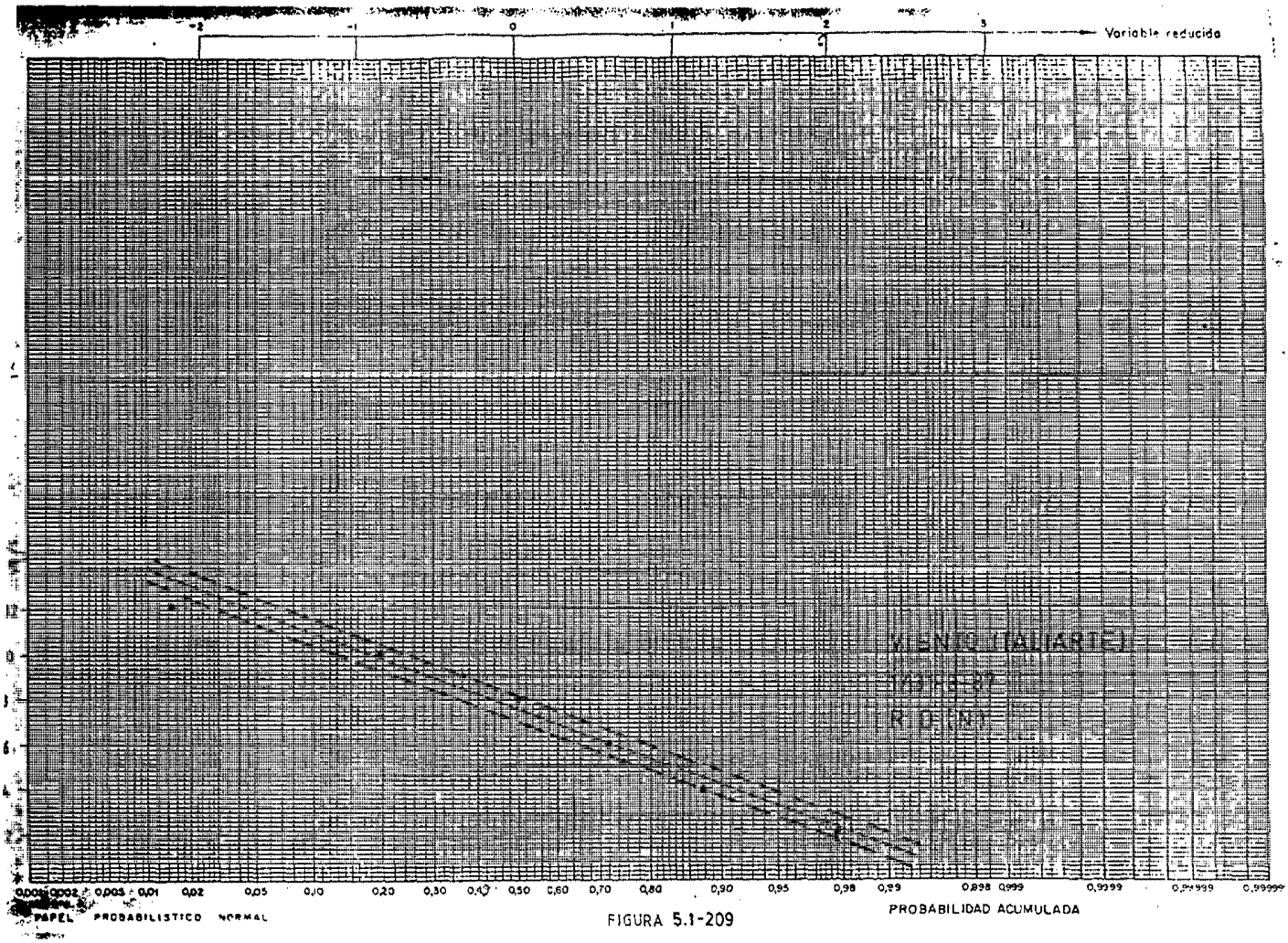


FIGURA 5.1-209

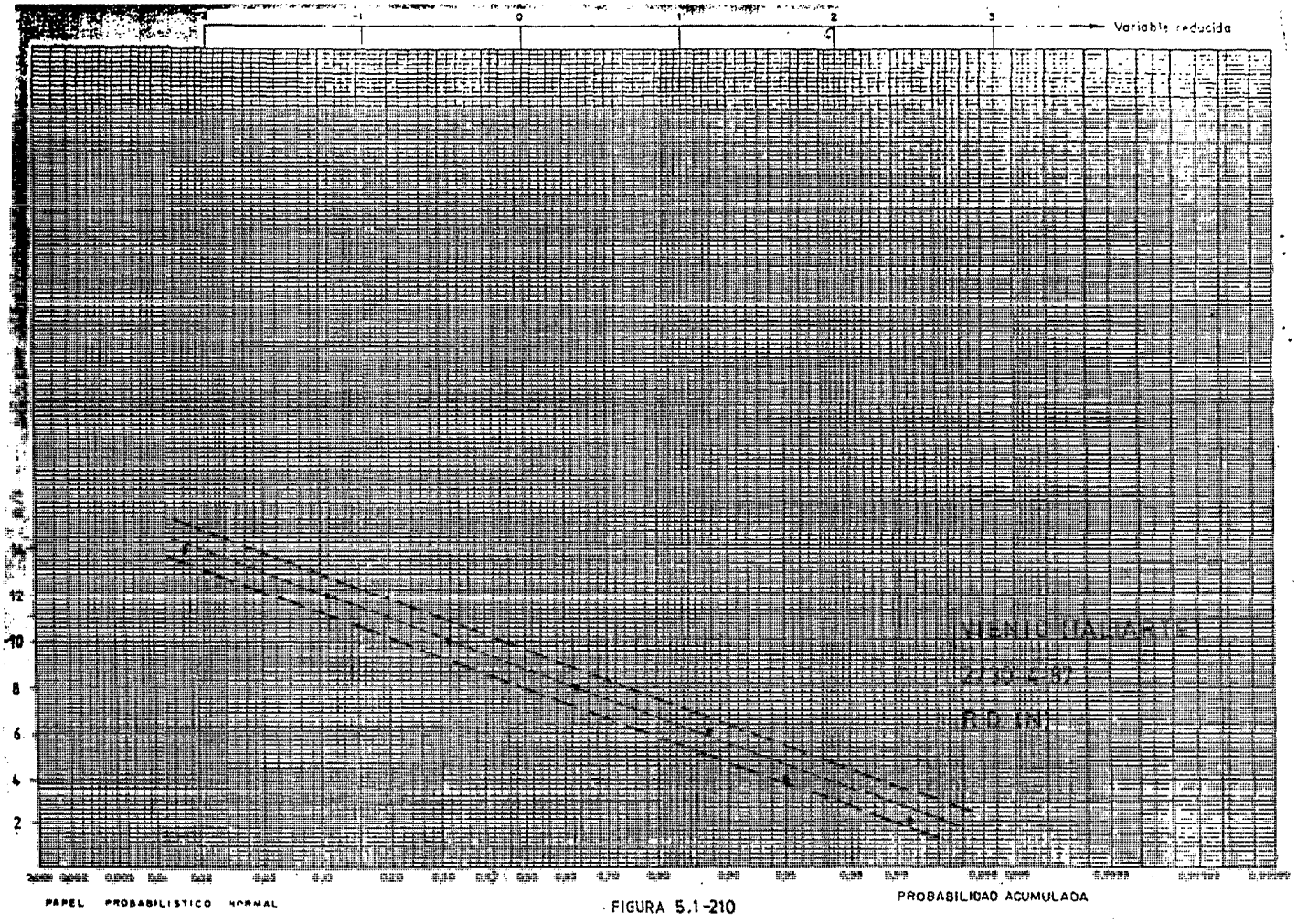


FIGURA 5.1-210

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

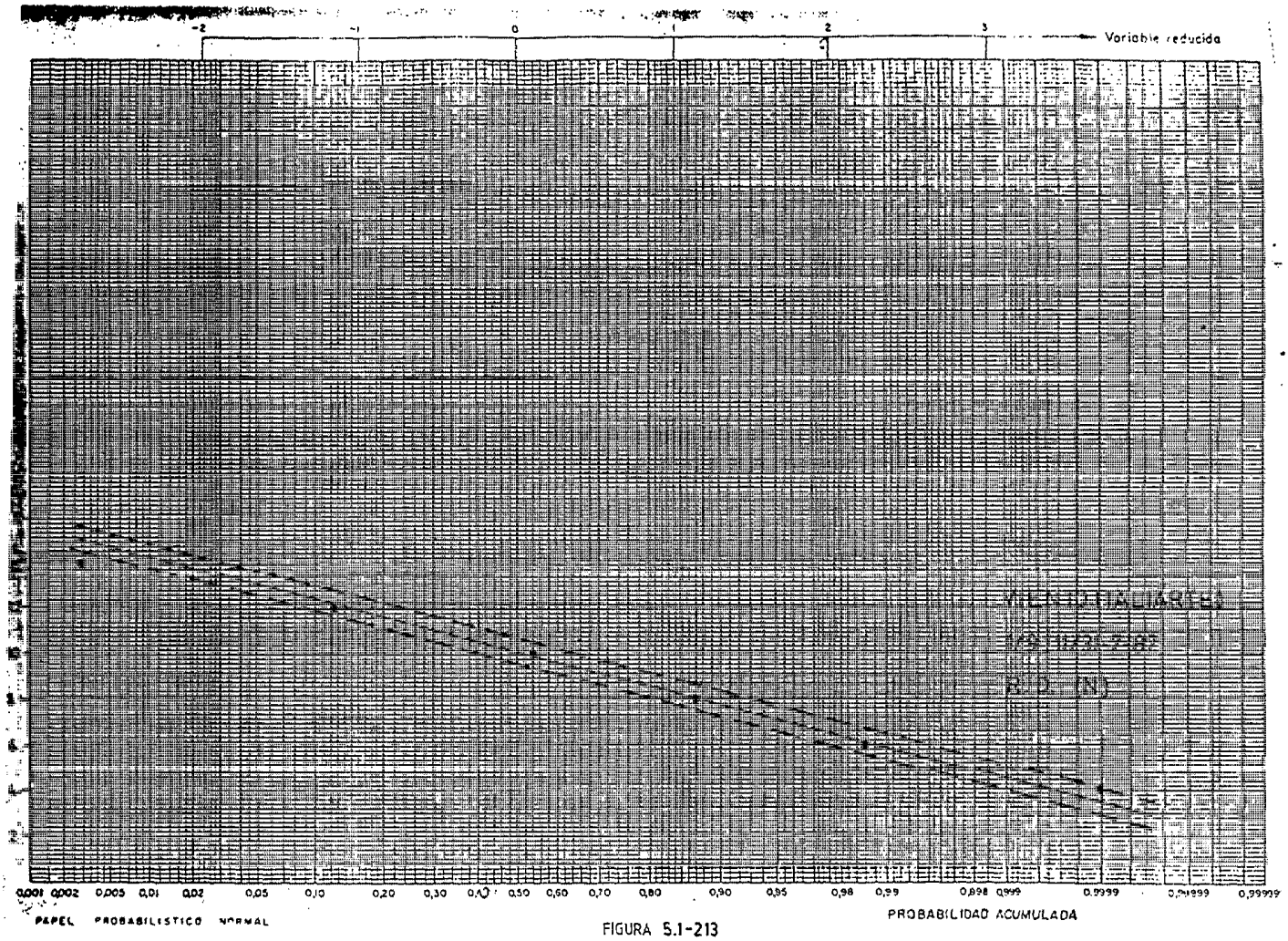


FIGURA 5.1-213

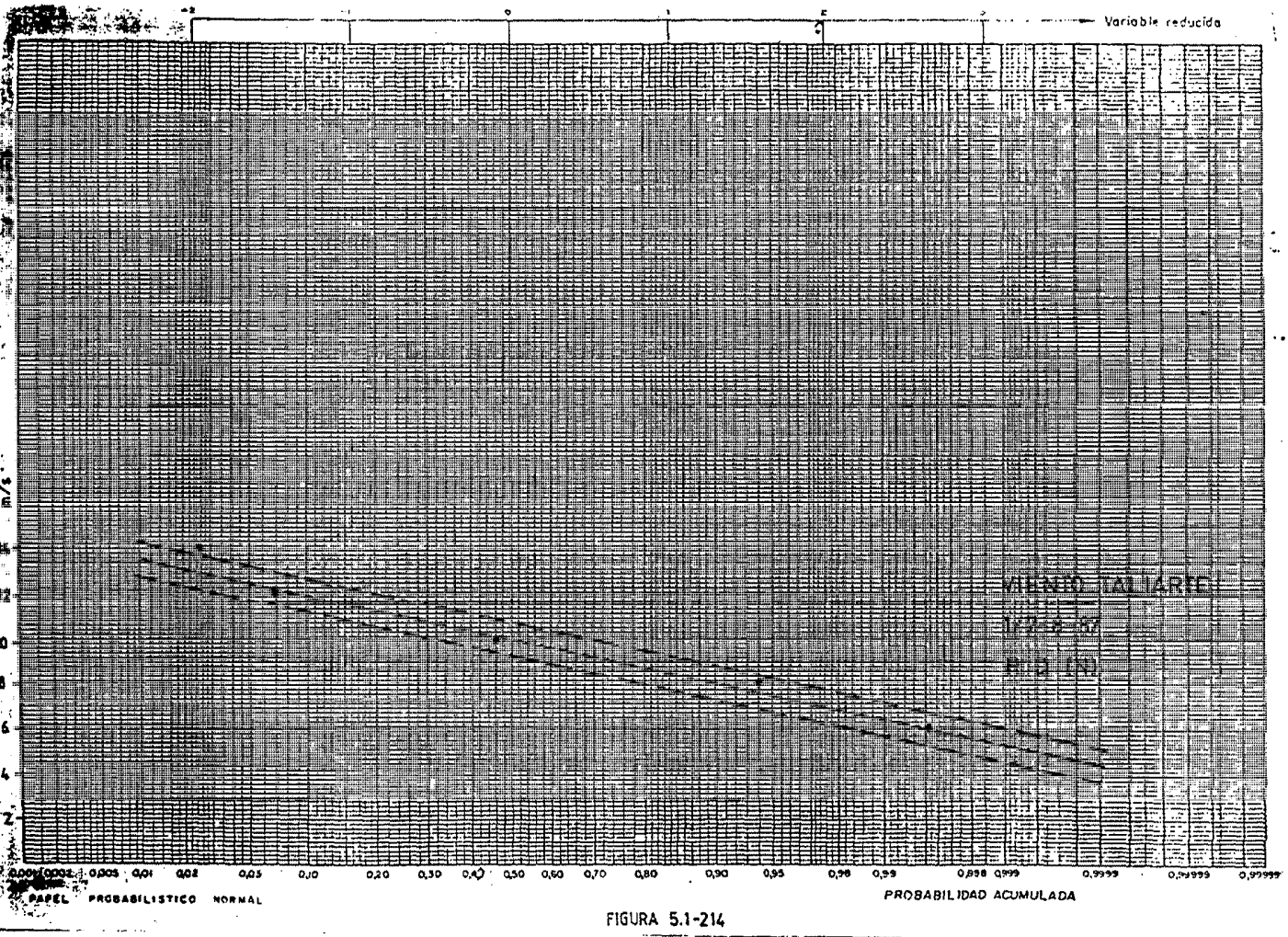


FIGURA 5.1-214

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

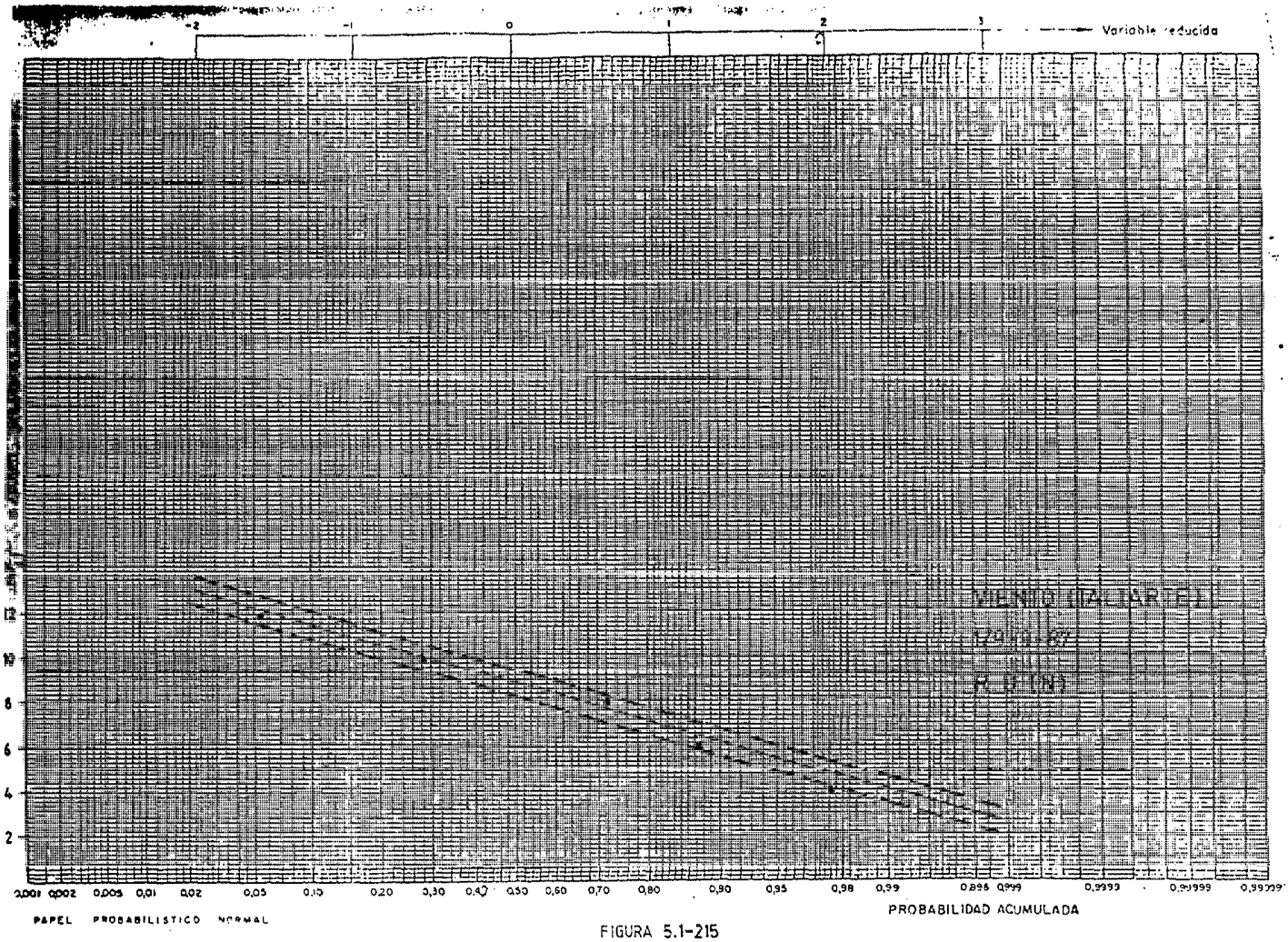


FIGURA 5.1-215

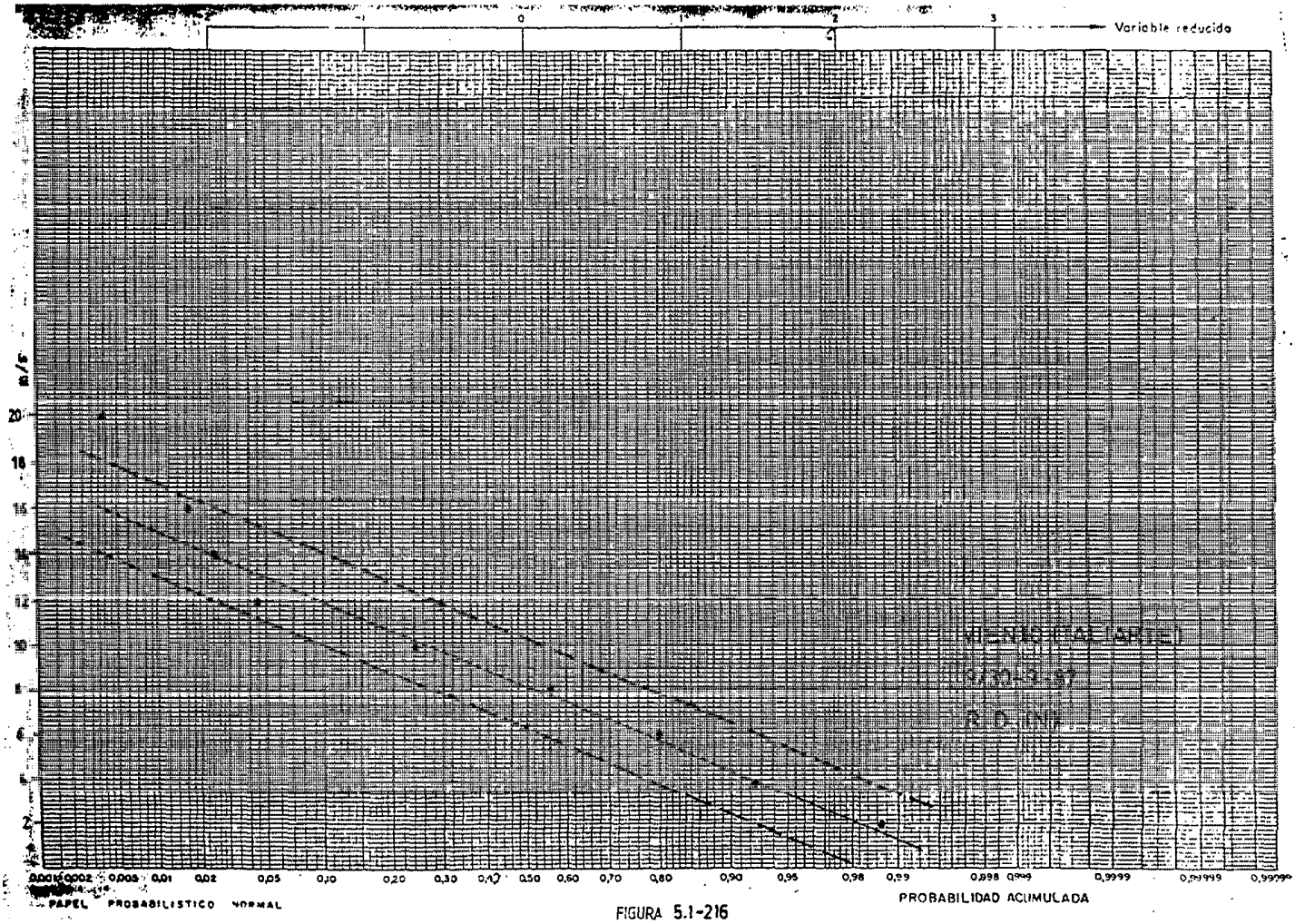


FIGURA 5.1-216

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

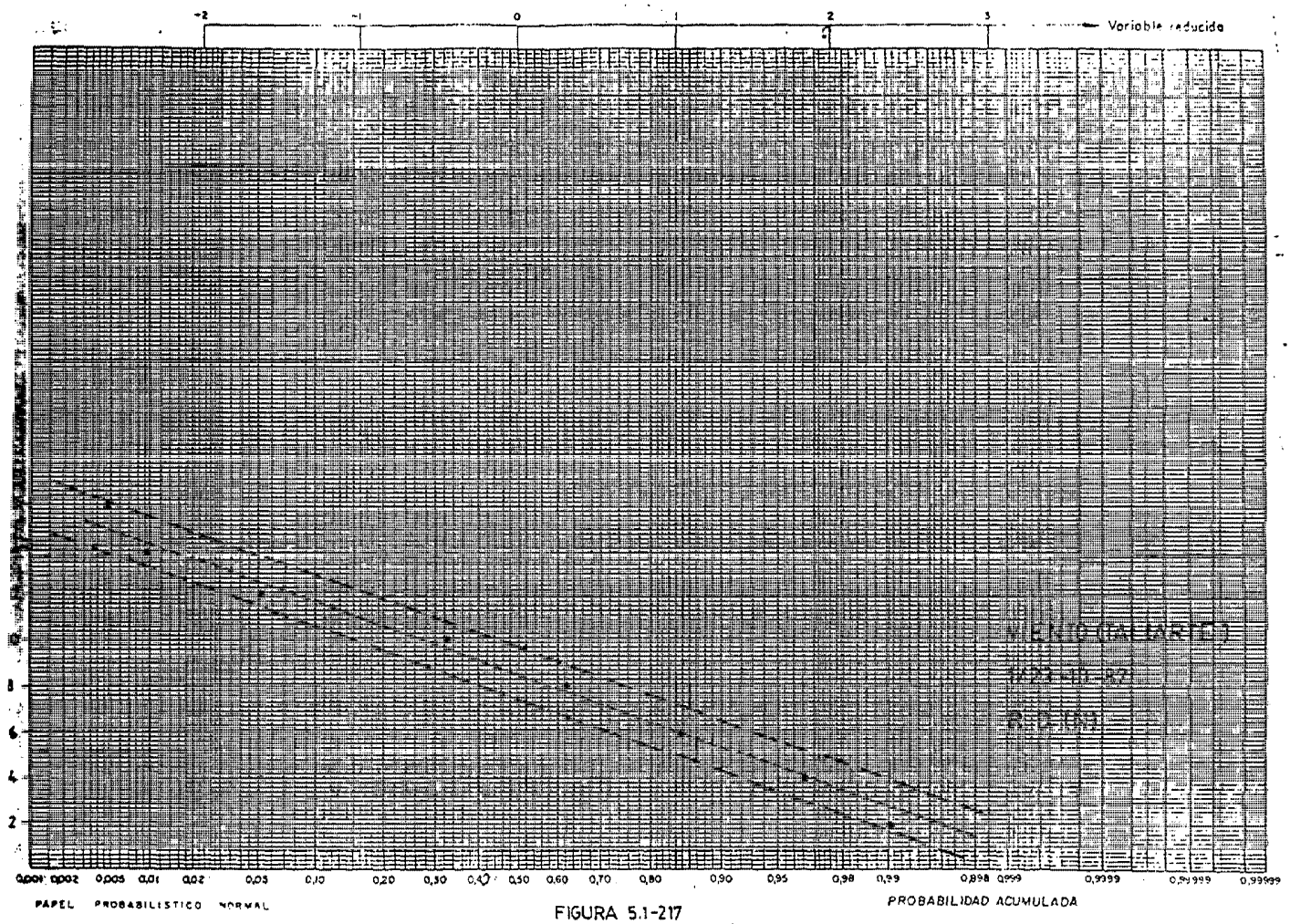


FIGURA 5.1-217

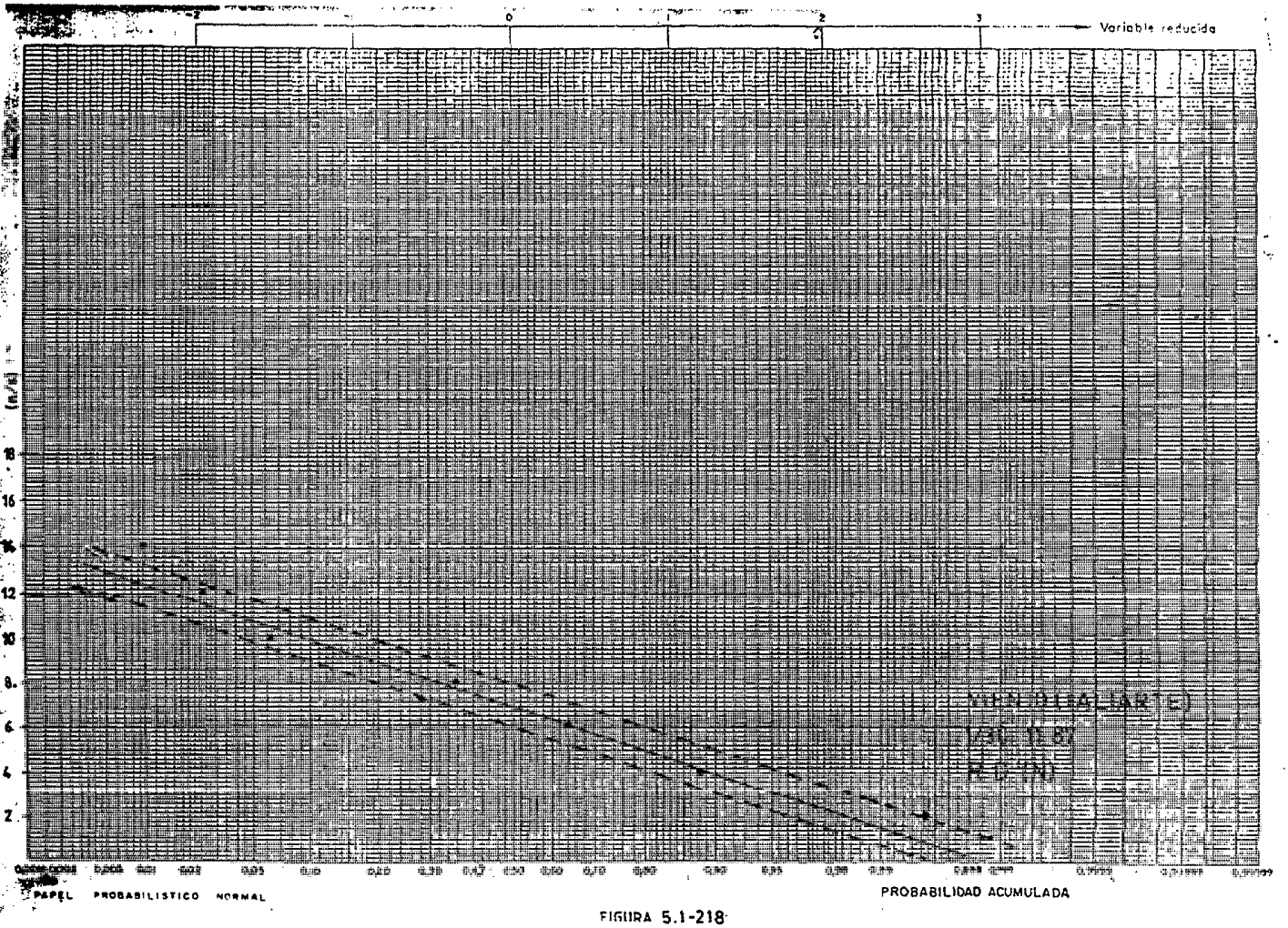


FIGURA 5.1-218

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

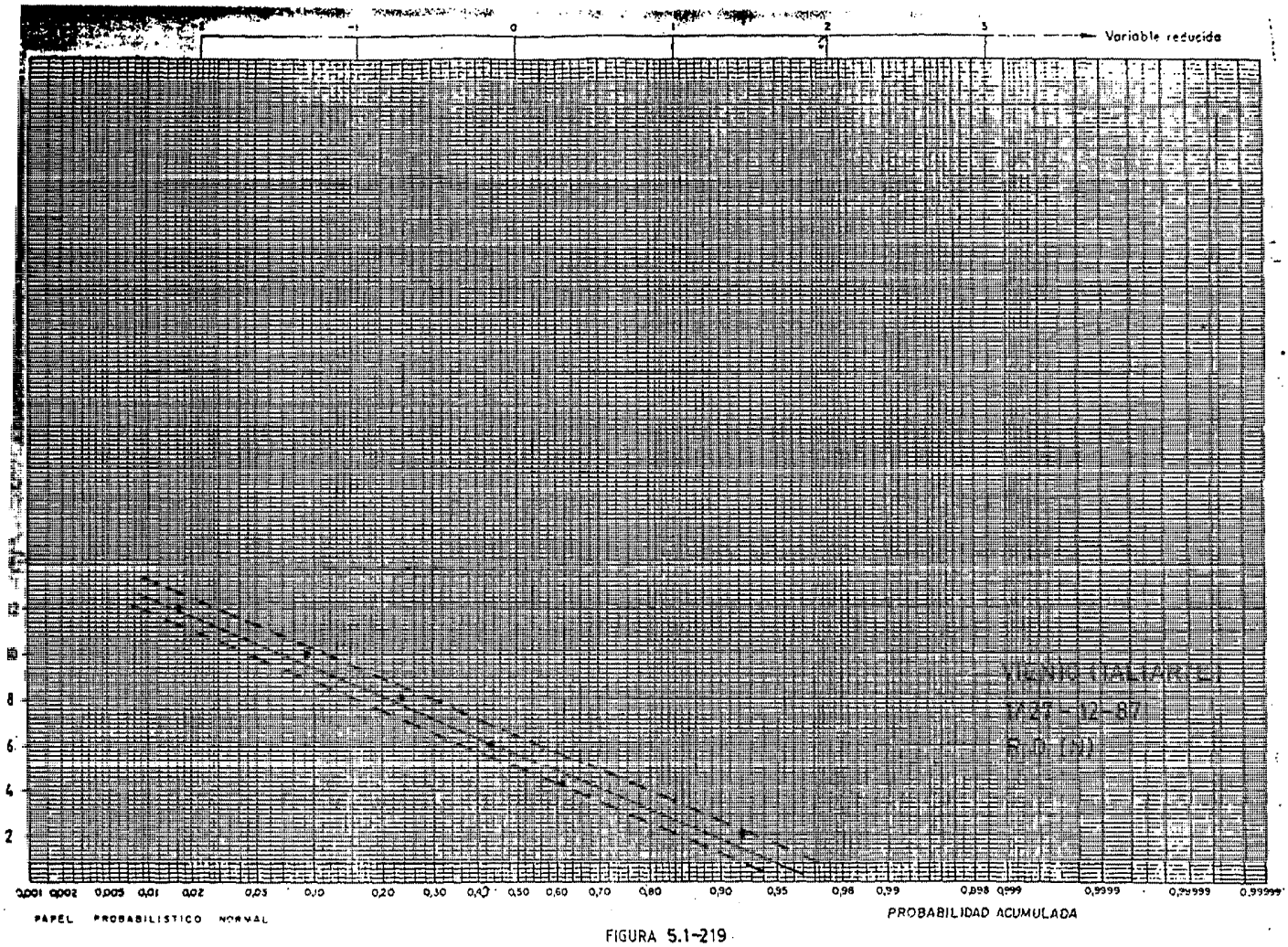


FIGURA 5.1-219

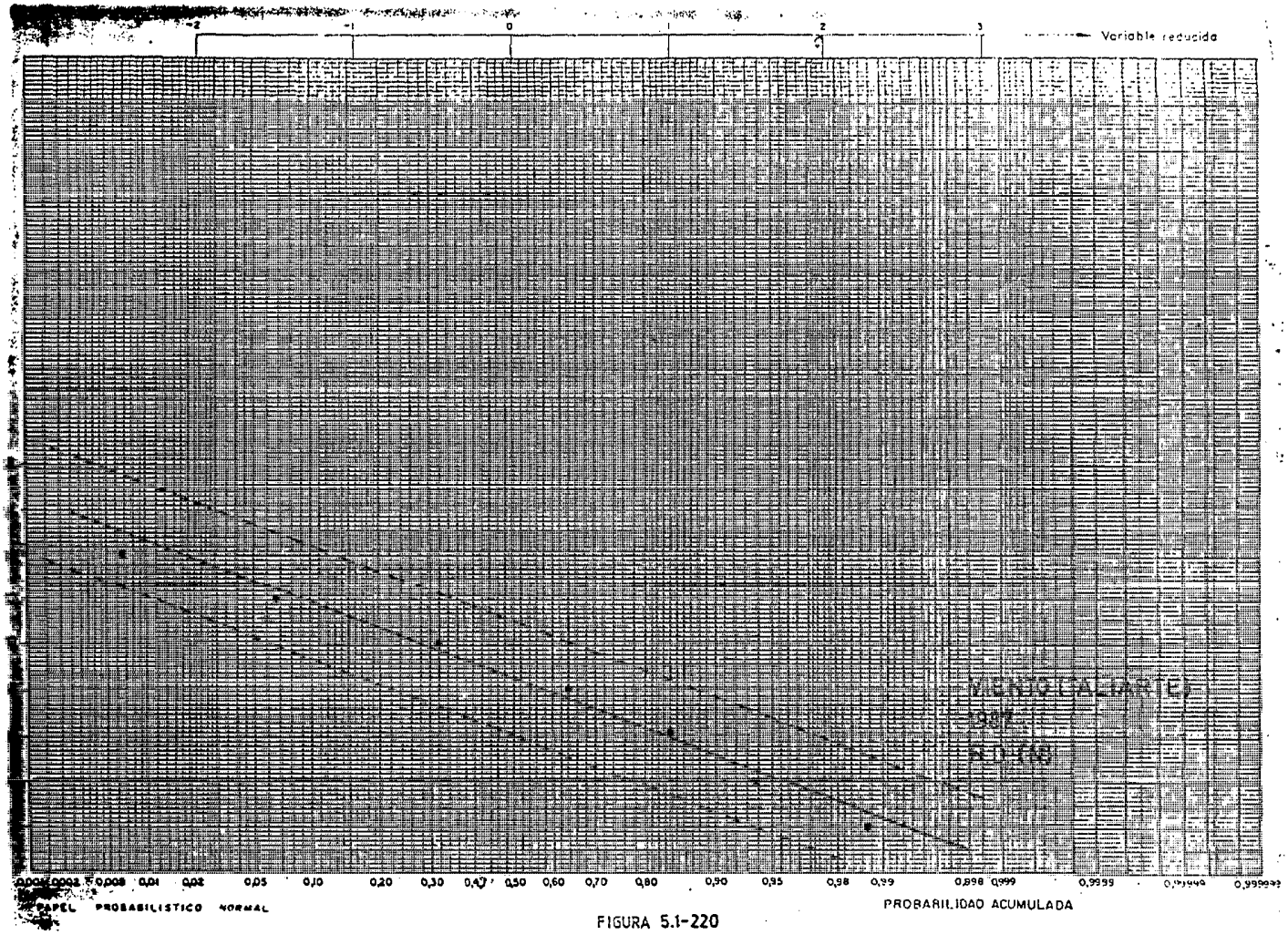


FIGURA 5.1-220

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

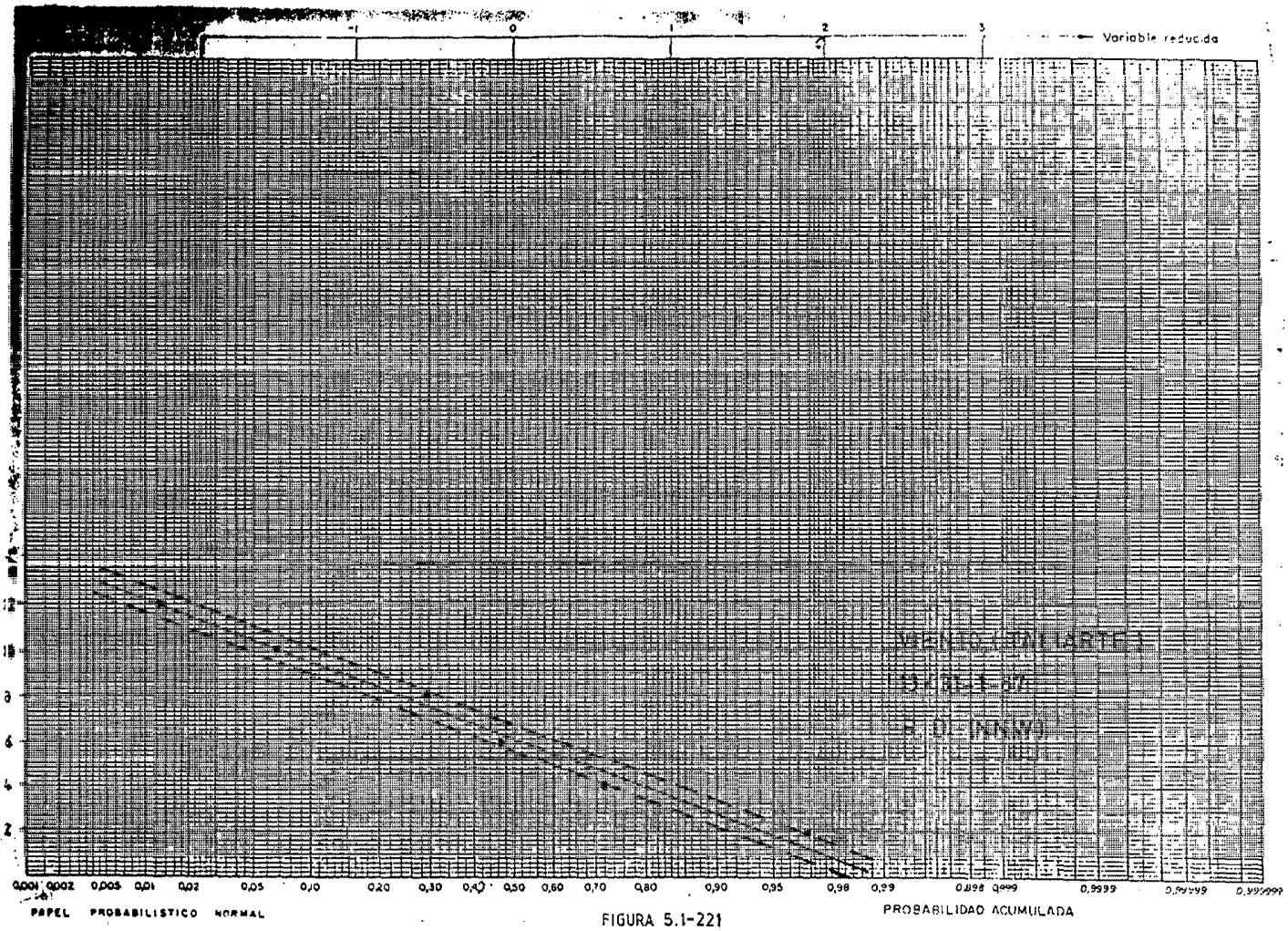


FIGURA 5.1-221

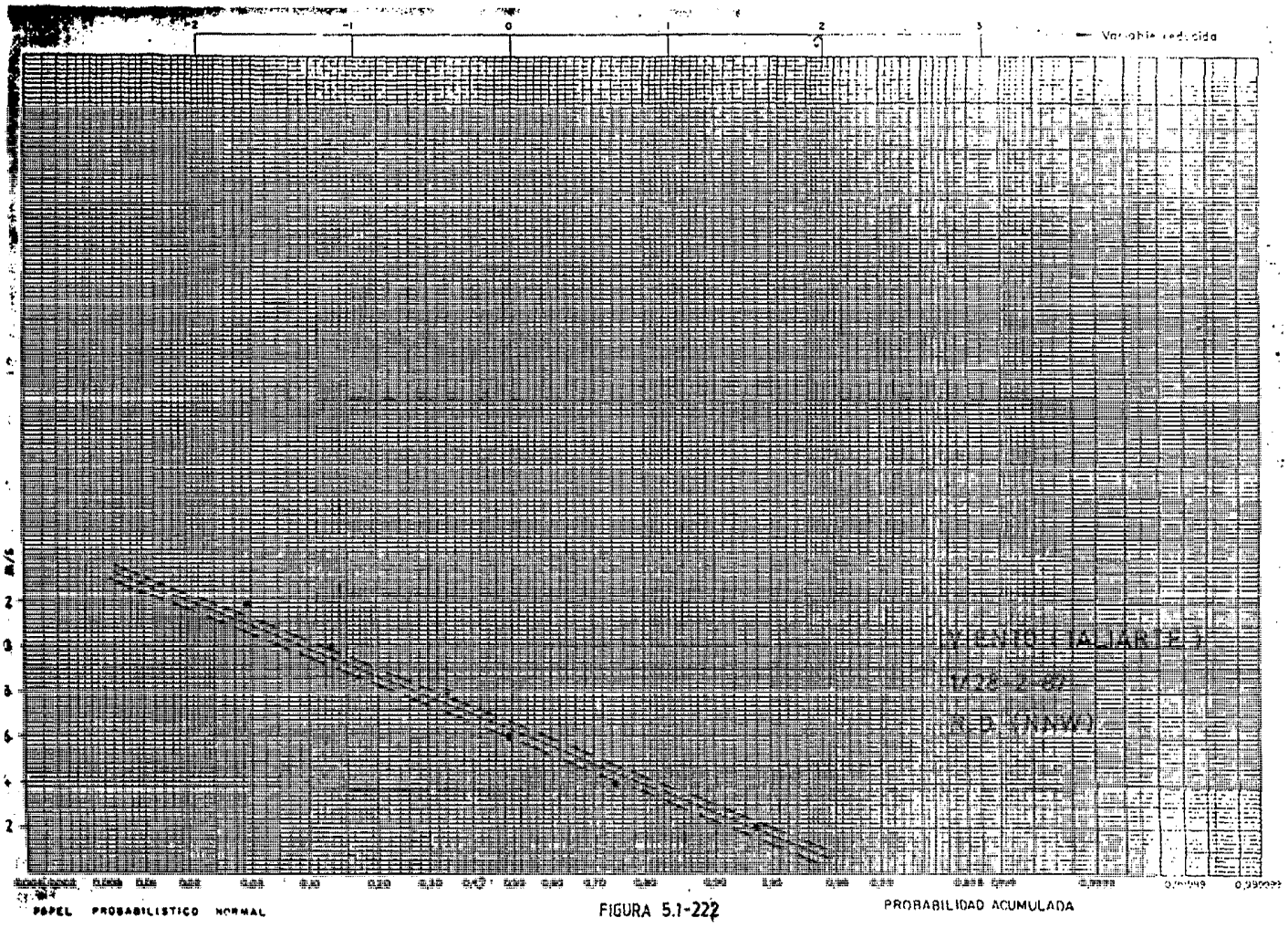


FIGURA 5.1-222

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

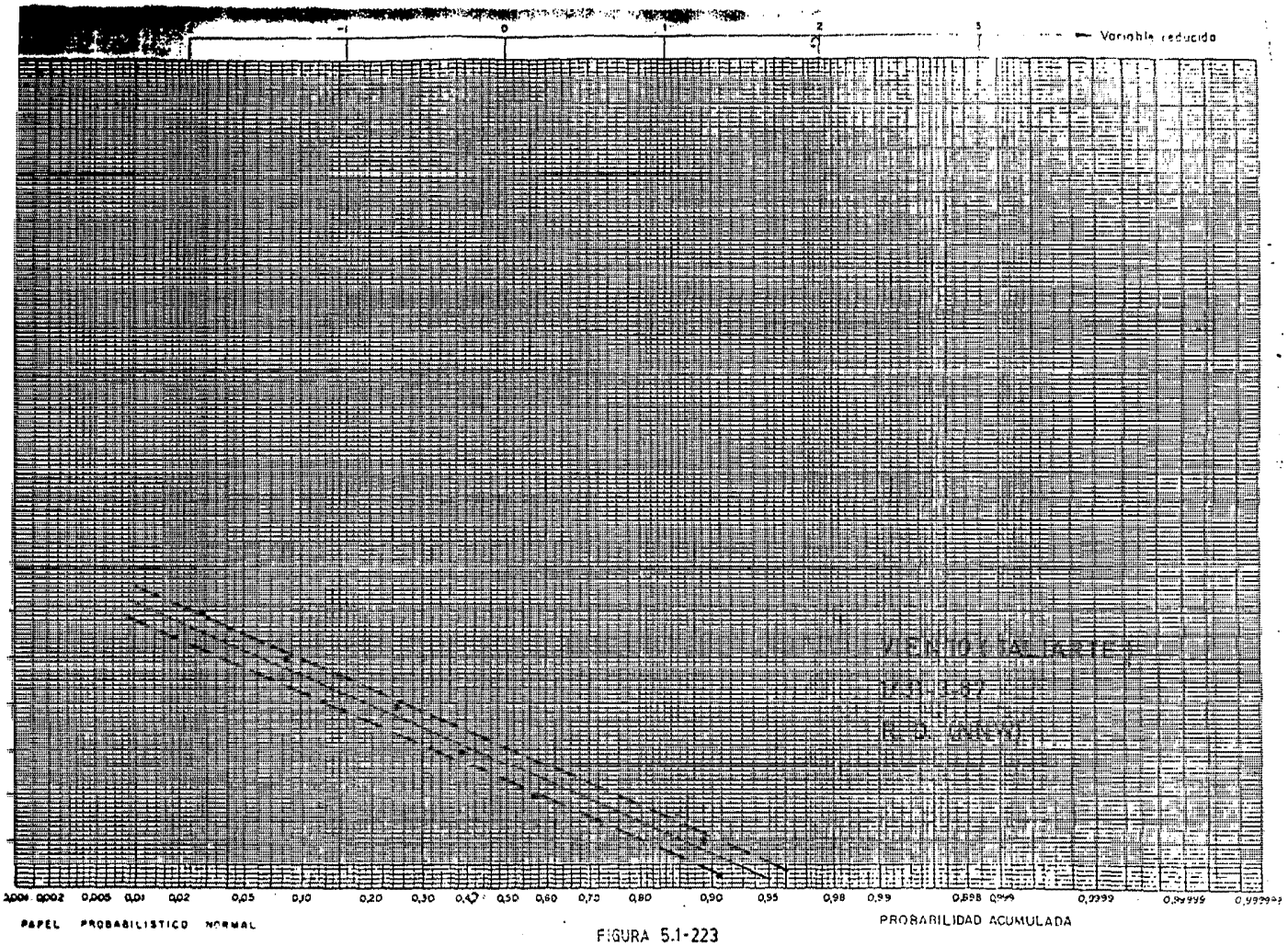


FIGURA 5.1-223

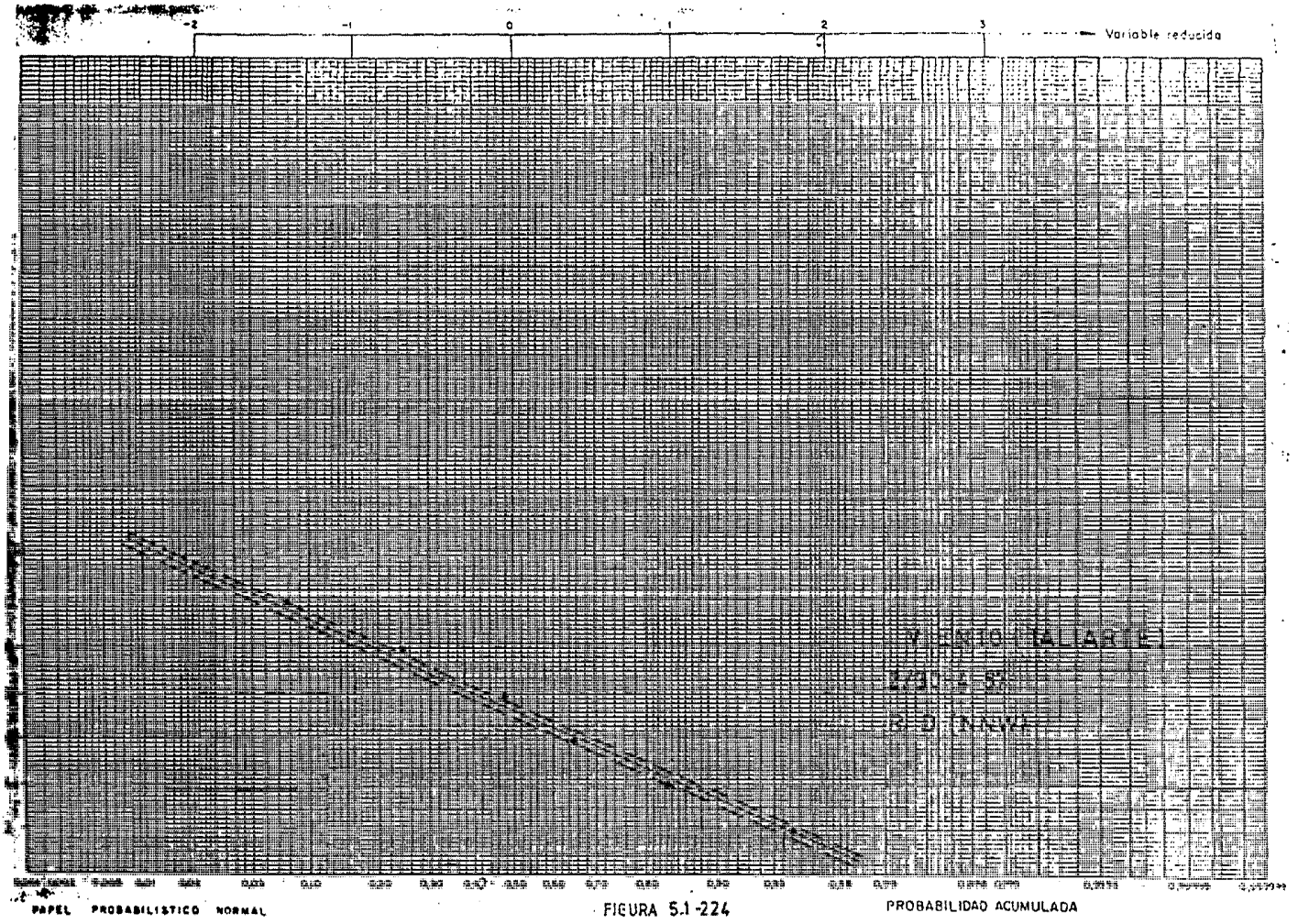
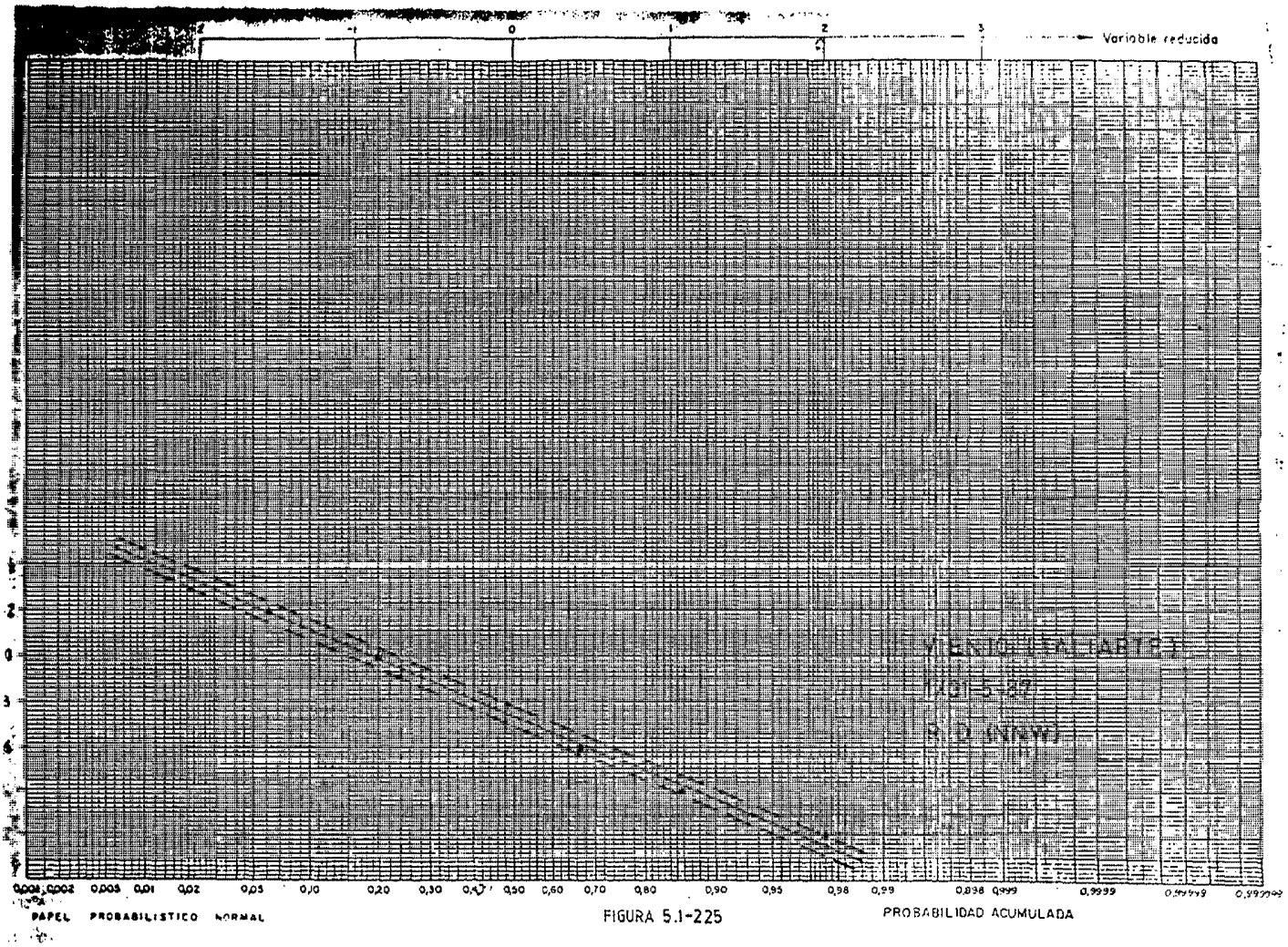


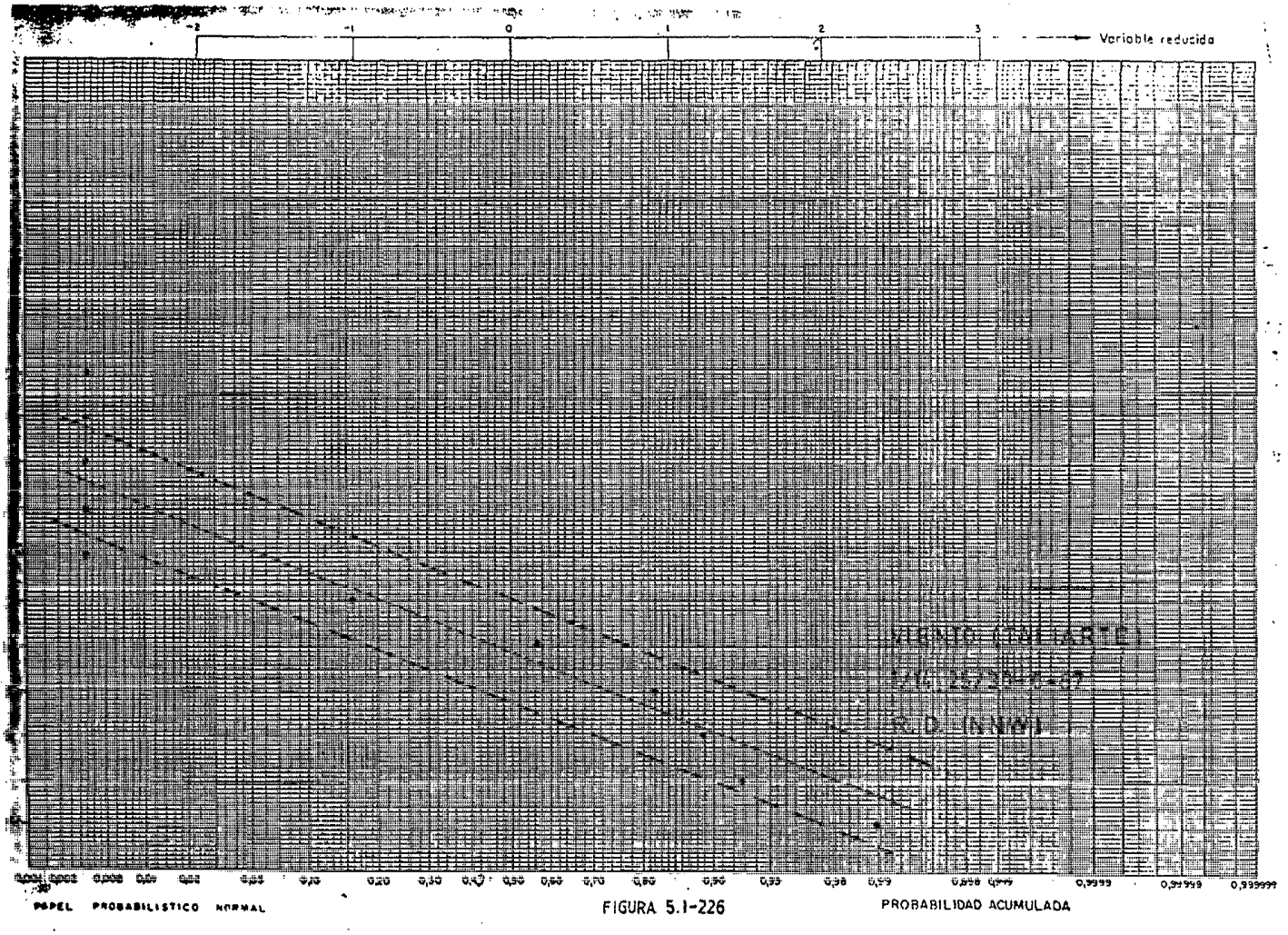
FIGURA 5.1-224

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



PAPEL PROBABILISTICO NORMAL

FIGURA 5.1-225



PAPEL PROBABILISTICO NORMAL

FIGURA 5.1-226

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

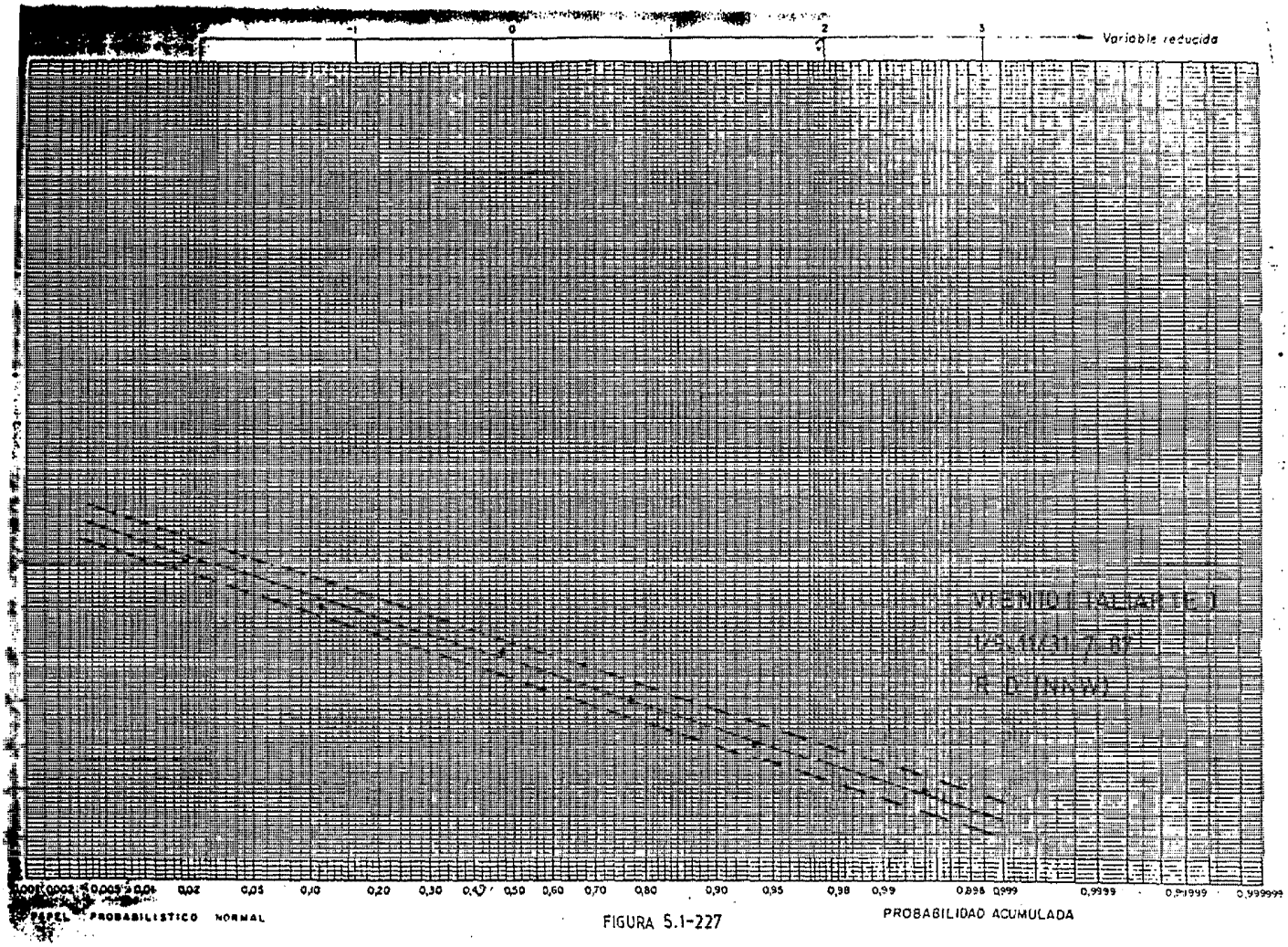


FIGURA 5.1-227

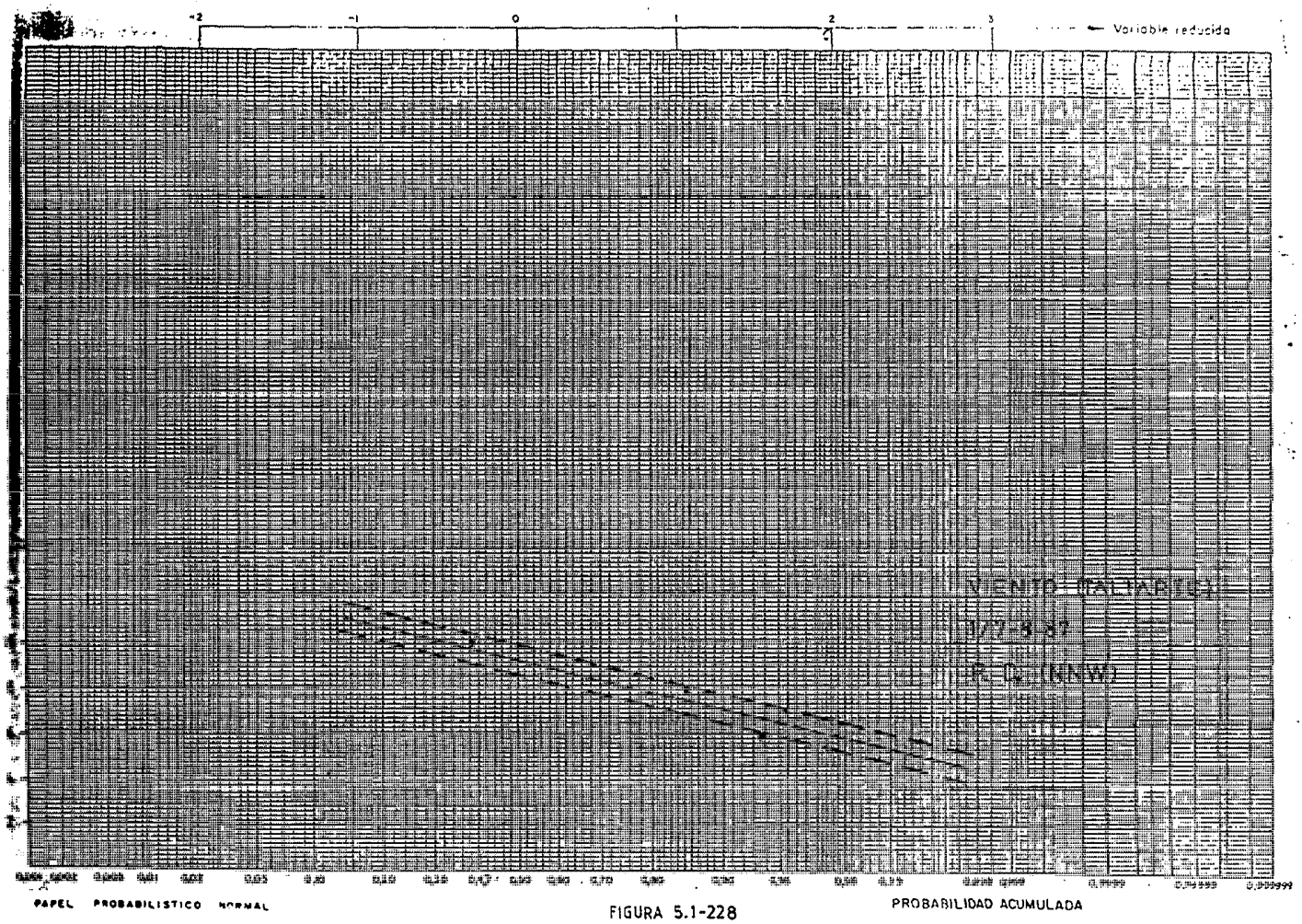


FIGURA 5.1-228

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

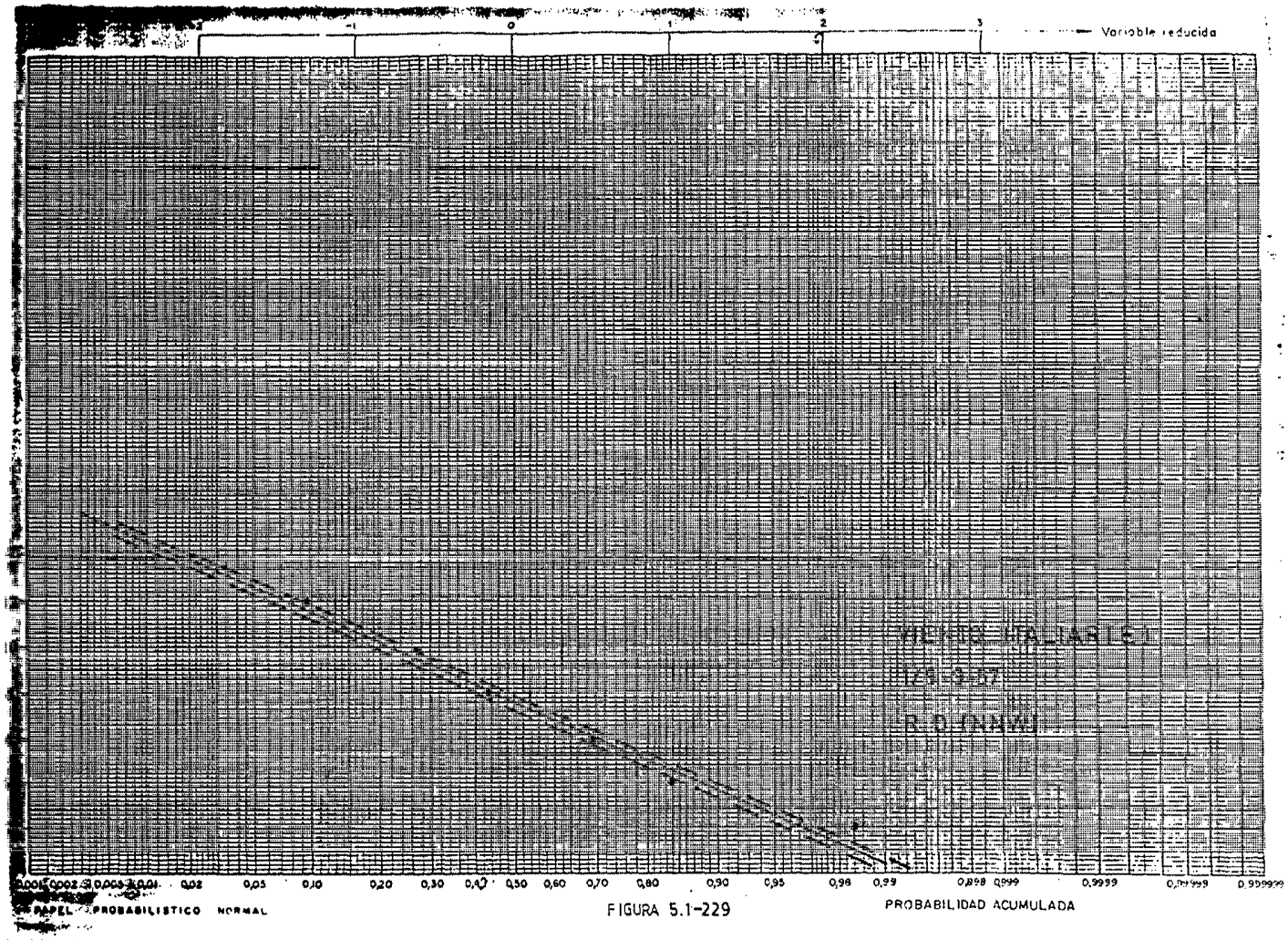


FIGURA 5.1-229

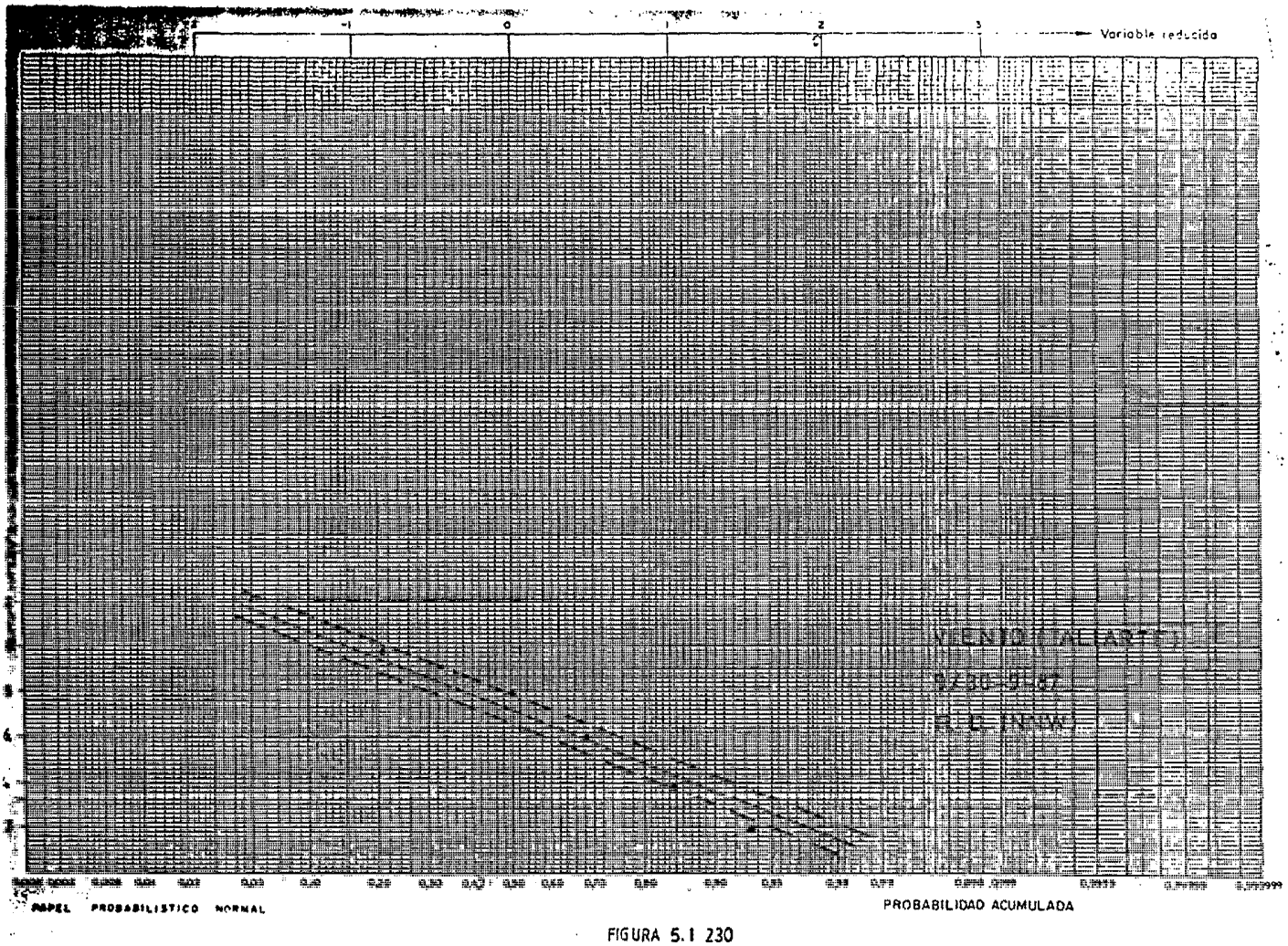


FIGURA 5.1 230

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

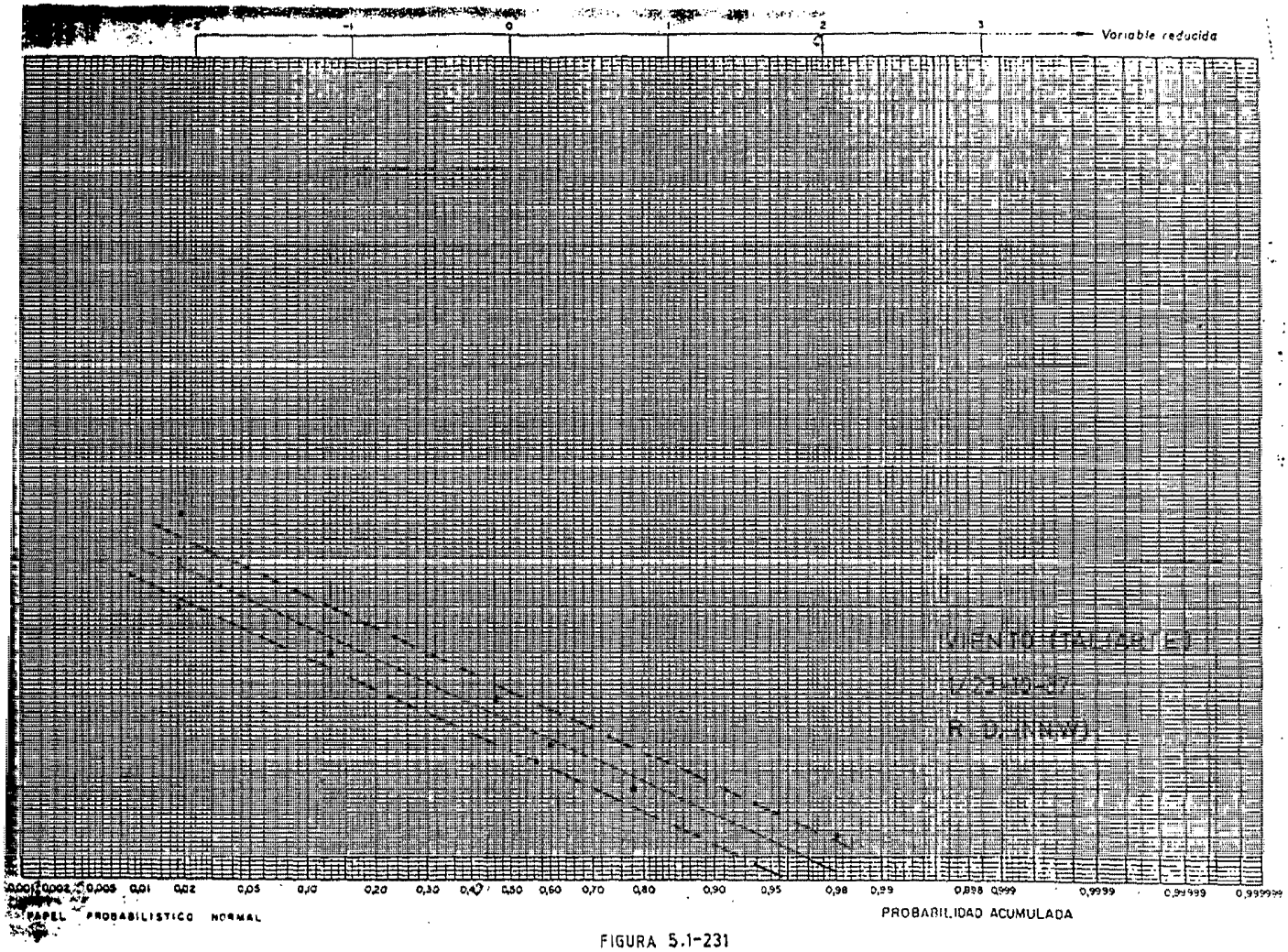


FIGURA 5.1-231

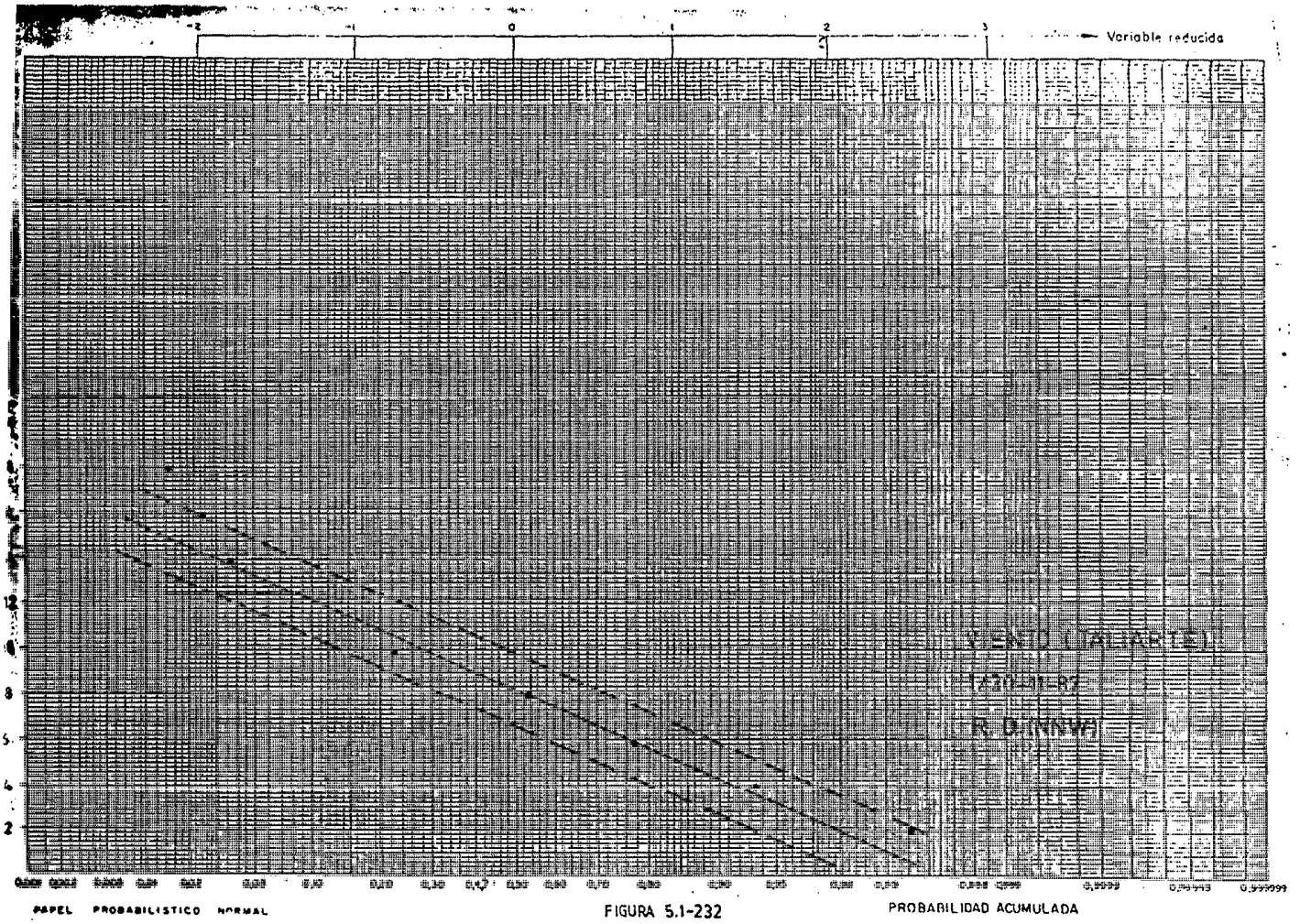


FIGURA 5.1-232

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

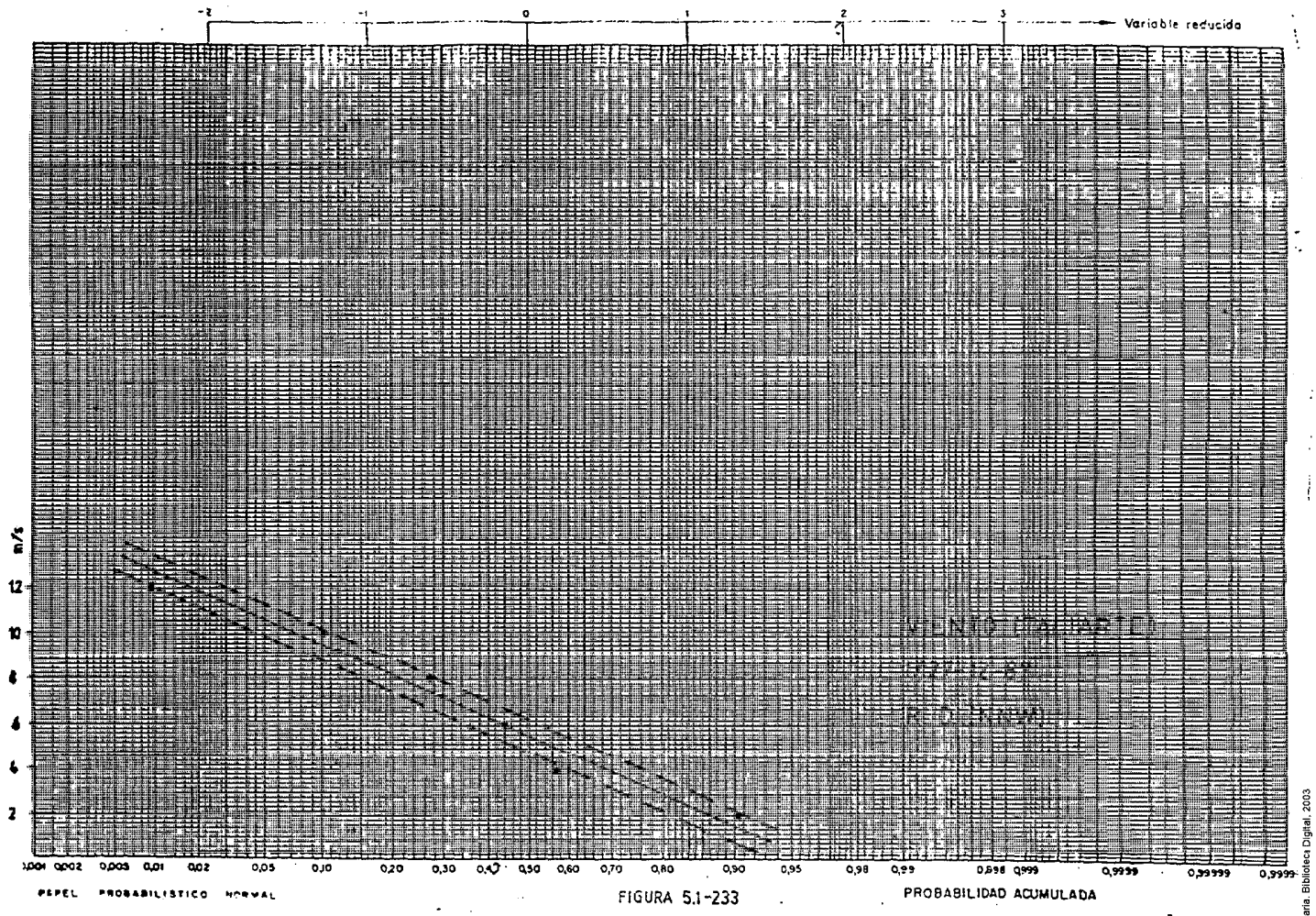


FIGURA 5.1-233

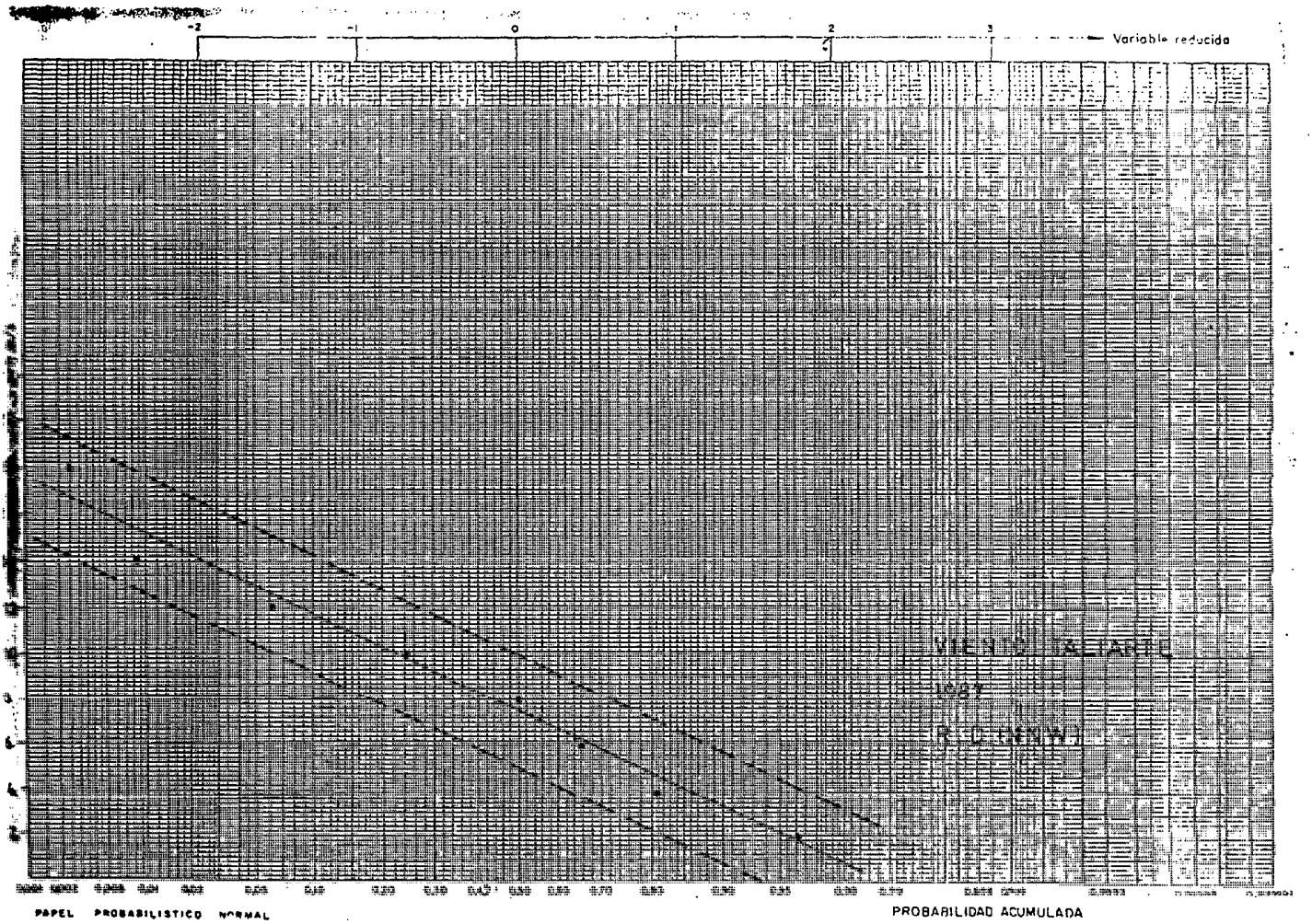


FIGURA 5.1-234

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTACION METEOROLOGICA
TALIARTE (1987)

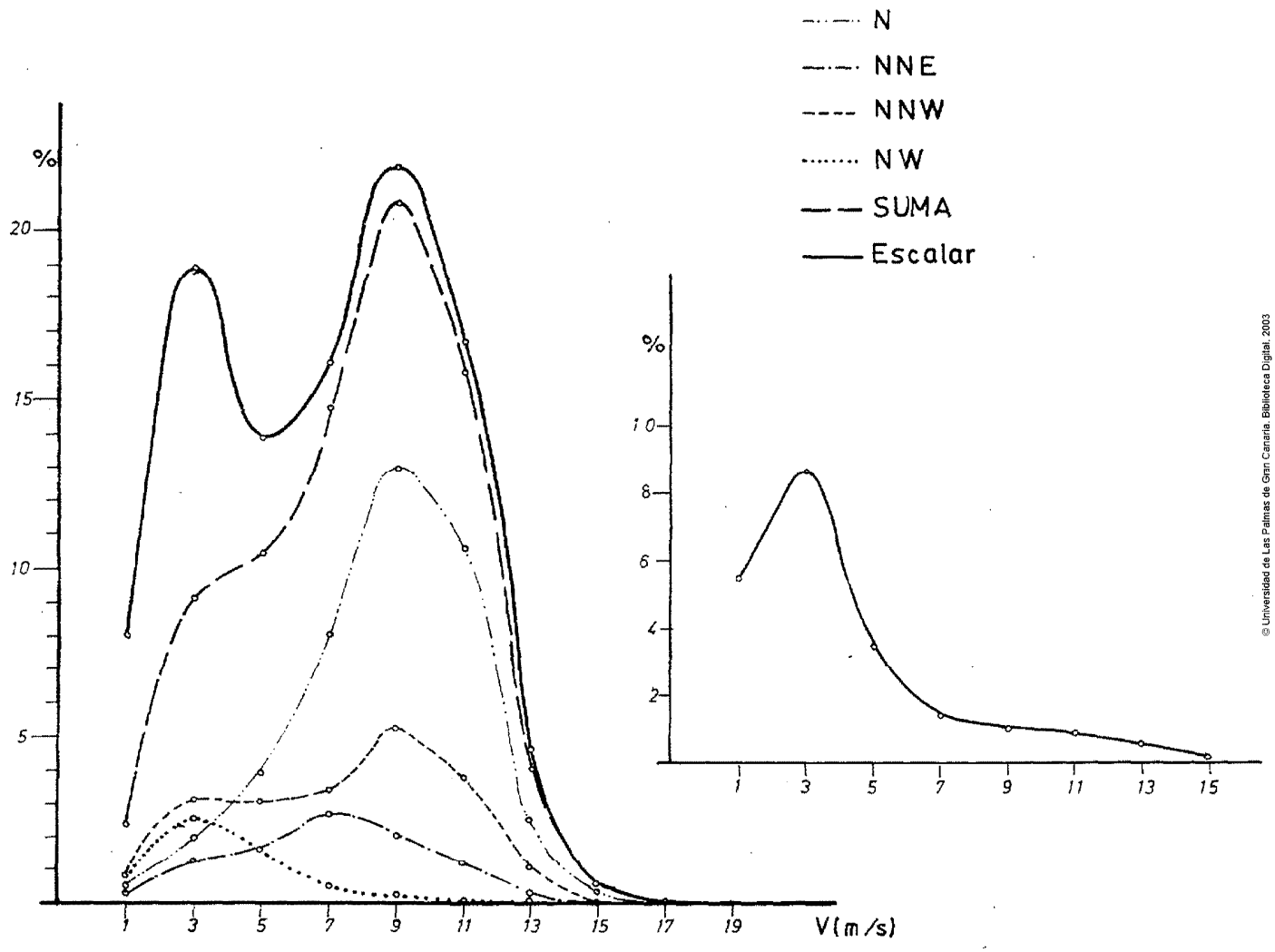


Figura -5.1-235

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

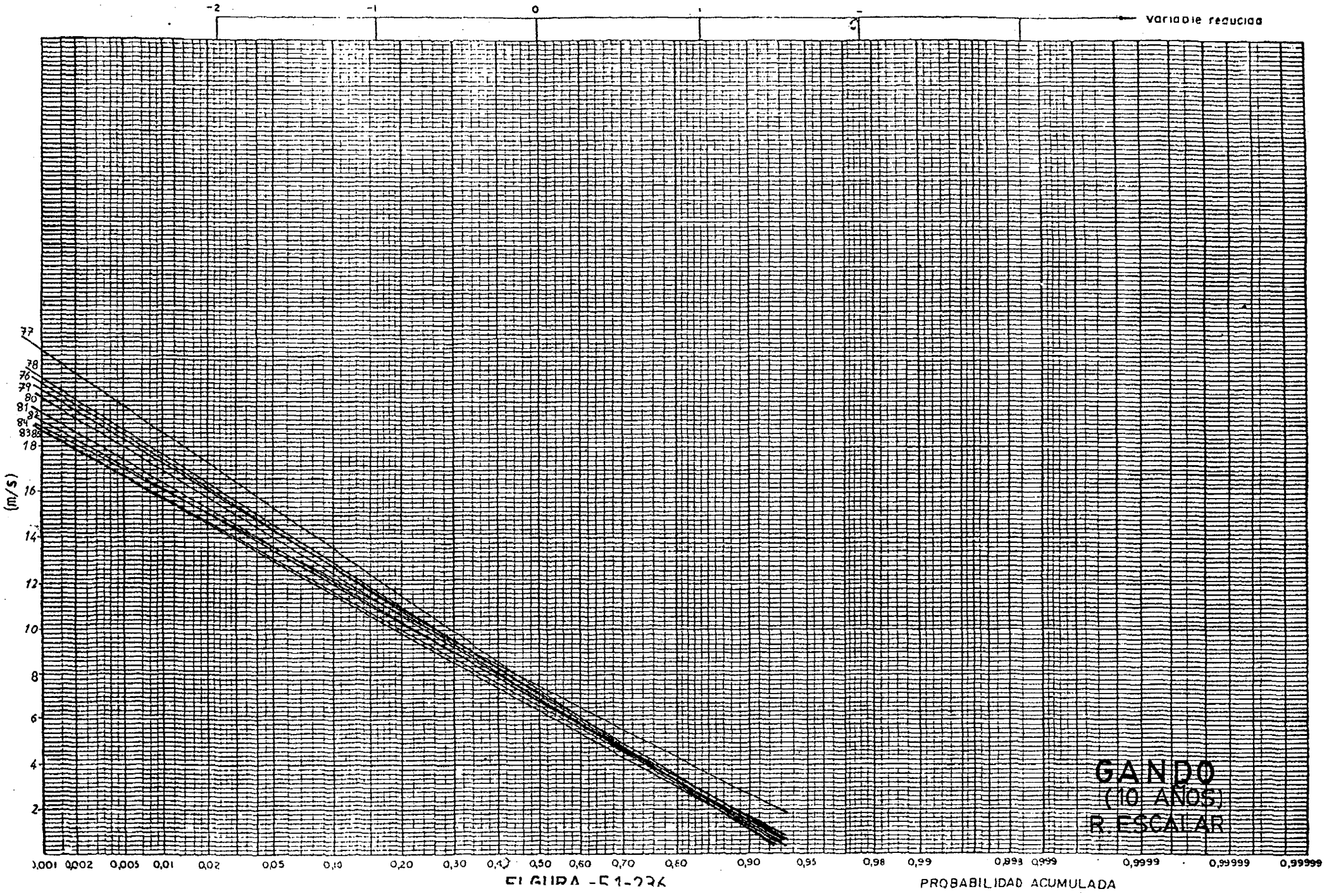


FIGURA -5.1-23A

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

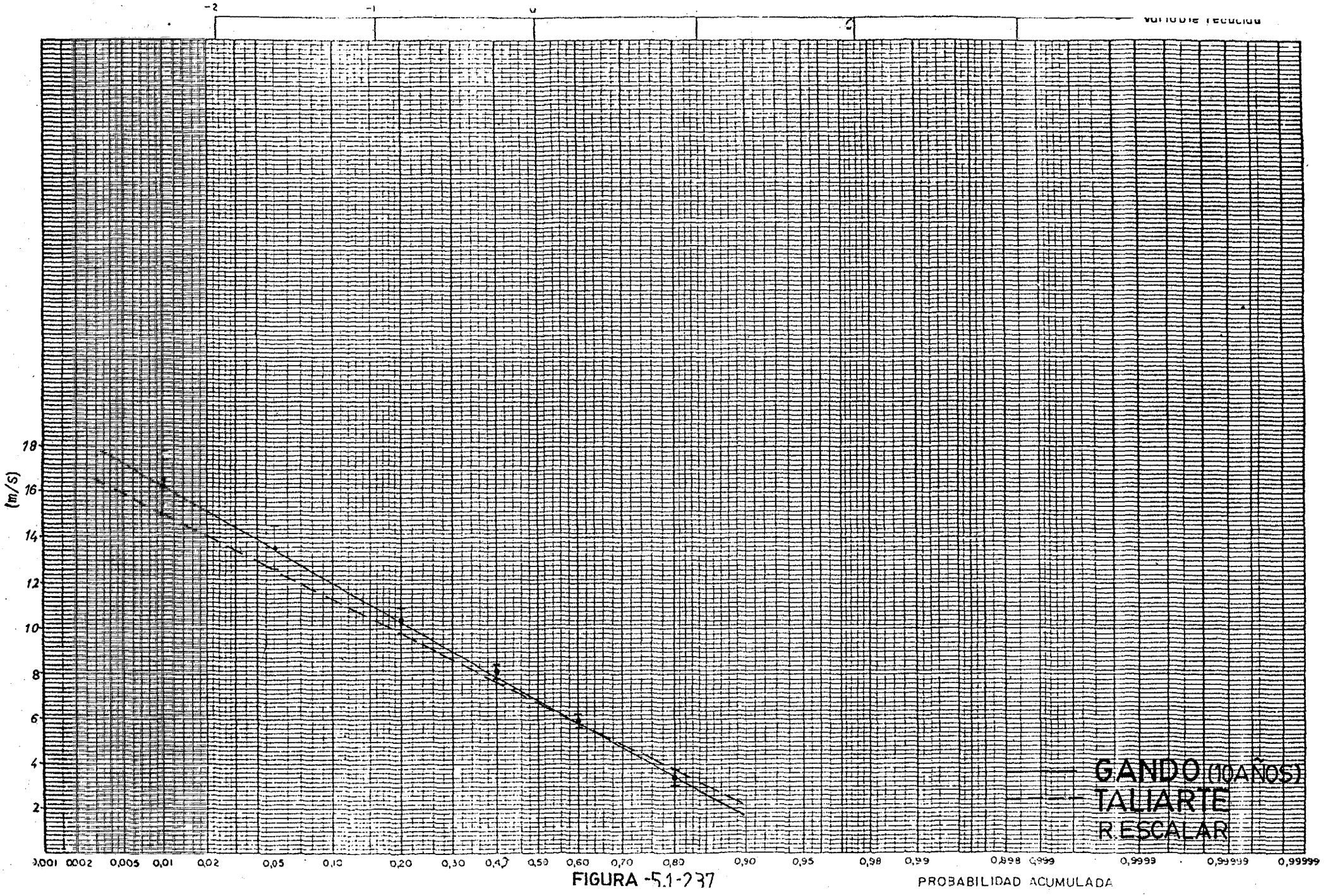


FIGURA -5.1-237

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

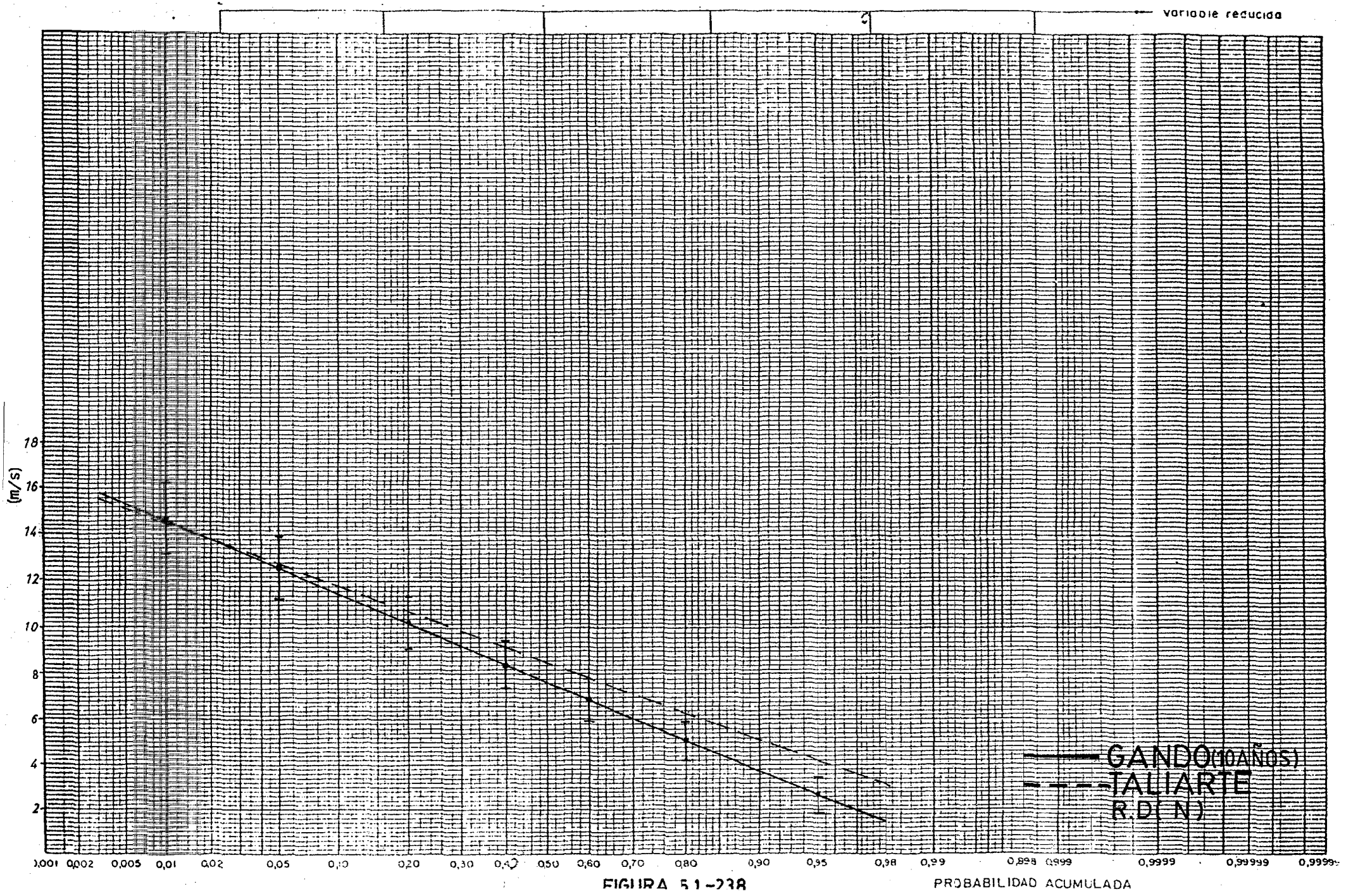


FIGURA 5.1-23B

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)
Fichero : 14- 5-86 (4091 datos)
15- 5-86 a 24- 5-86 (480 datos)

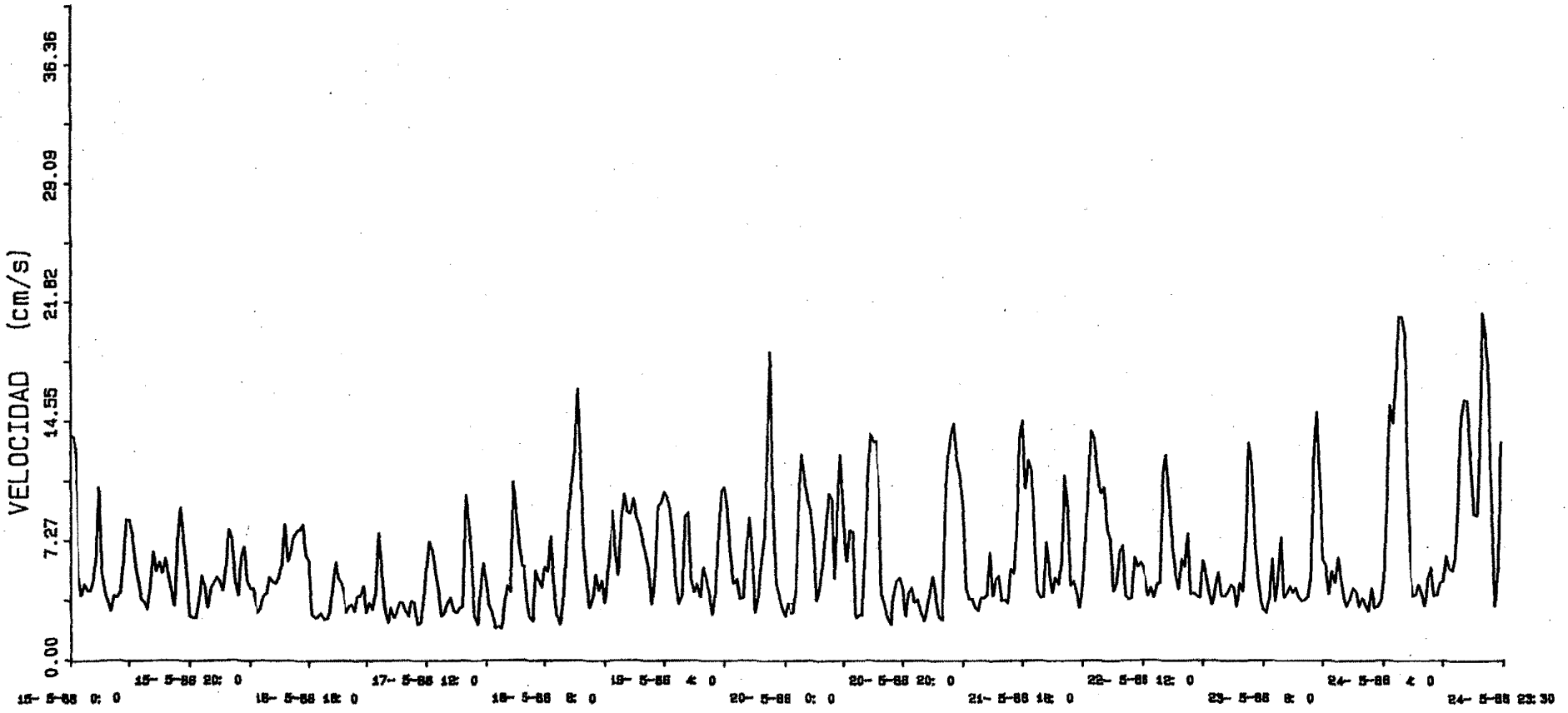


Figura 5.2-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)
Fichero : 14- 5-86 (4091 datos)
25- 5-86 a 3- 6-86 (480 datos)

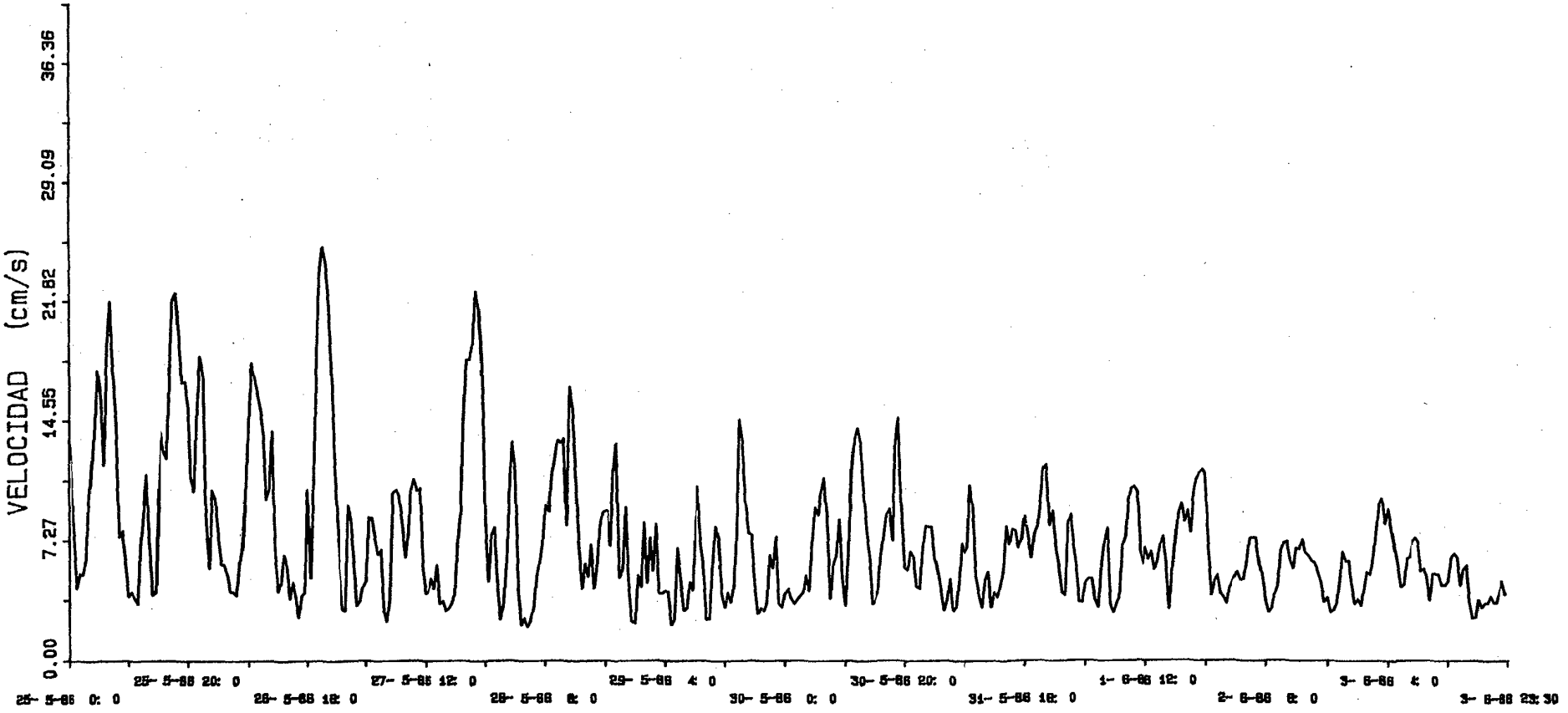


Figura 5.2 -2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)
Fichero : 14- 5-86 (4091 datos)
4- 6-86 a 13- 6-86 (480 datos)

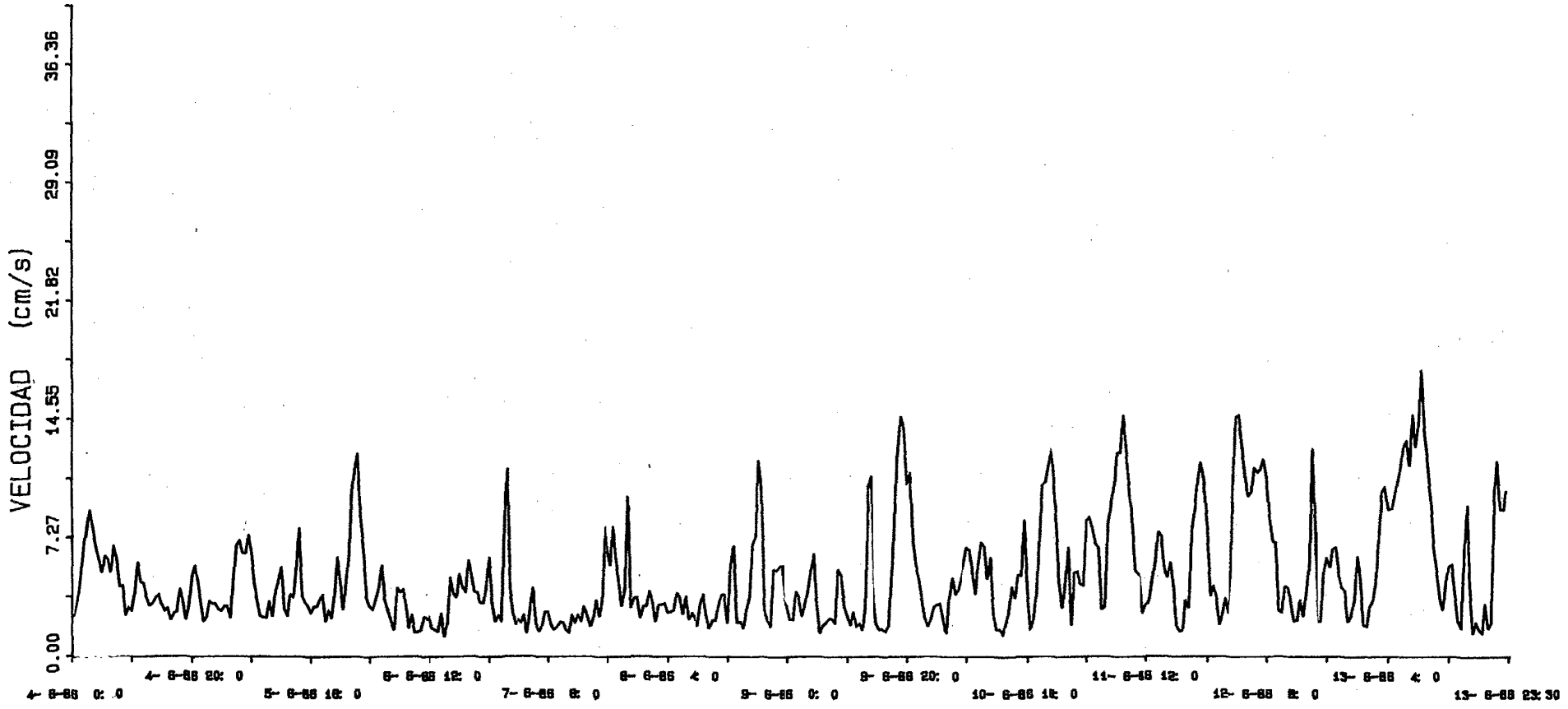


Figura 5.2-3

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

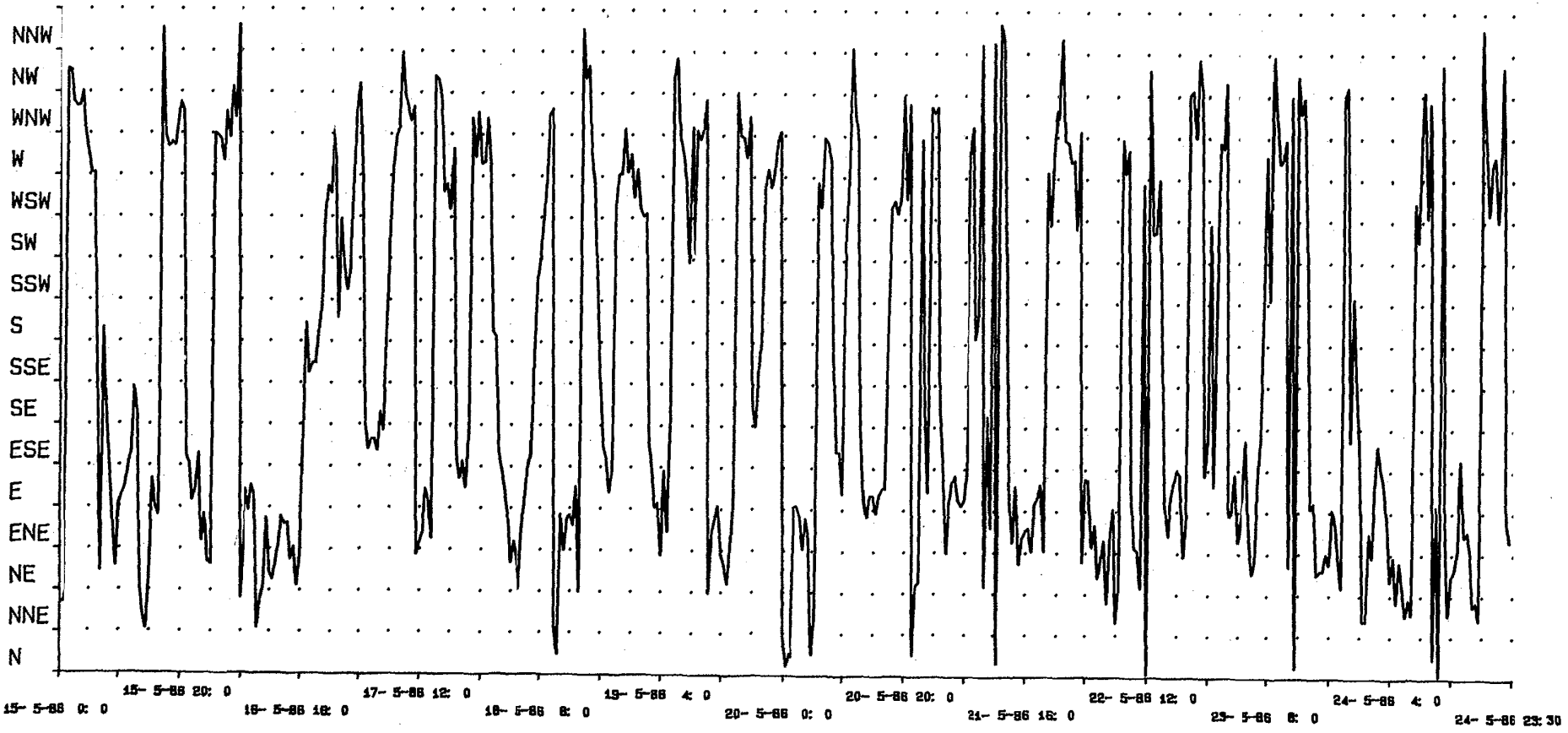


Figura 5.2-4

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)
Fichero : 14- 5-86 (4091 datos)
25- 5-86 a 3- 6-86 (480 datos)

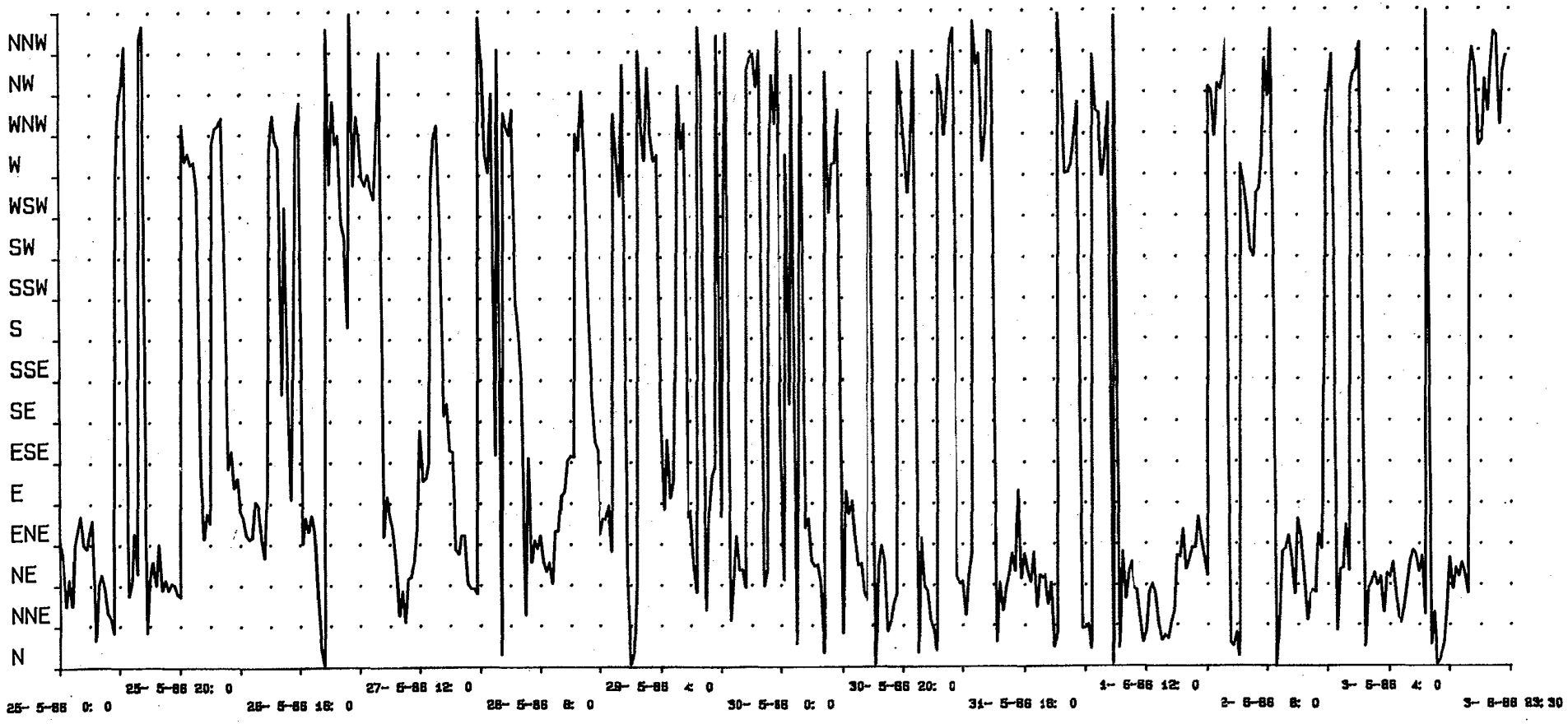


Figura 5.2-5

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)
Fichero : 14- 5-86 (4091 datos)
4- 6-86 a 13- 6-86 (480 datos)

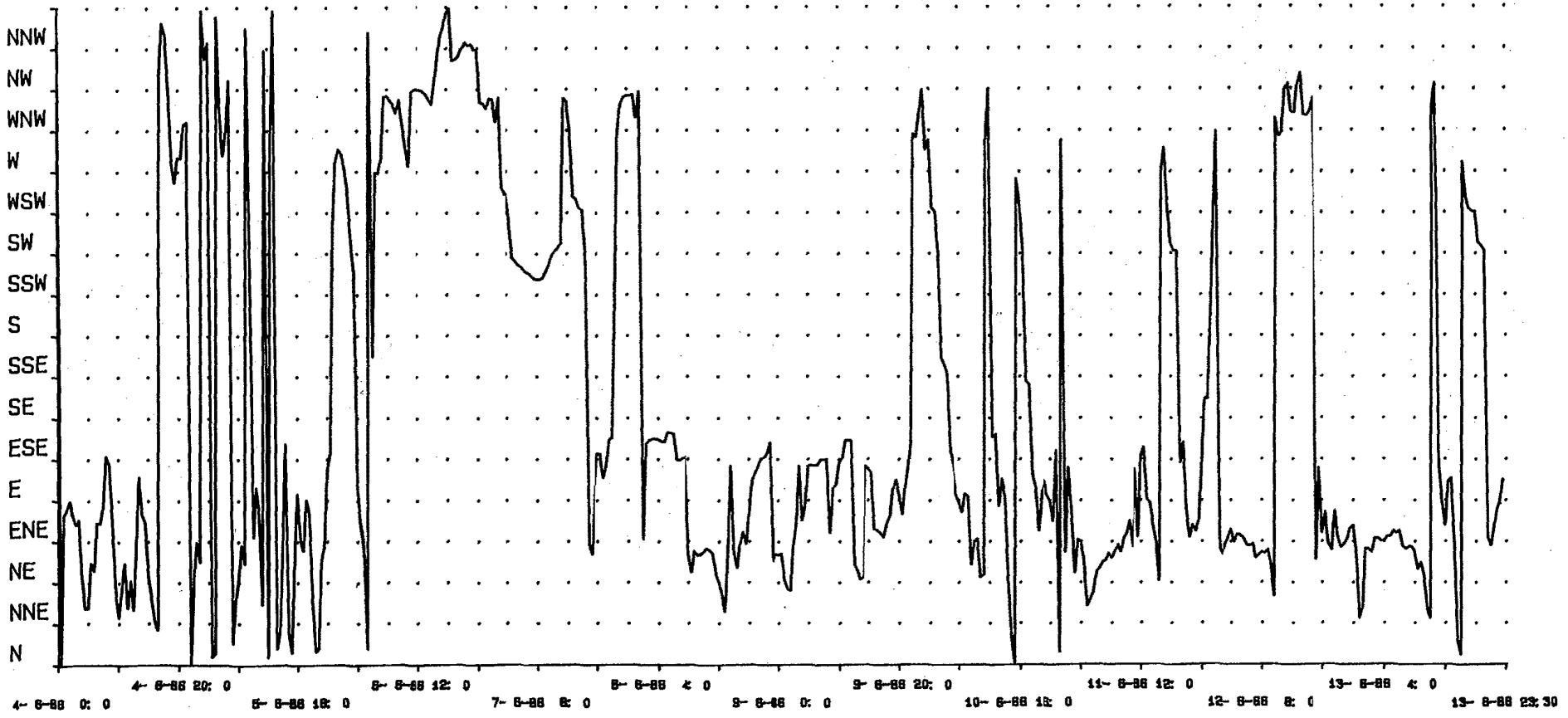


Figura 5.2 -6

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003

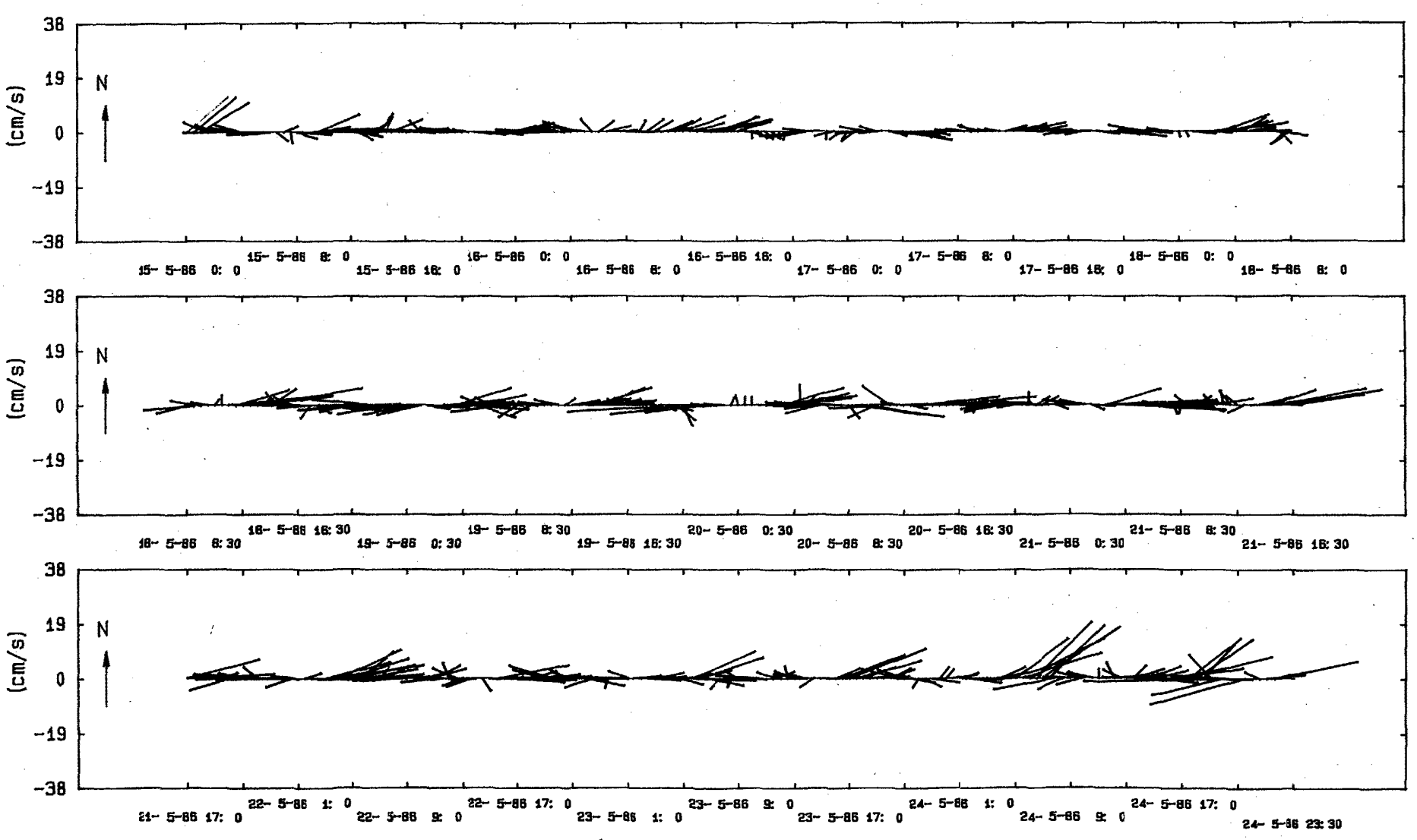


Figura 5.2-7

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

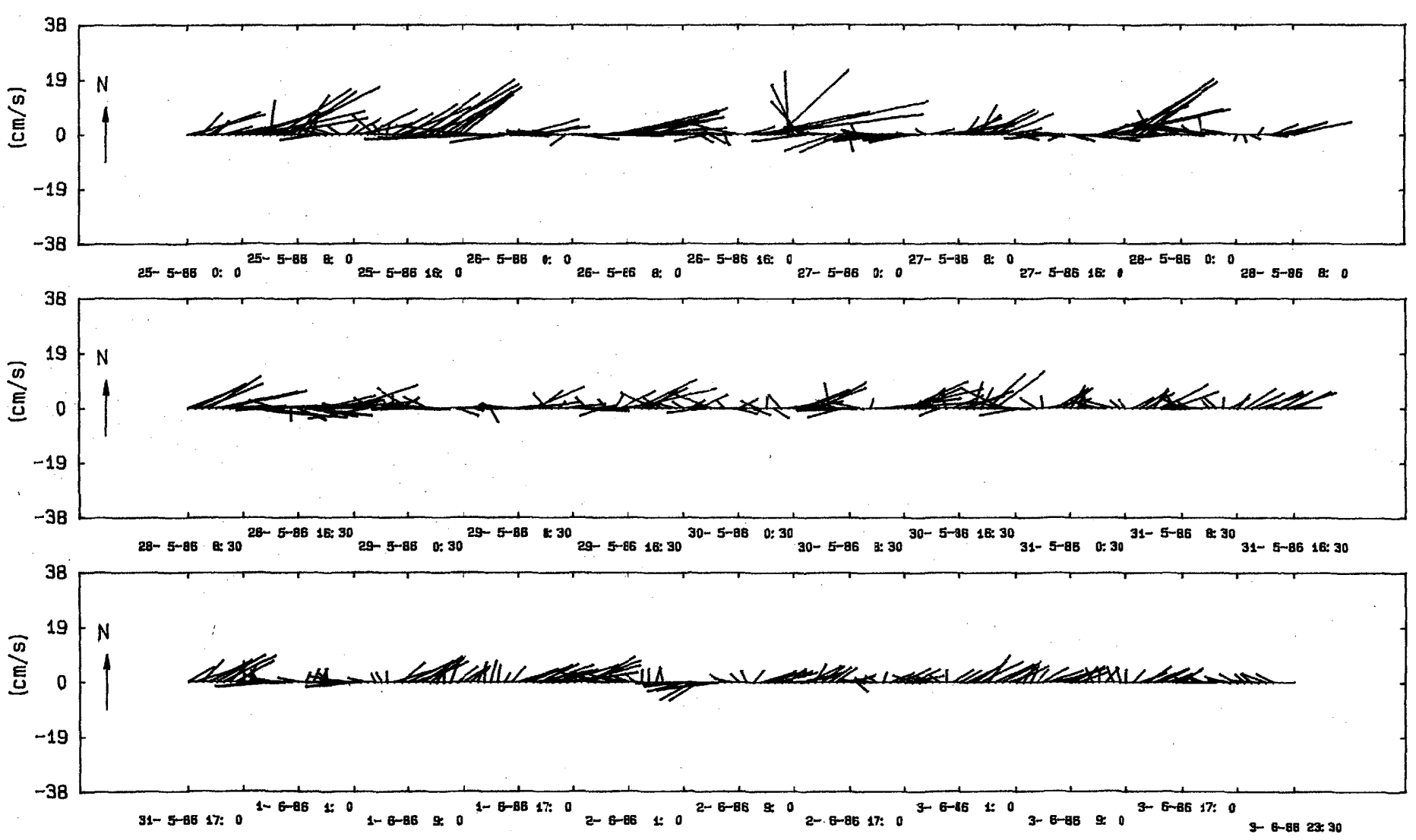


Figura 5.2-8

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

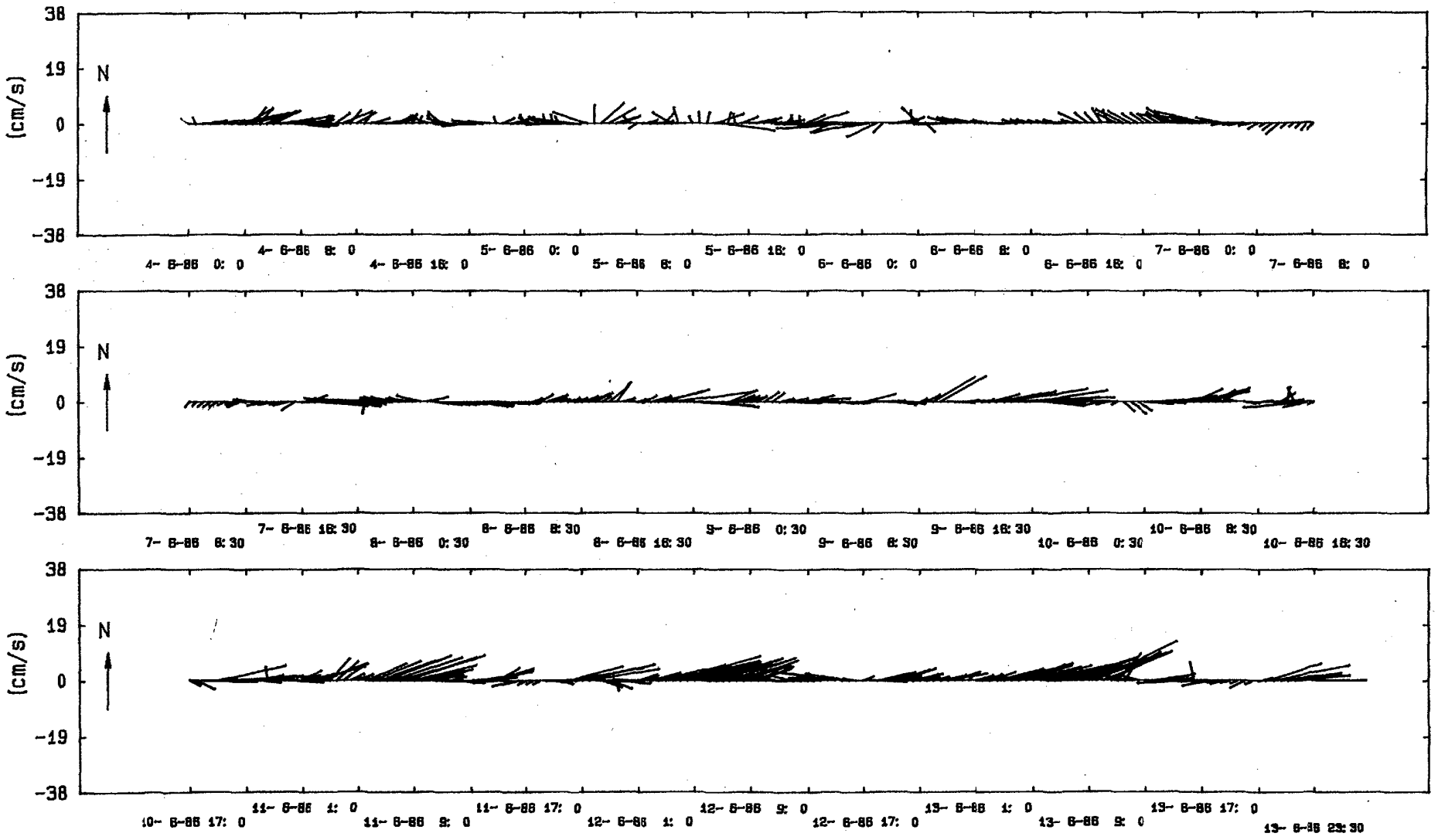


Figura 5.2-9

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)
Fichero : 14- 5-86 (4091 datos, 30 minutos)
15- 5-86 a 13- 6-86 , 1440 datos
Histograma de VELOCIDAD (cm/s)

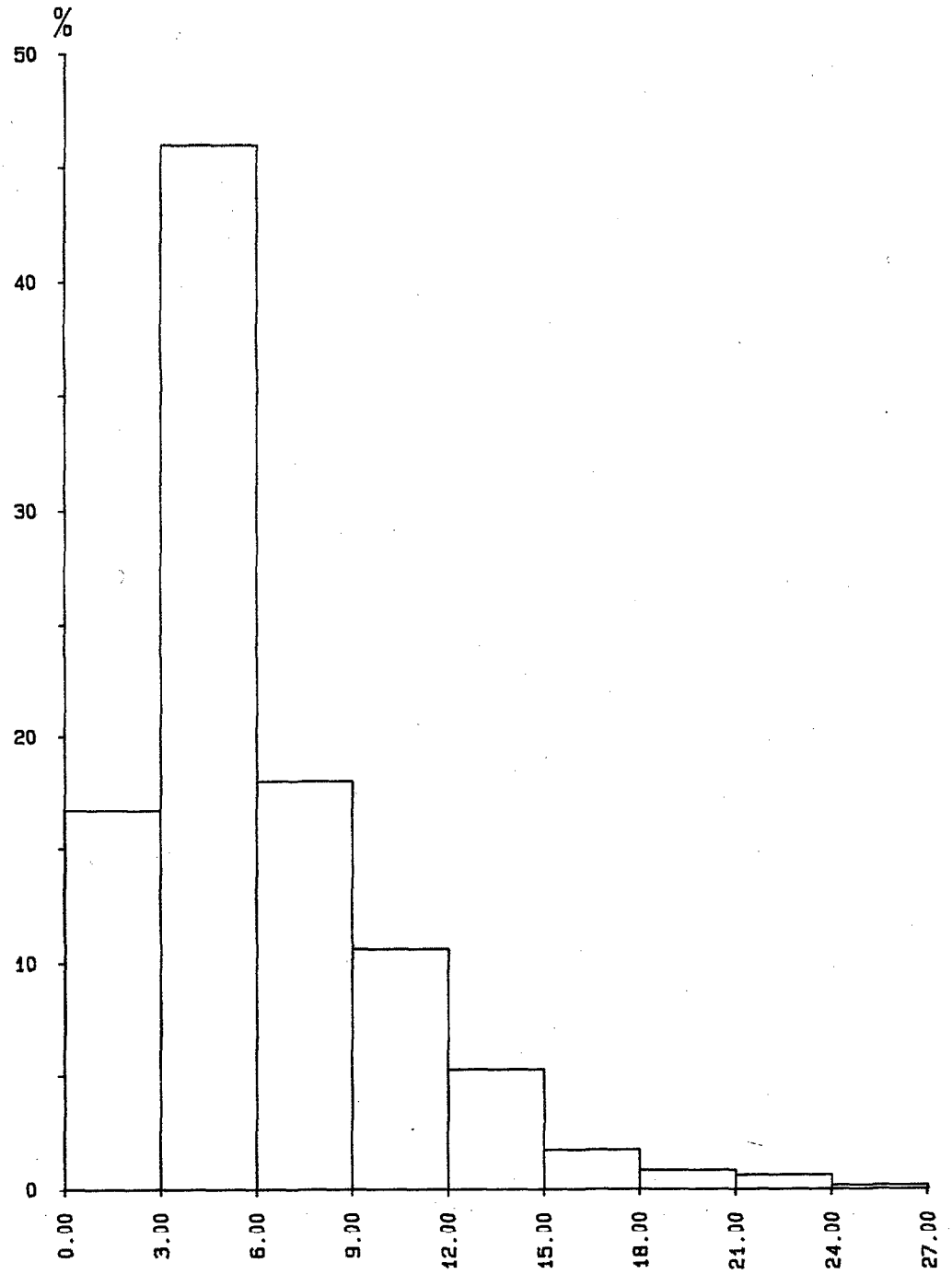


Figura 5.2-10

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)
Fichero : 14- 5-86 (4091 datos, 30 minutos)
15- 5-86 a 13- 6-86 , 1440 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

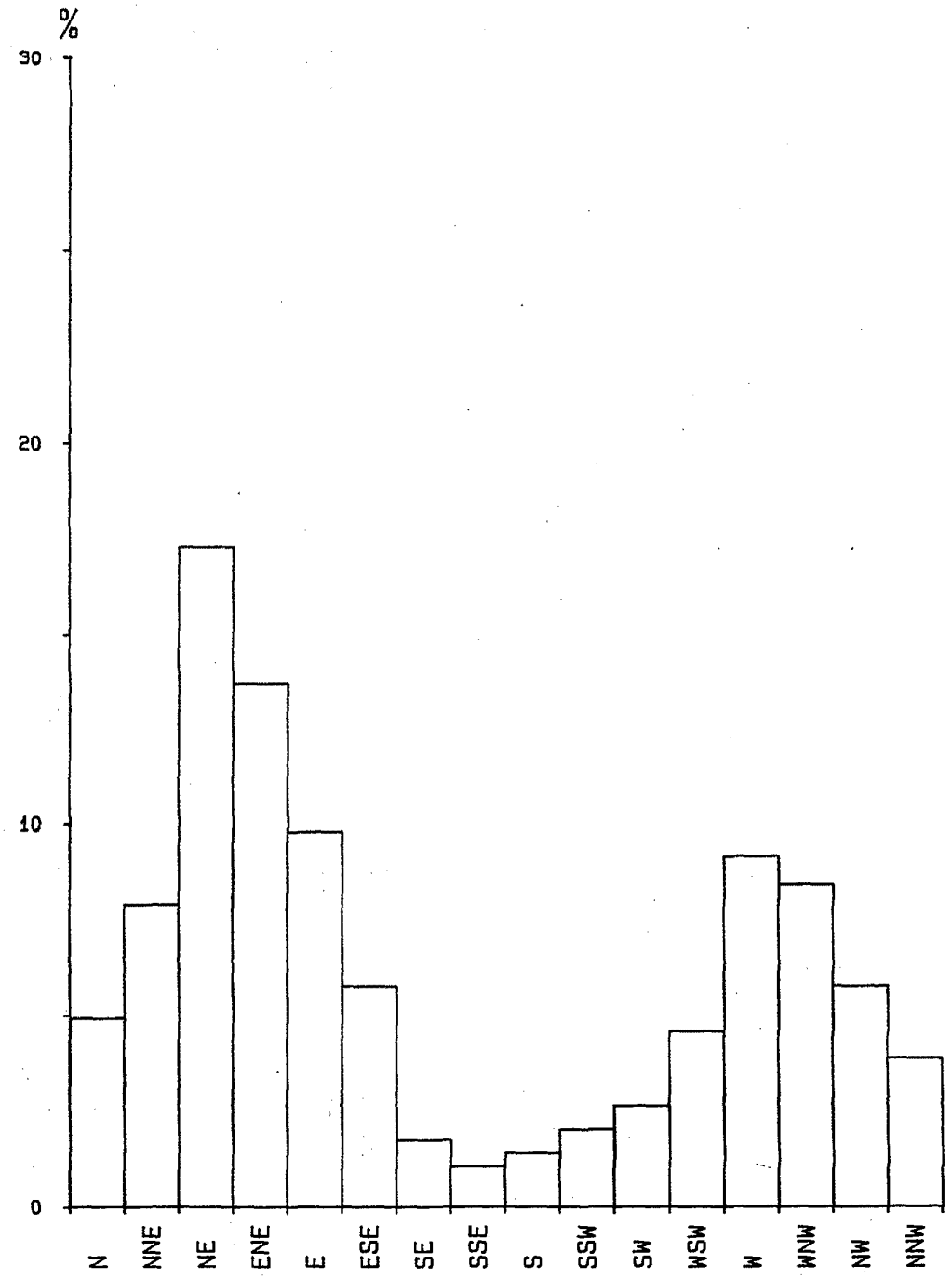
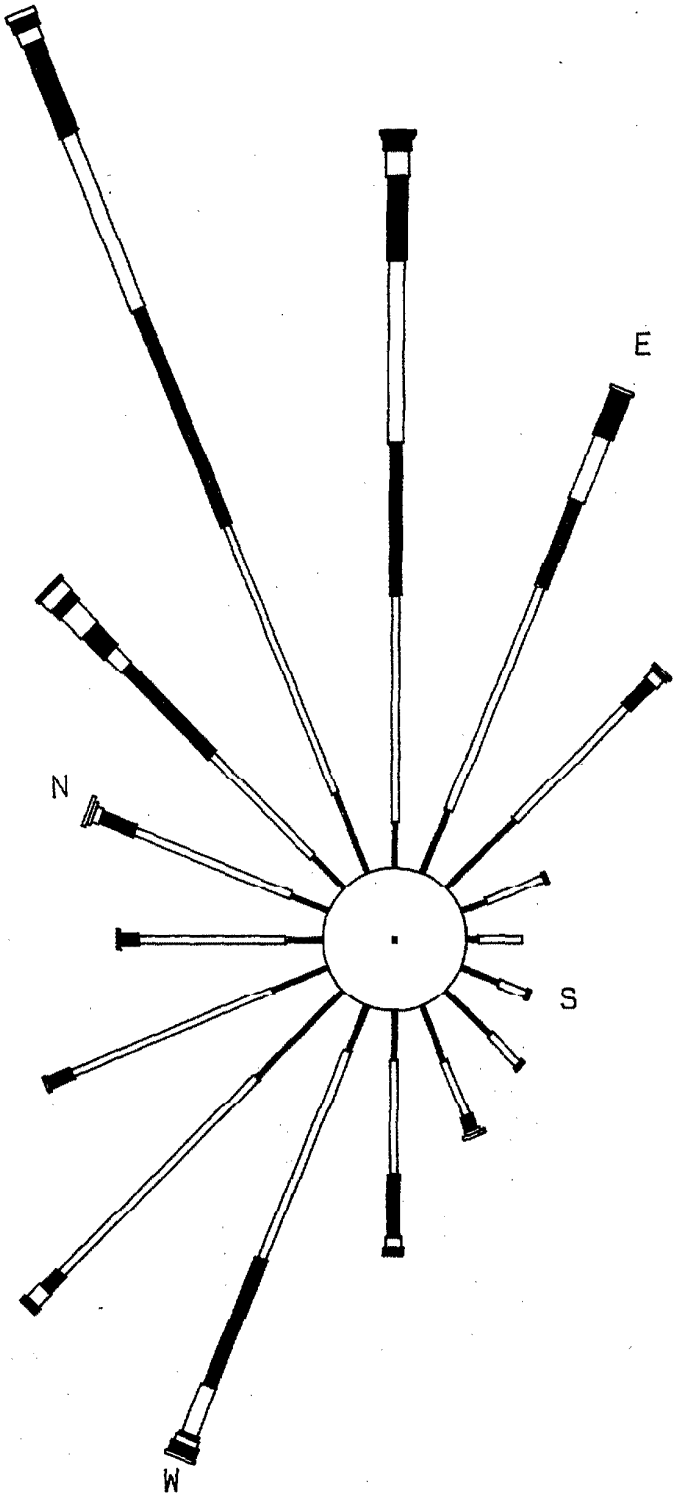


Figura 5.2-11

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE CORRIENTES (TALIARTE)
15- 5-86 a 13- 6-86 (30 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 3.0 cm/s

Figura 5.2-12

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE)

Fichero : 14- 5-86 (4091 datos, 30 minutos)

15- 5-86 al 13- 6-86 , 1440 datos

Diagrama polar de corrientes

Angulo = 15.9448 grados

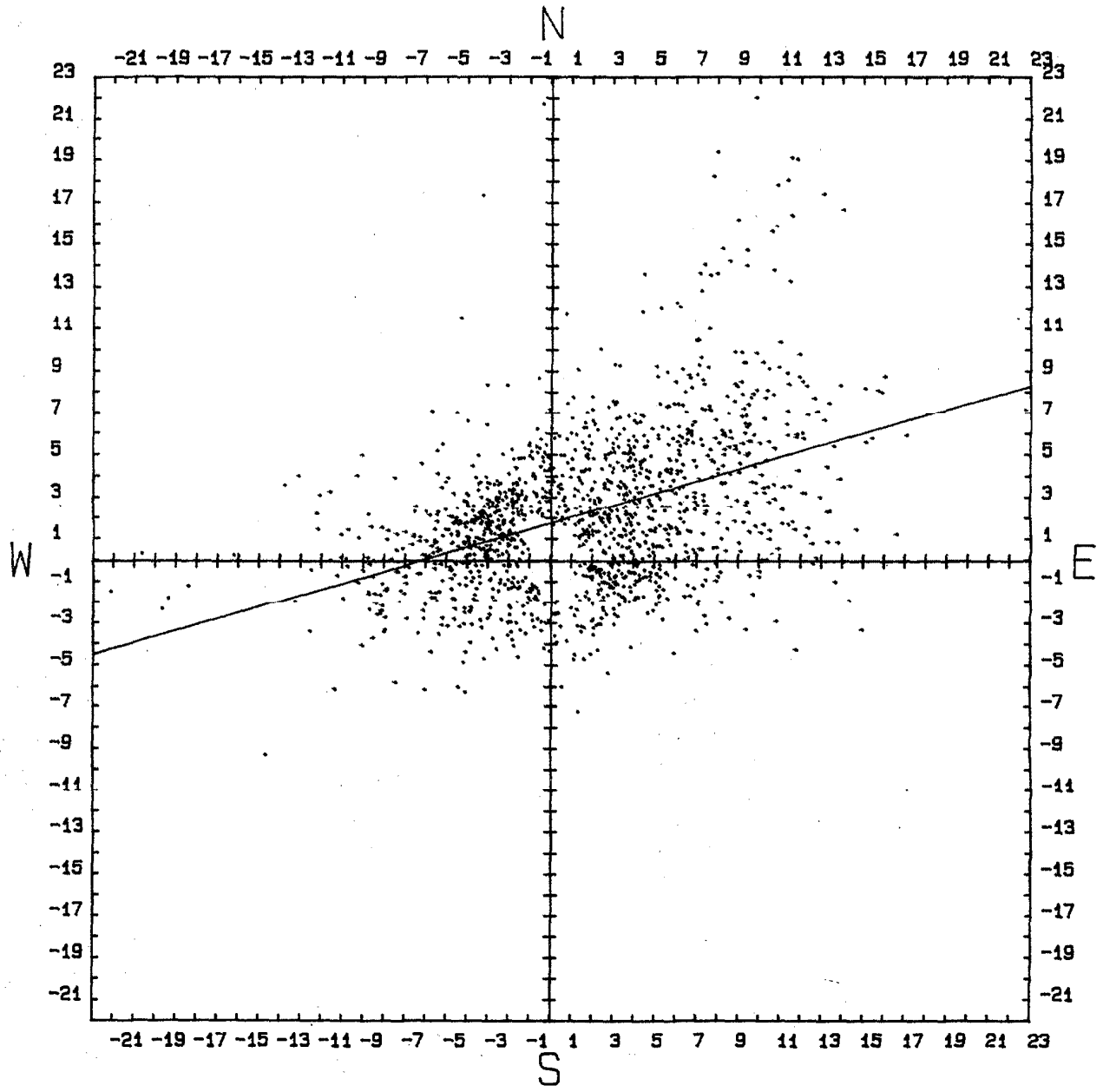


Figura 5.2-13

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

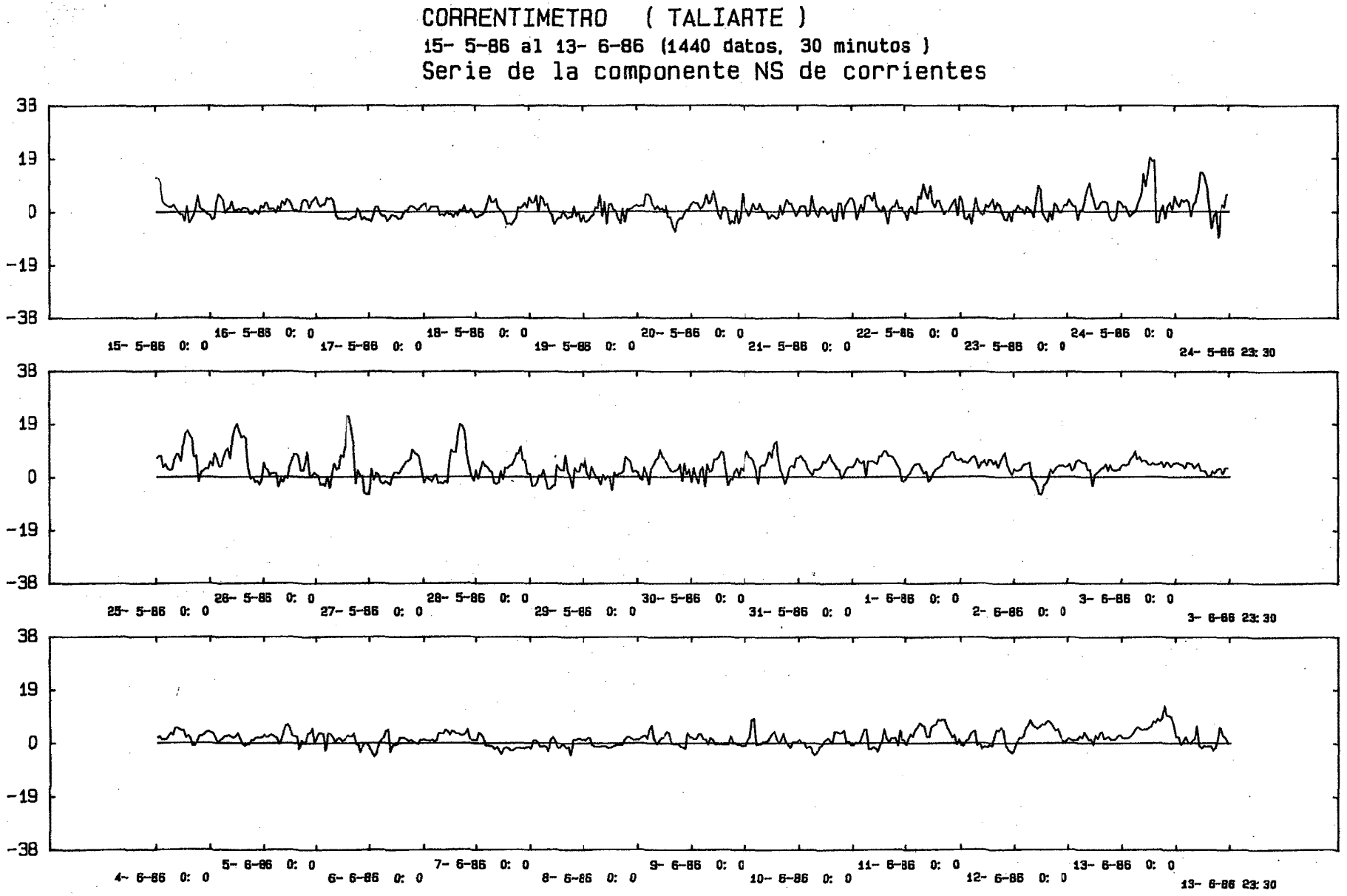


Figura 5.2-14

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

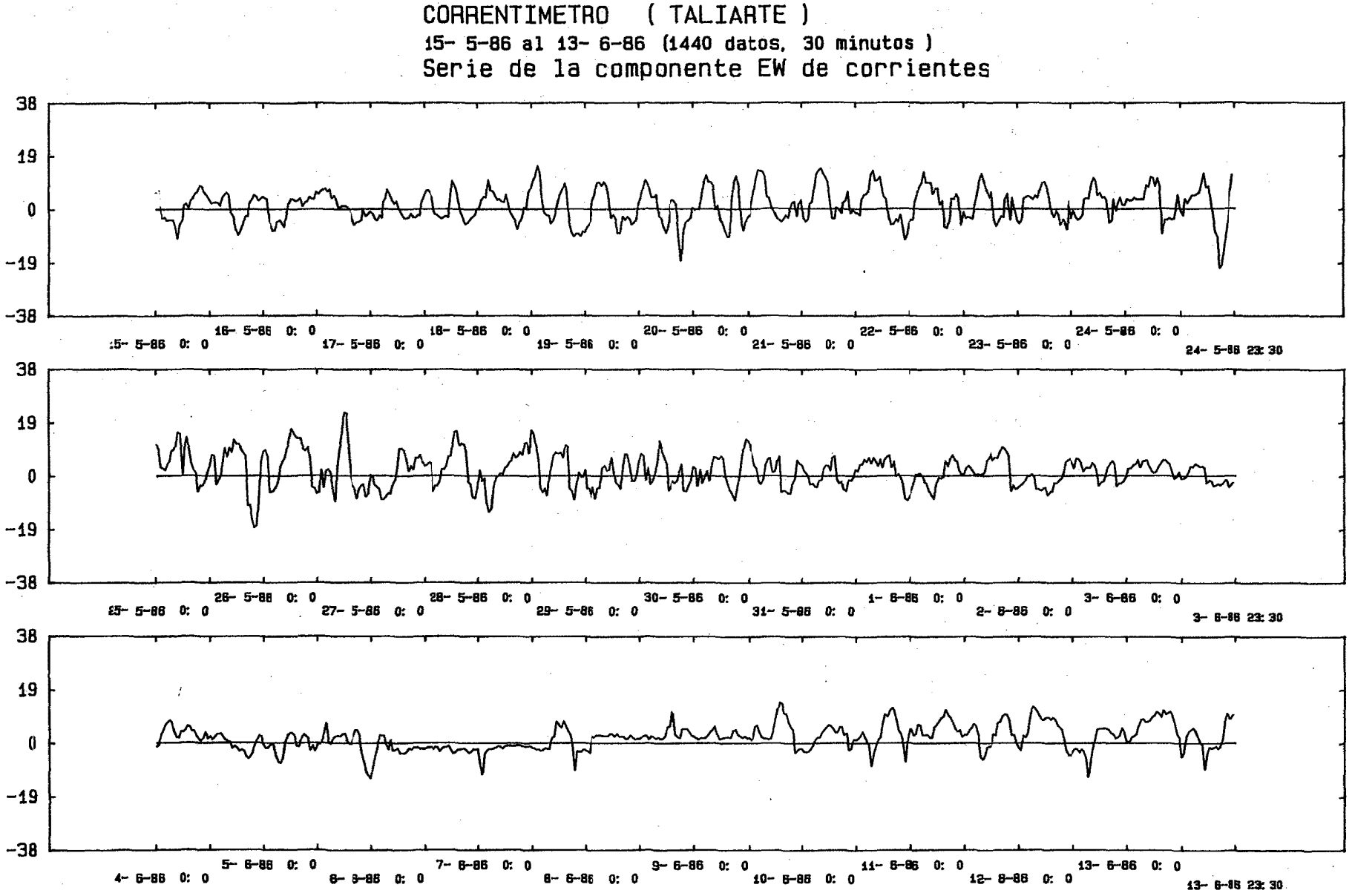


Figura 5.2-15

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

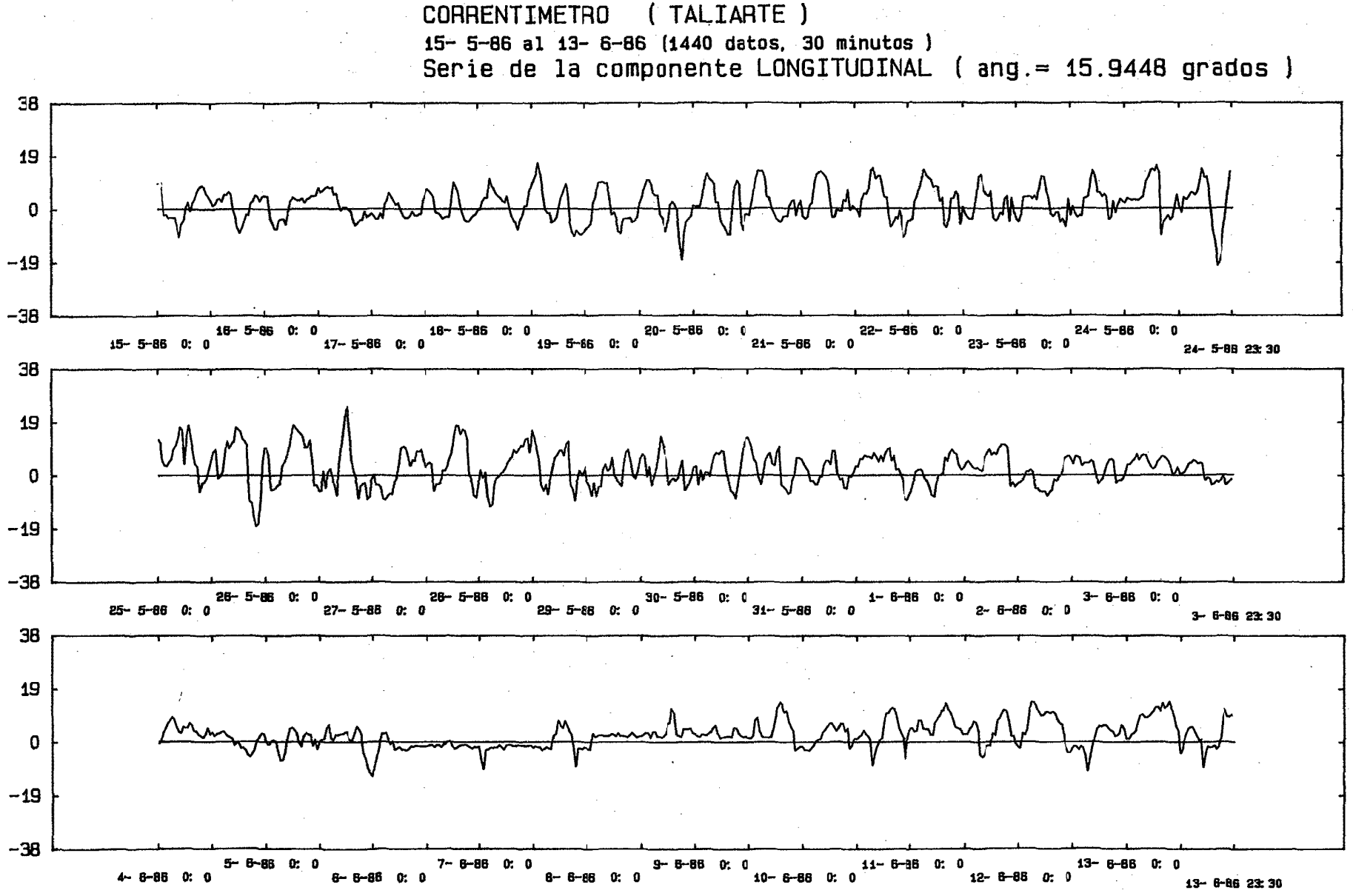


Figura 5.2-16

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

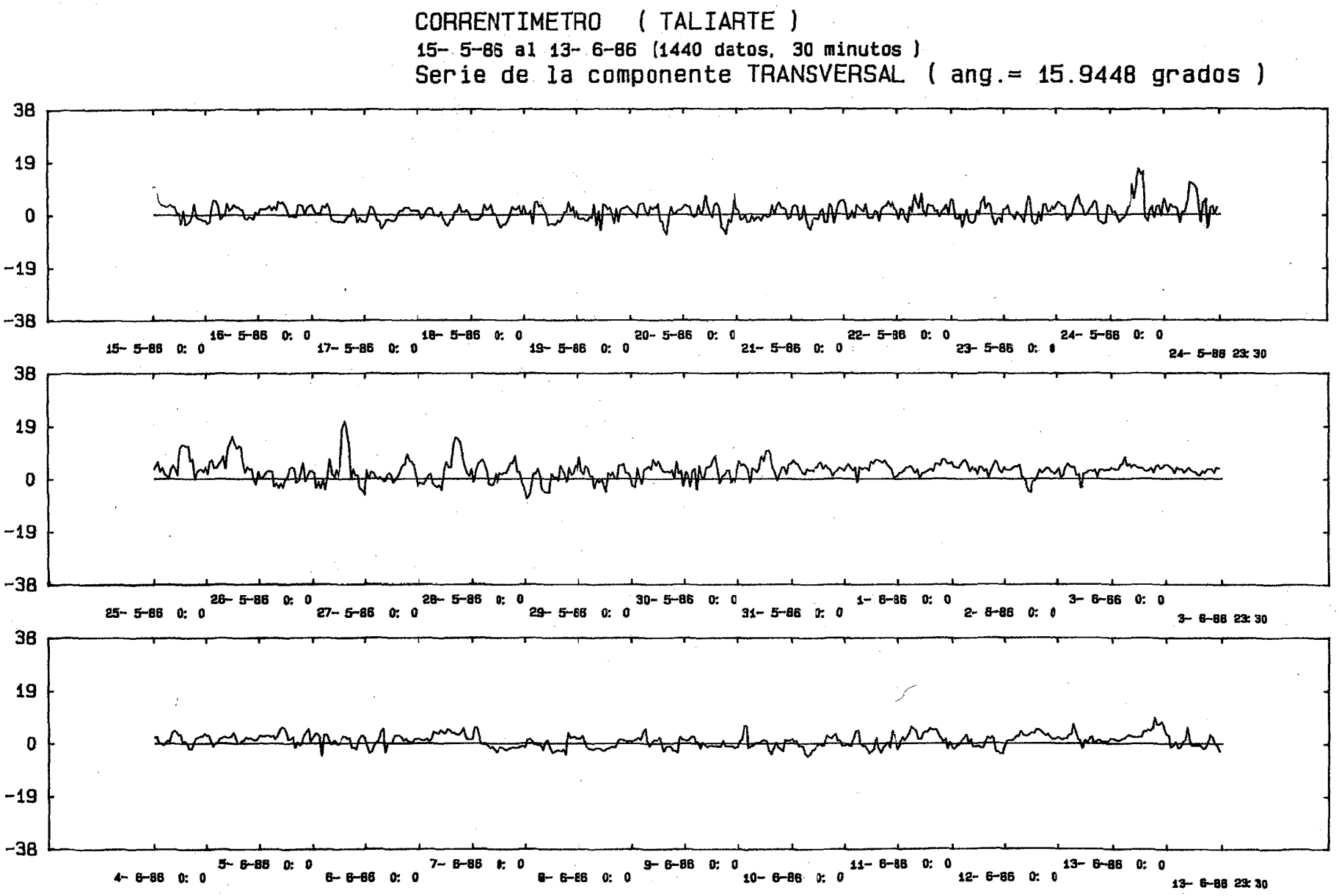


Figura 5.2-17

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos)
23- 6-87 a 30- 6-87 (1076 datos)

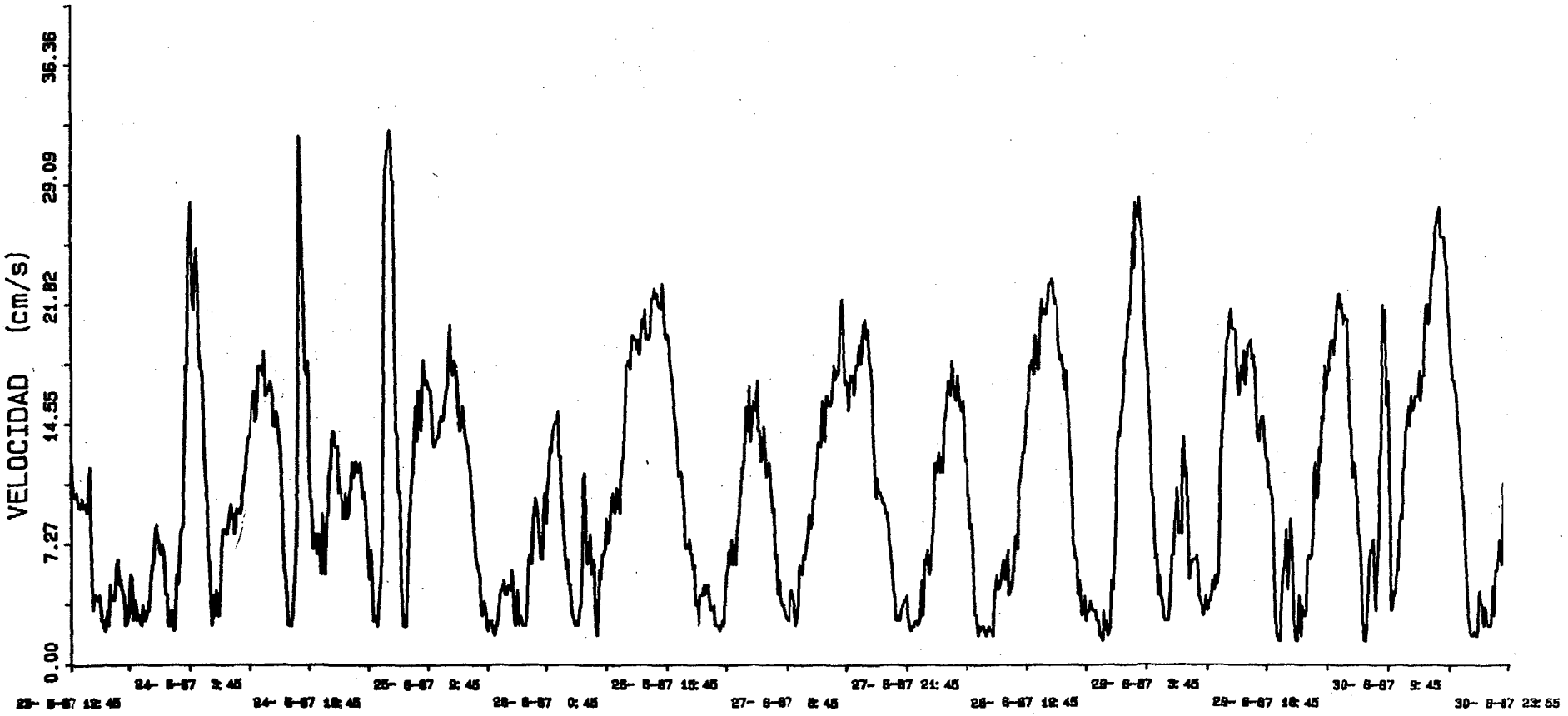


Figura 5.2-18

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

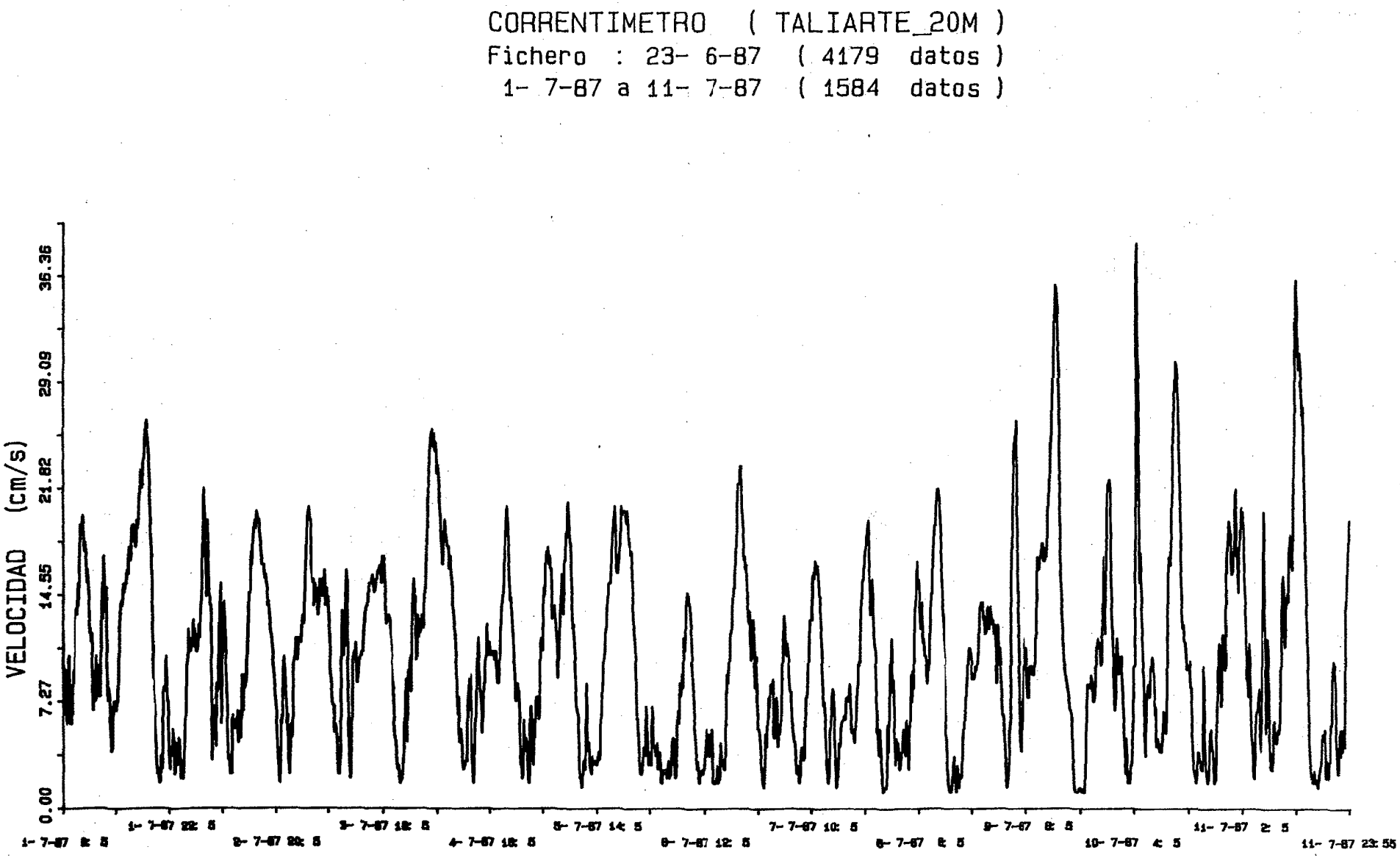


Figura 5.2-19

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos)
12- 7-87 a 22- 7-87 (1519 datos)

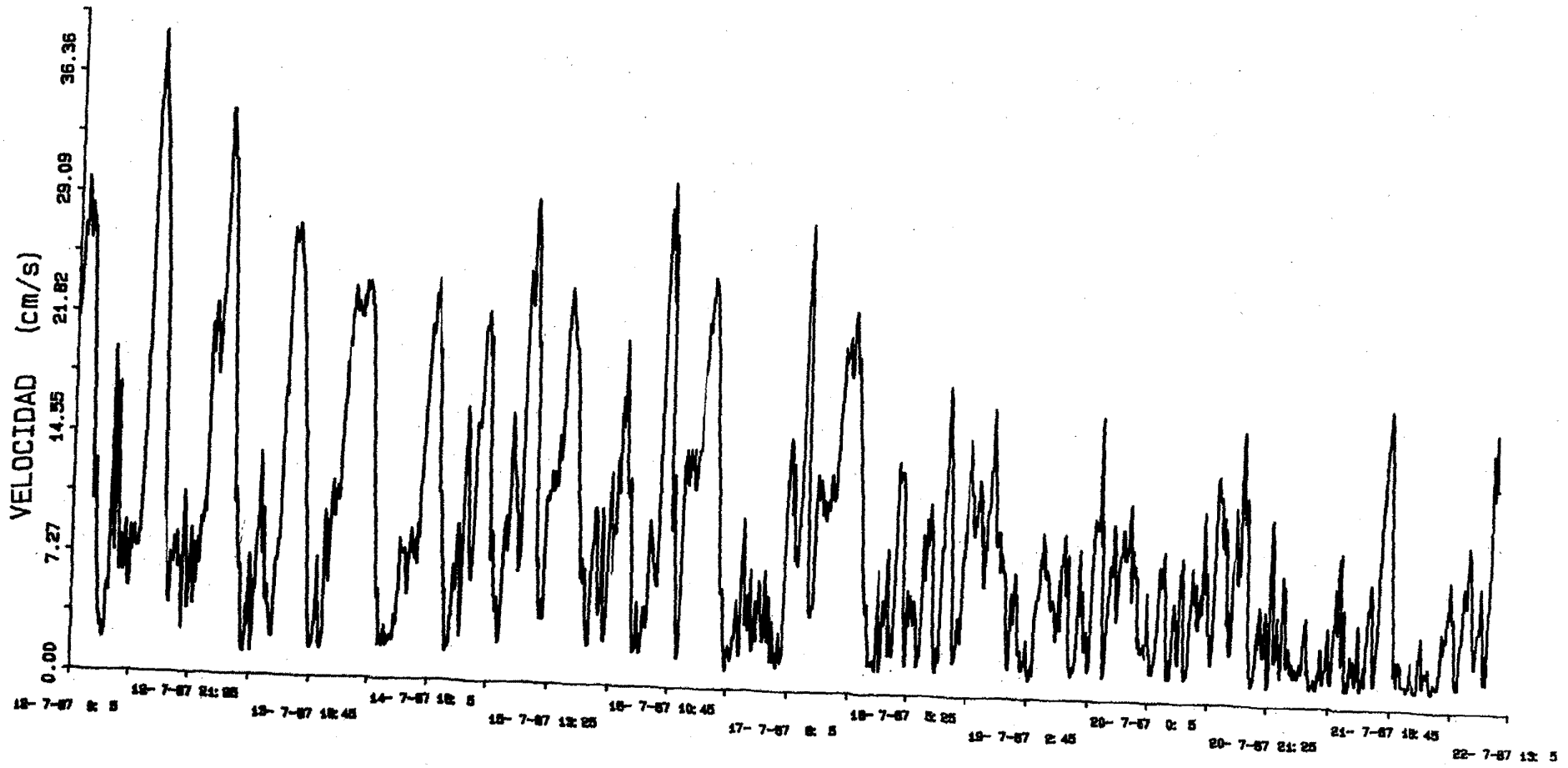


Figura 5.2-20

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos)
23- 6-87 a 30- 6-87 (1076 datos)

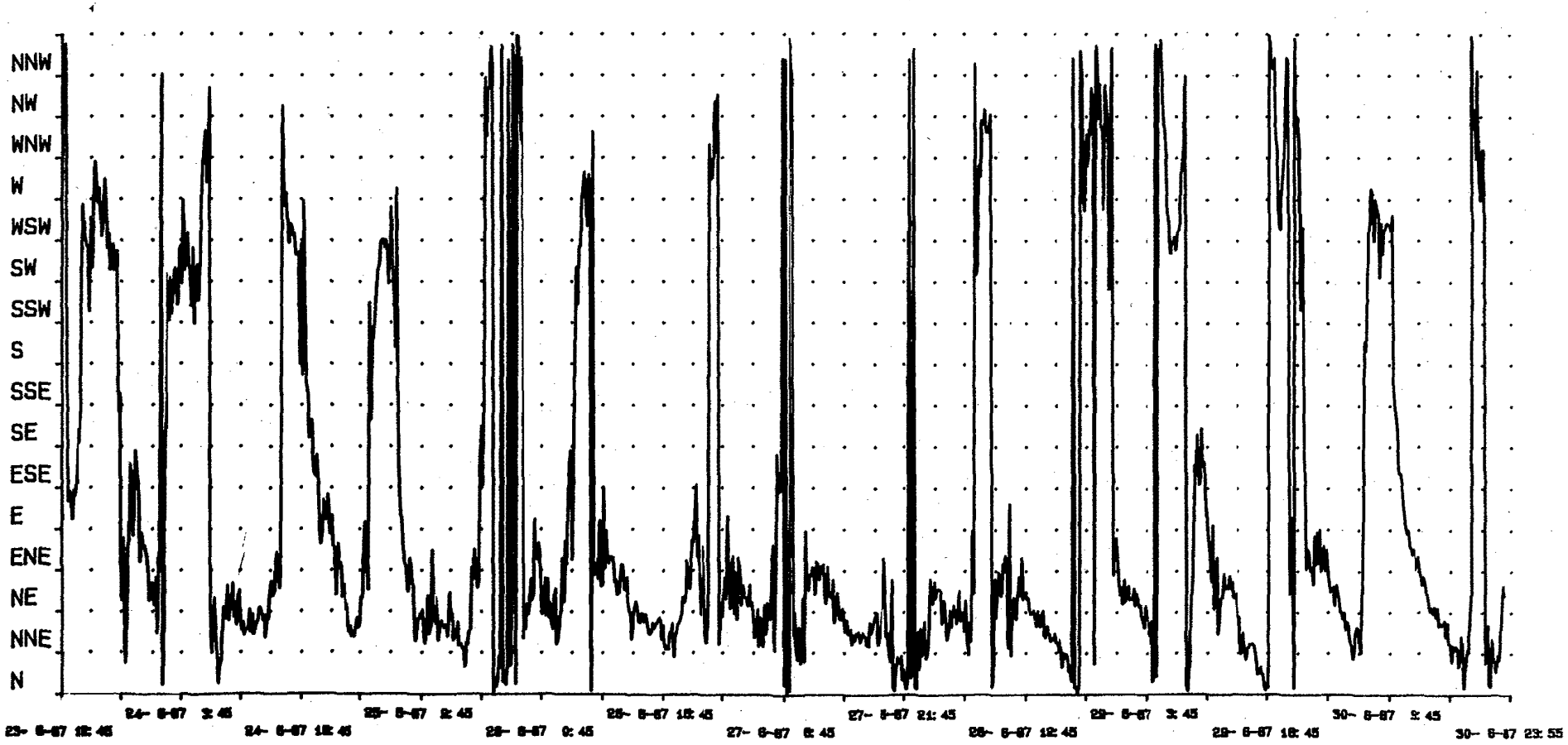


Figura 5.2-21

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos)
1- 7-87 a 11- 7-87 (1584 datos)

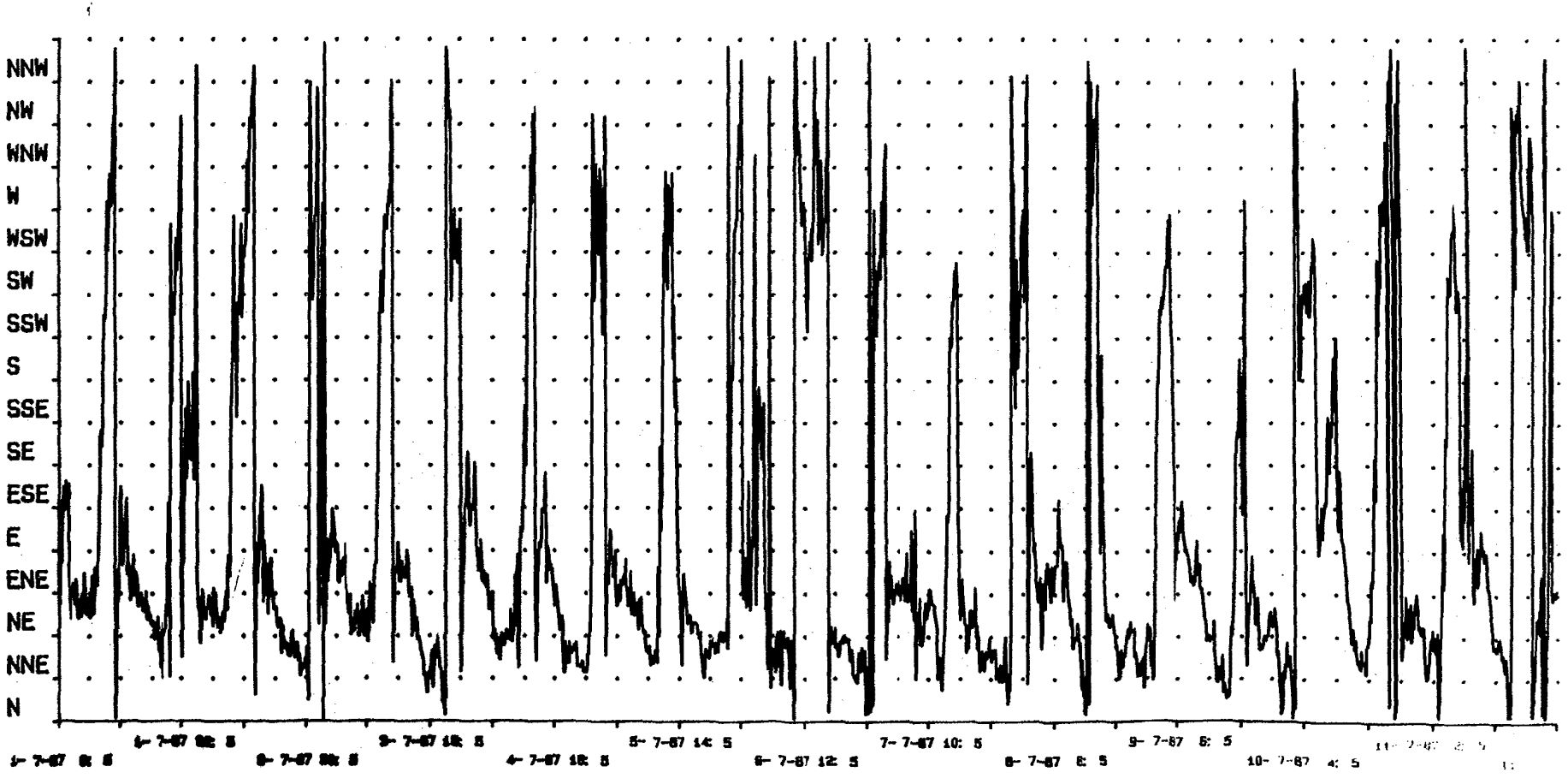


Figura 5.2-22

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos)
12- 7-87 a 22- 7-87 (1519 datos)

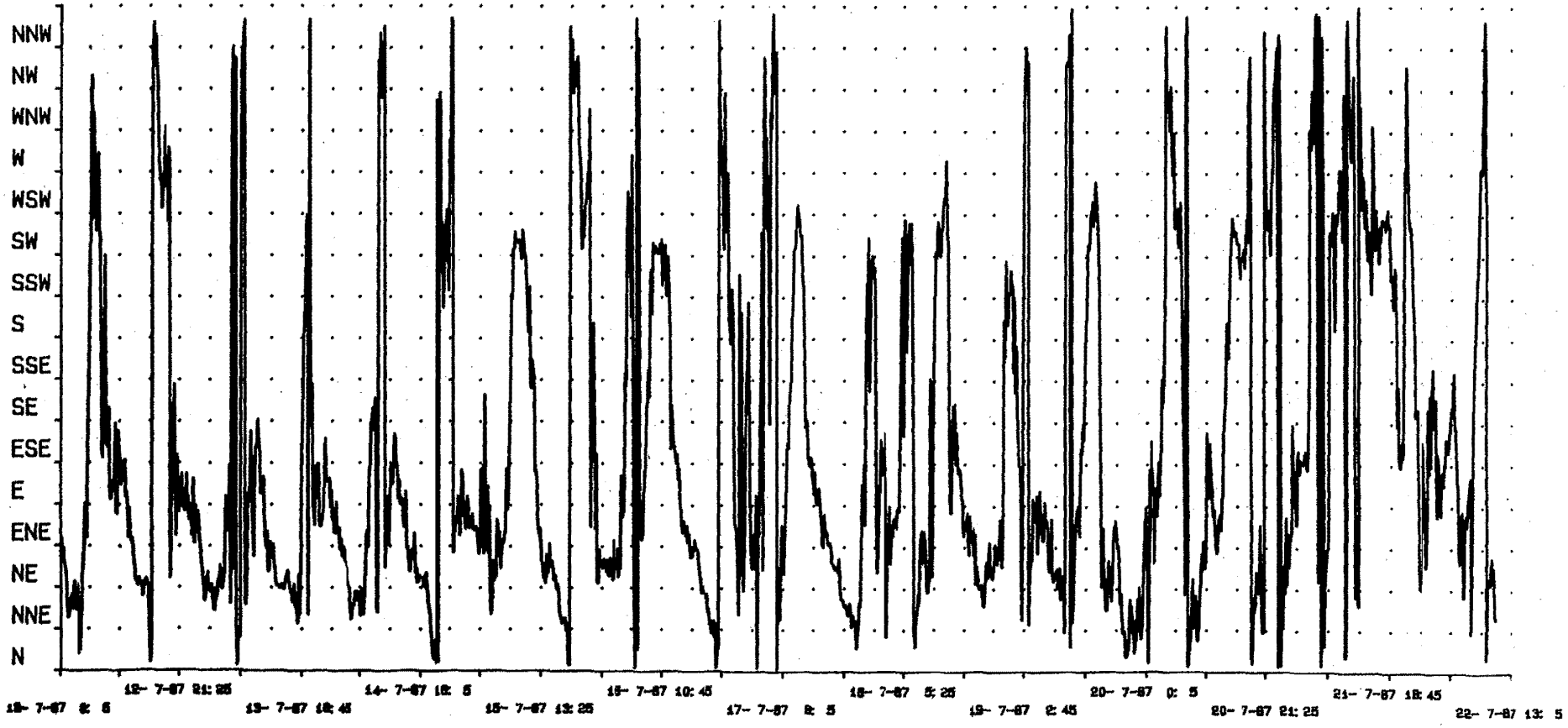


Figura 5.2-23

© Universidadde Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

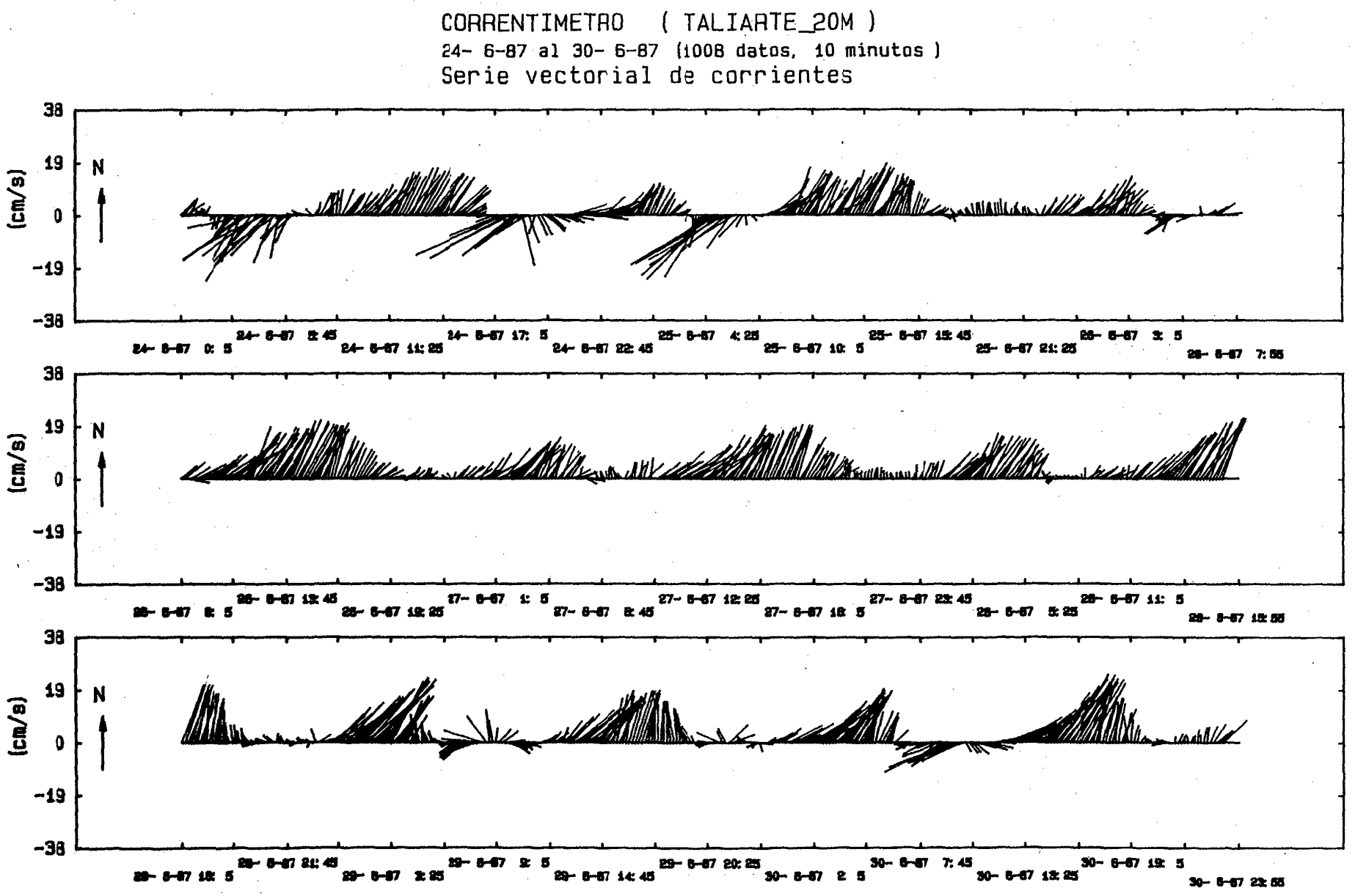


Figura 5.2-24

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

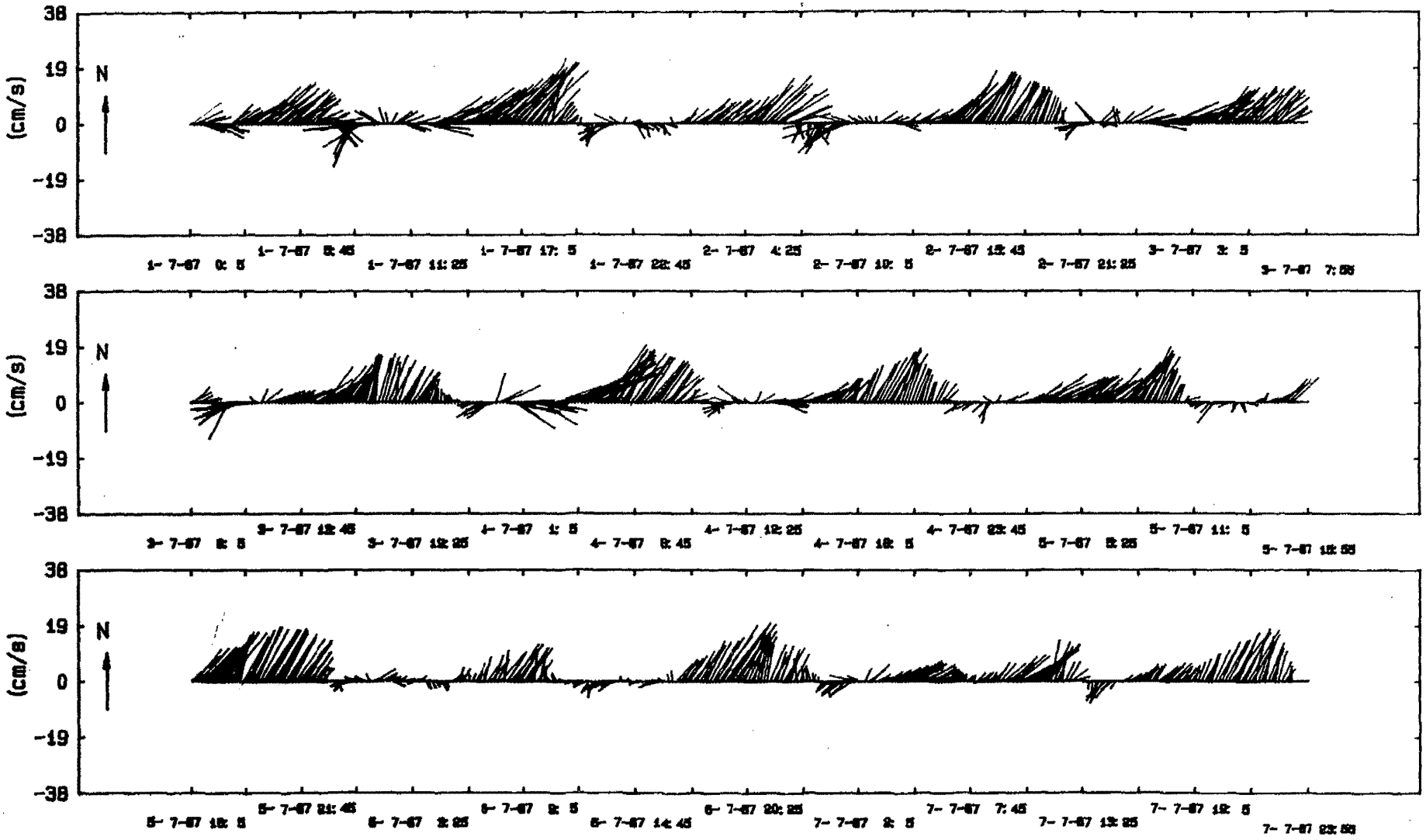


Figura 5.2-25

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

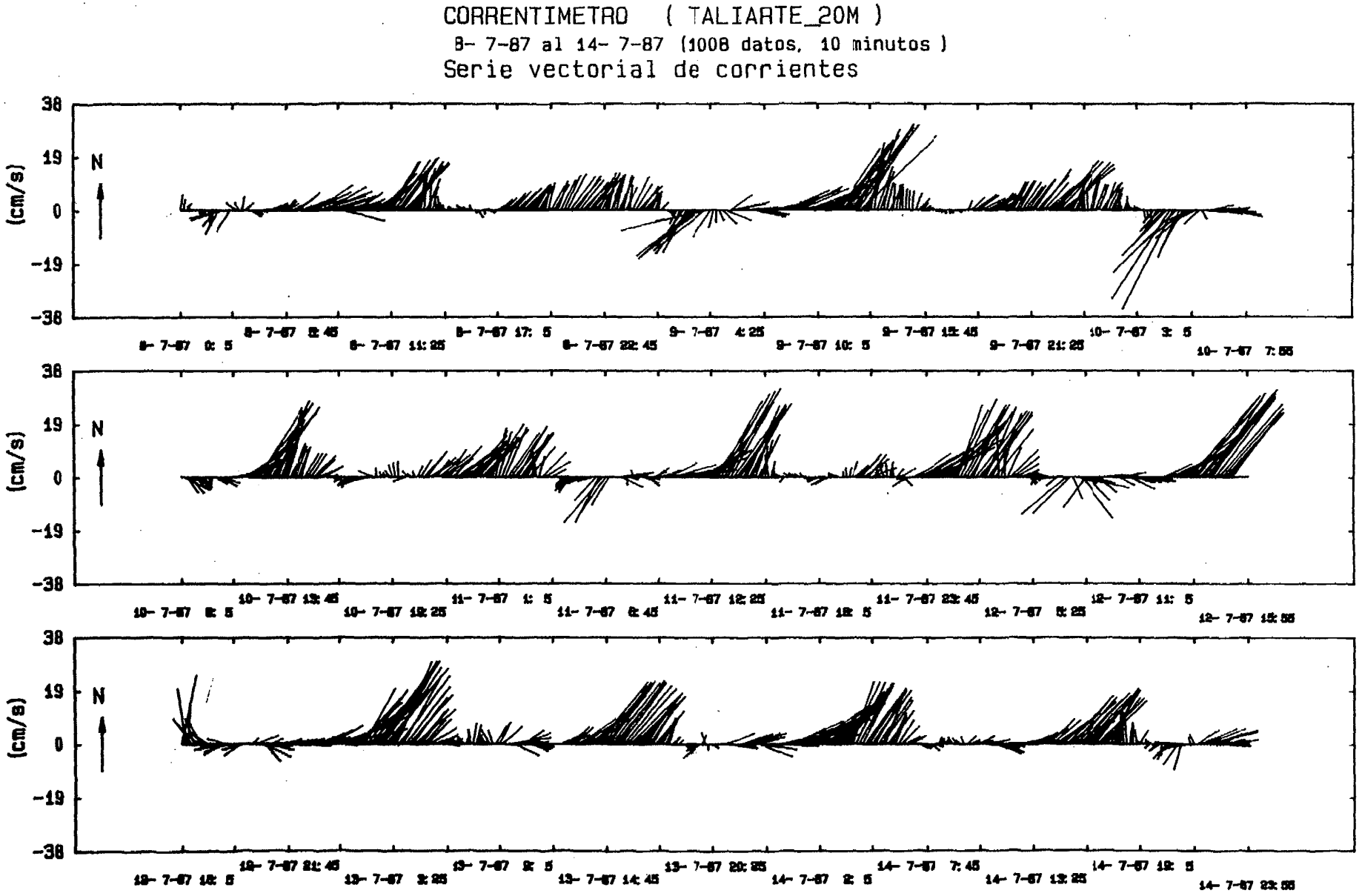


Figura 5.2-26

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

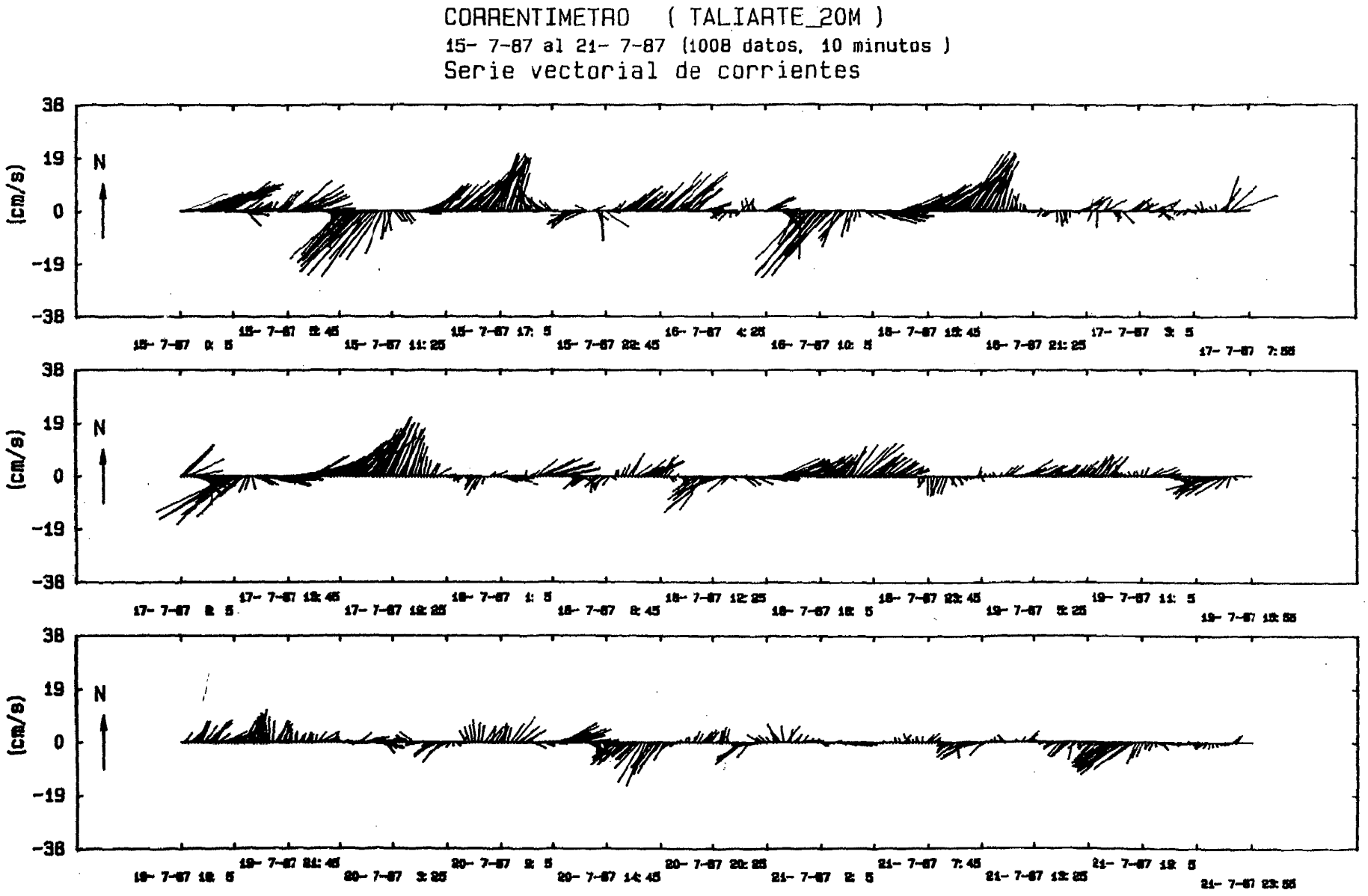


Figura 5.2-27

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)
23- 6-87 a 22- 7-87 , 4179 datos
Histograma de VELOCIDAD (cm/s)

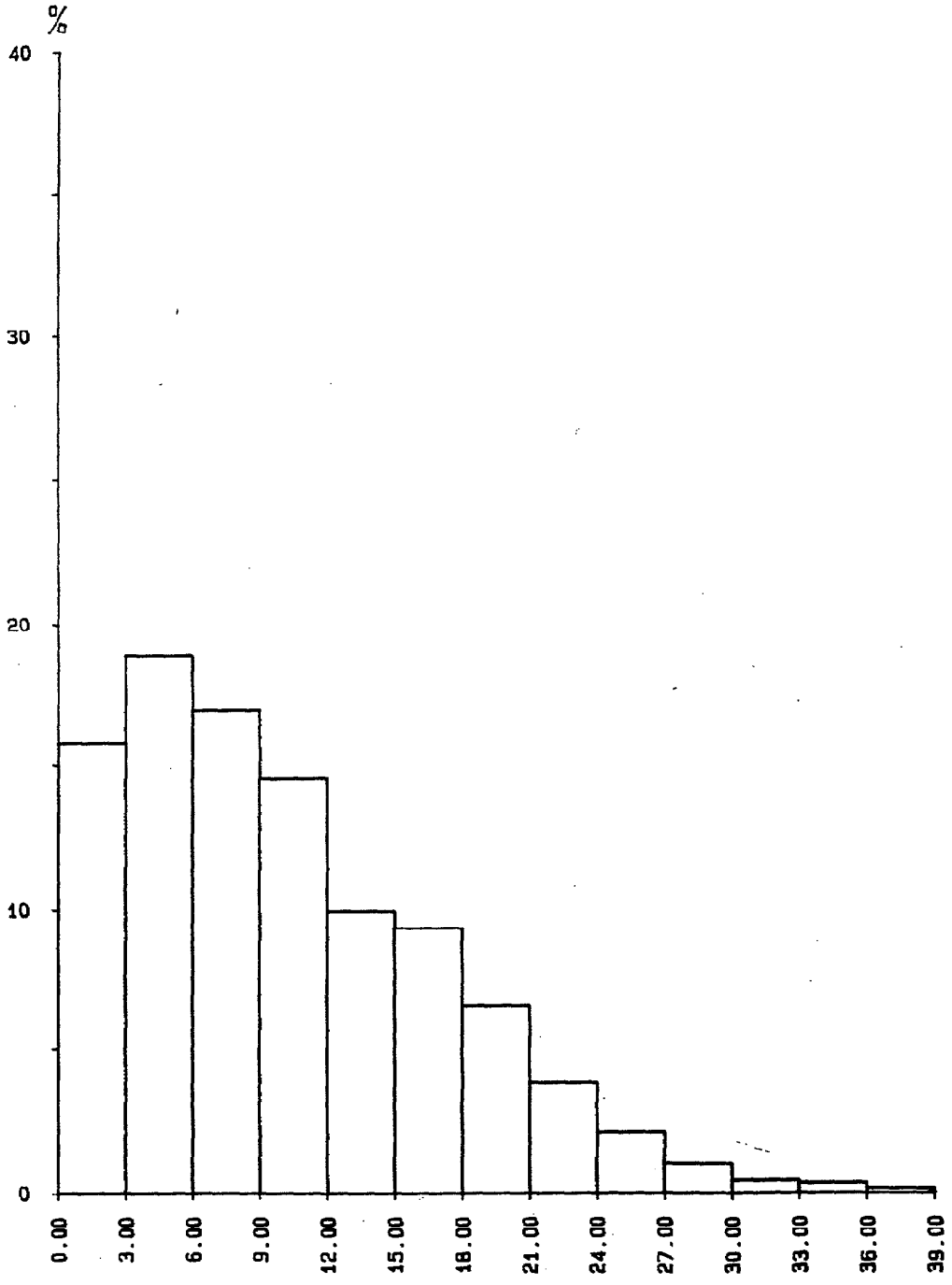


Figura 5.2-28

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)
23- 6-87 a 22- 7-87 , 4179 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

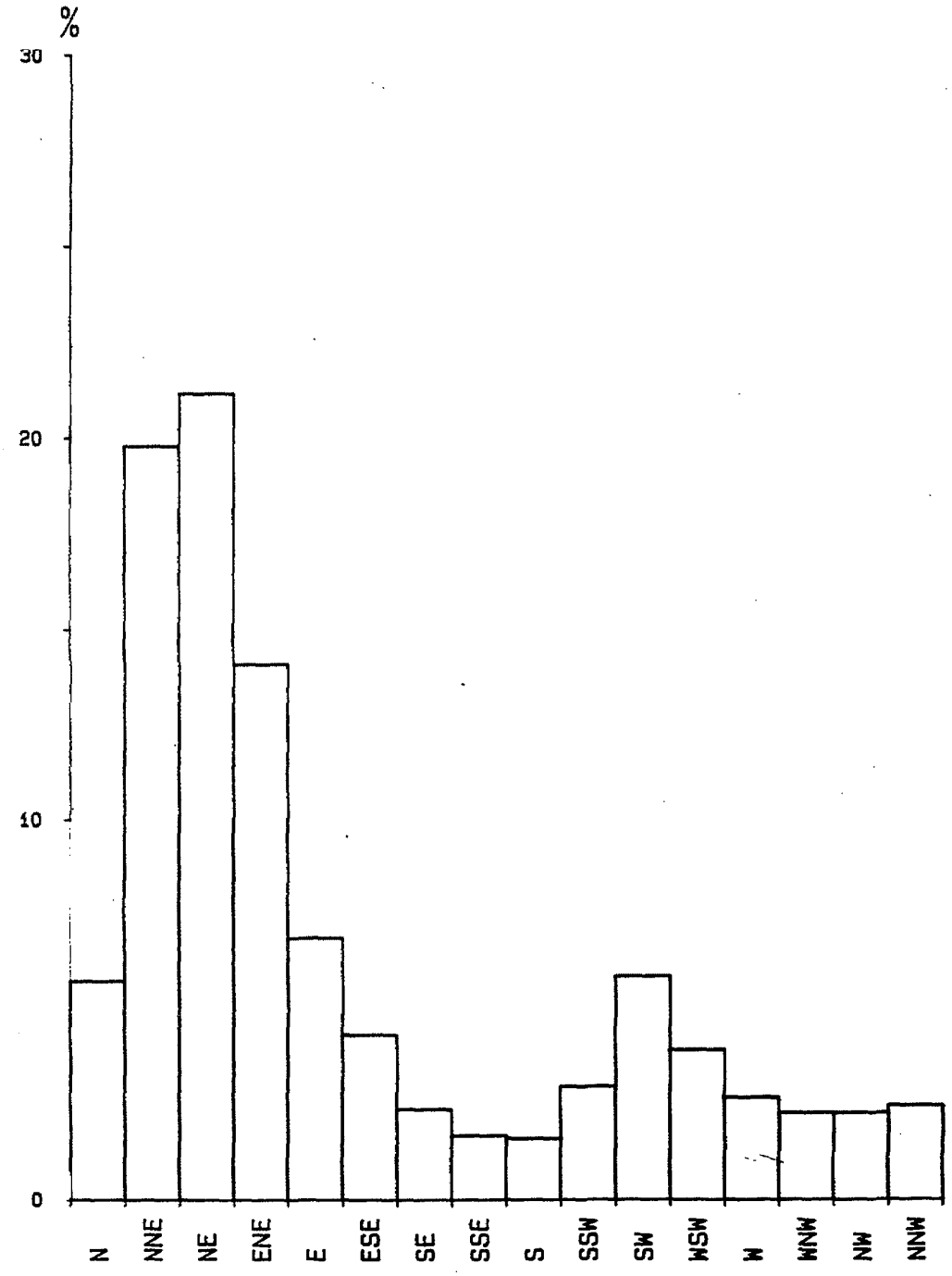
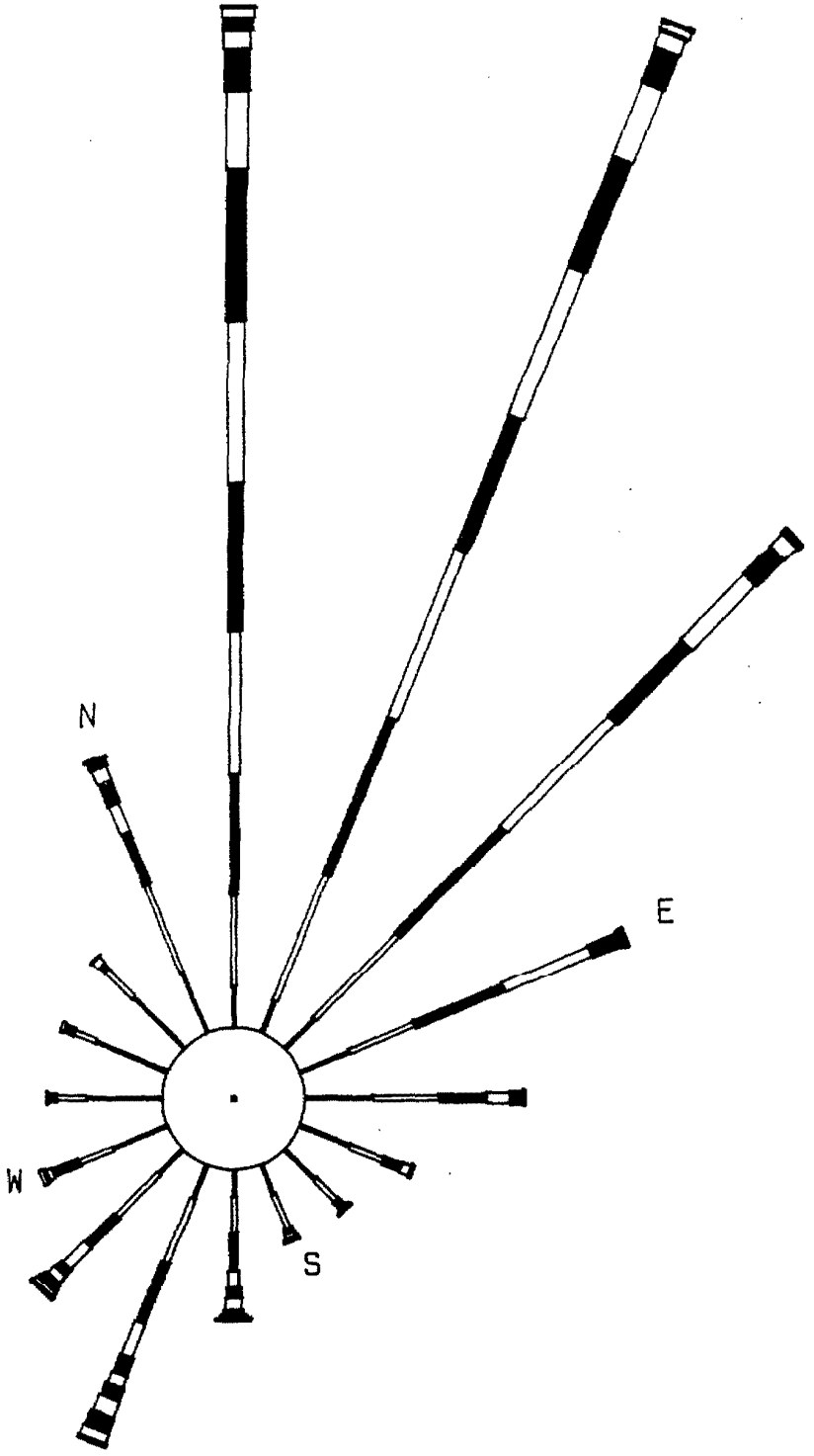


Figura 5.2-29

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE CORRIENTES (TALIARTE_20M)
23- 6-87 a 22- 7-87 (10 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 3.0 cm/s

Figura 5.2-30

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

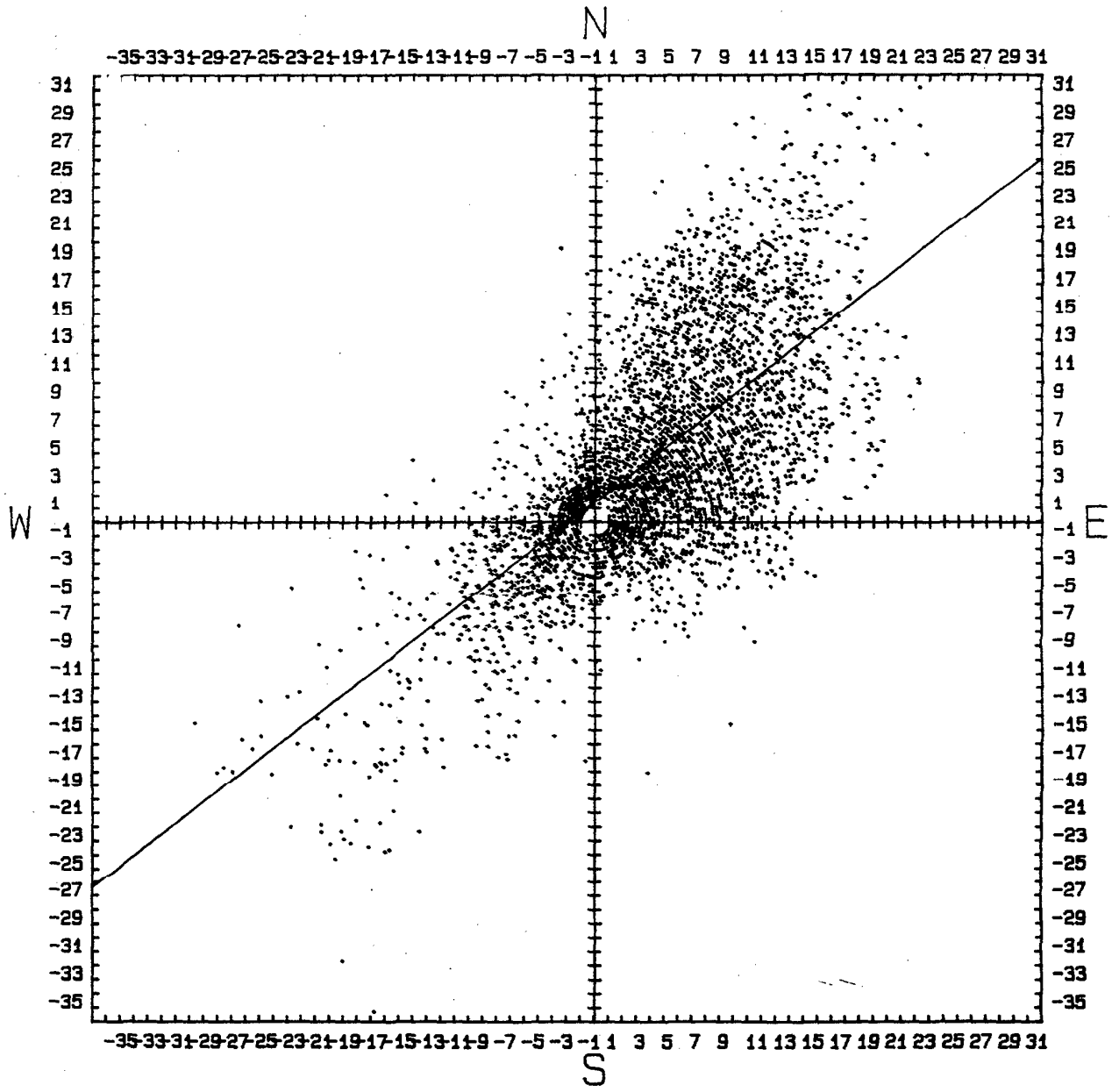
CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)

Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)

23- 6-87 al 22- 7-87 , 4179 datos

Diagrama polar de corrientes

Angulo = 37.6513 grados



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Figura 5.2-31

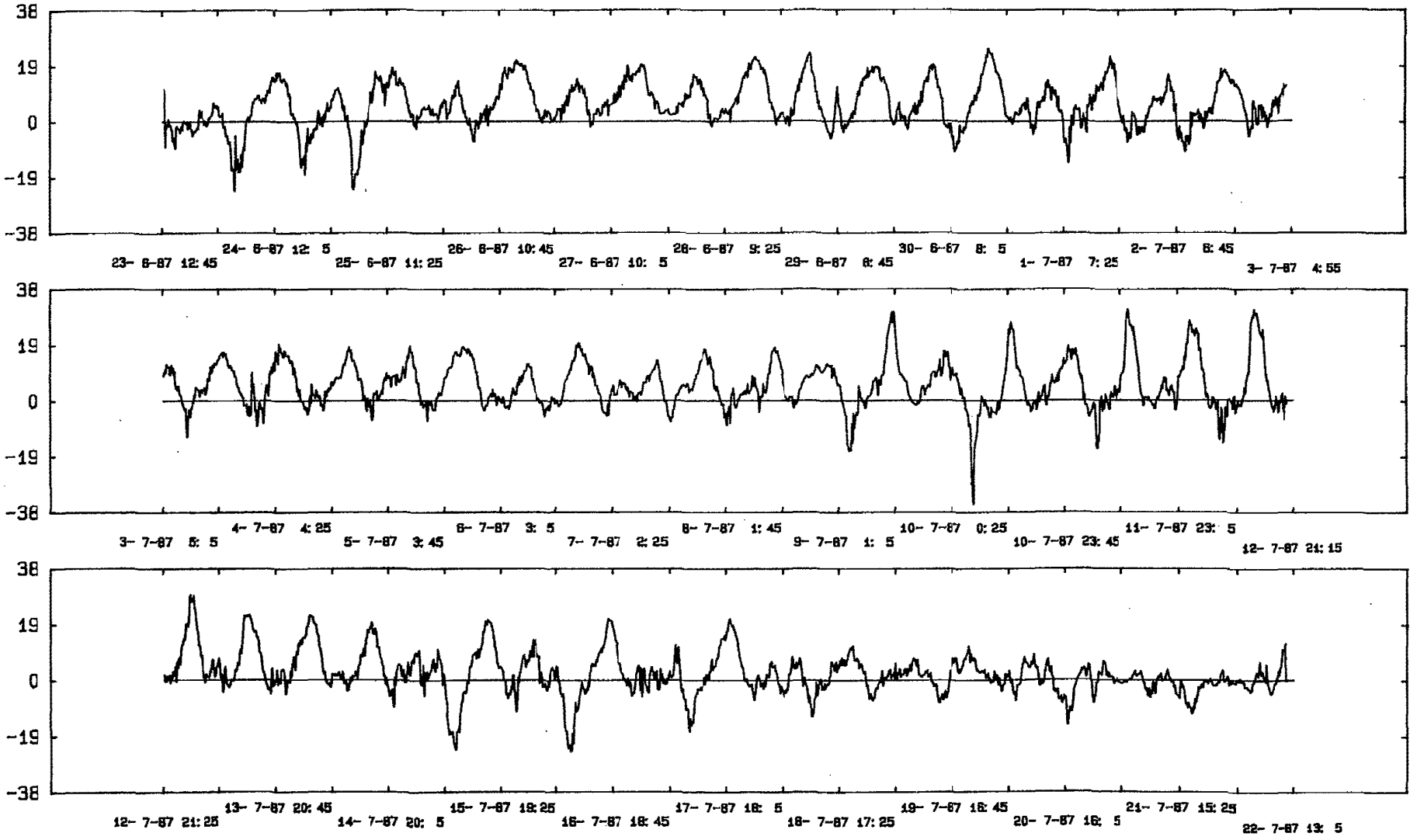


Figura 5.2-32

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

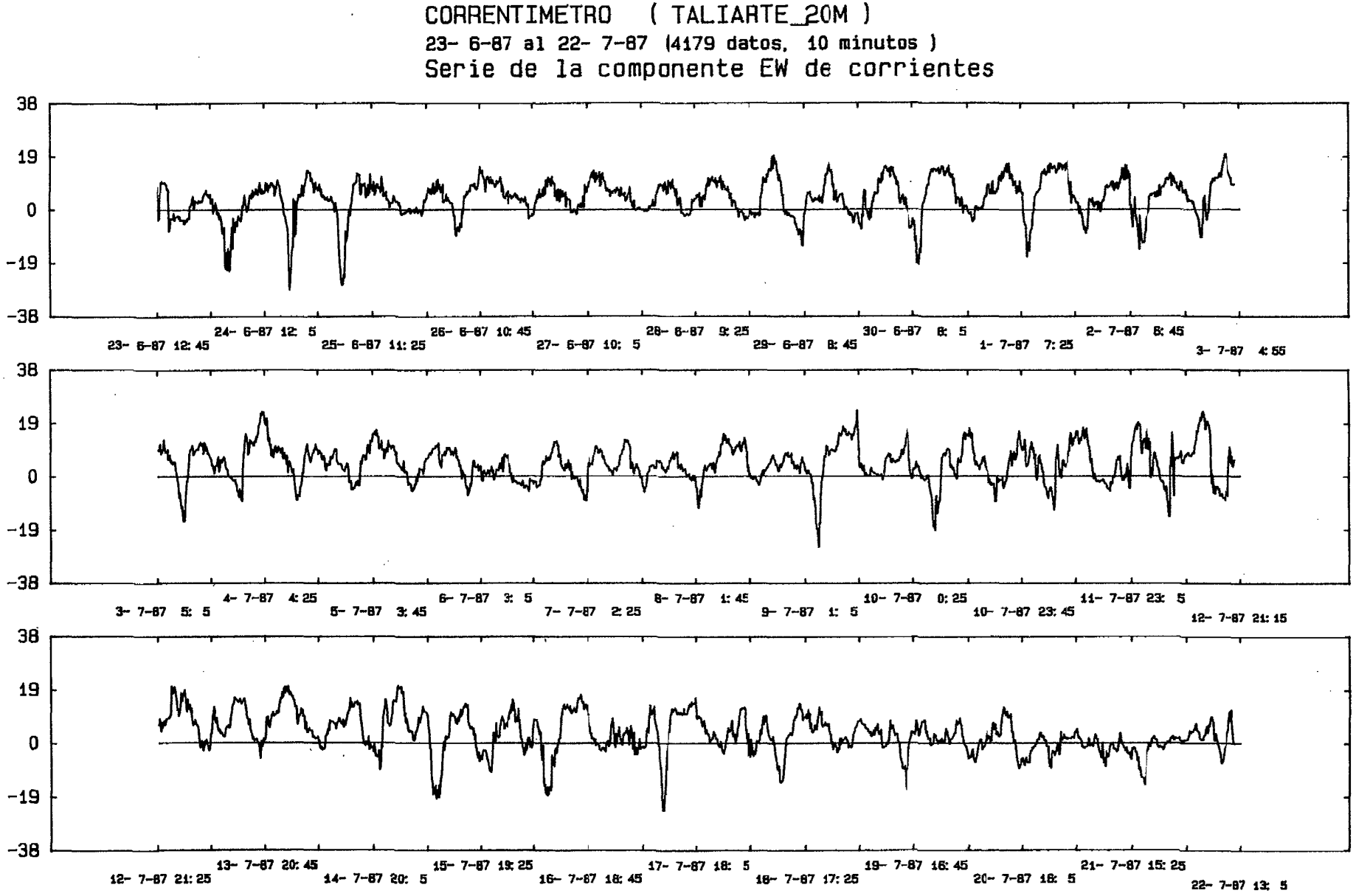


Figura 5.2-33

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

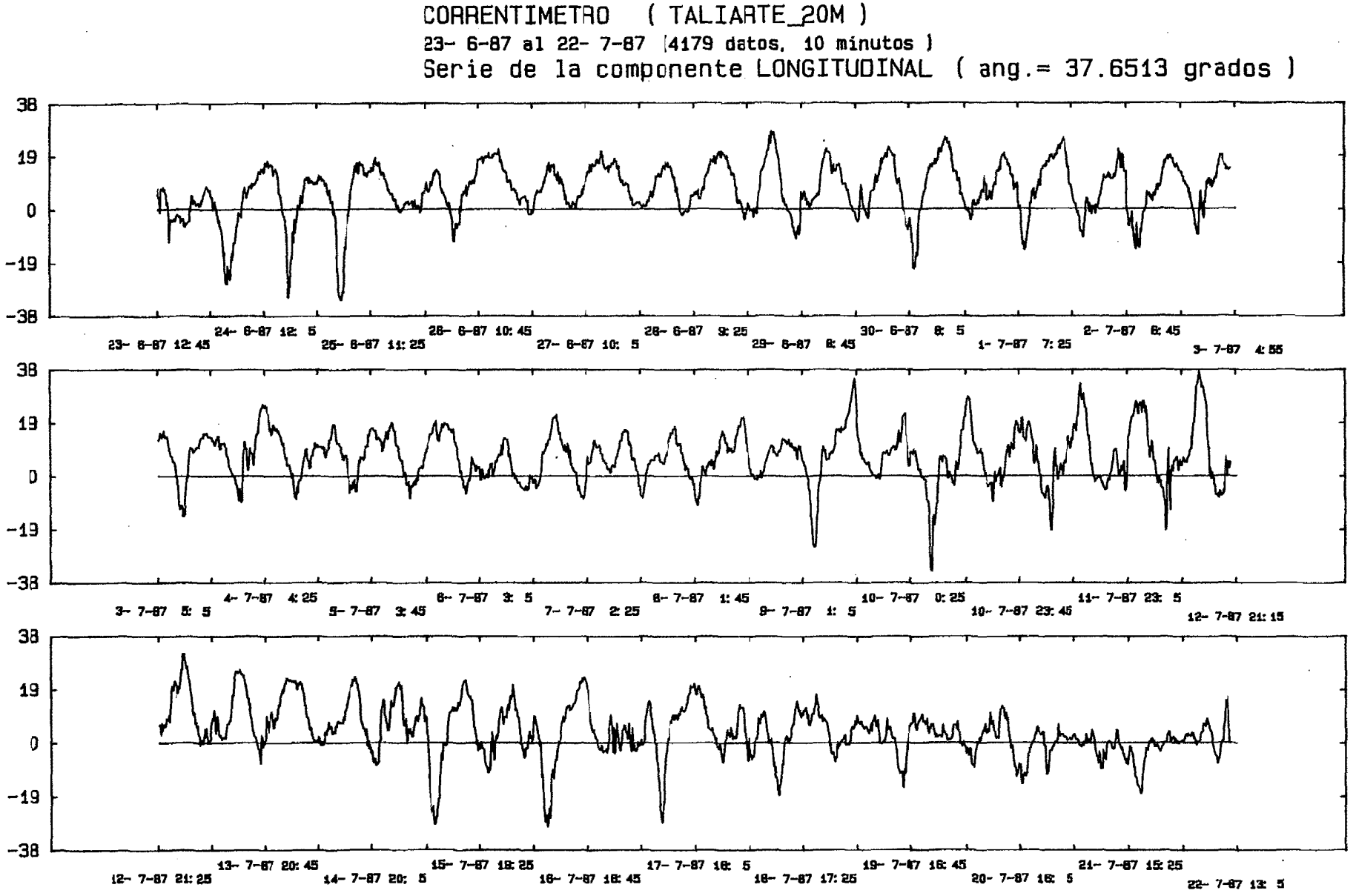


Figura 5.2-34

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

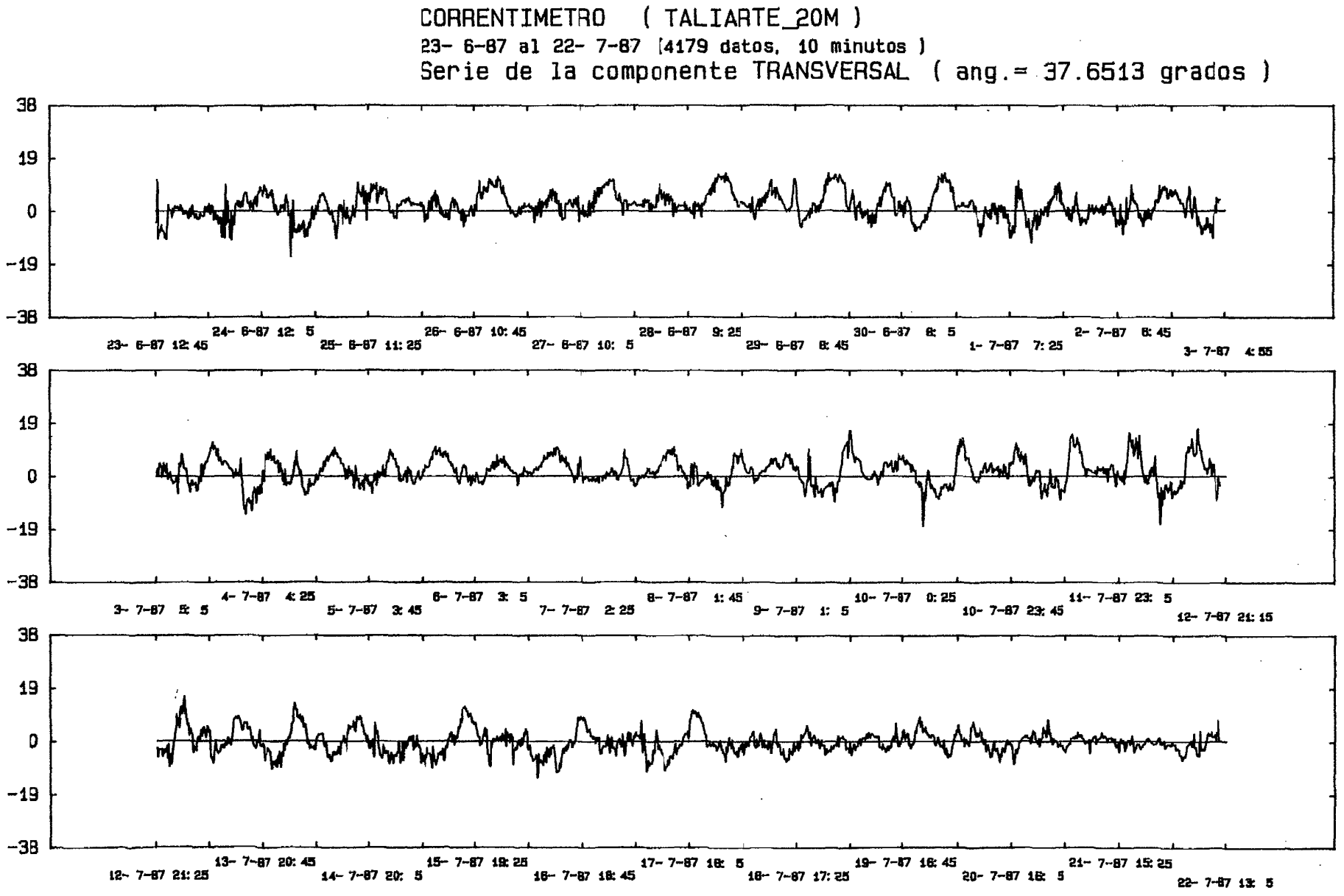


Figura 5.2-35

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

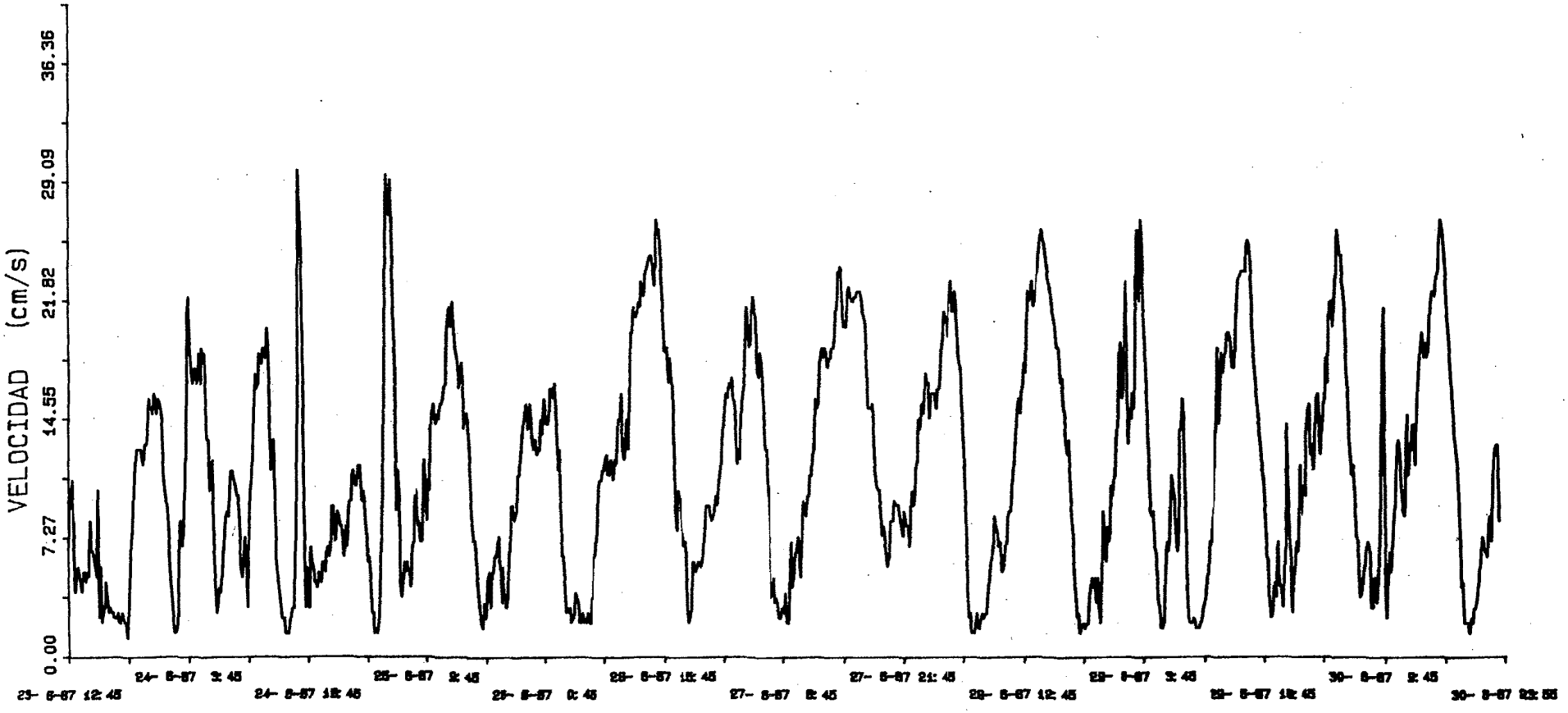


Figura 5.2-36

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

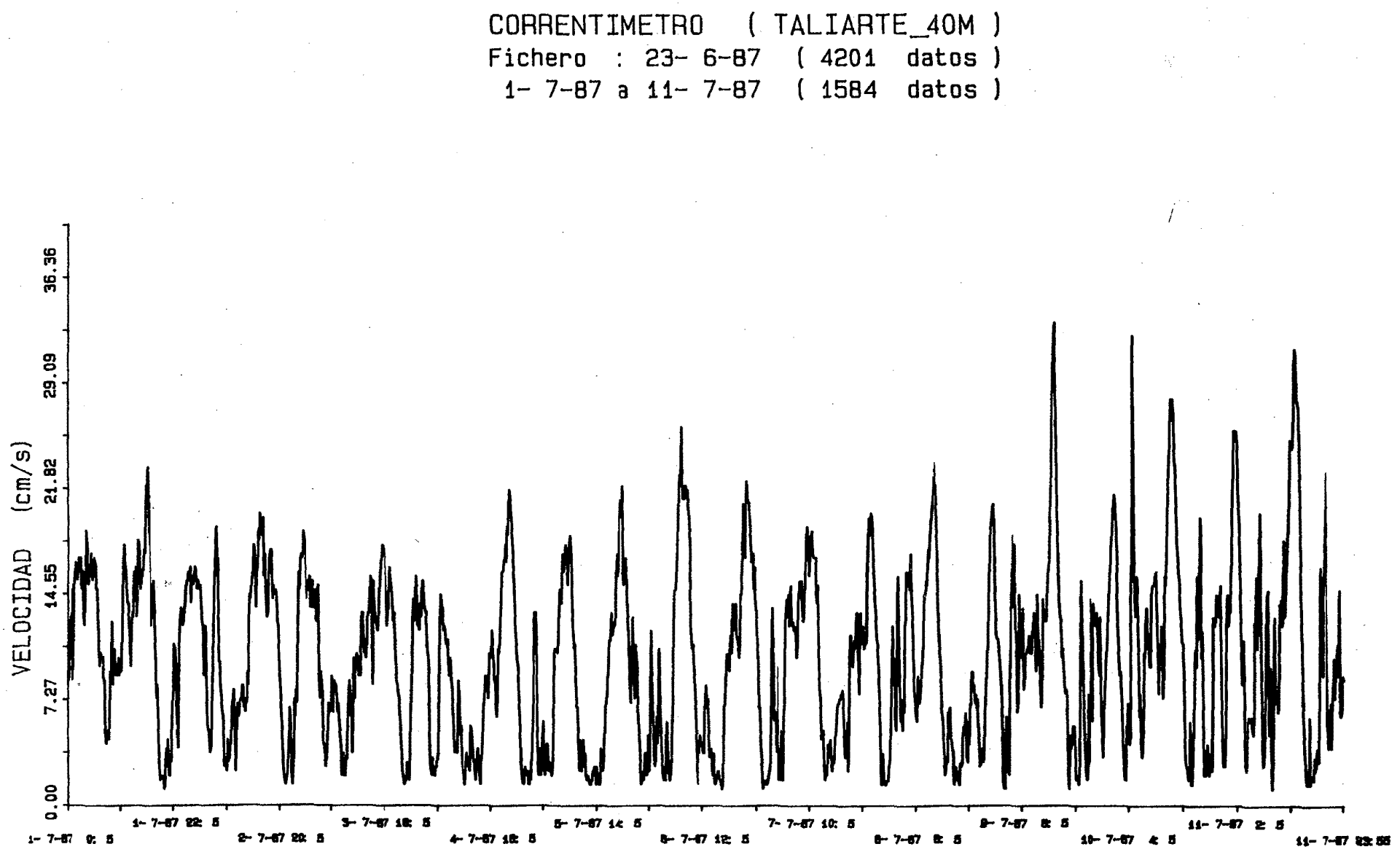


Figura 5.2-37

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4201 datos)
12- 7-87 a 22- 7-87 (1541 datos)

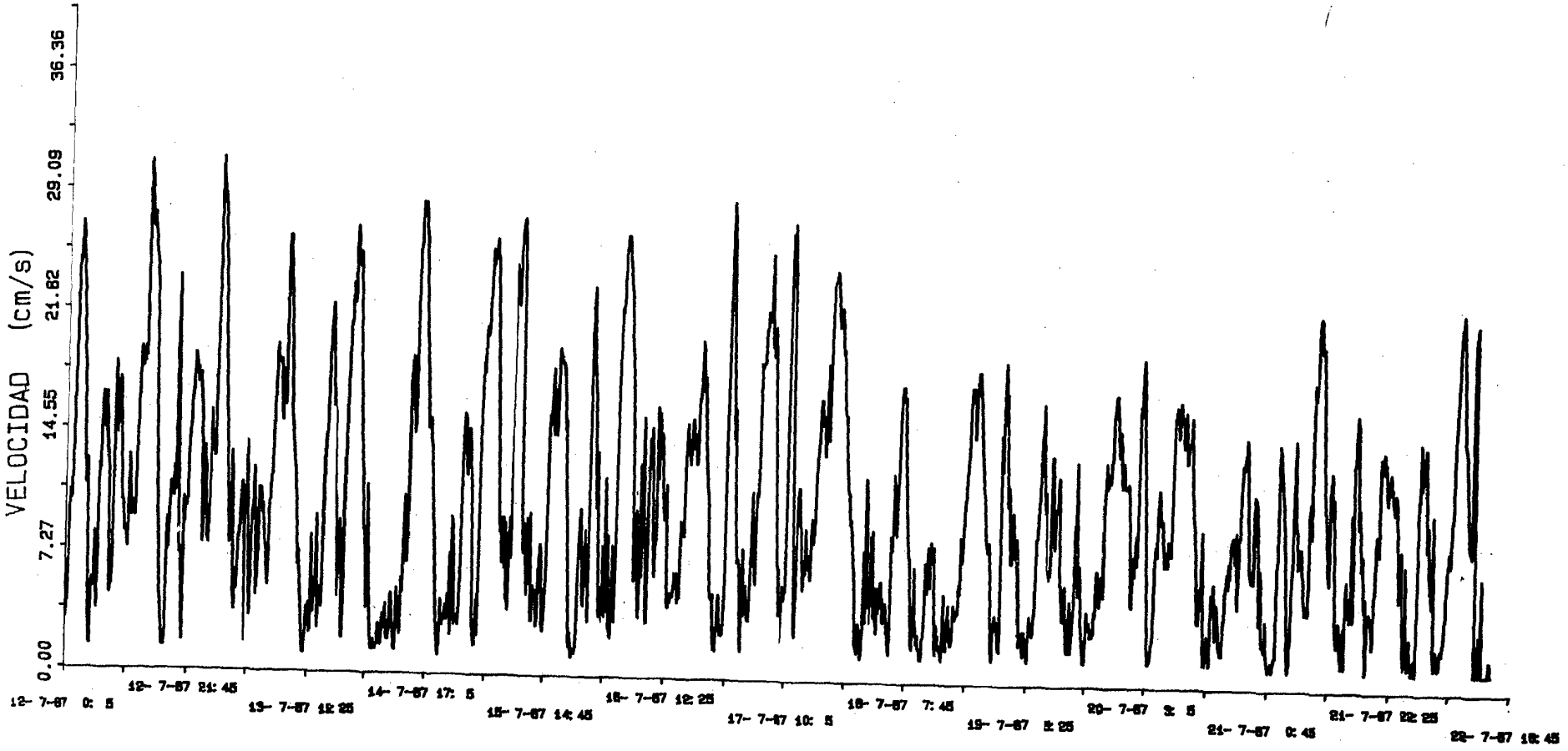


Figura 5.2-38

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos)
23- 6-87 a 30- 6-87 (1076 datos)

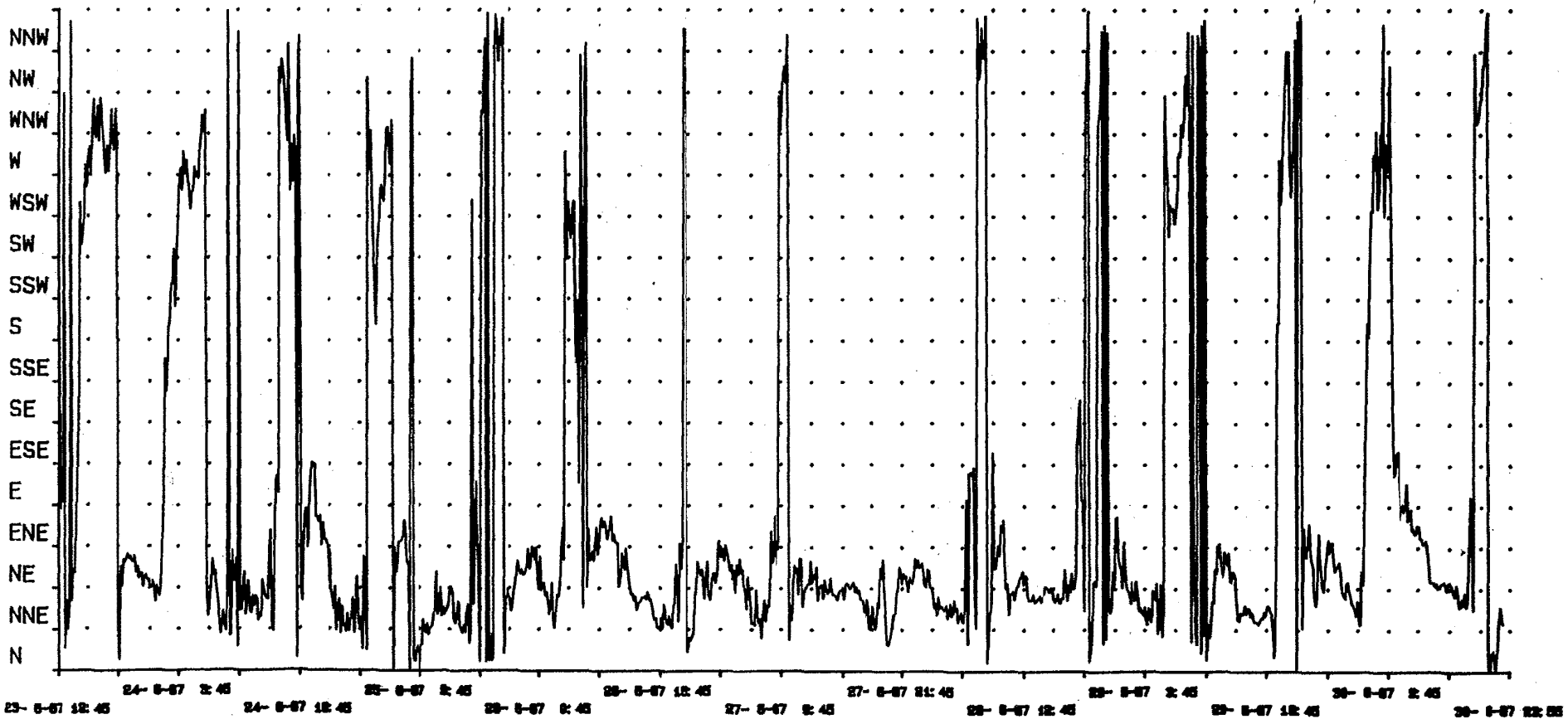


Figura 5.2-39

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos)
1- 7-87 a 11- 7-87 (1584 datos)

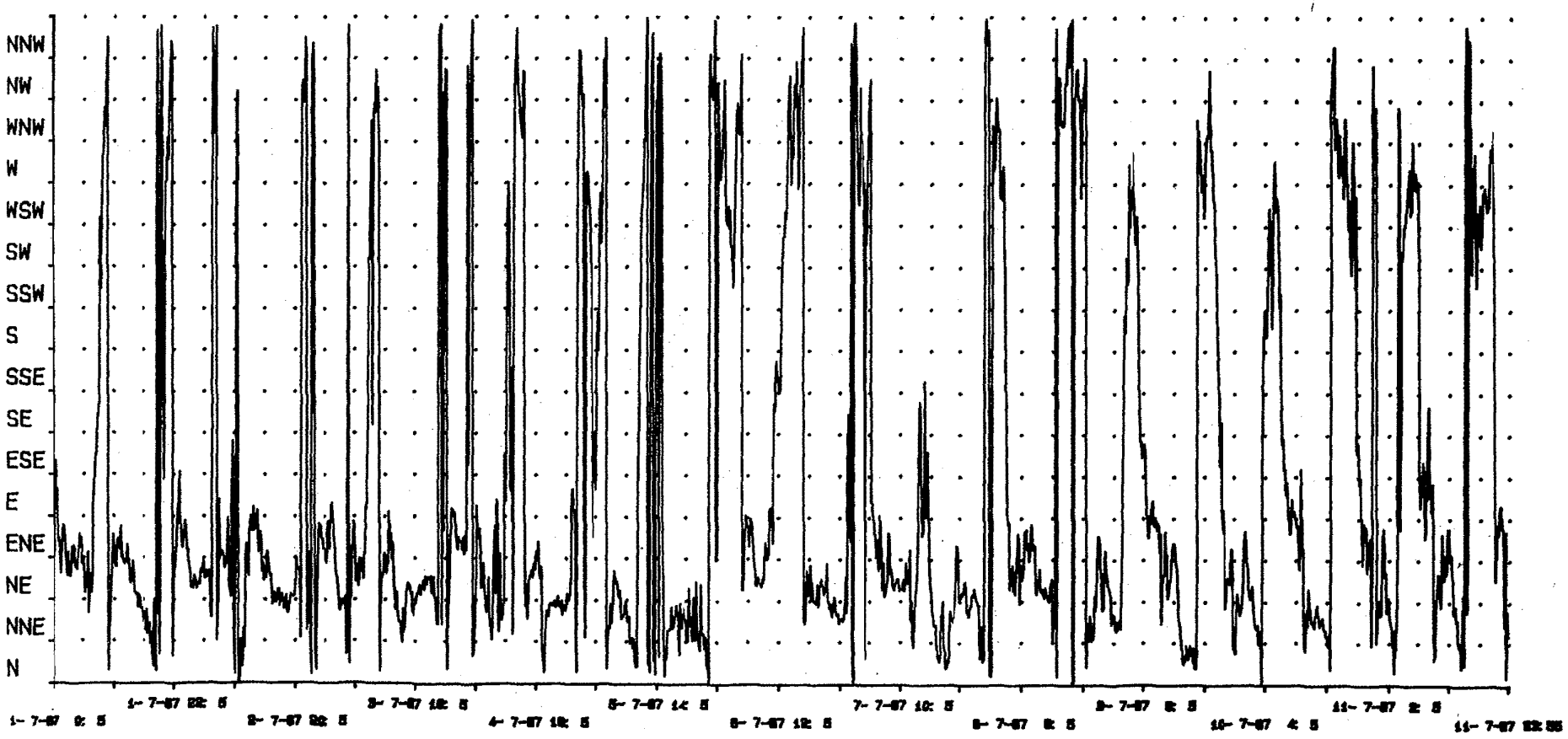


Figura 5.2-40

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos)
12- 7-87 a 22- 7-87 (1542 datos)

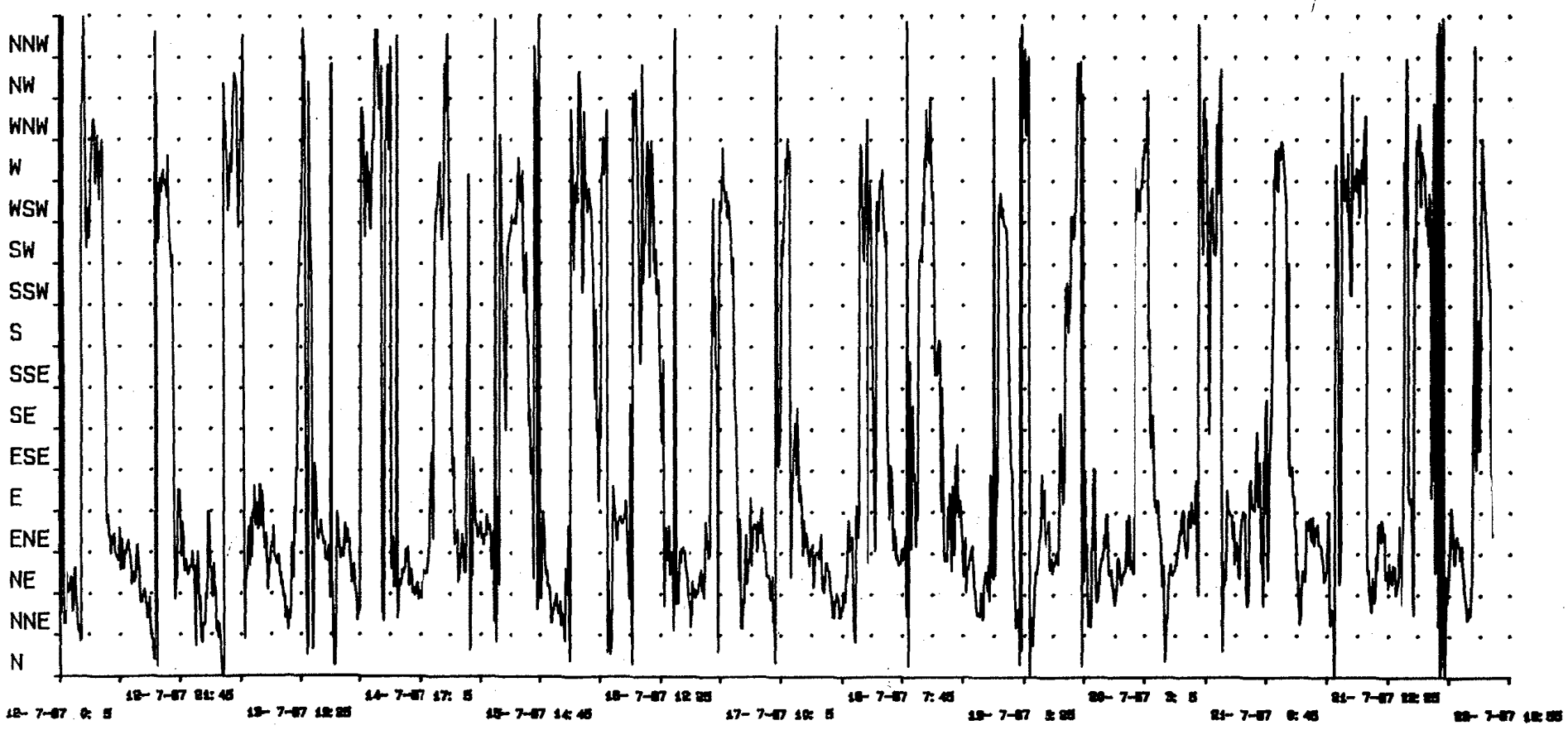


Figura 5.2 -41

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

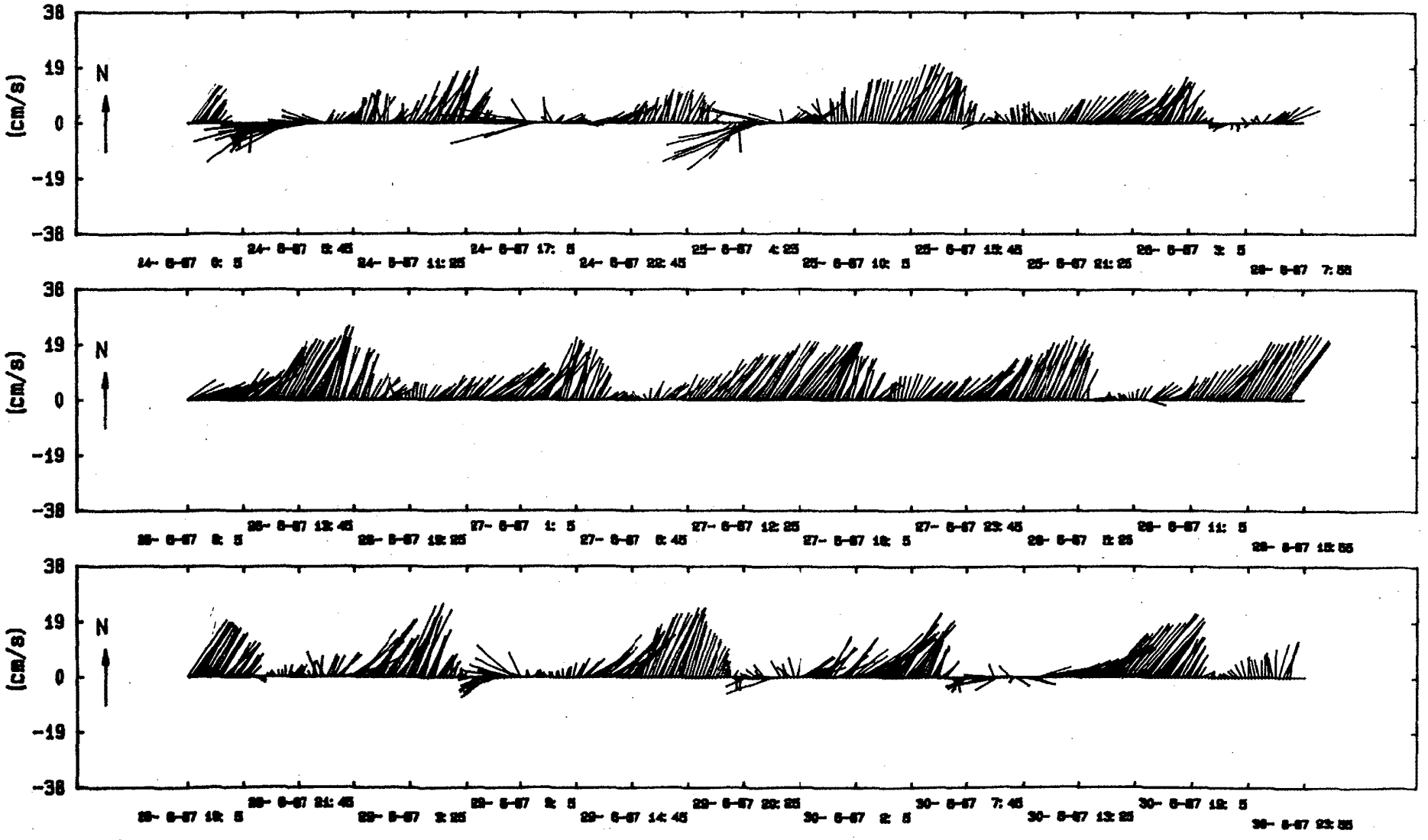


Figura 5.2-42

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

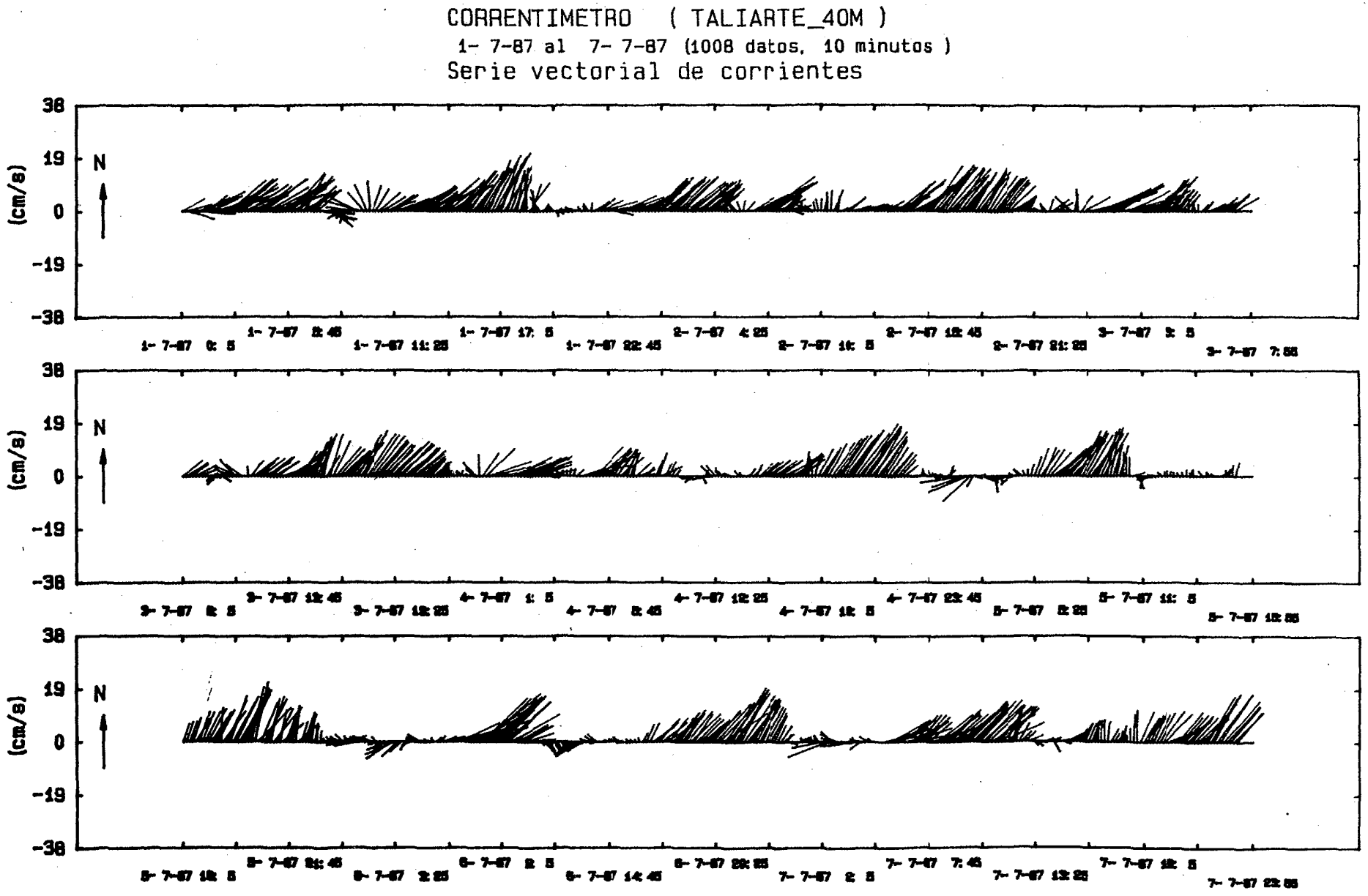


Figura 5.2-43

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003

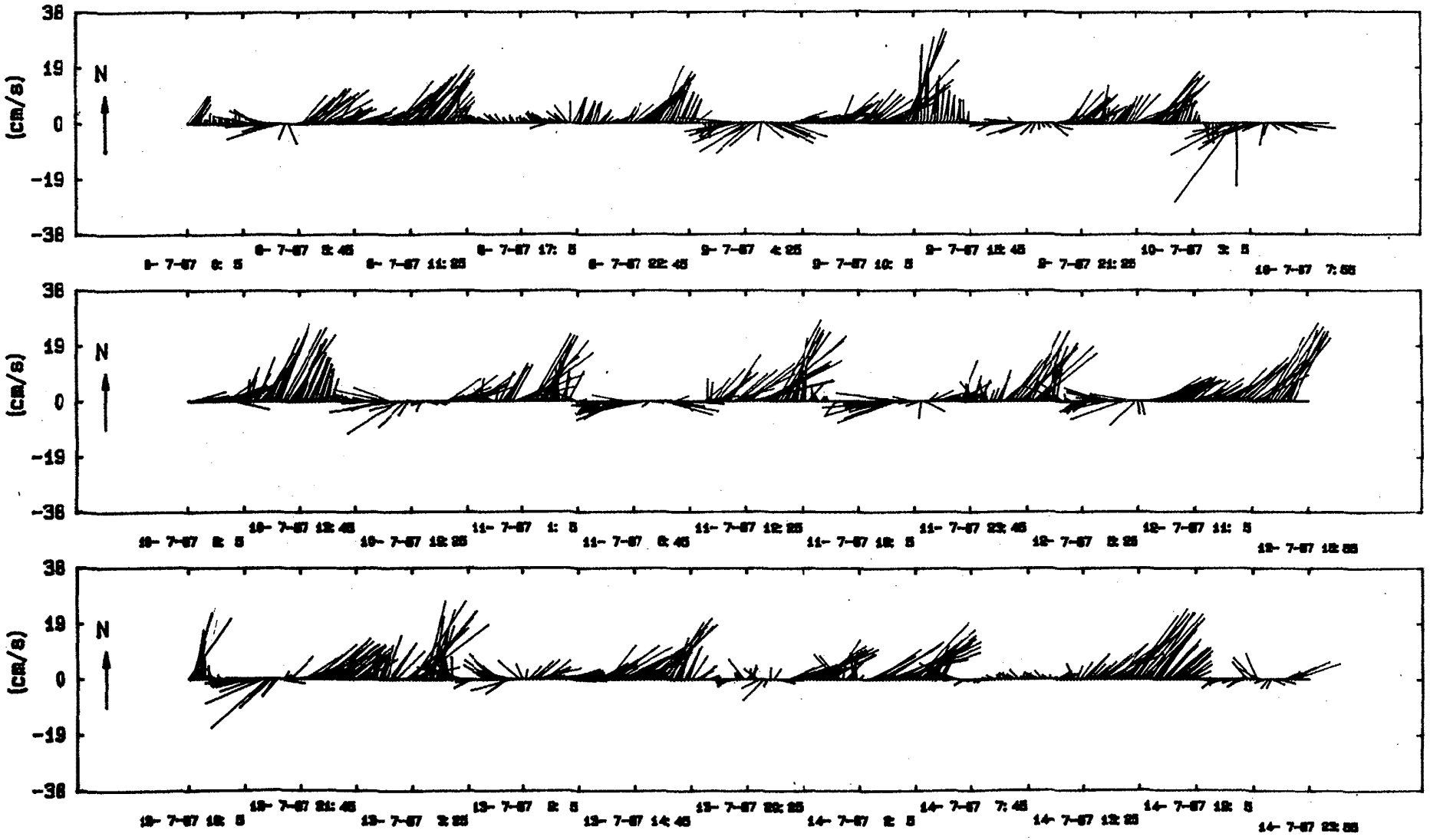


Figura 5.2-44

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

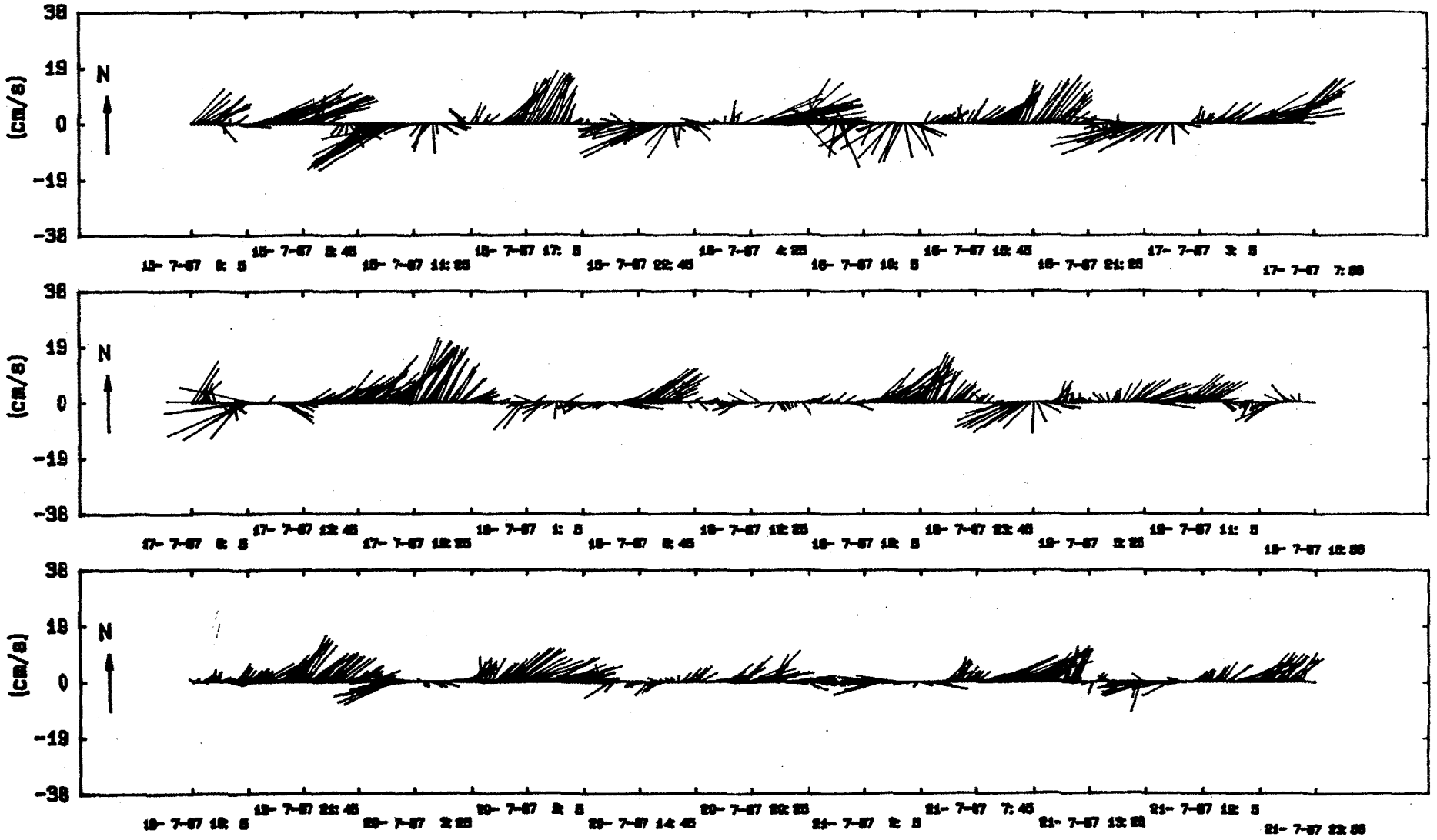


Figura 5.2-45

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)
23- 6-87 a 22- 7-87 , 4202 datos
Histograma de VELOCIDAD (cm/s)

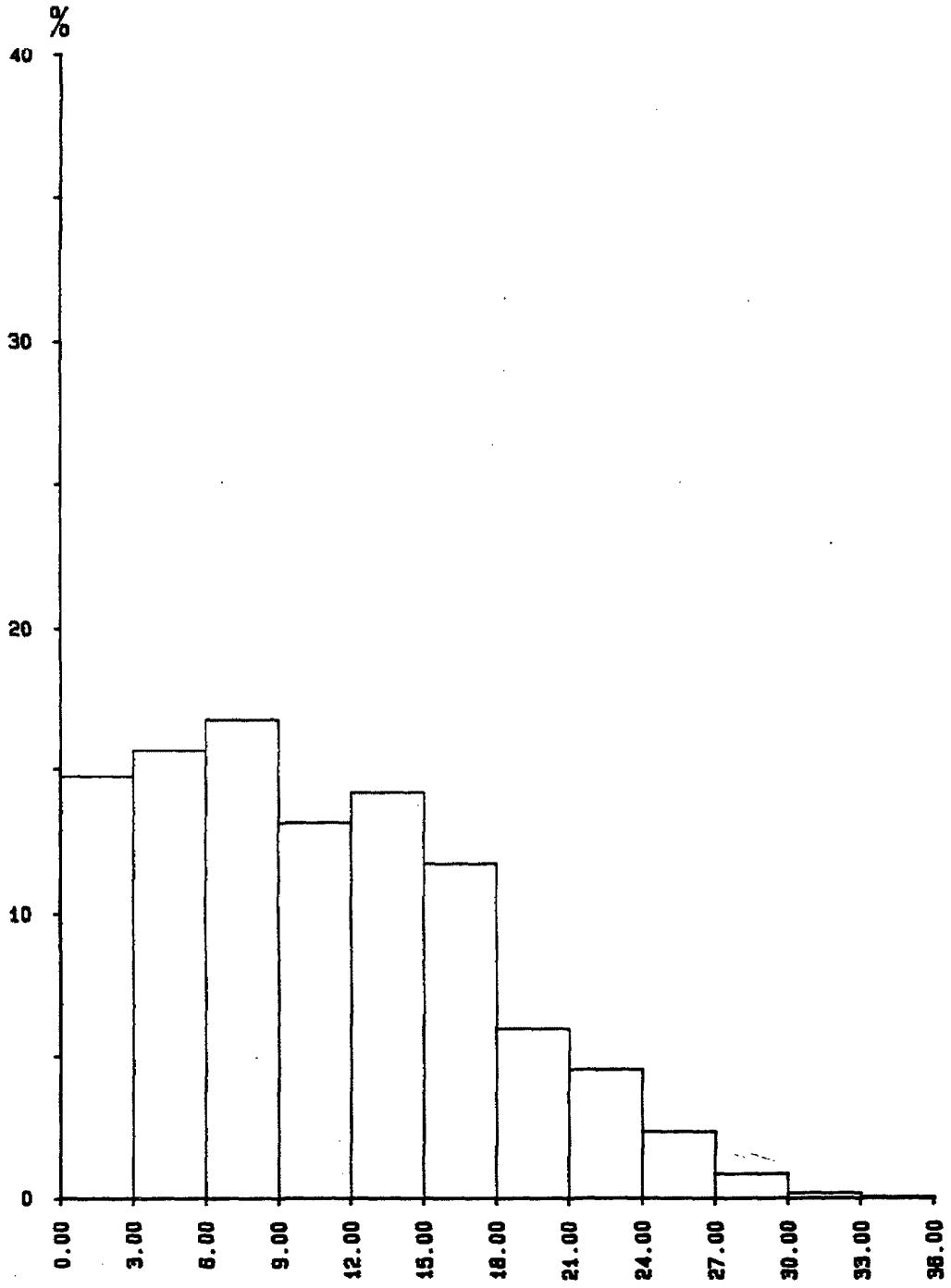


Figura 5.2-46

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)
23- 6-87 a 22- 7-87 , 4202 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

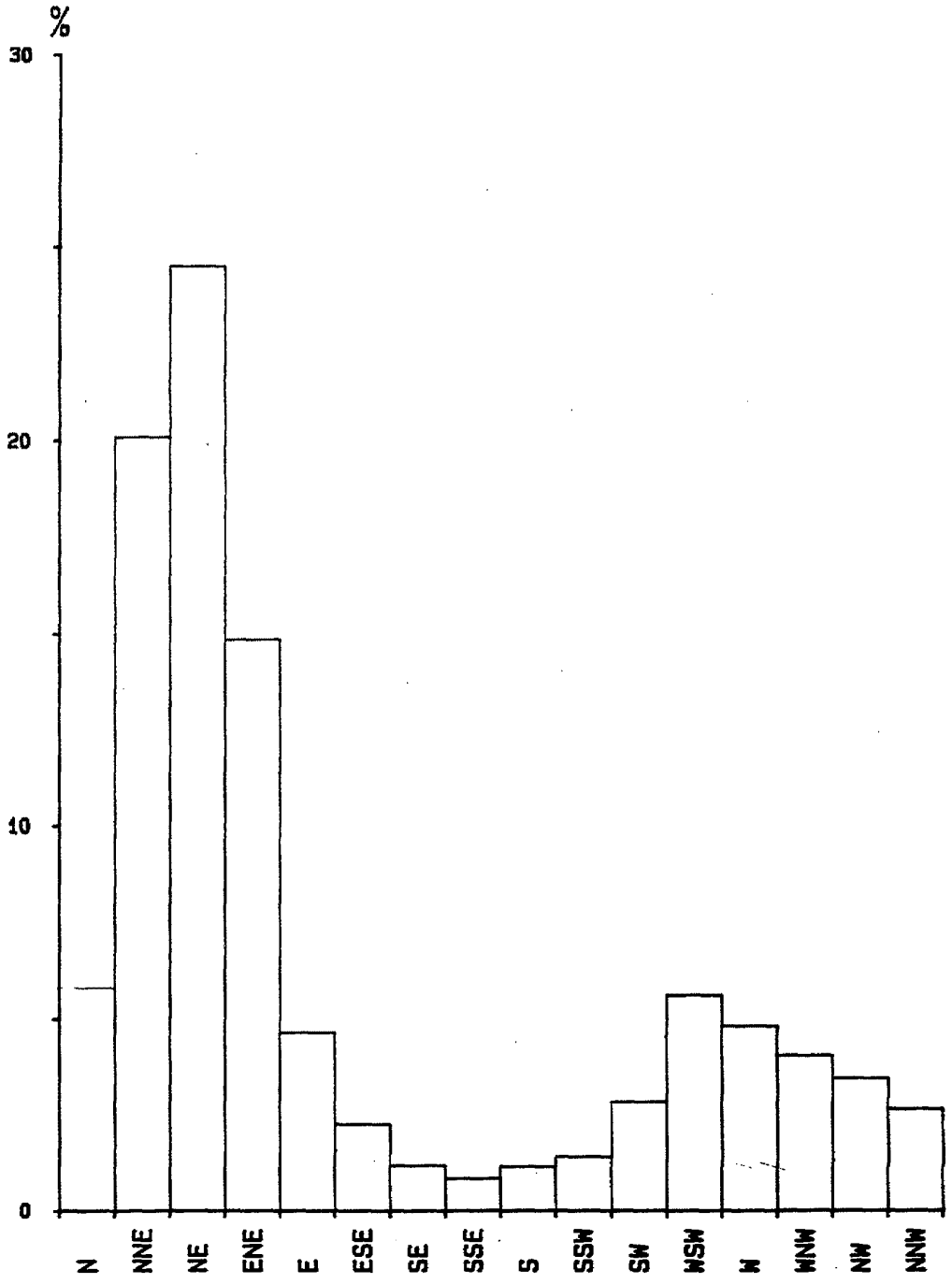
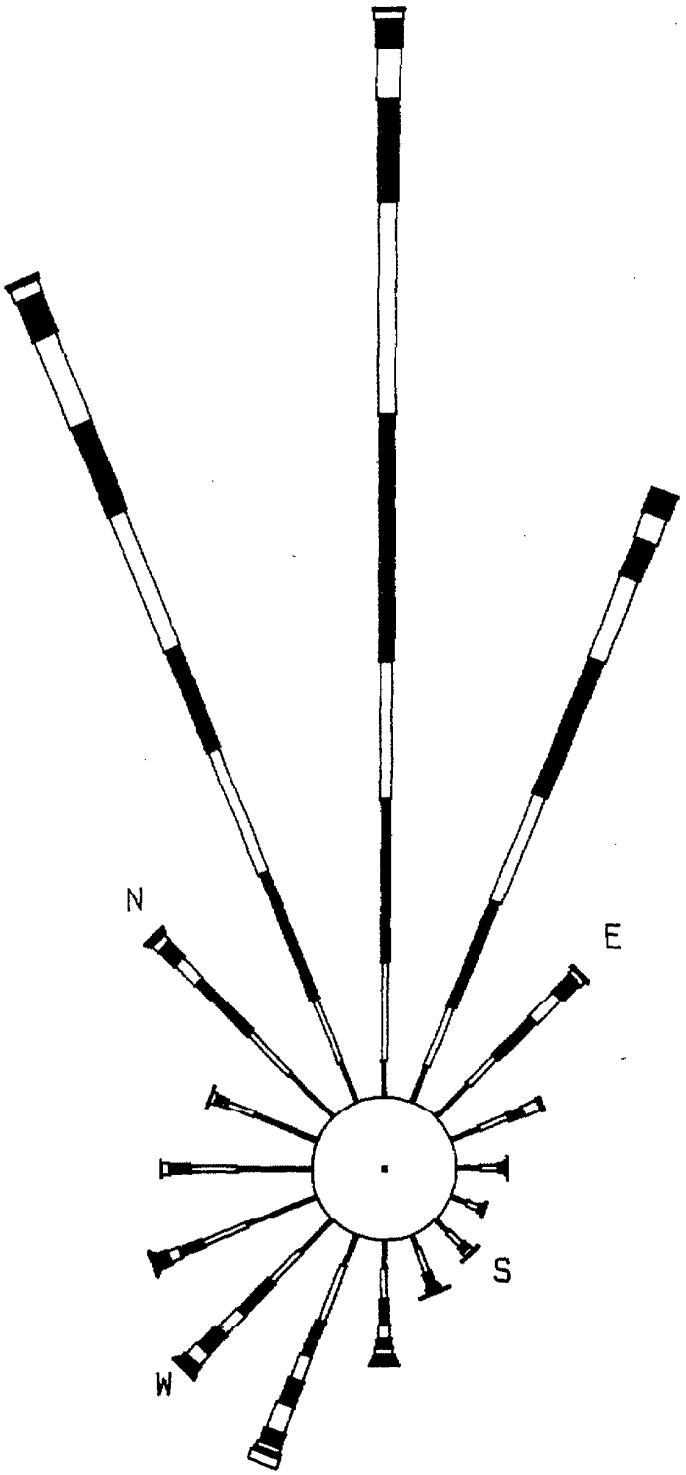


Figura 5.2-47

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE CORRIENTES (TALIARTE_40M)
23- 6-87 a 22- 7-87 (10 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 3.0 cm/s

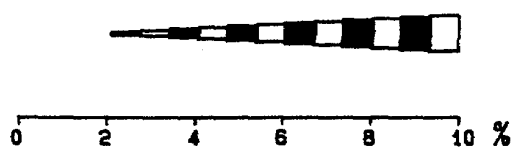


Figura 5.2-48

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)

Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)

23- 6-87 al 22- 7-87 , 4202 datos

Diagrama polar de corrientes

Angulo = 29.0128 grados

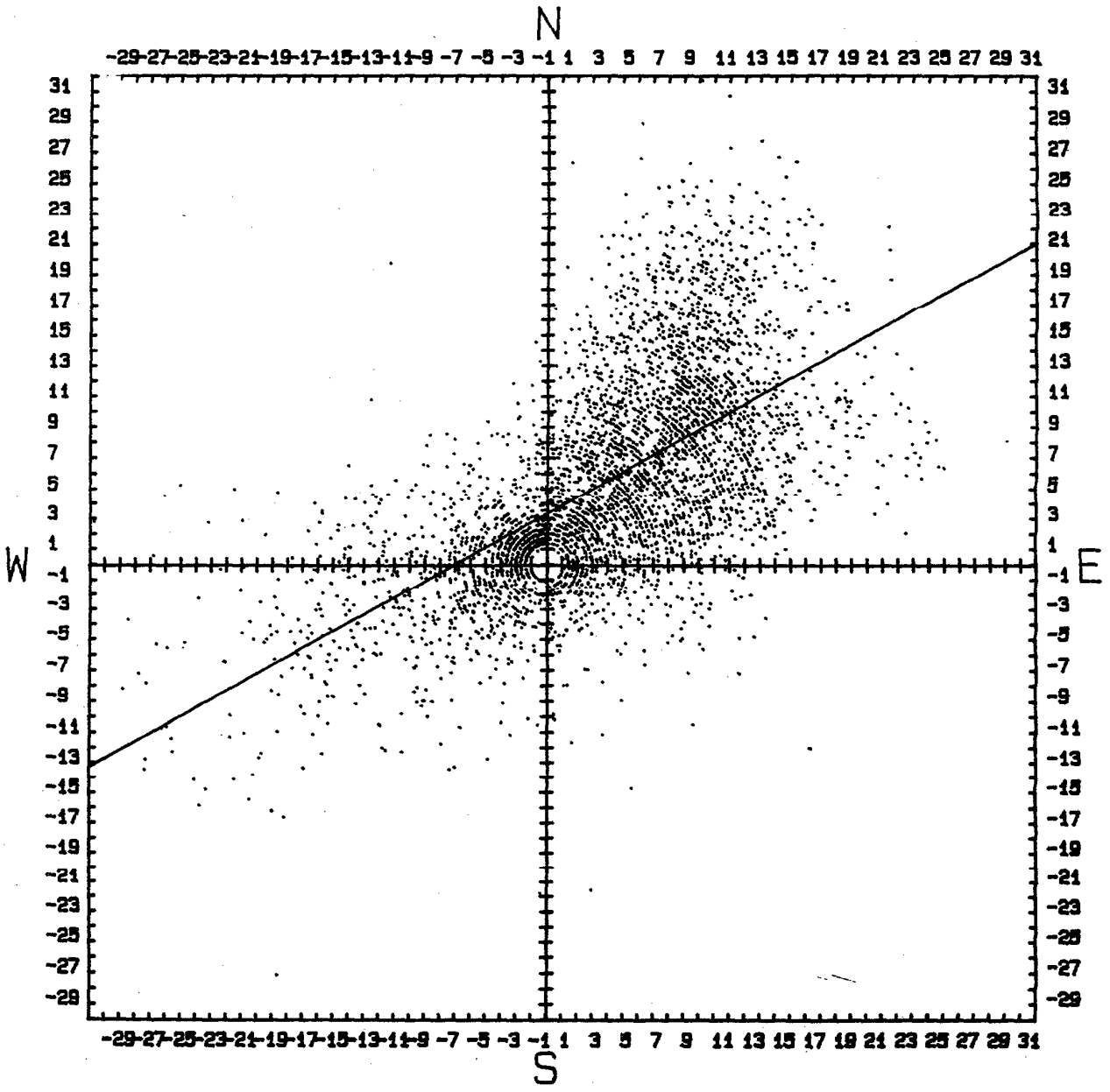


Figura 5.2-49

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

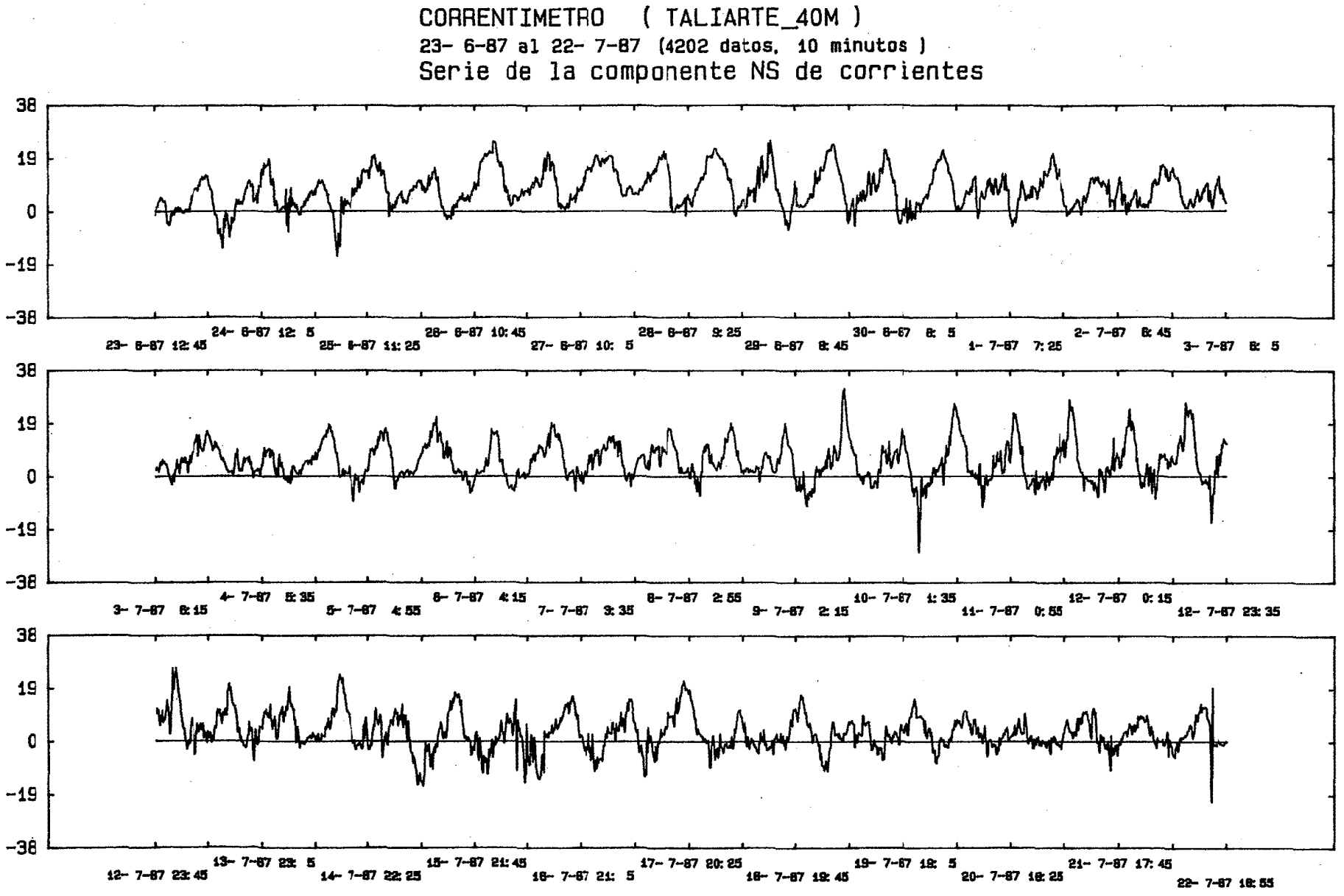


Figura 5.2-50

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

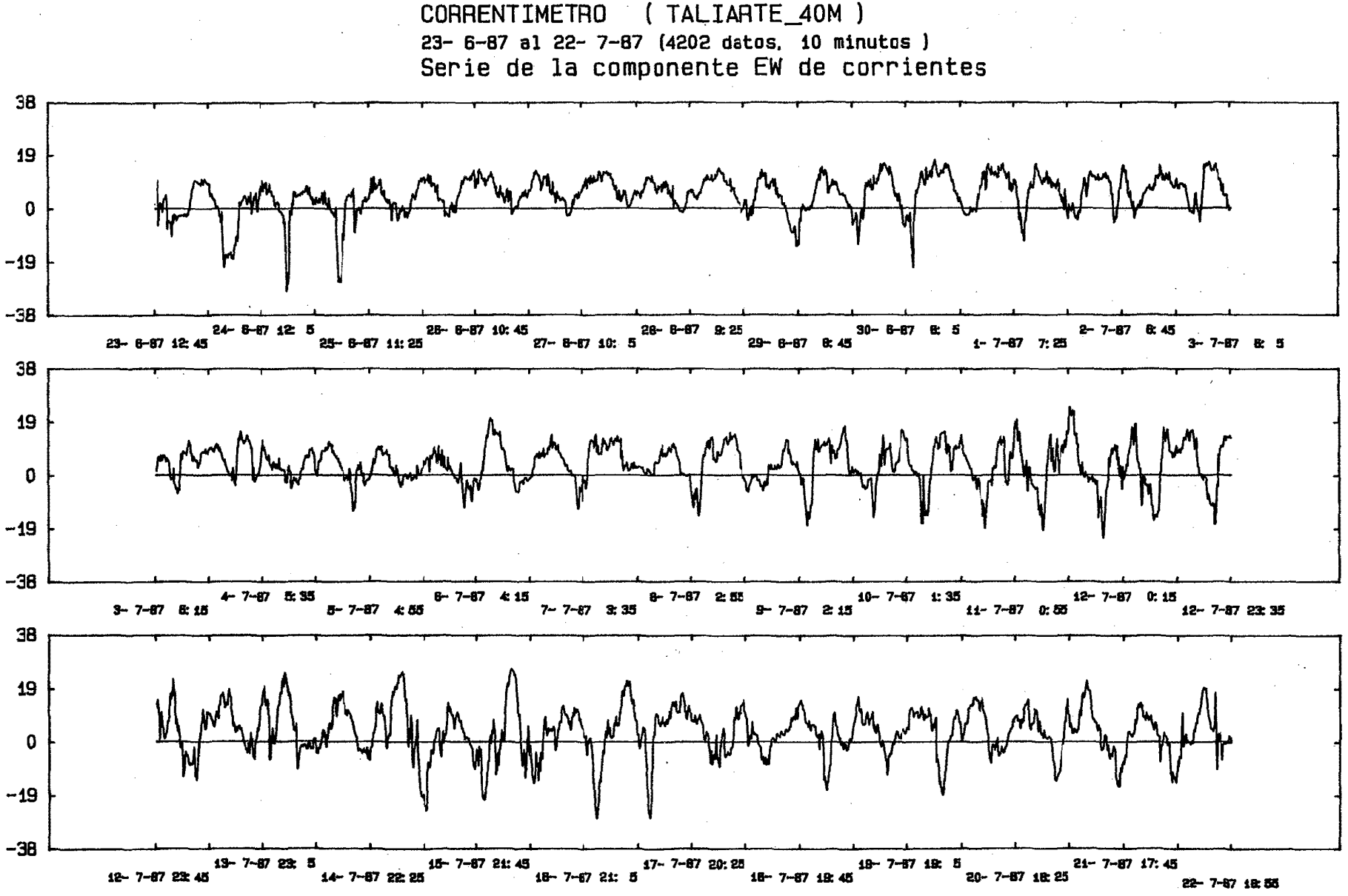


Figura 5.2-51

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

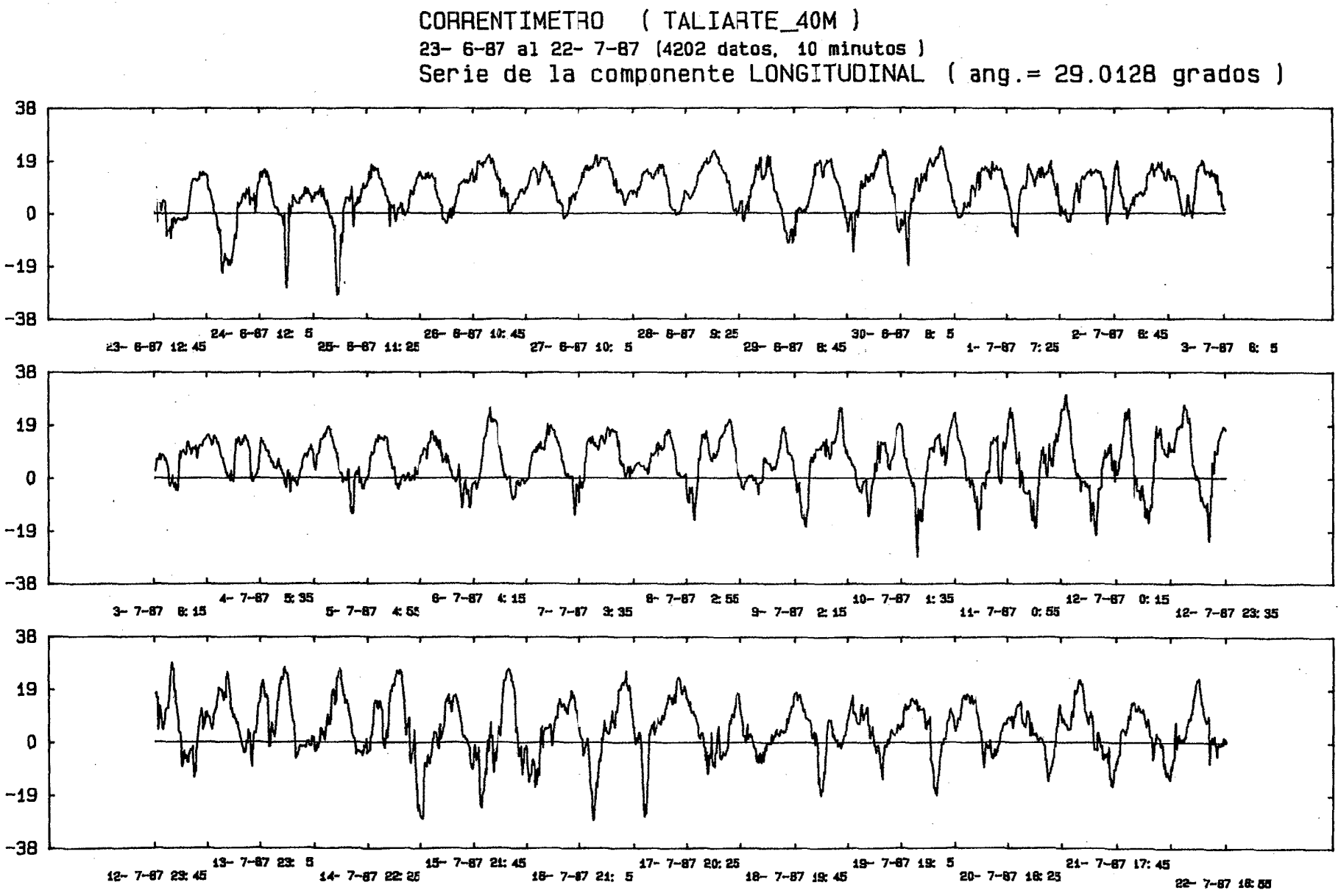


Figura 5.2-52

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

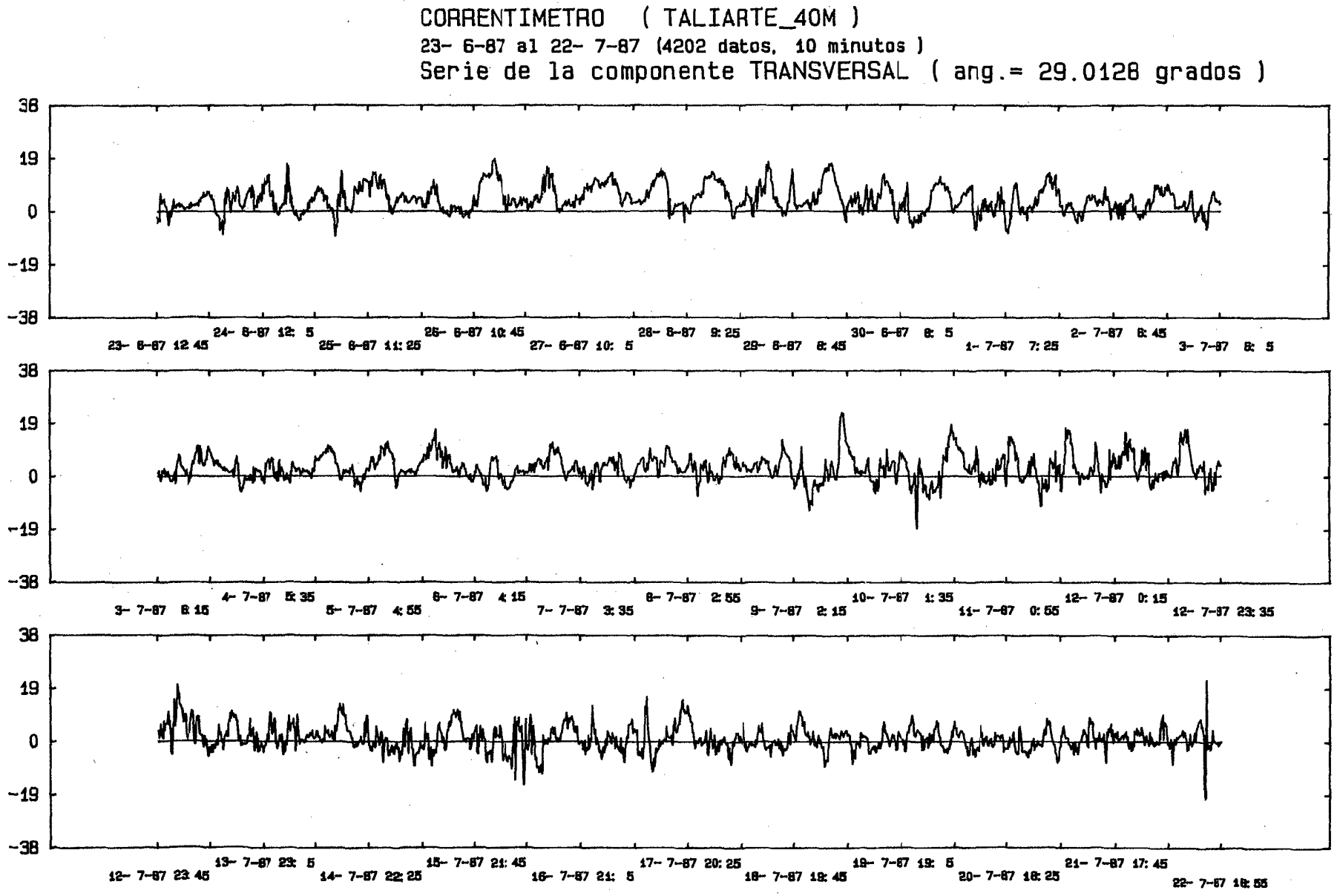


Figura 5.2-53

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

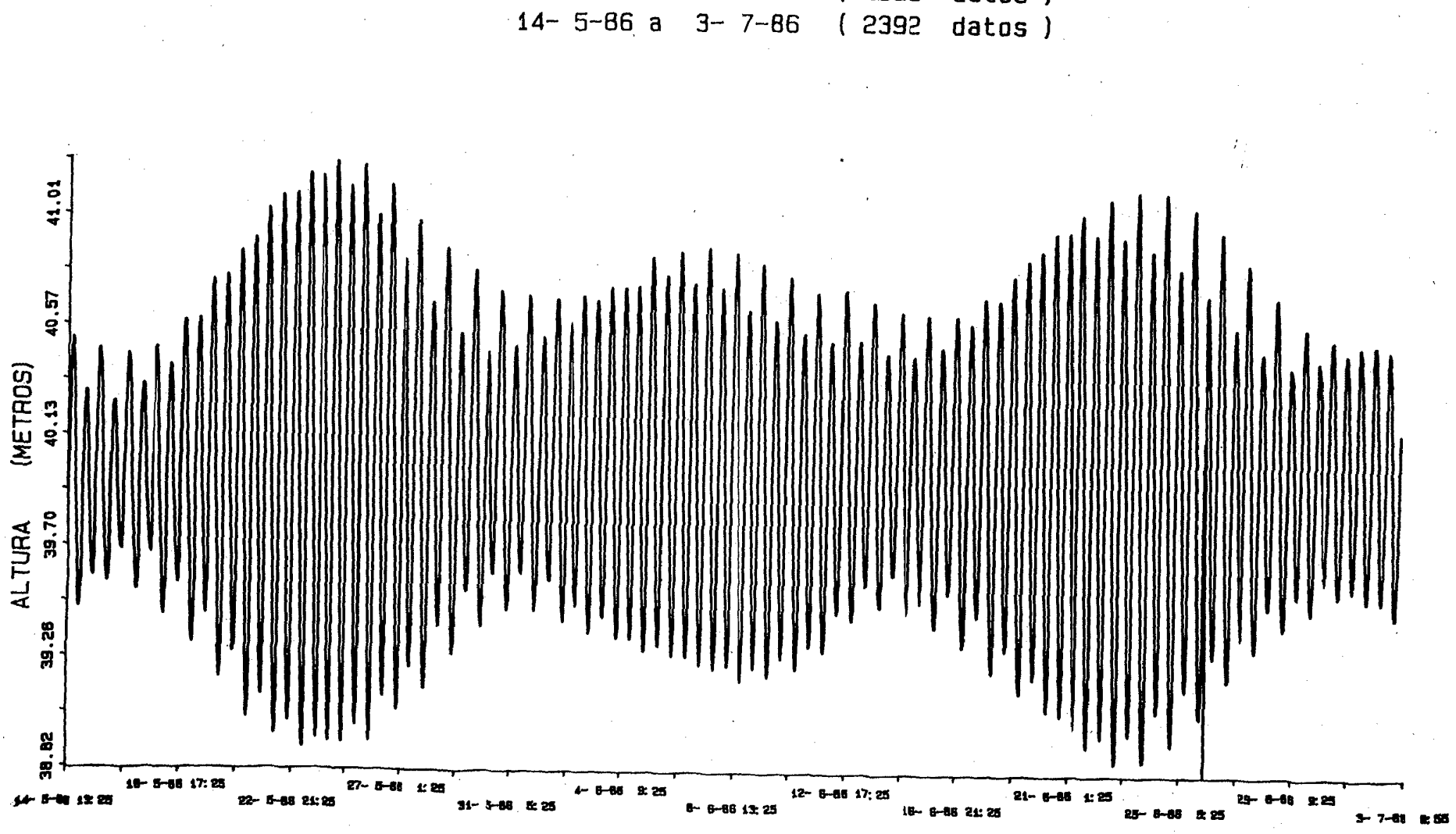


Figura 5.3-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

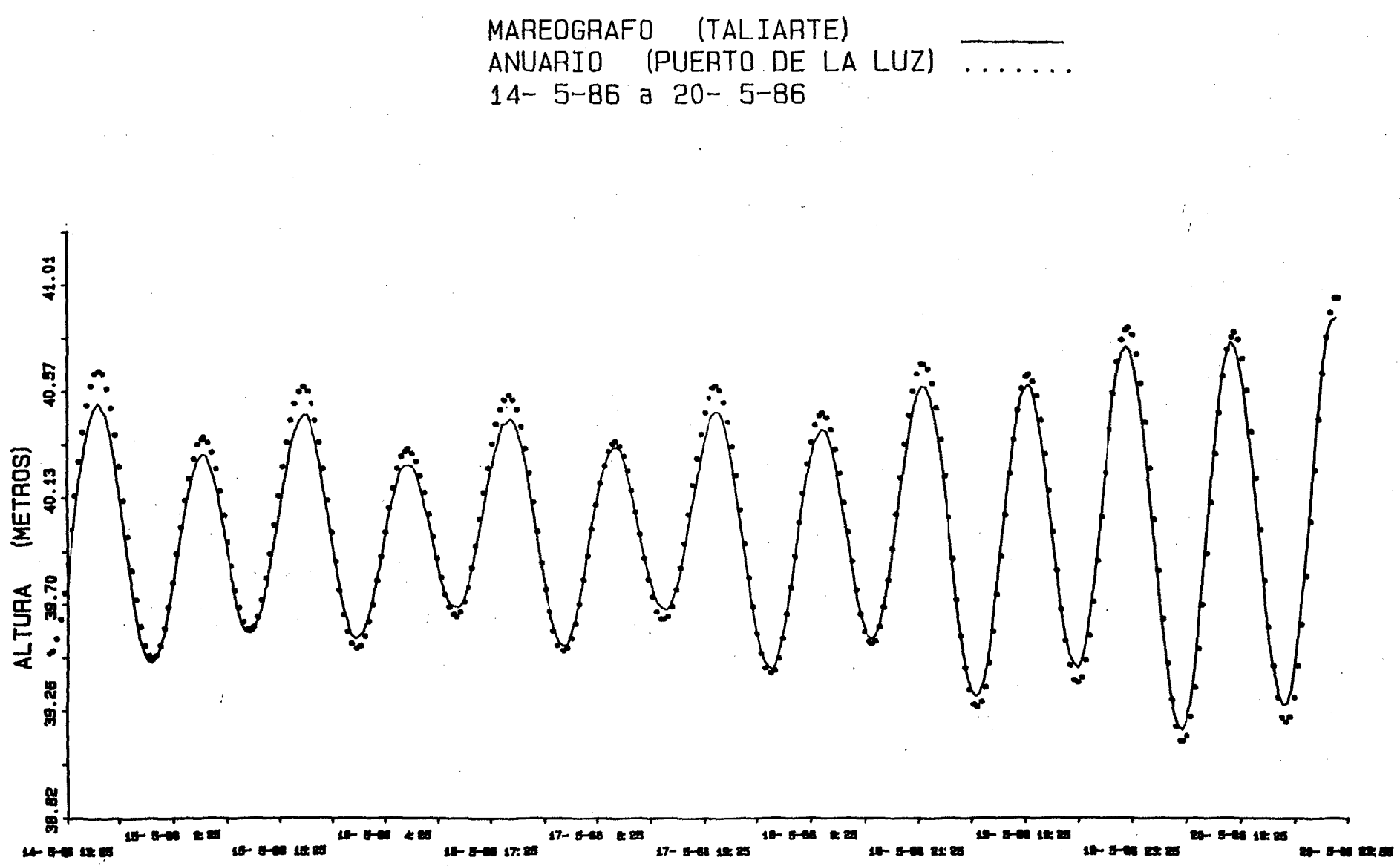


Figura 5.3-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

MAREOGRAFO (TALIARTE)
ANUARIO (PUERTO DE LA LUZ) ——————
21- 5-86 a 27- 5-86 .....

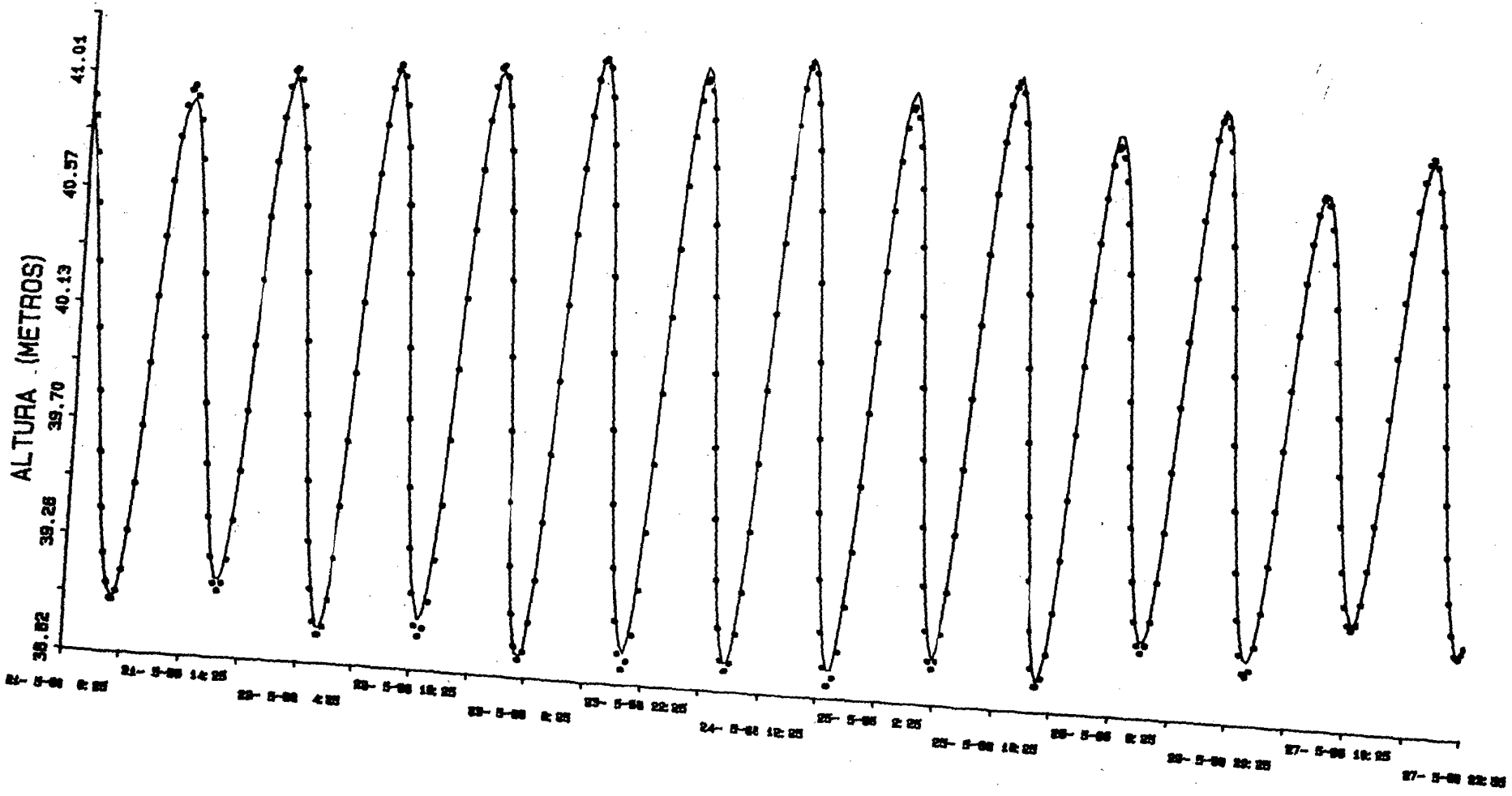


Figura 5.3-3

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

MAREOGRAFO (TALIARTE) _____
ANUARIO (PUERTO DE LA LUZ) .....
28- 5-86 a 3- 6-86

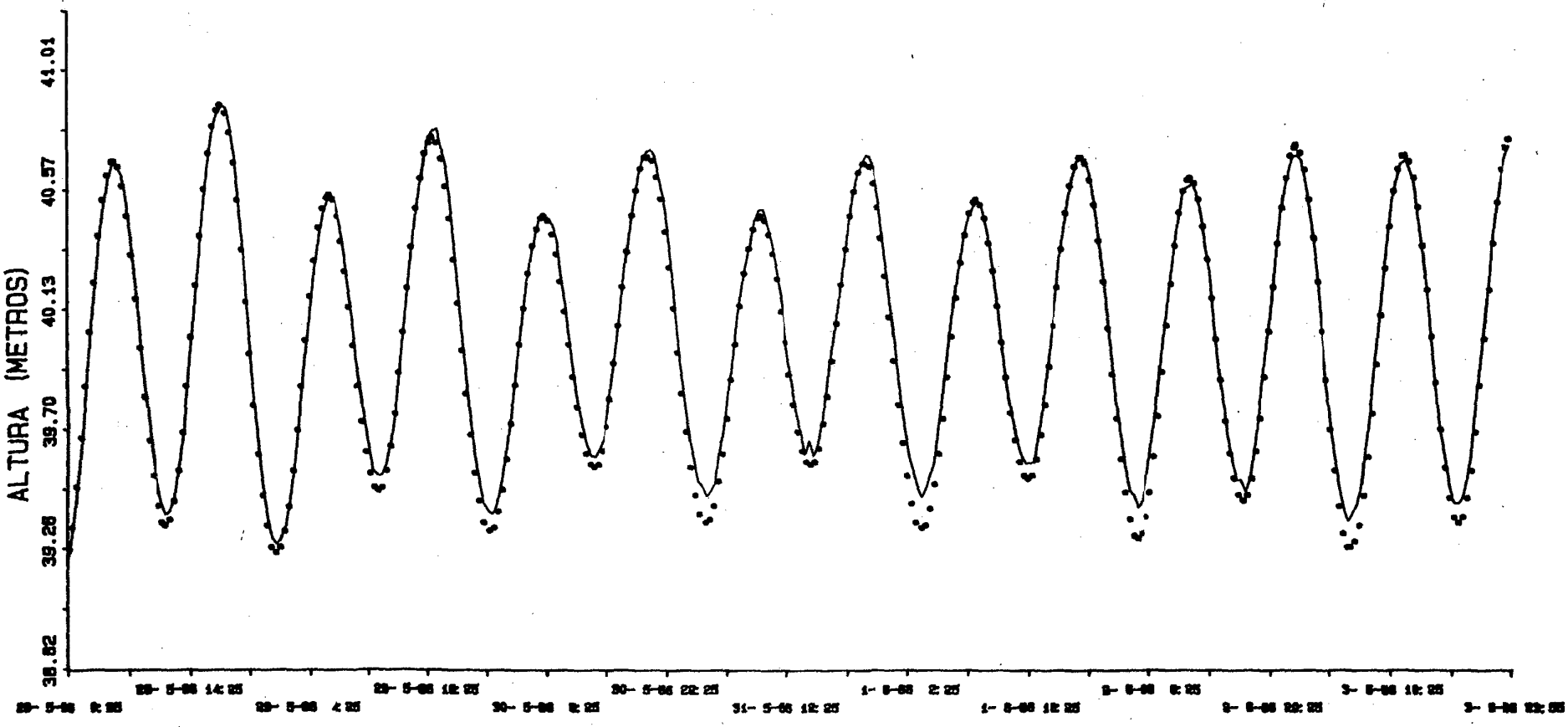


Figura 5.3-4

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

MAREOGRAFO (TALIARTE) _____
ANUARIO (PUERTO DE LA LUZ) .....
4- 6-86 a 10- 6-86

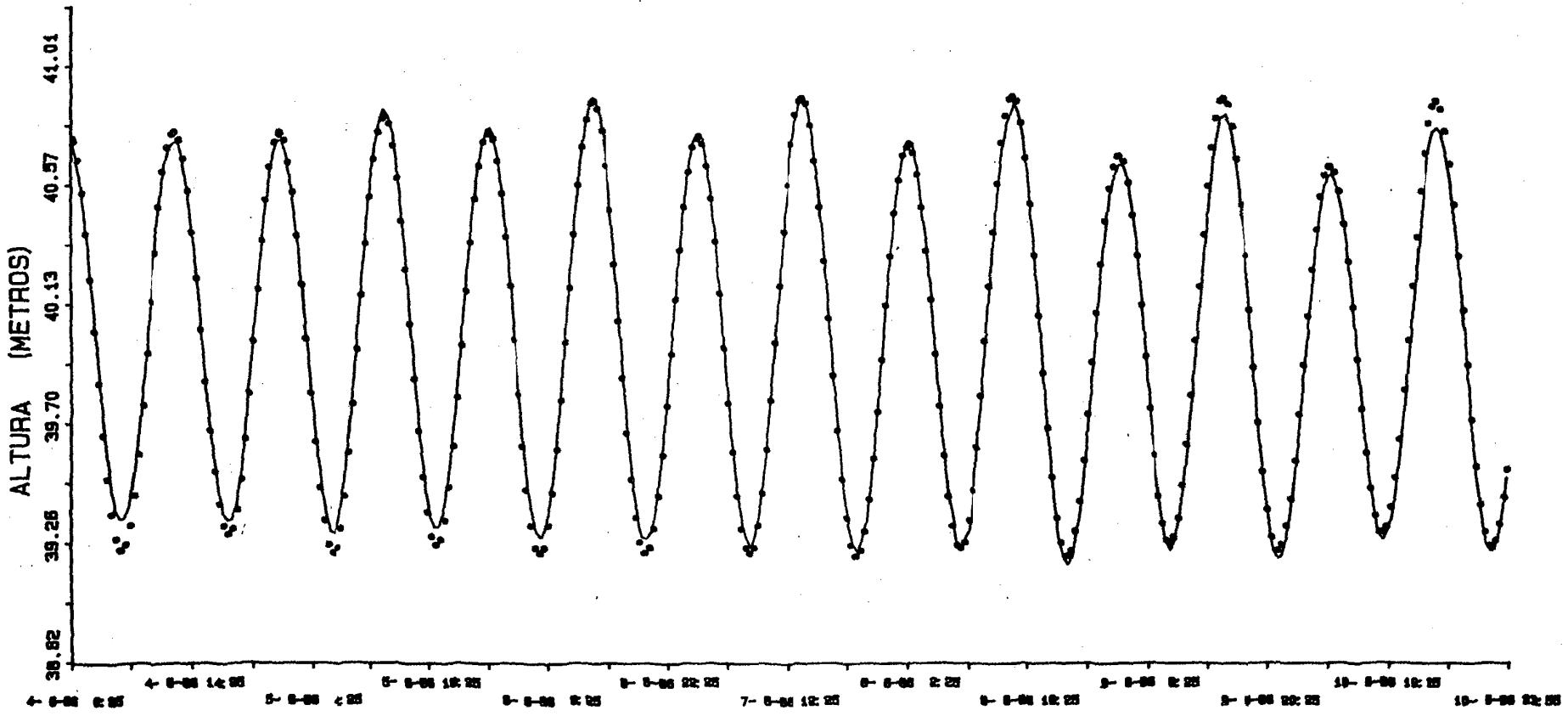


Figura 5.3-5

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

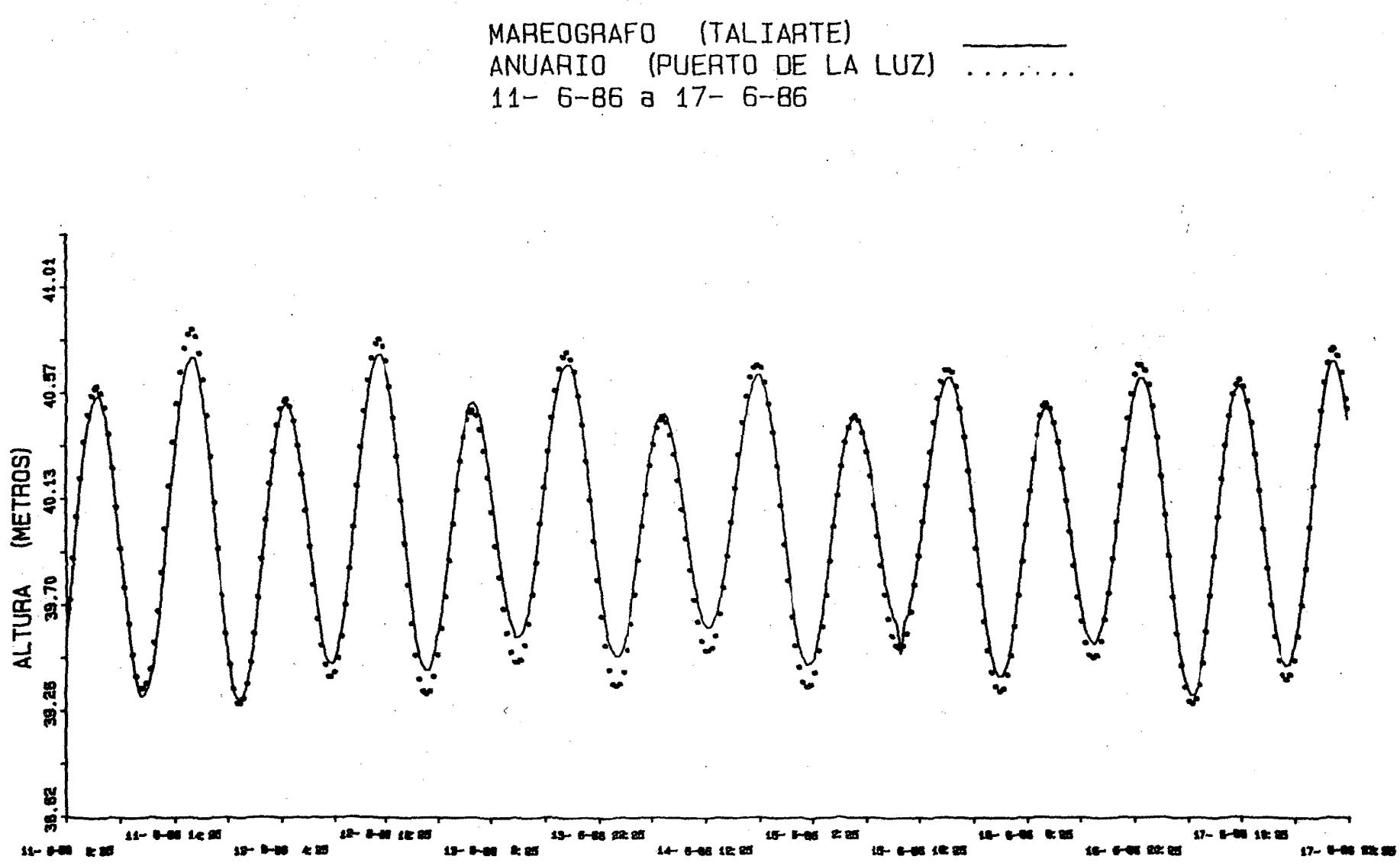


Figura 5.3-6

© Universidac de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

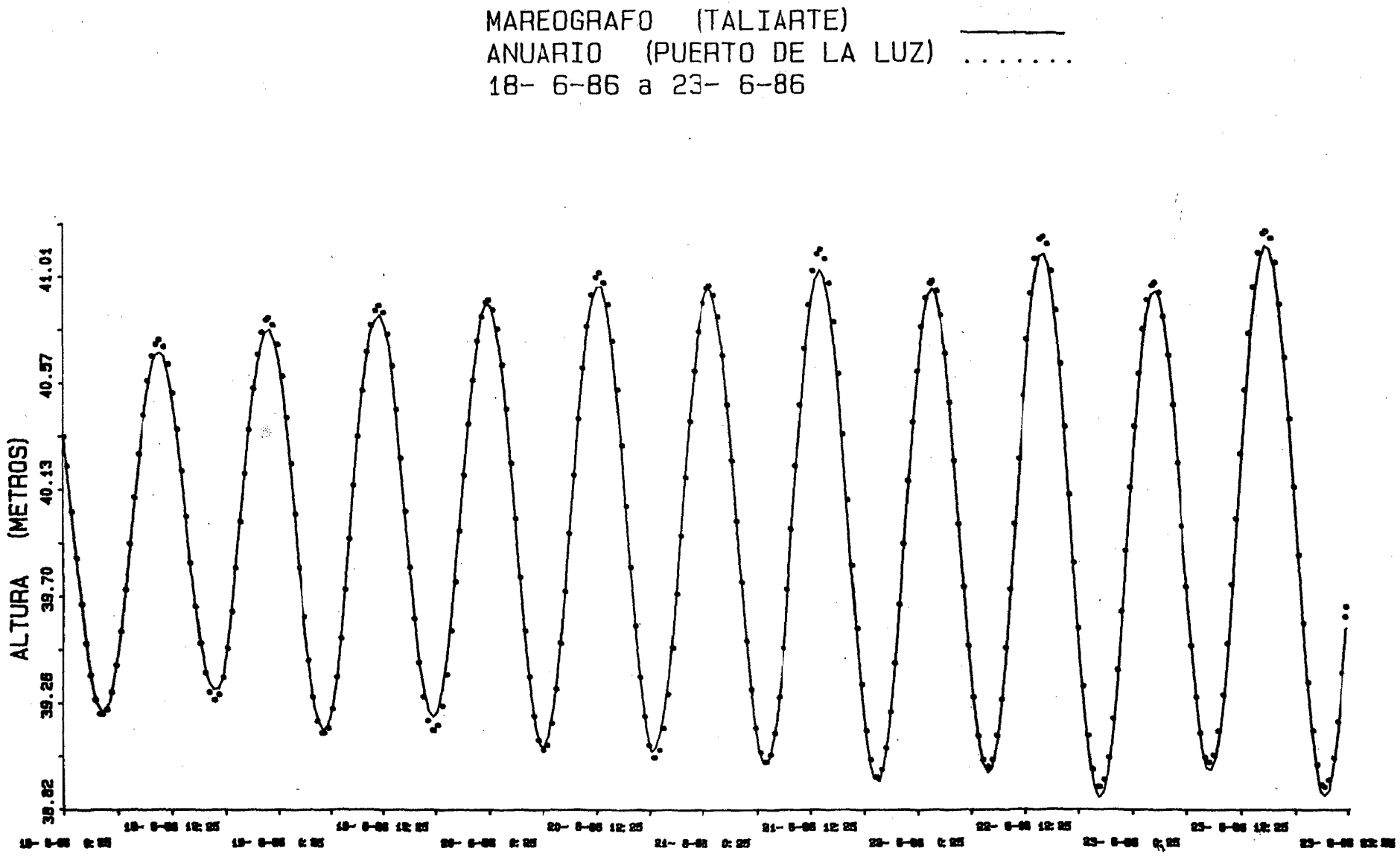


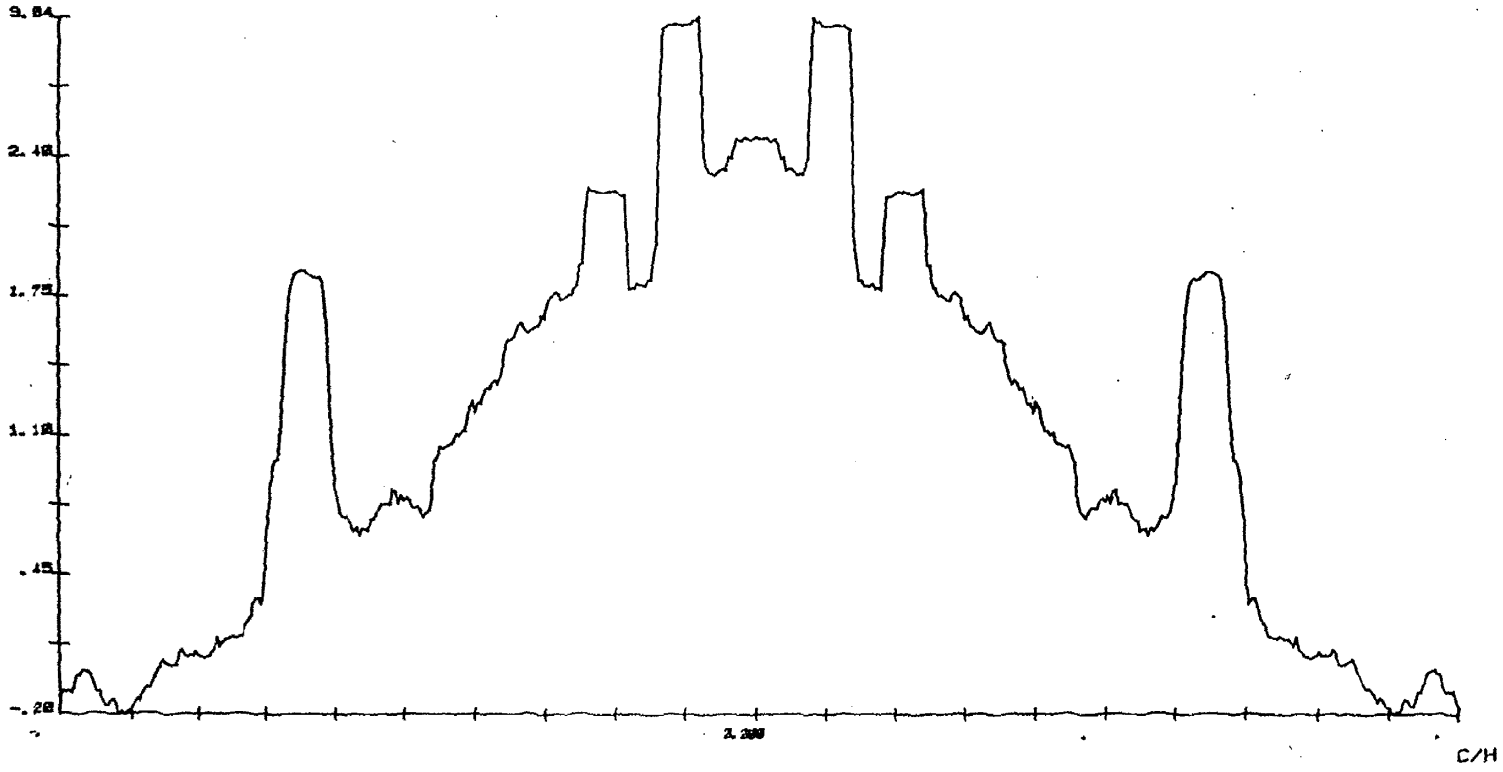
Figura 5.3-7

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

ESPECTRO DE LA PRIMERA SERIE

μ8522

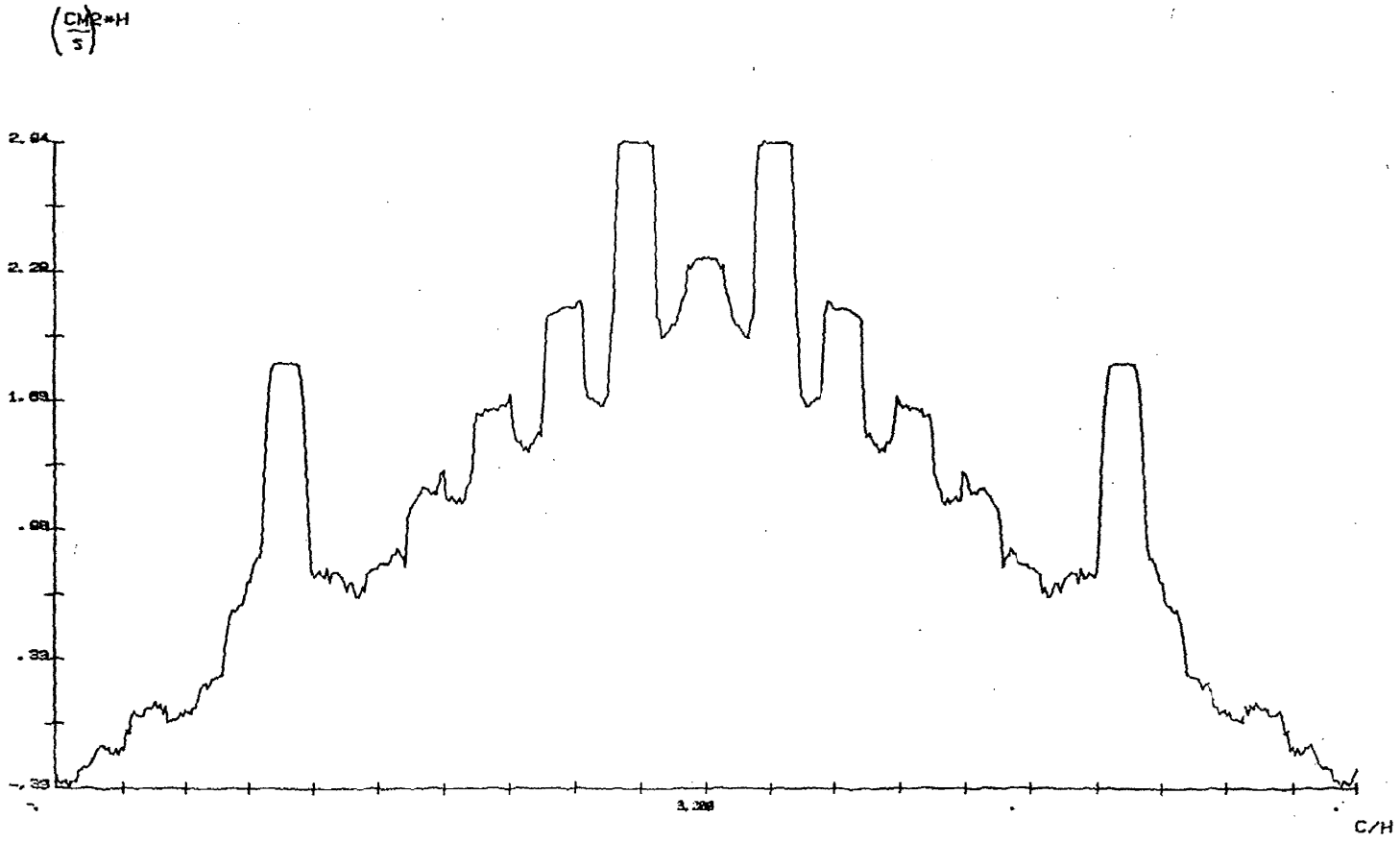
$\left(\frac{CM}{S}\right)^2 * H$



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESPECTRO DE LA PRIMERA SERIE

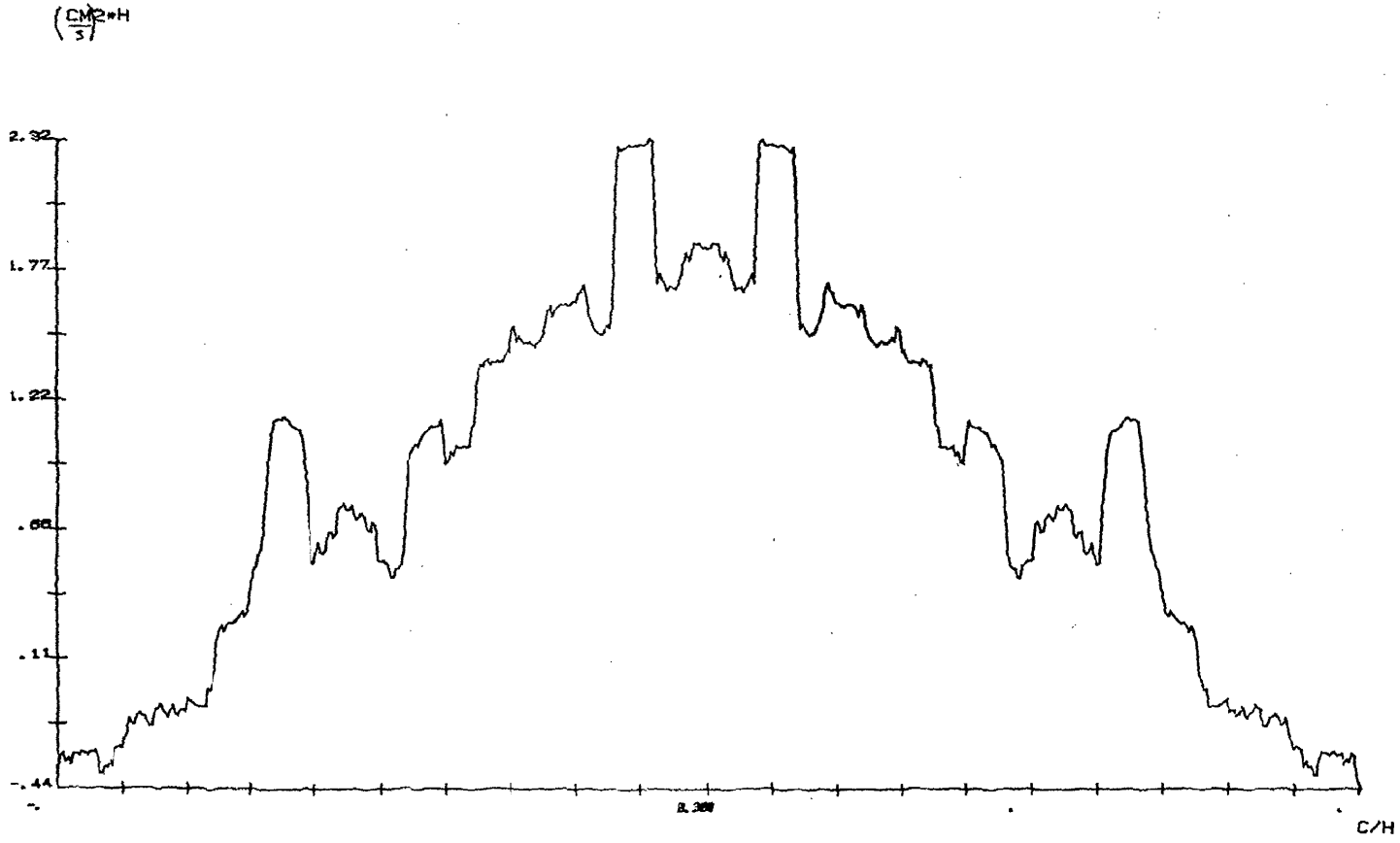
α 8142Y02



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESPECTRO DE LA SEGUNDA SERIE

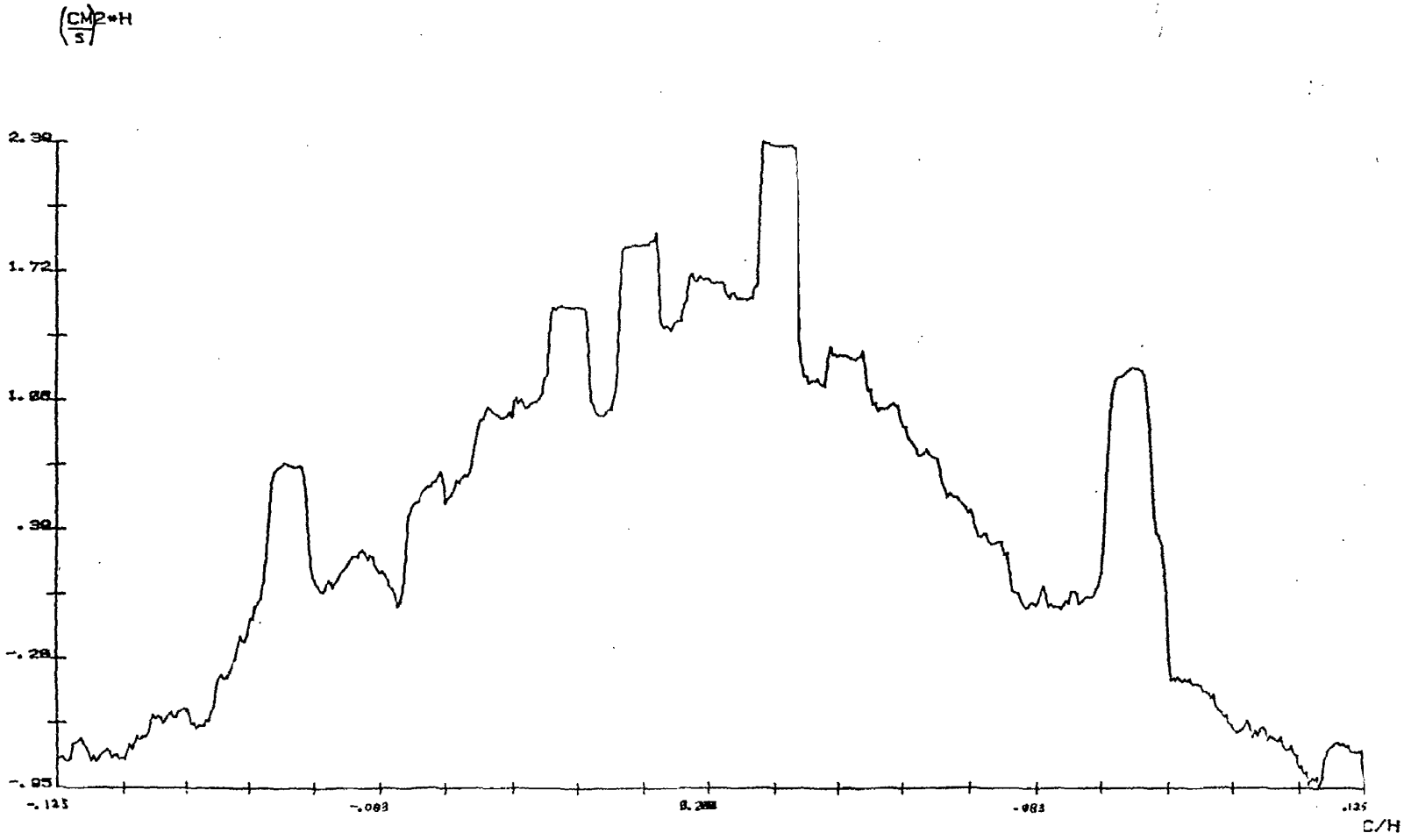
V8522Y01



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESPECTRO ROTATORIO SENTIDO ANTIHORARIO

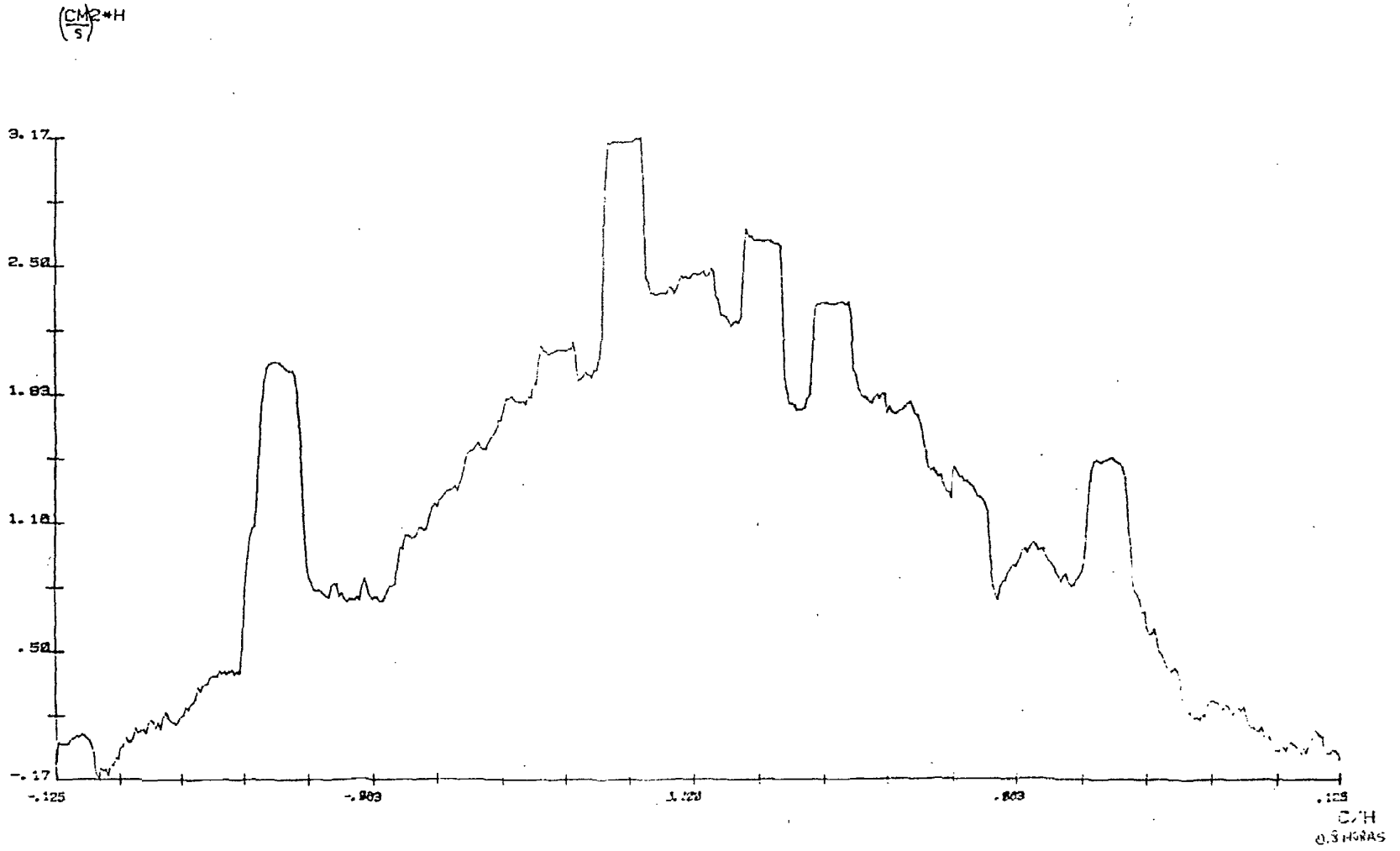
8522Y01



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESPECTRO ROTATORIO SENTIDO HORARIO

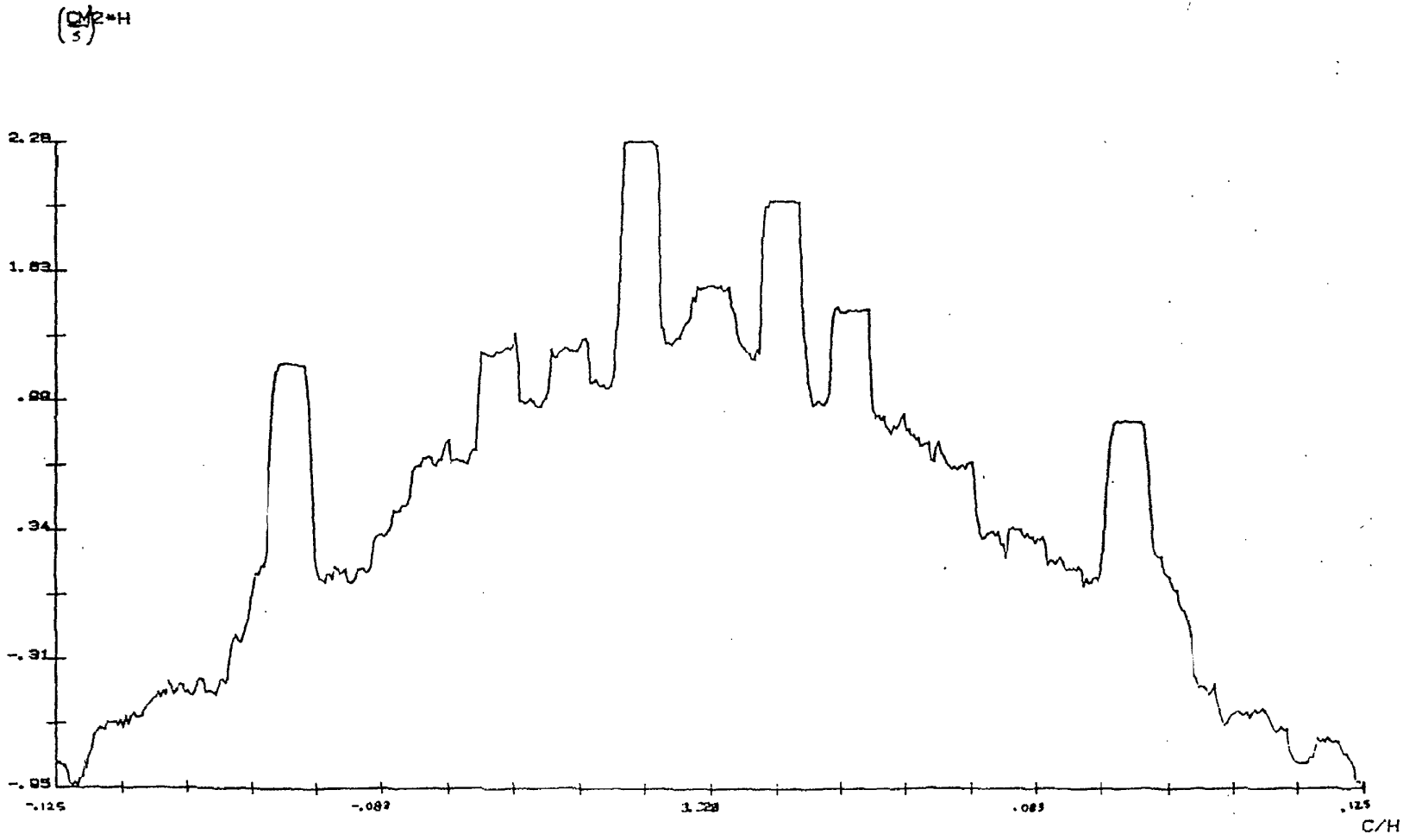
8522Y01



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

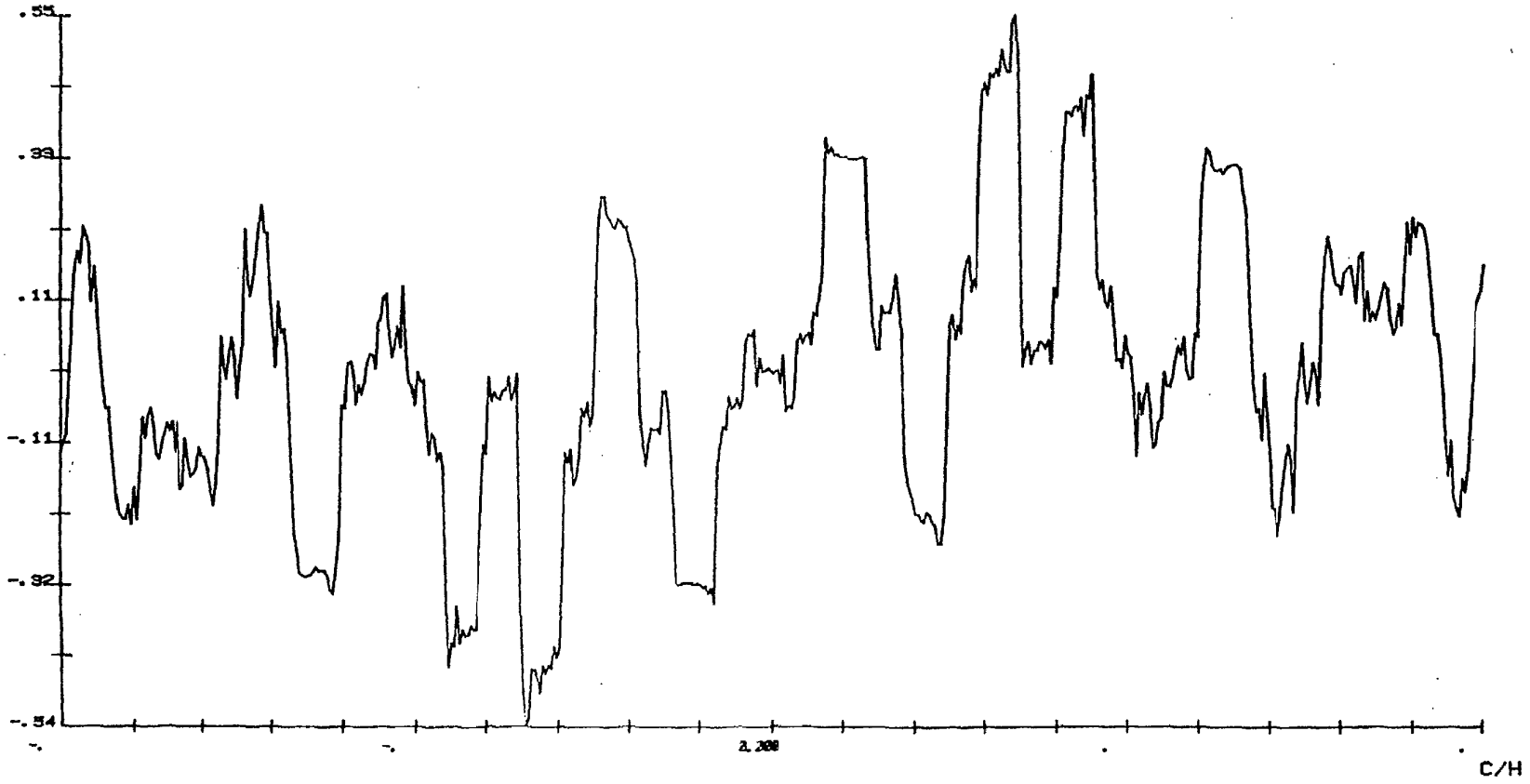
ESPECTRO ROTATORIO SENTIDO HORARIO

8142Y02



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

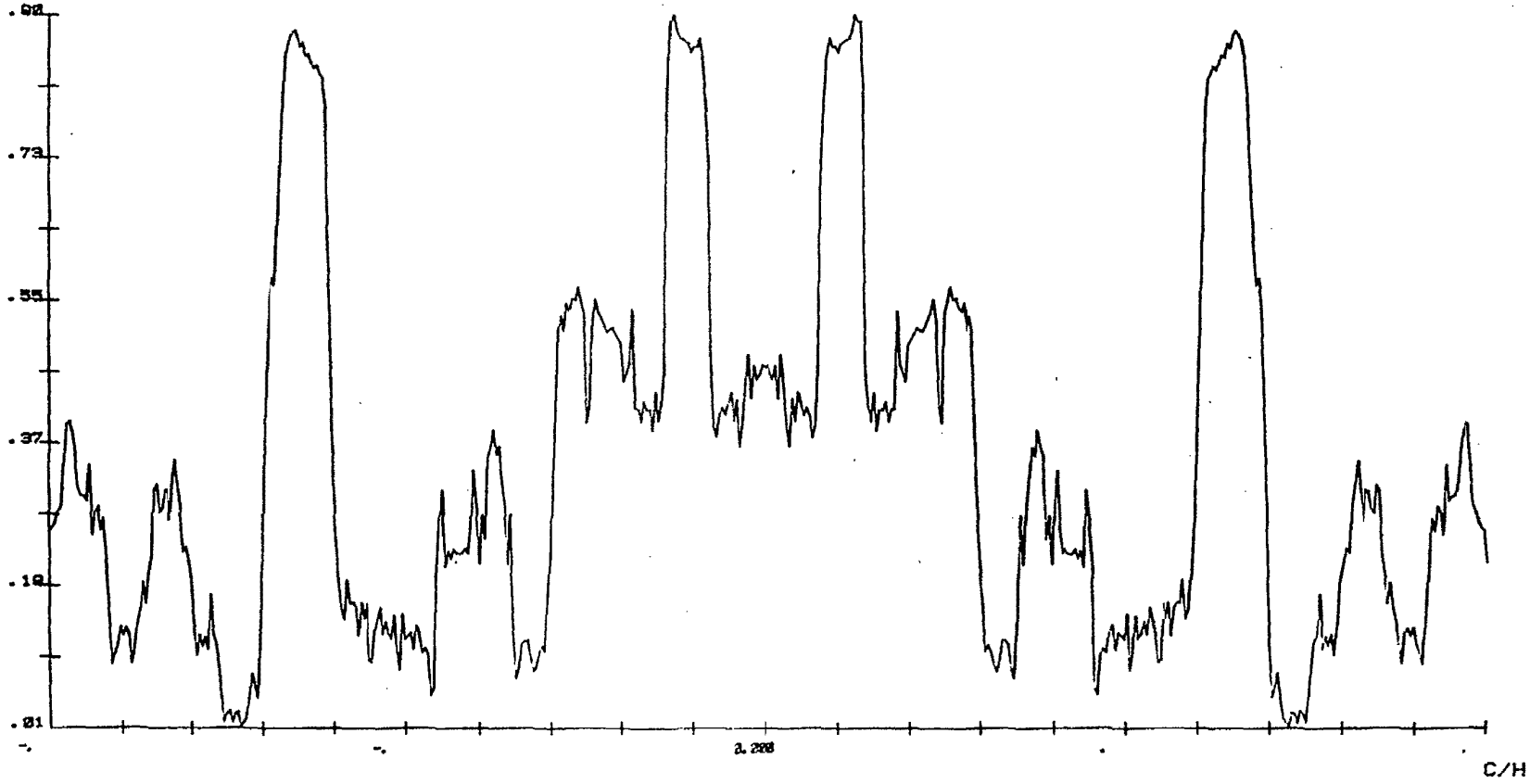
COEFICIENTE ROTATORIO DE LA CORRIENTE
8142Y02



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTABILIDAD DEL EJE MAYOR DE LA ELIPSE

8522Y01

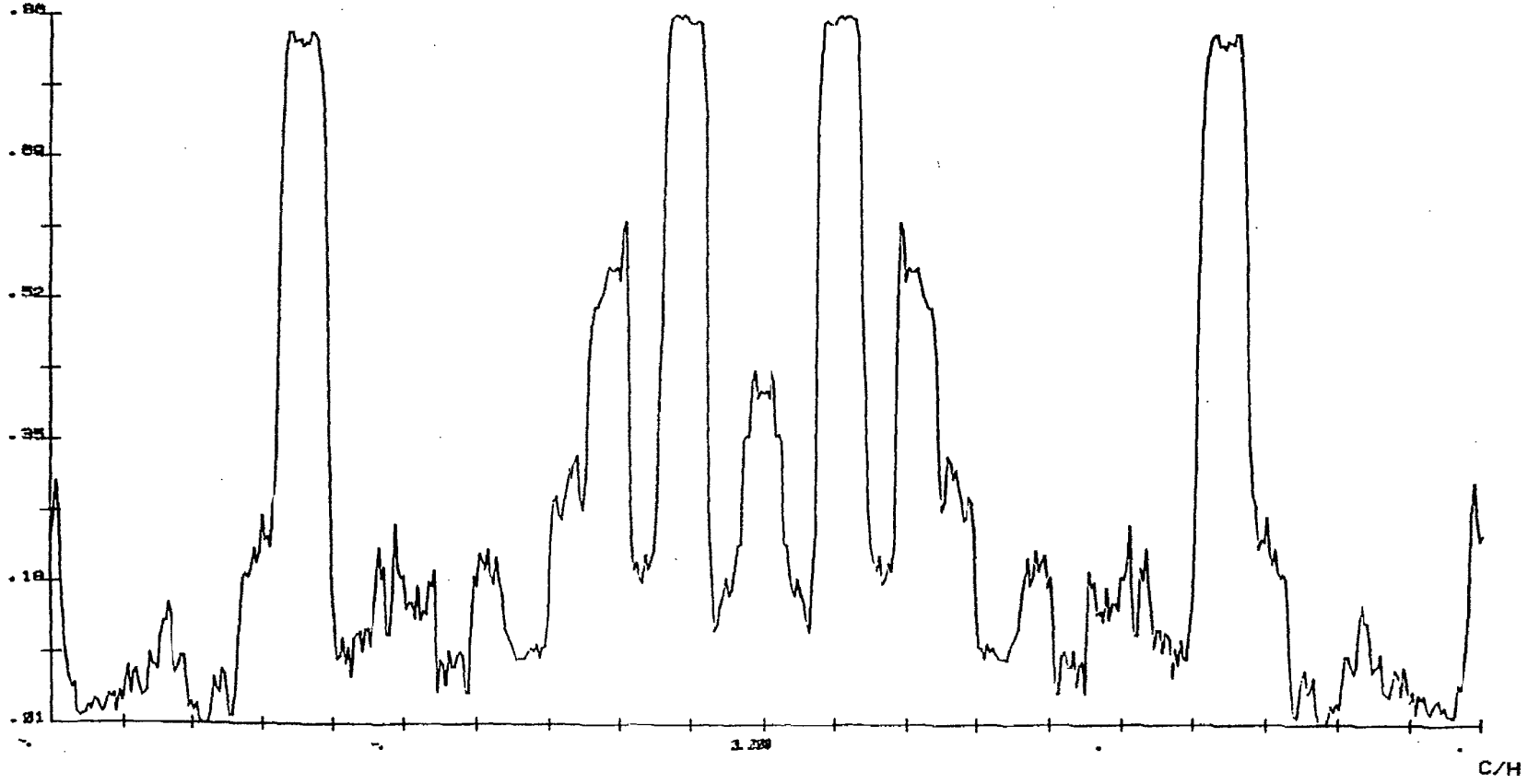


© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ESTABILIDAD DEL EJE MAYOR DE LA ELIPSE

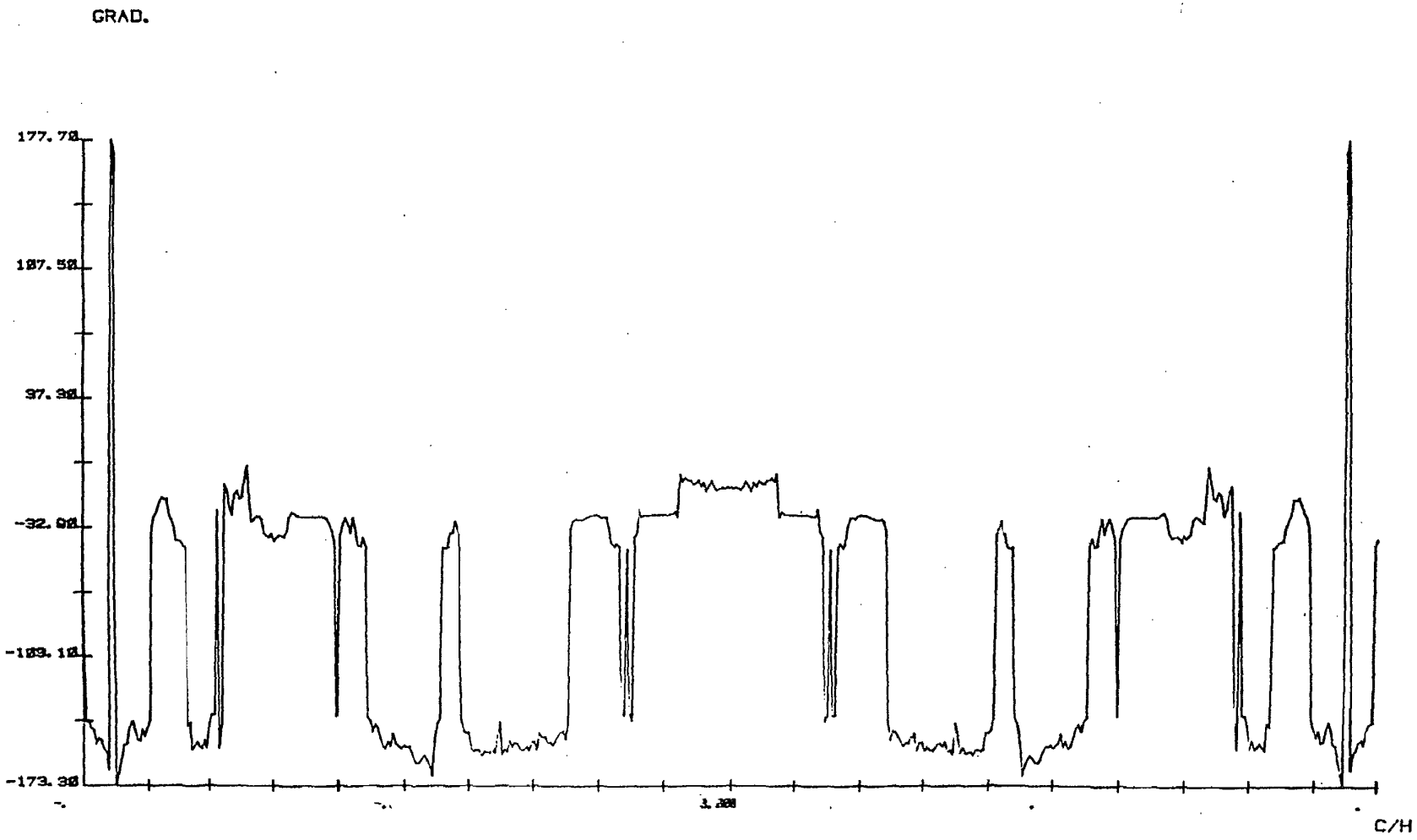
8142Y02

--



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

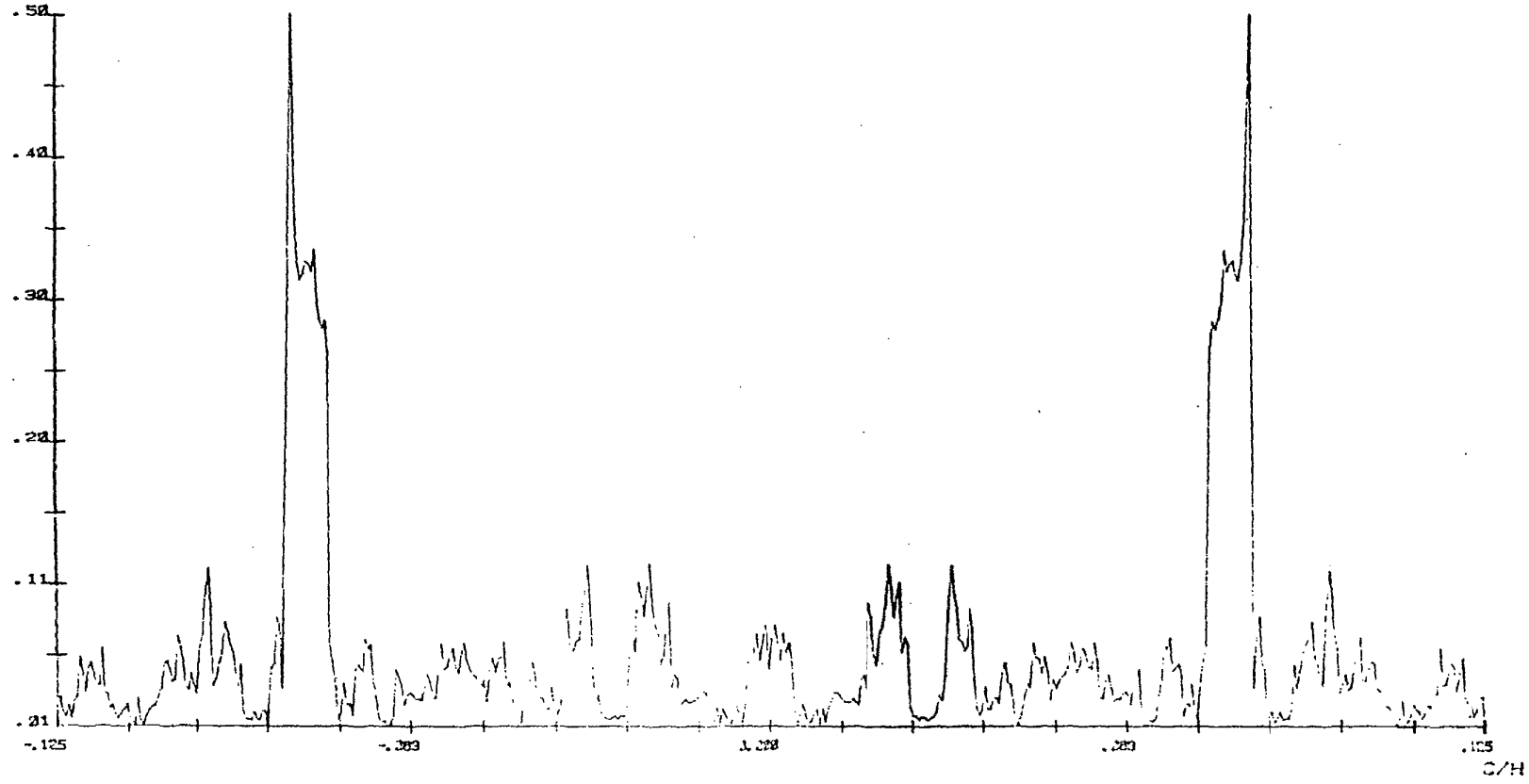
ANGULO DE ORIENTACION MEDIA DEL EJE MAYOR DE LA ELIPSE
8142Y02



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CUADRADO DE LA FUNCION DE COHERENCIA

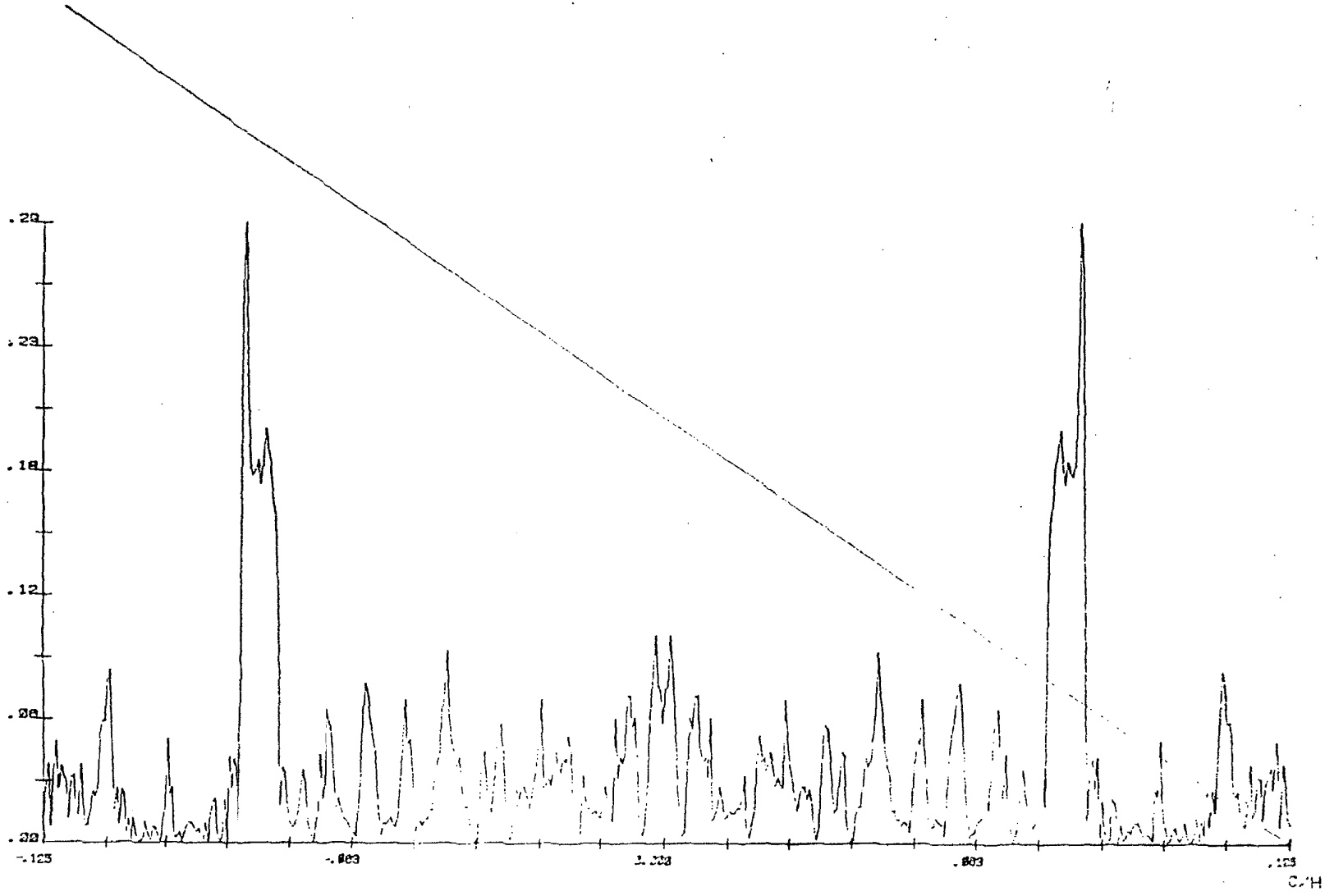
945Y01-U8142Y02



© Universidadde Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CUADRADO DE LA FUNCION DE COHERENCIA

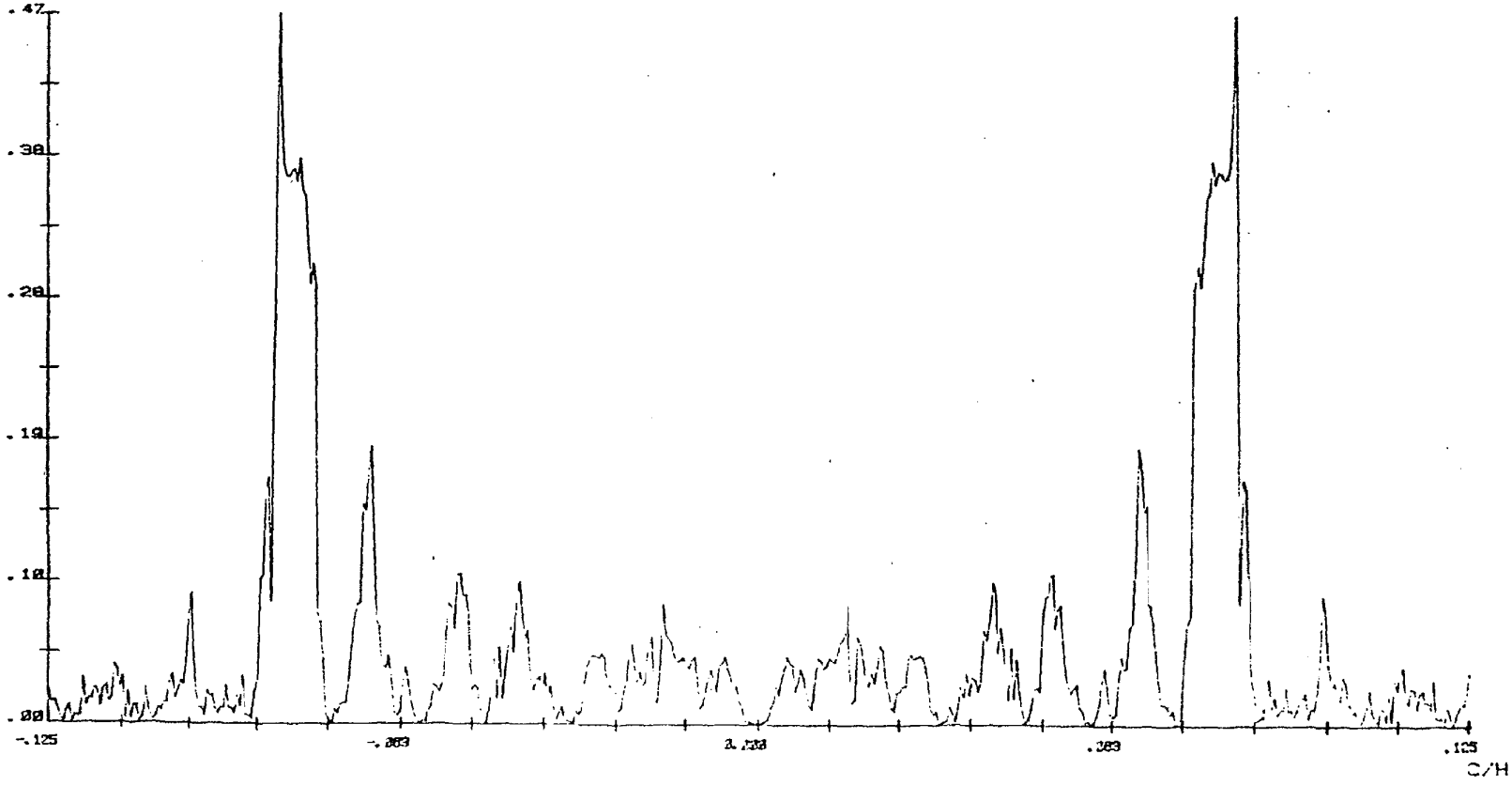
845Y01-V8142Y02



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CUADRADO DE LA FUNCION DE COHERENCIA

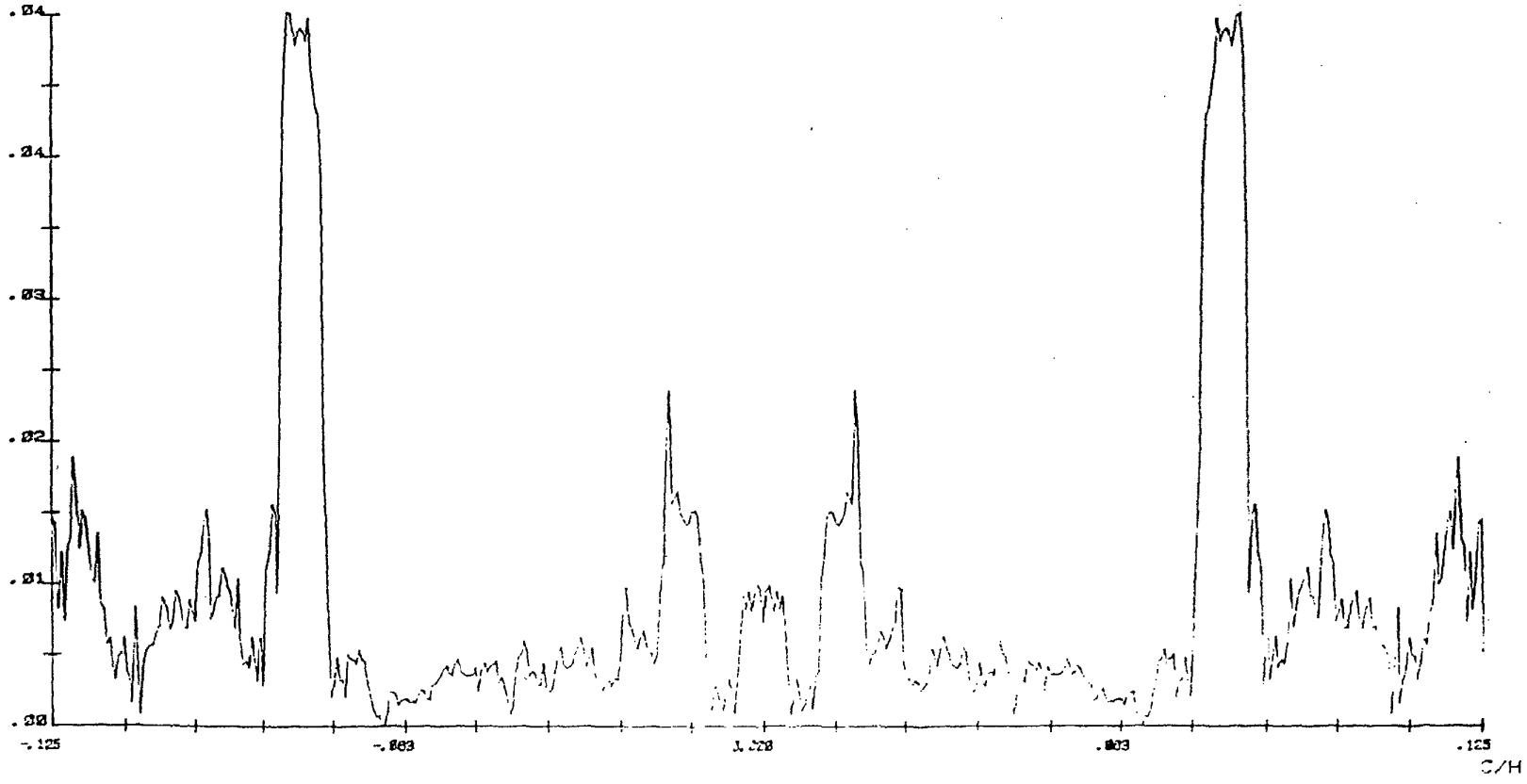
945Y01-U8522Y01



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

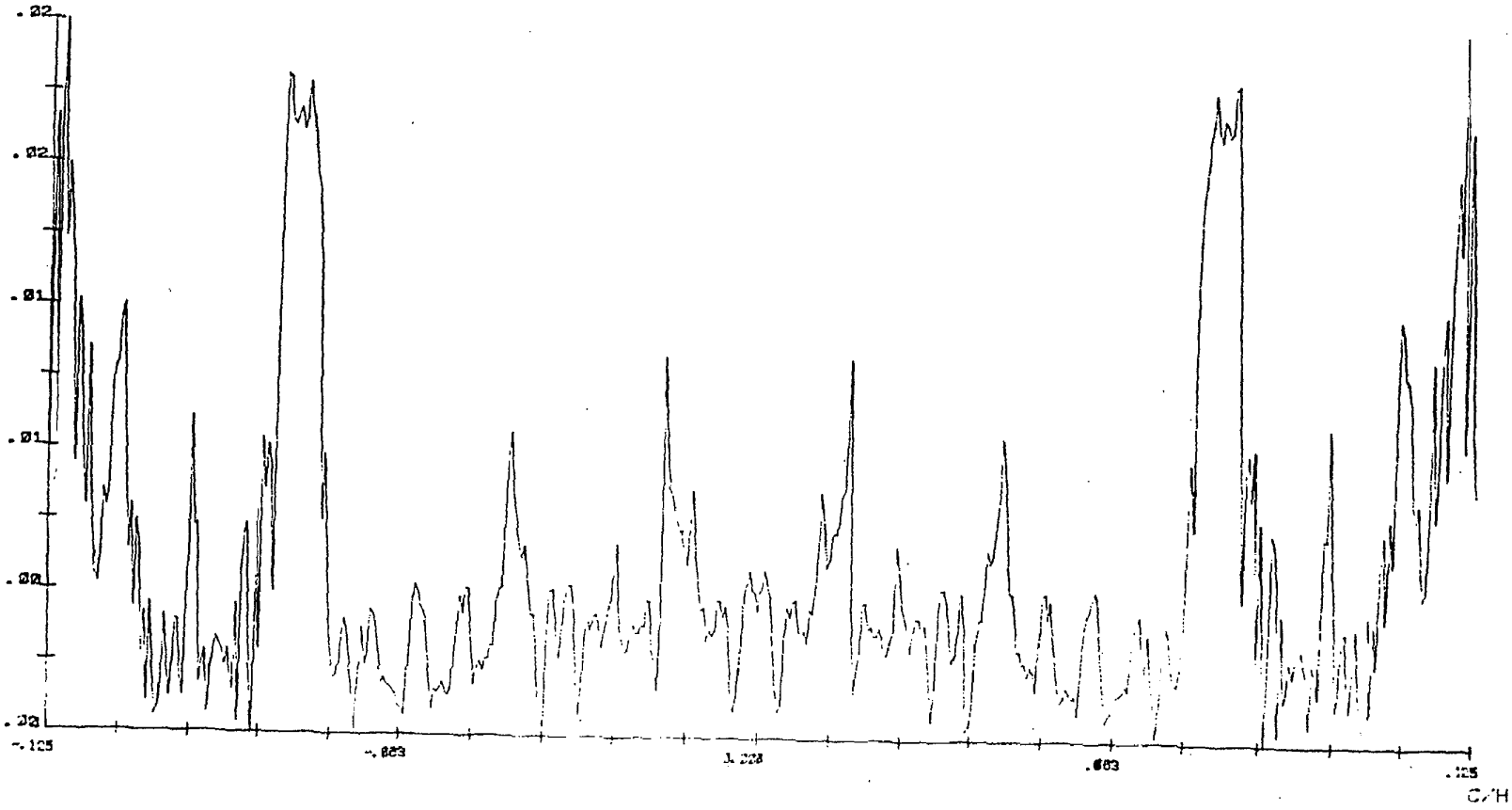
AMPLITUD DE LA FUNCION DE RESPUESTA

945Y01-U8142Y02

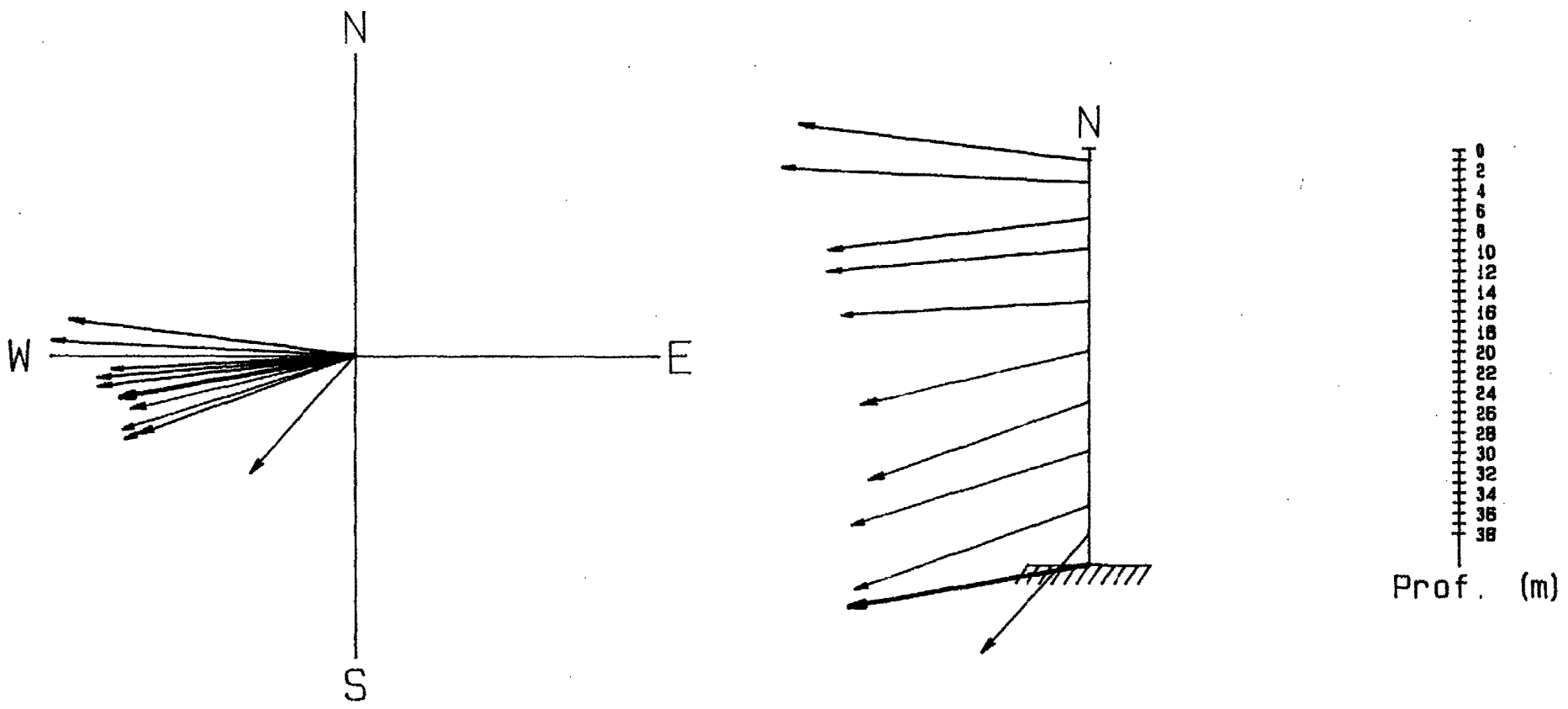


© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

AMPLITUD DE LA FUNCION DE RESPUESTA
945Y01-V8142Y02



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

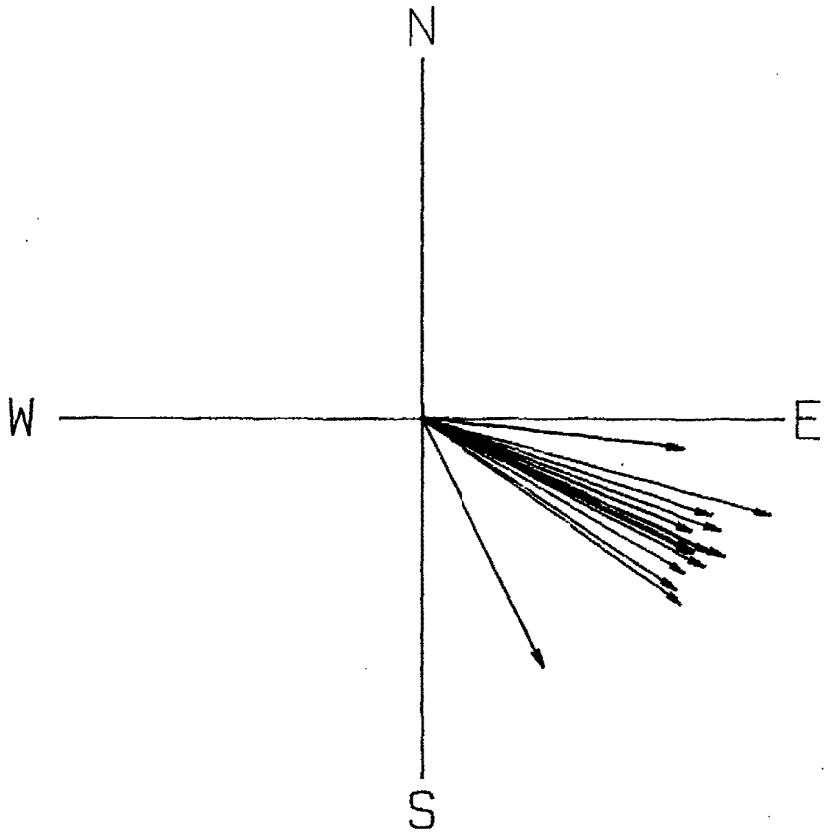


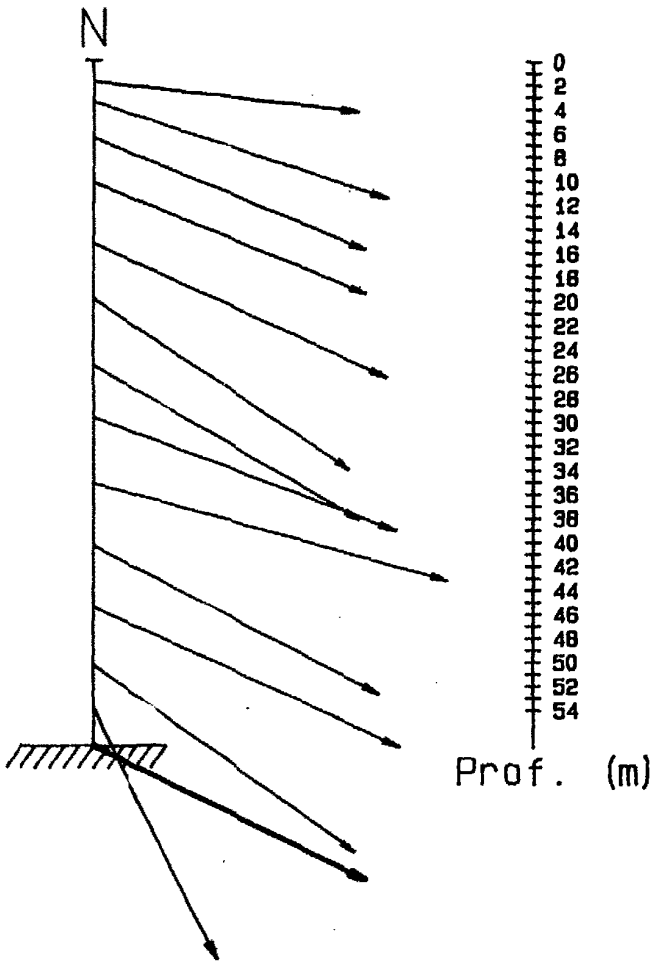
1 cm = 0.04 m/s

POSICION : C1
HORA : 13: 04/14: 4

Figura 6.2-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003





1 cm = 0.05 m/s

POSICION : C5
HORA : 11: 42/12:

Figura 6.2-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003

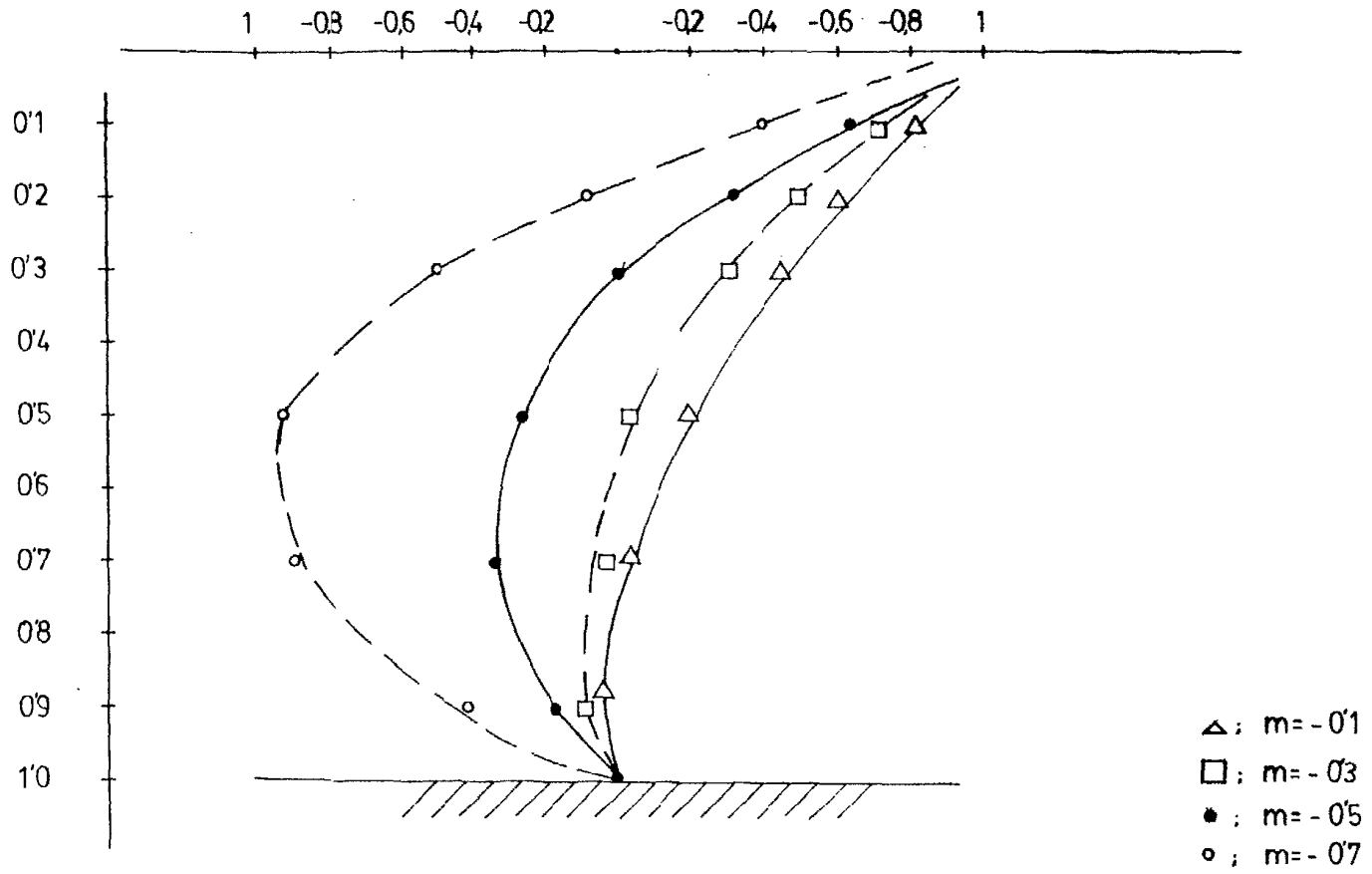


FIGURA 6.2-3

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

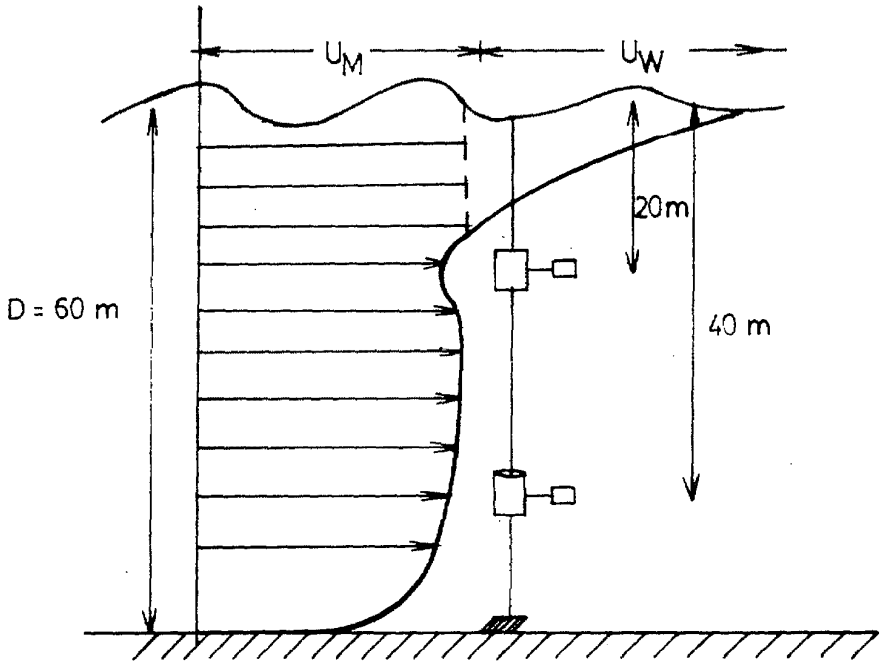


FIGURA 6.2-3 bis

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

ANUARIO (PUERTO DE LA LUZ)

5- 7-87 a 19- 7-87

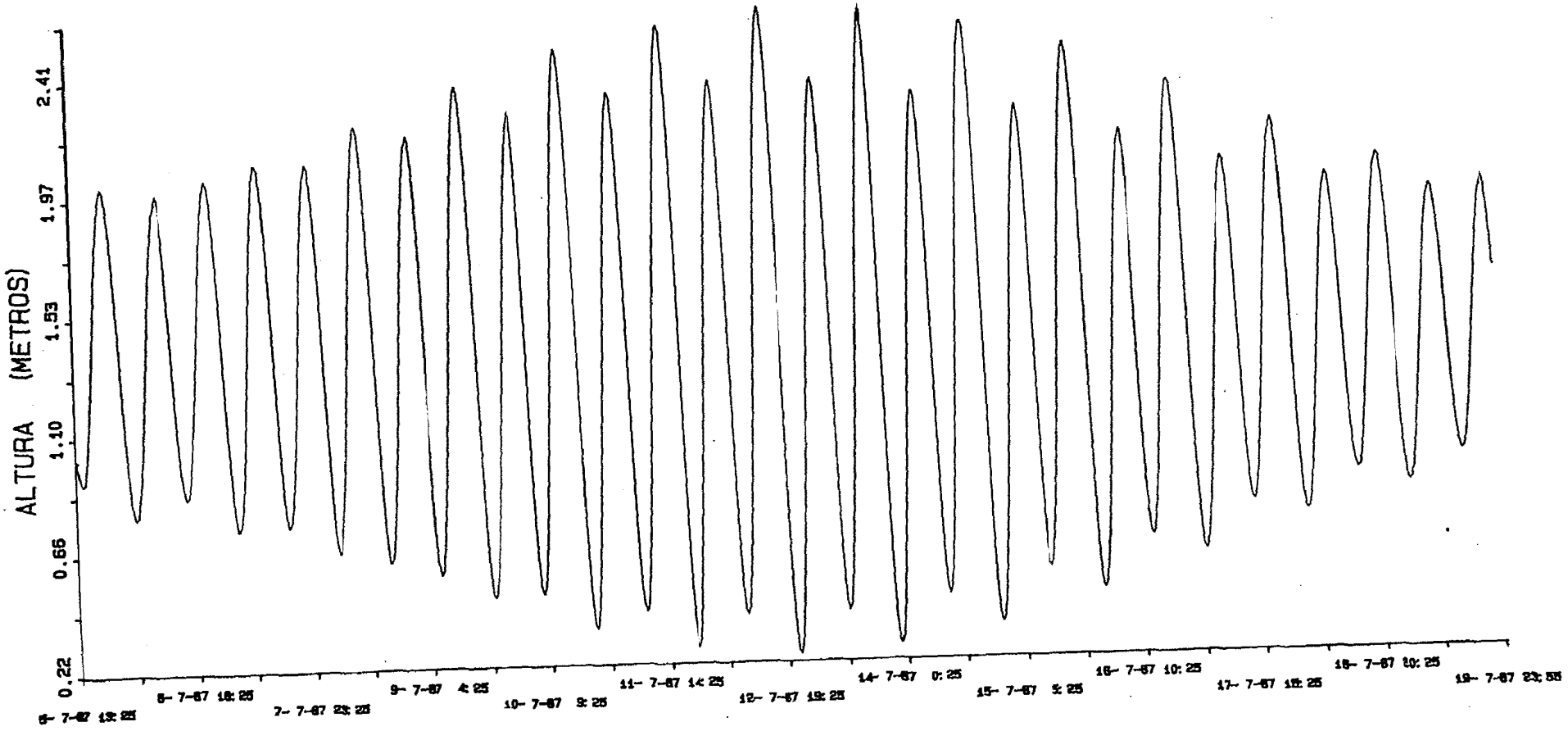


Figura 6.3-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)
5- 7-87 a 19- 7-87 , 2160 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

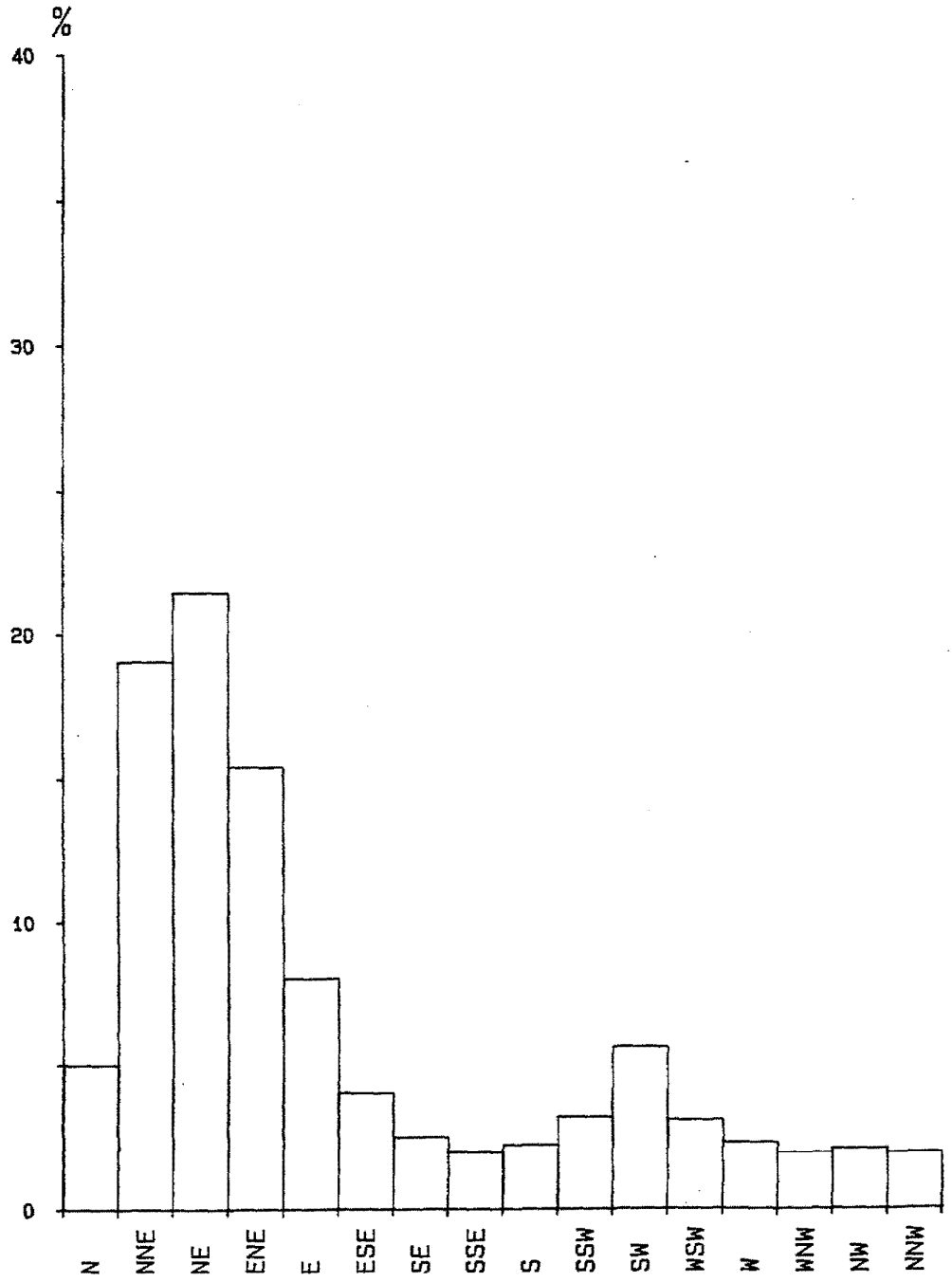


Figura 6.3-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)
5- 7-87 a 19- 7-87 , 2160 datos
Histograma de DIRECCION (grados)

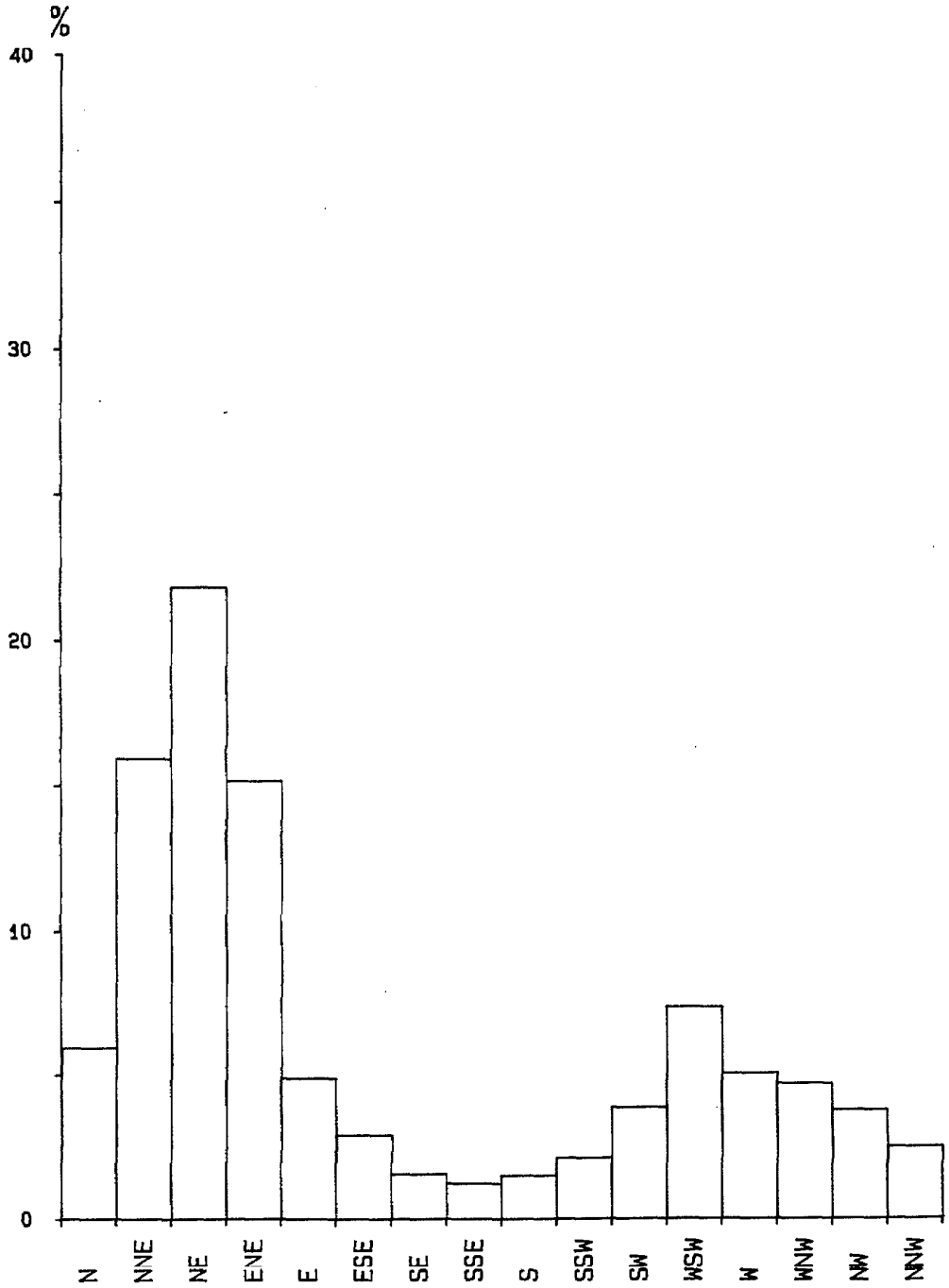


Figura 6.3-3

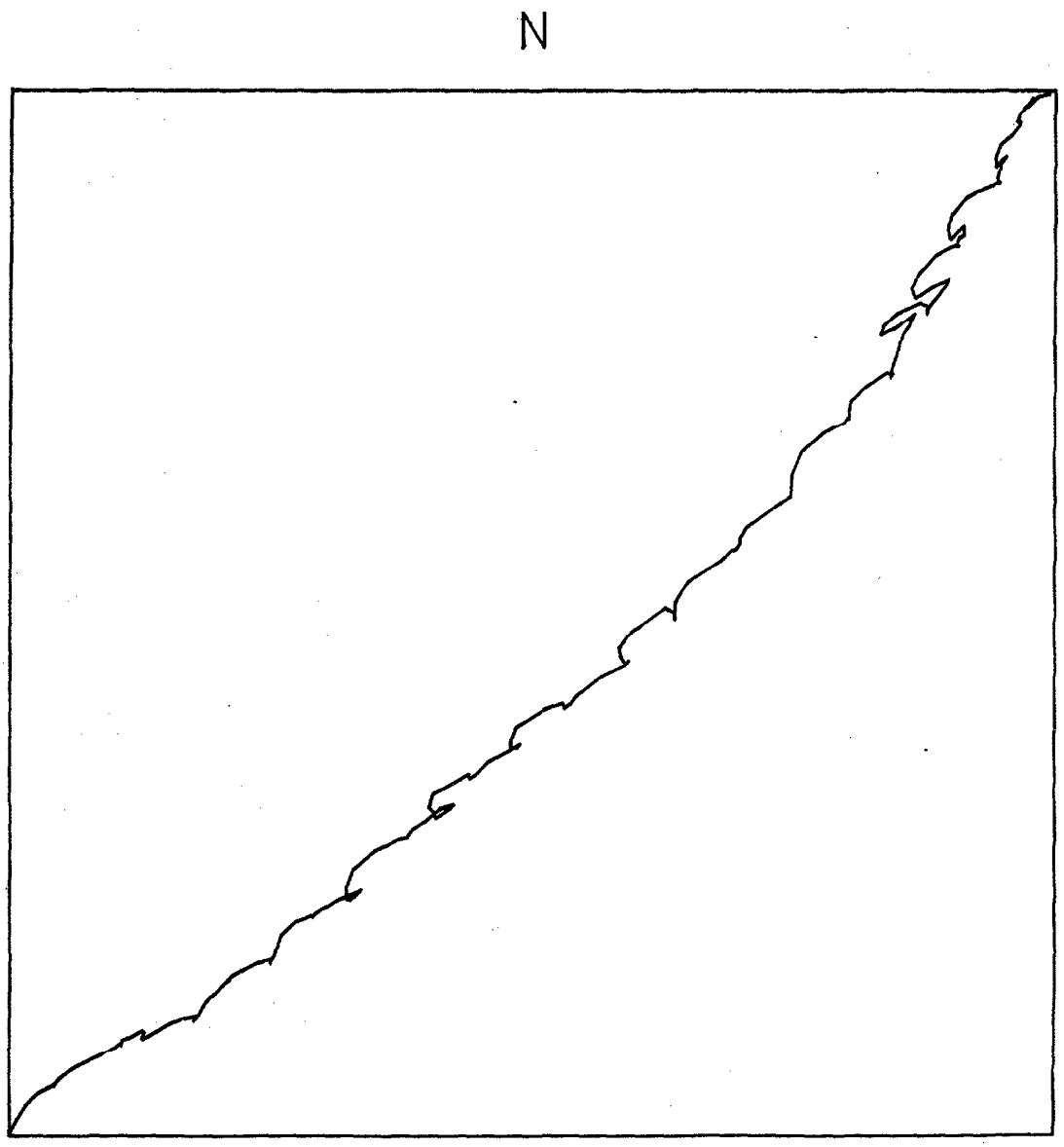
© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)

Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)

5- 7-87 al 19- 7-87 , 2160 datos

Diagrama Progresivo de corrientes



Vector unidad de 2 horas

Figura 6.3-4

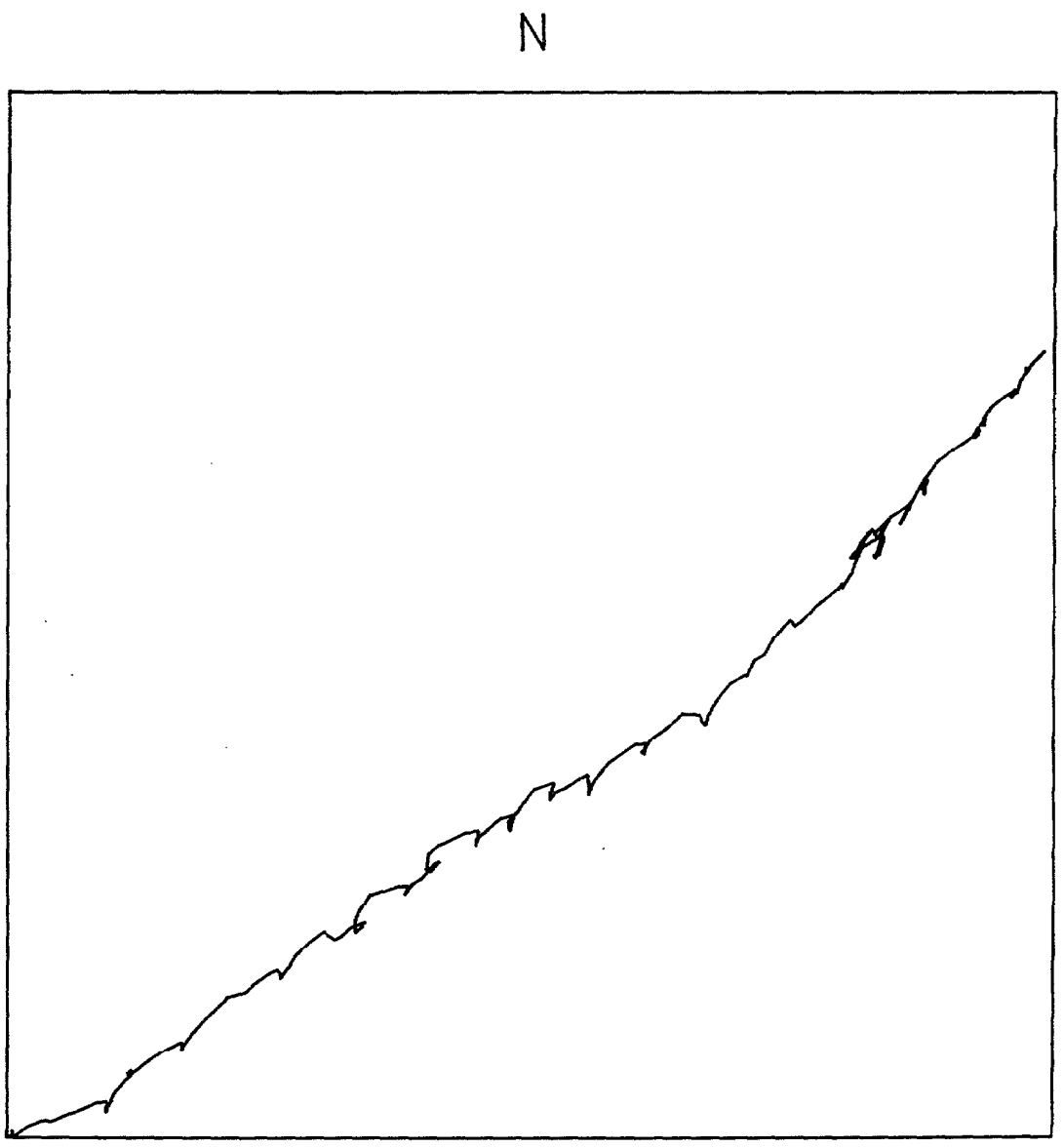
© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)

Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)

5- 7-87 al 19- 7-87 , 2160 datos

Diagrama Progresivo de corrientes



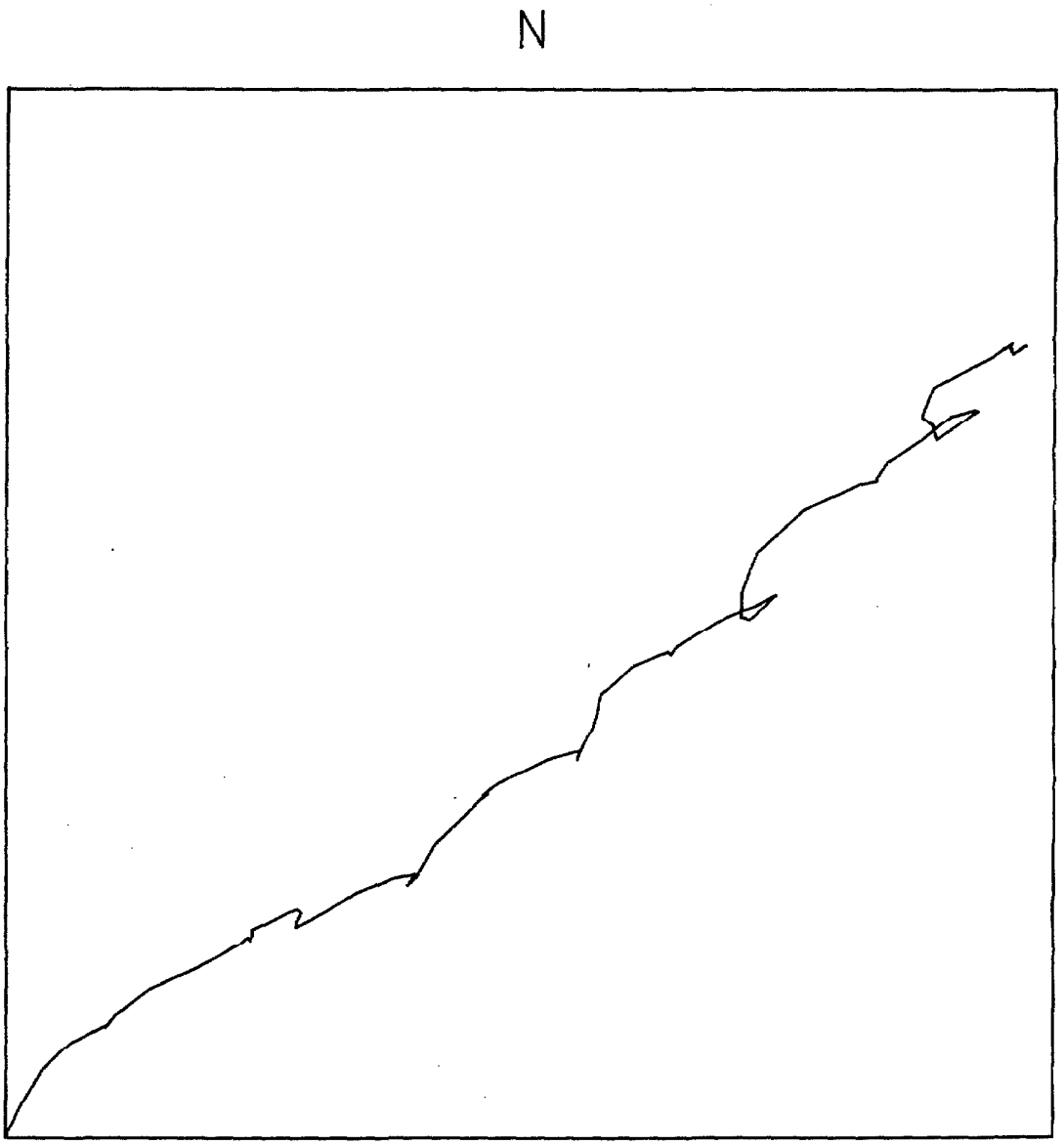
Vector unidad de 2 horas

Figura 6.3-5

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)
5- 7-87 al 10- 7-87 , 864 datos

Diagrama Progresivo de corrientes



Vector unidad de 2 horas

Figura 6.3-6

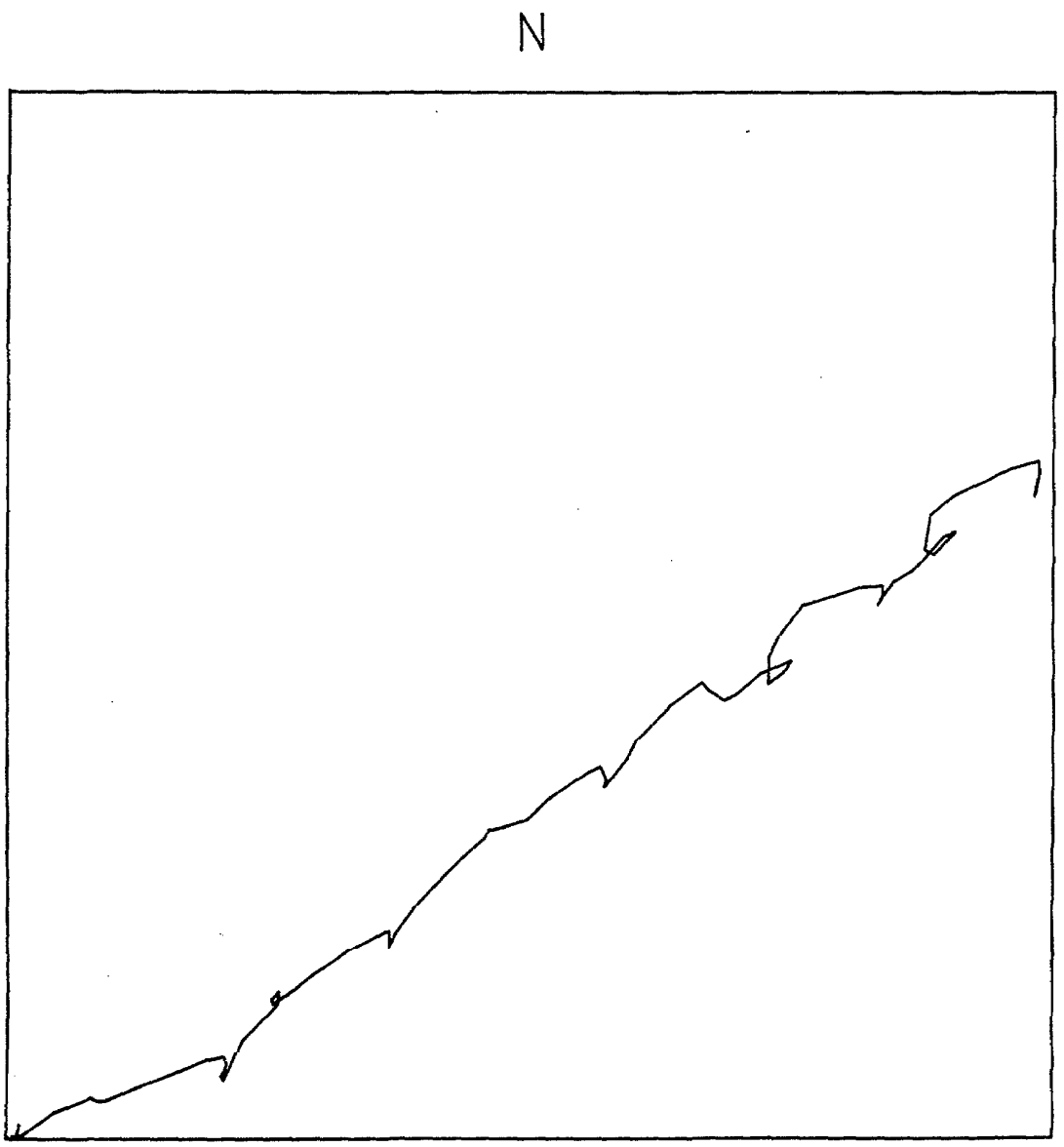
© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)

Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)

5- 7-87 al 10- 7-87 , 864 datos

Diagrama Progresivo de corrientes



Vector unidad de 2 horas

Figura 6.3-7

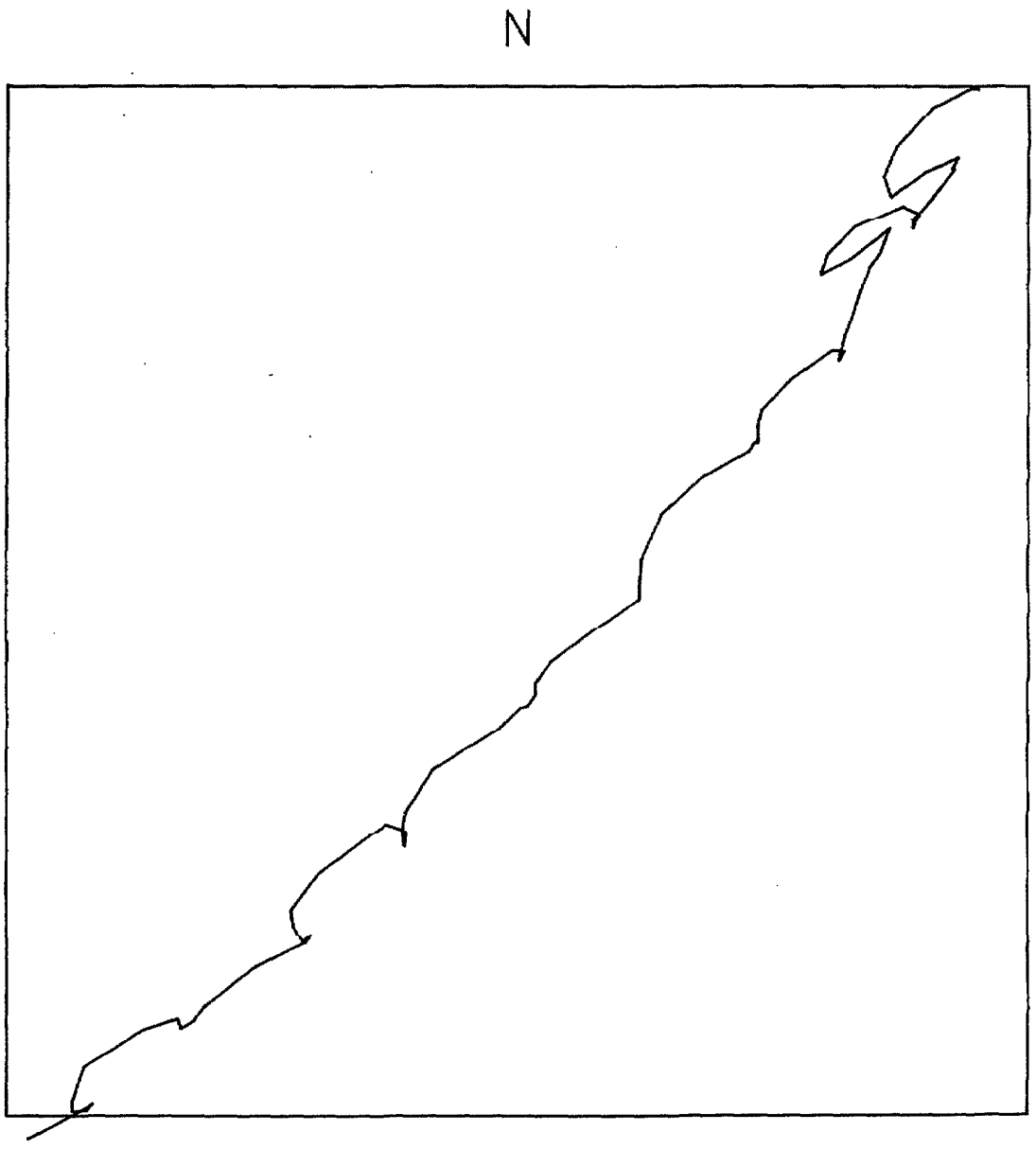
© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)

Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)

11- 7-87 al 16- 7-87 , 864 datos

Diagrama Progresivo de corrientes



Vector unidad de 2 horas

Figura 6.3-8

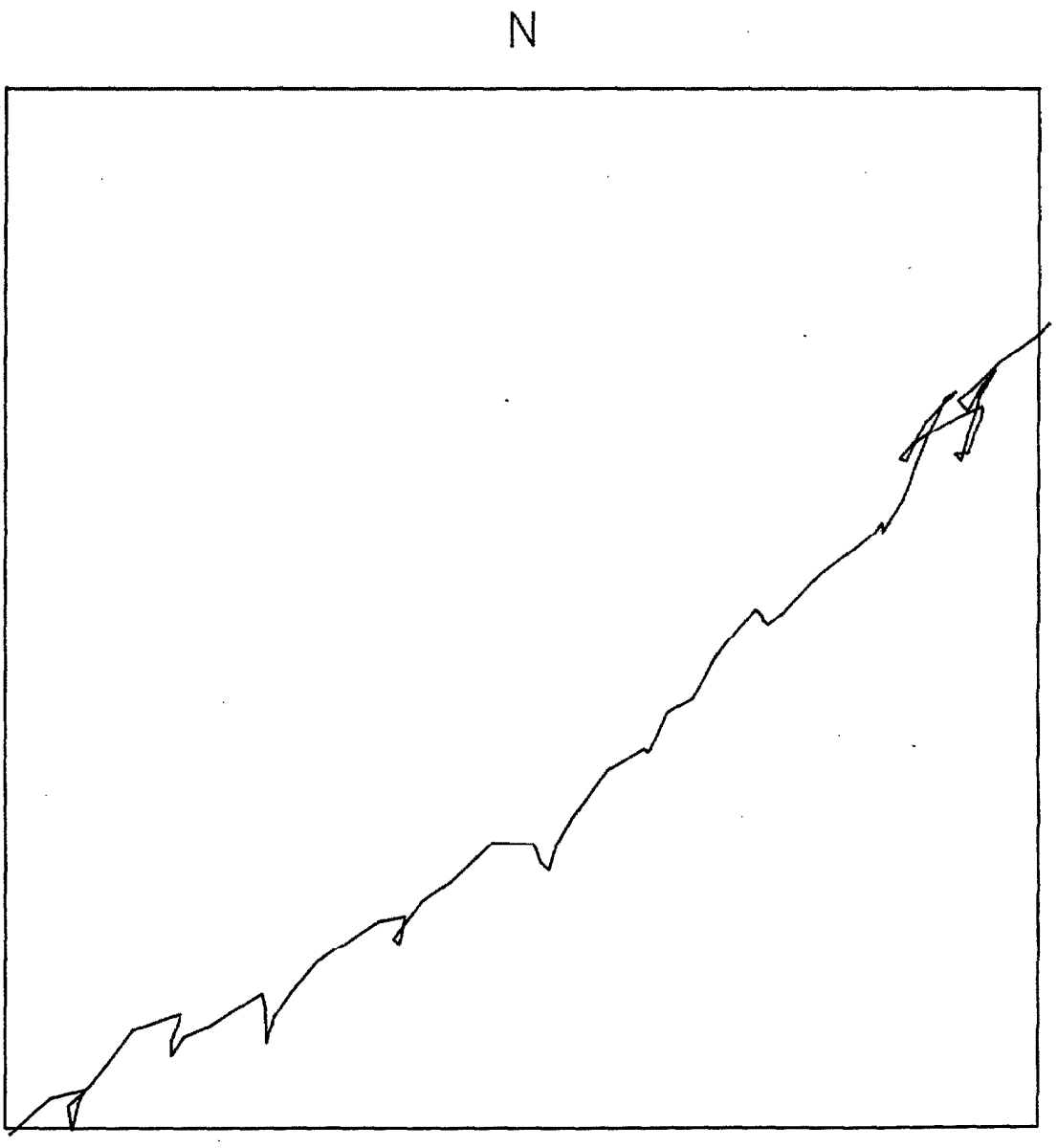
© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)

Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)

11- 7-87 al 16- 7-87 , 864 datos

Diagrama Progresivo de corrientes



Vector unidad de 2 horas

Figura 6.3-9

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos)
5- 7-87 a 19- 7-87 (2160 datos)

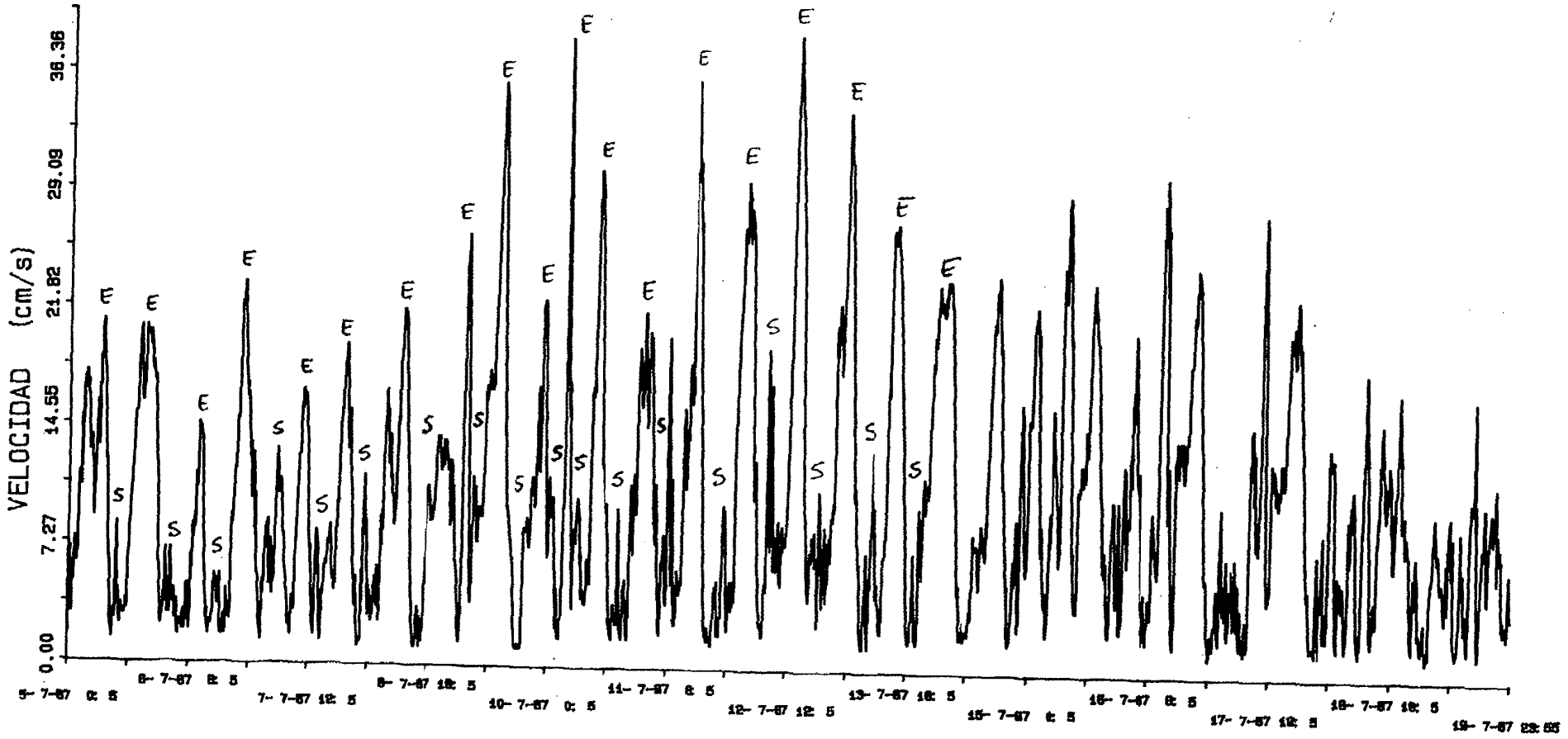


Figura 6.3-10

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos)
5- 7-87 a 19- 7-87 (2160 datos)

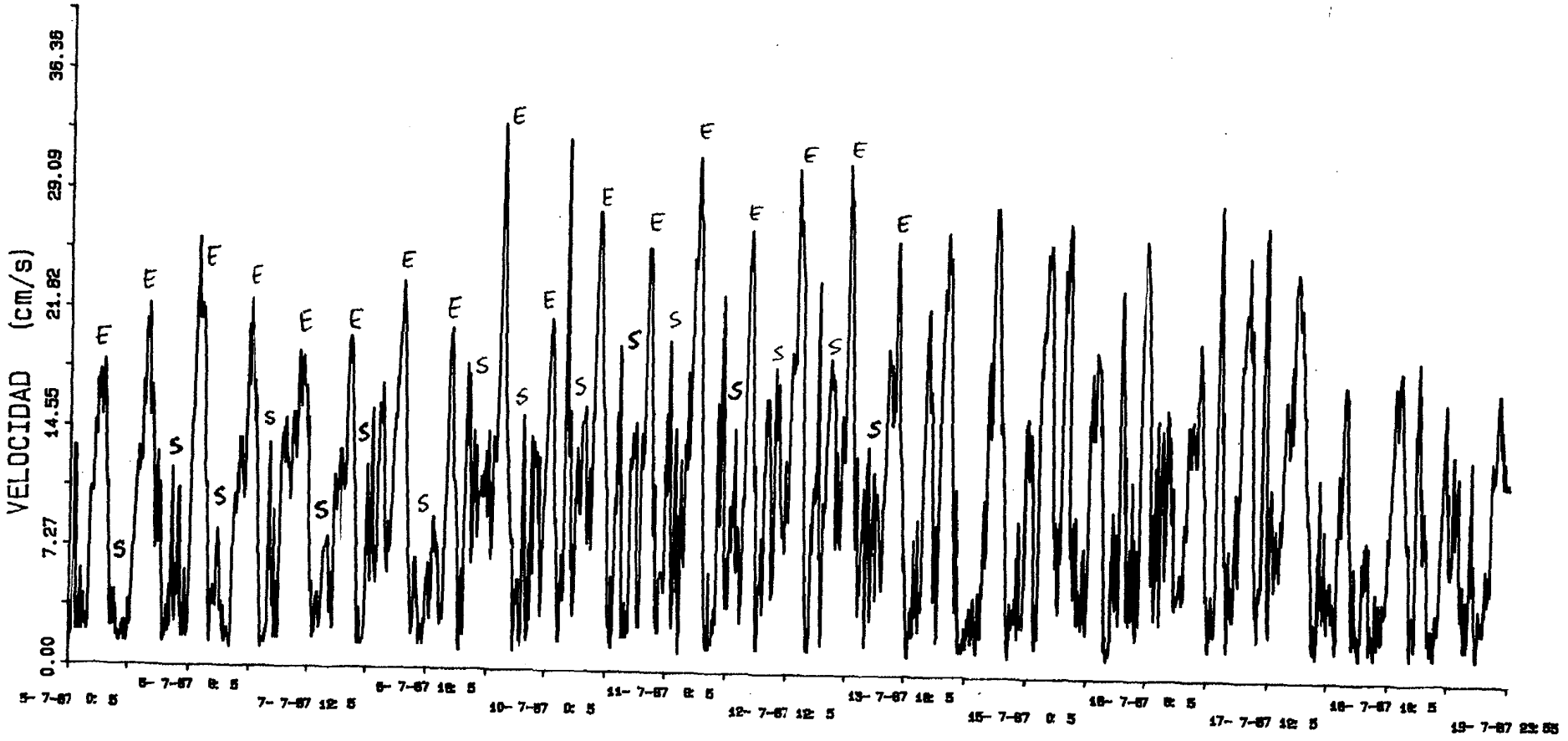


Figura 6.3-11

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)
Fichero : 23- 6-87 (4179 datos)
5- 7-87 a 19- 7-87 (2160 datos)

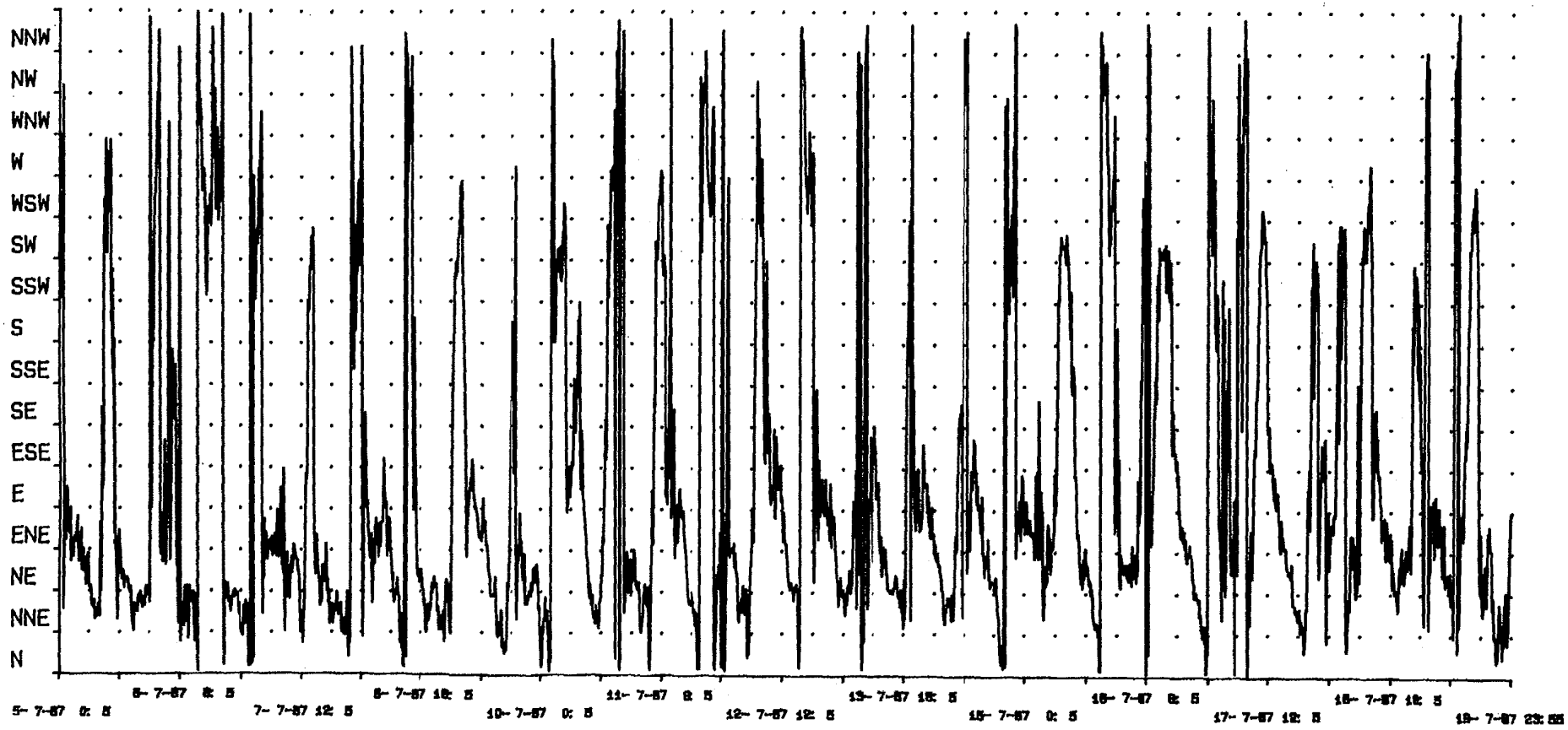


Figura 6.3-12

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)
Fichero : 23- 6-87 (4202 datos)
5- 7-87 a 19- 7-87 (2160 datos)

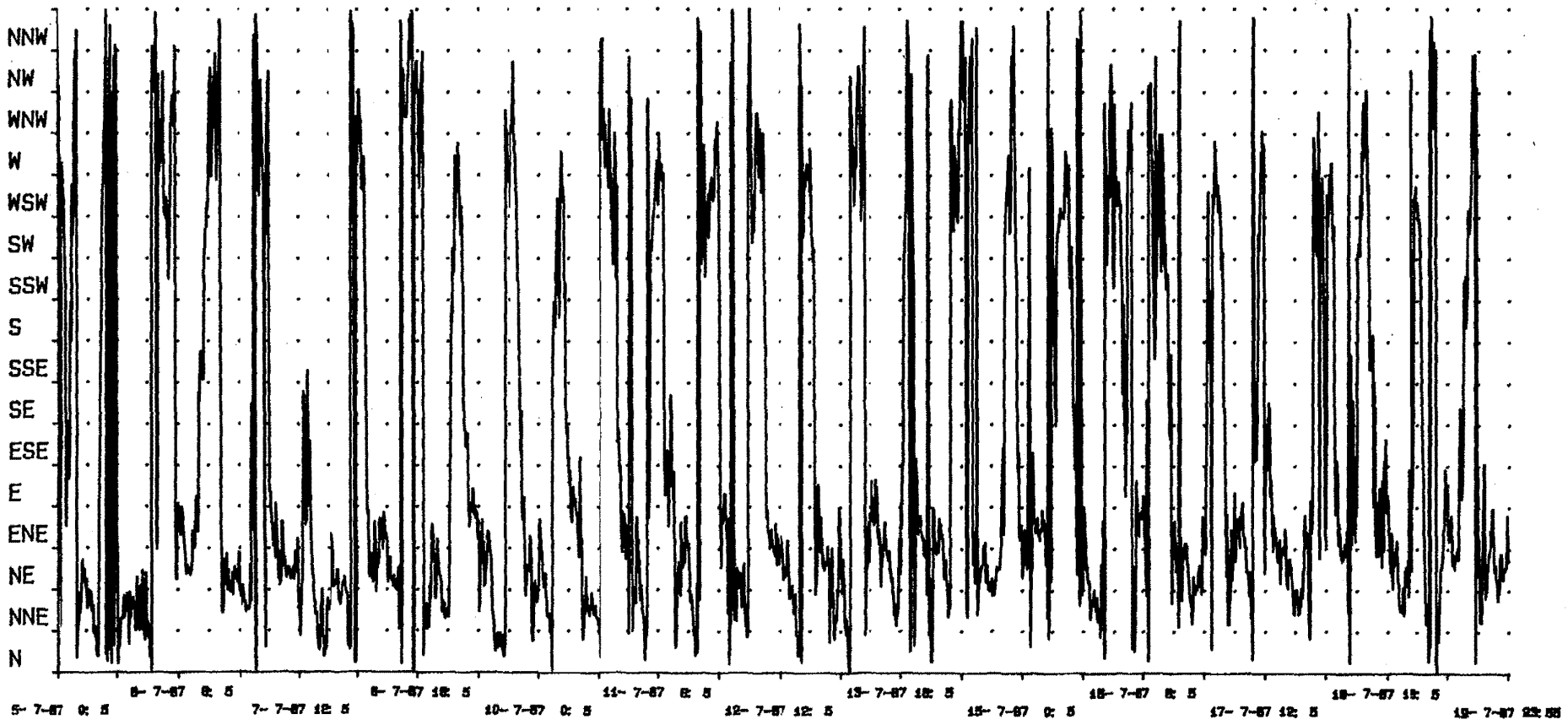


Figura 6.3-13

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

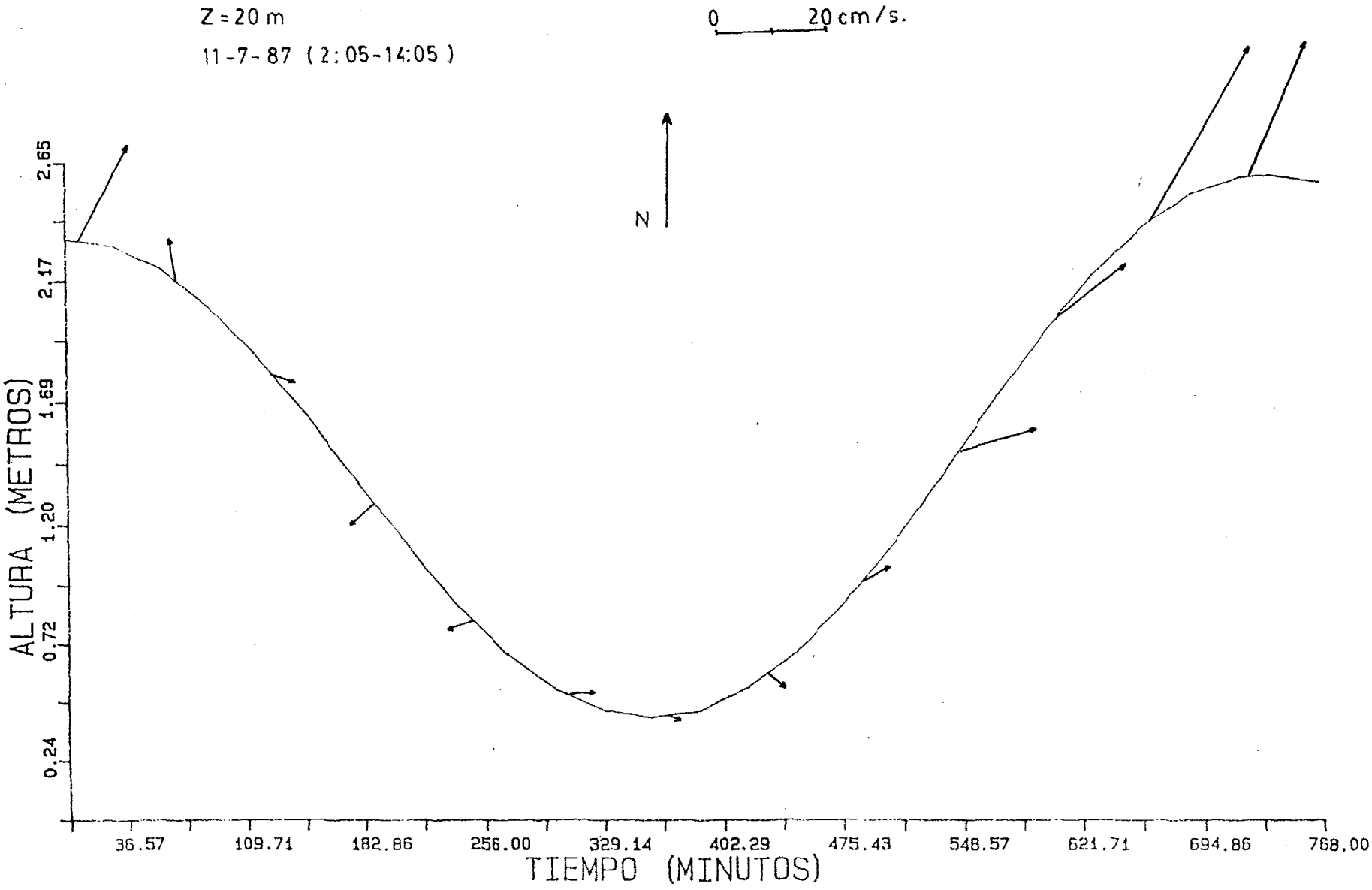


Figura 6.3-14

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

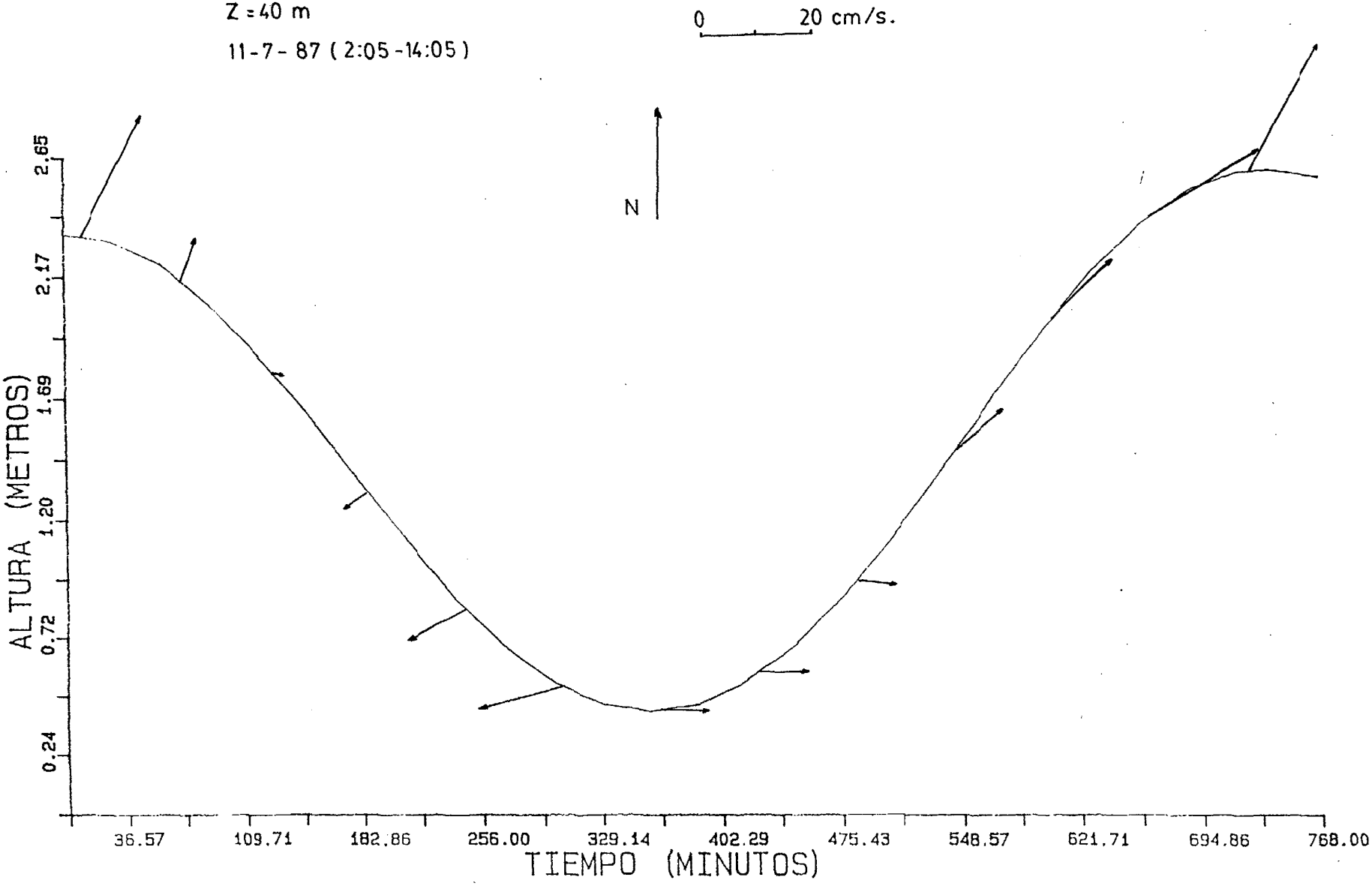


Figura 6.3-15

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

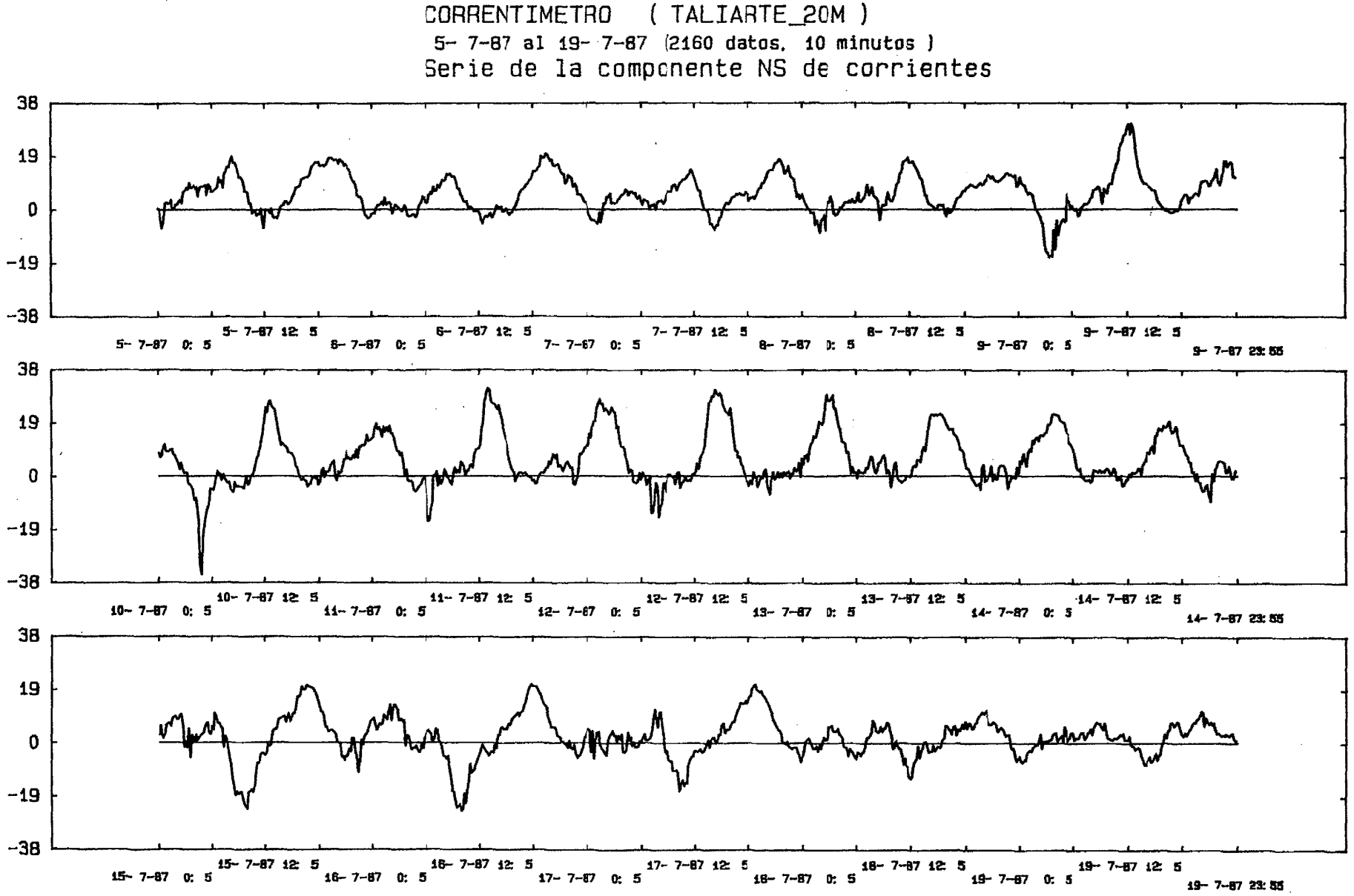


Figura 6.3-16

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003

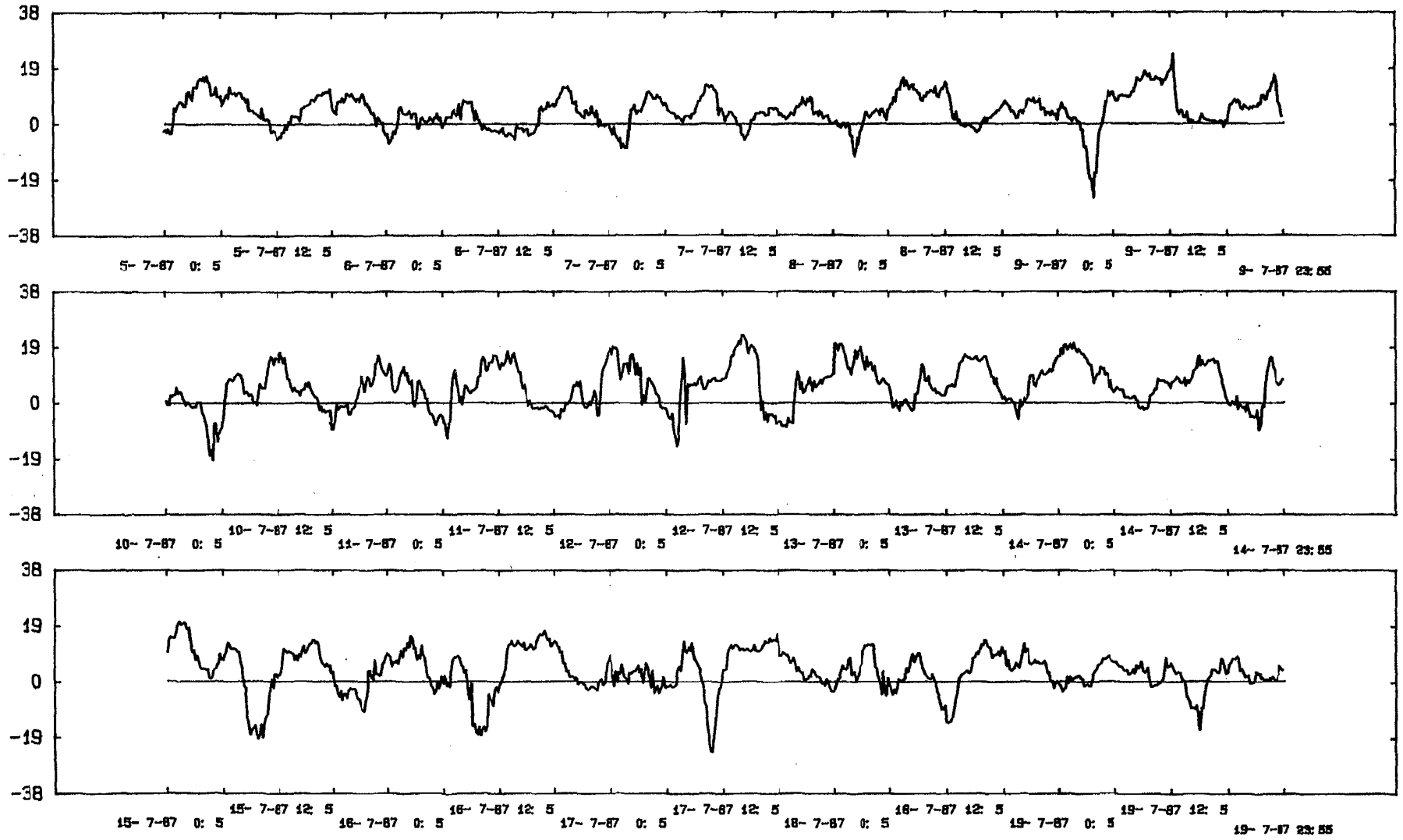


Figura 6.3-17

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

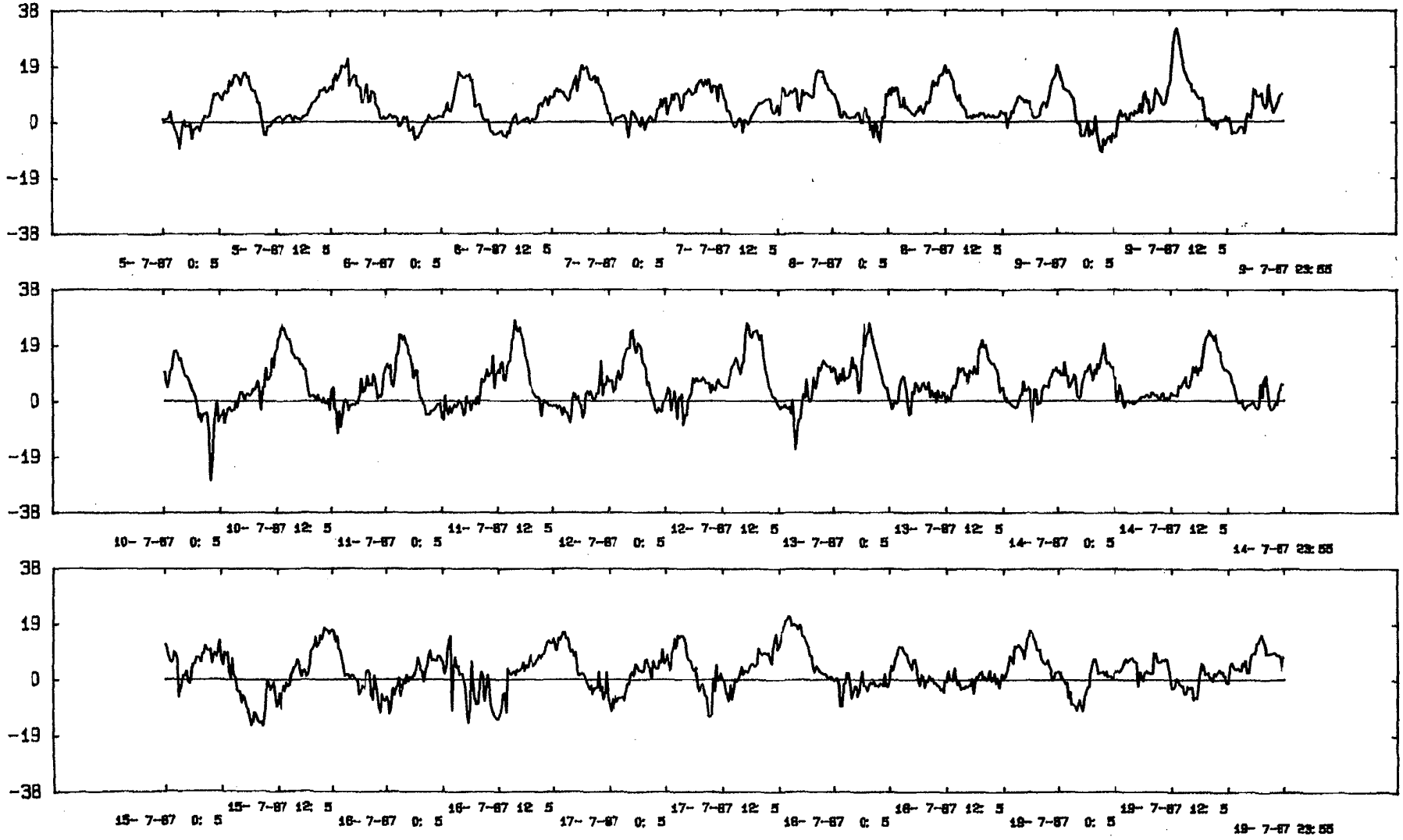


Figura 6.3-18

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

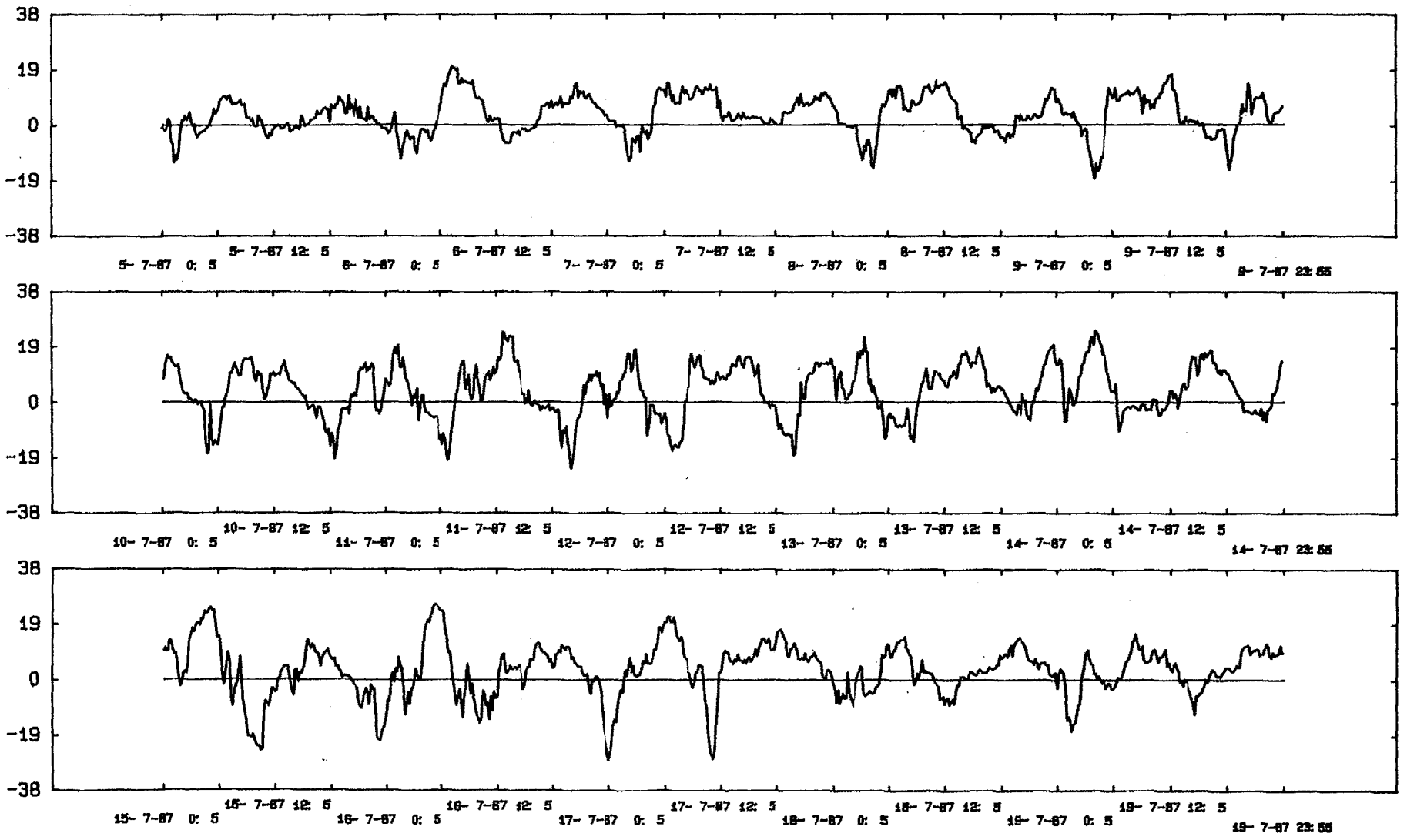


Figura 6.3-19

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003

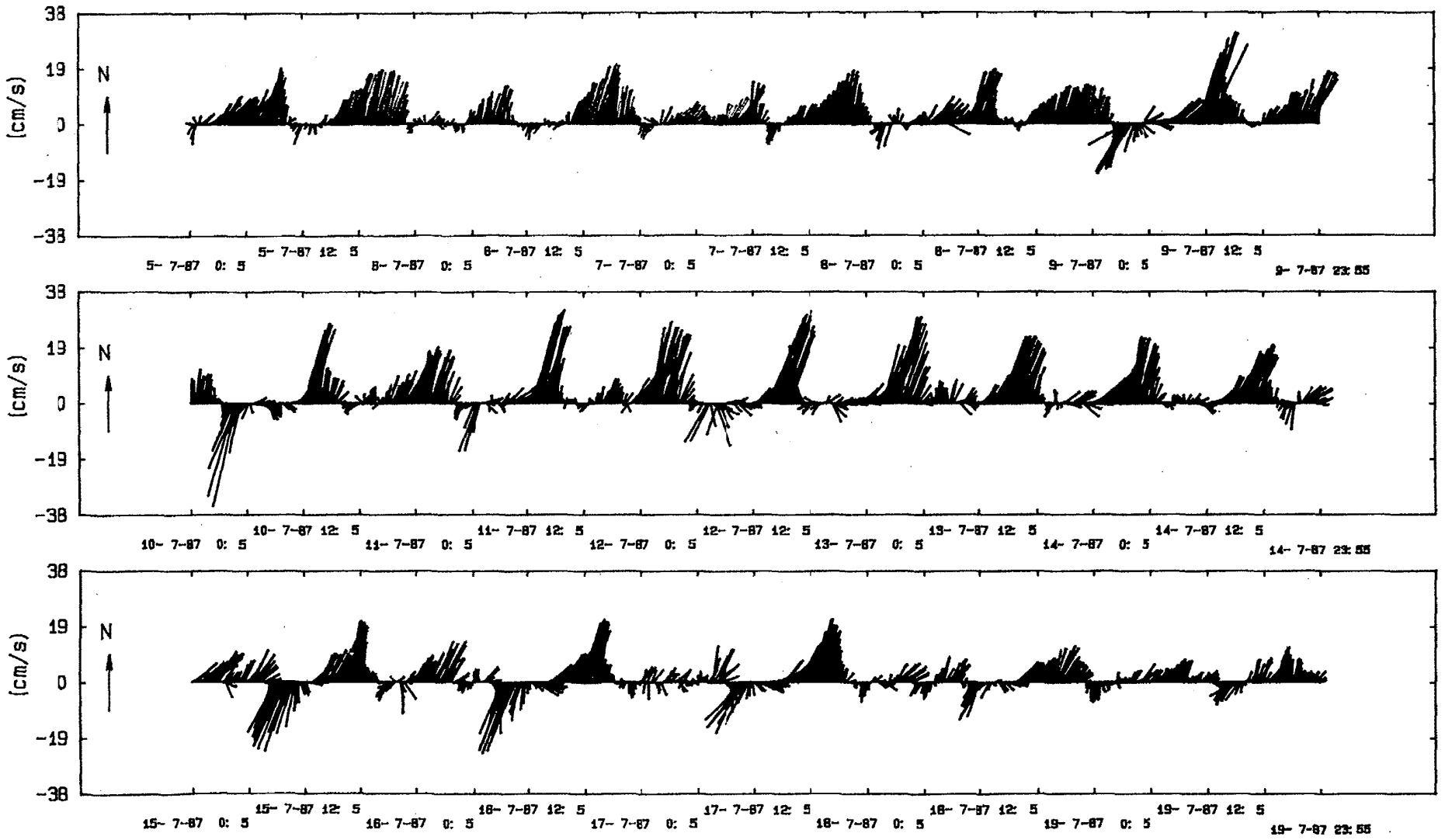


Figura 6.3-20

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

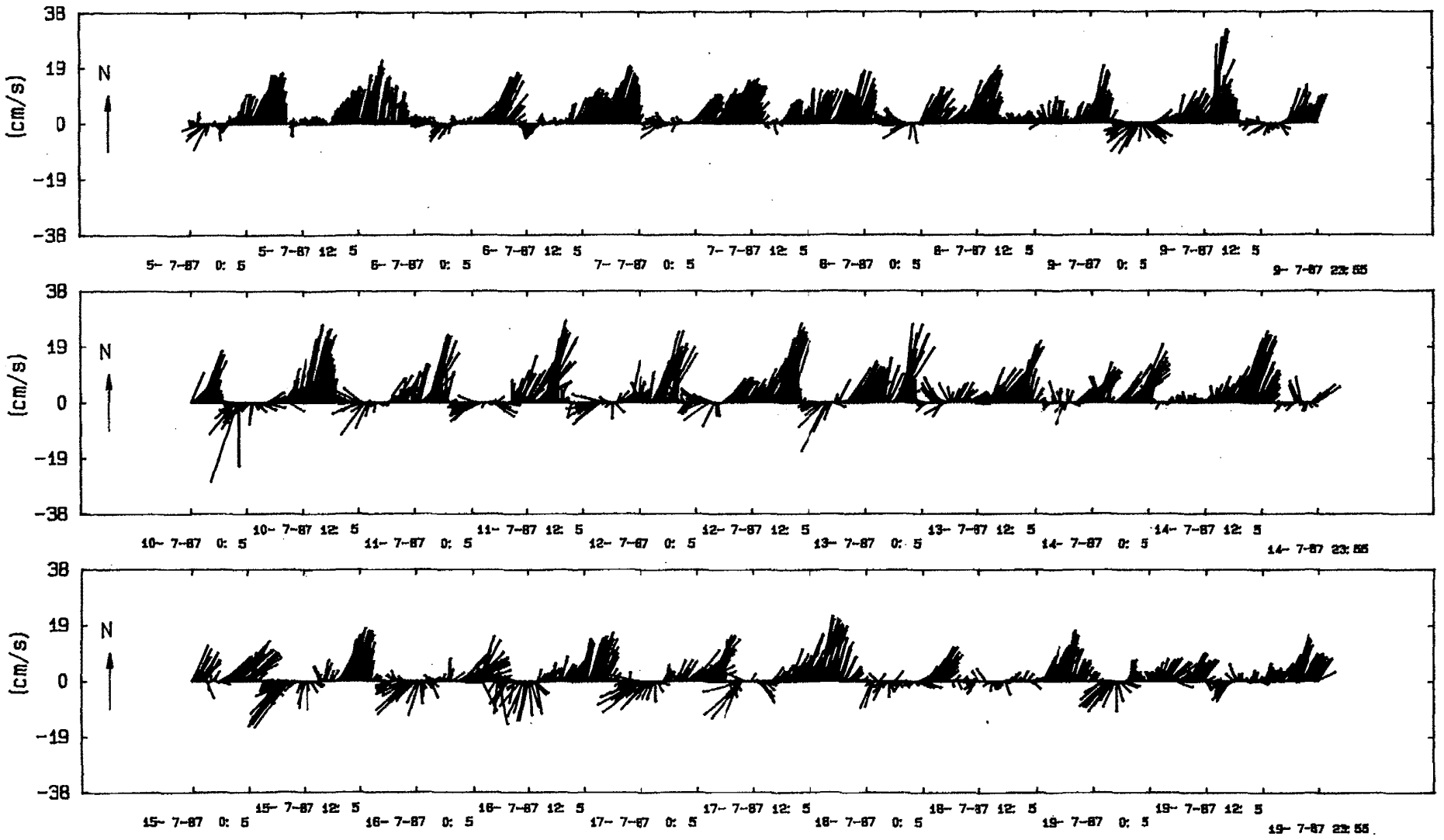


Figura 6.3-21

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

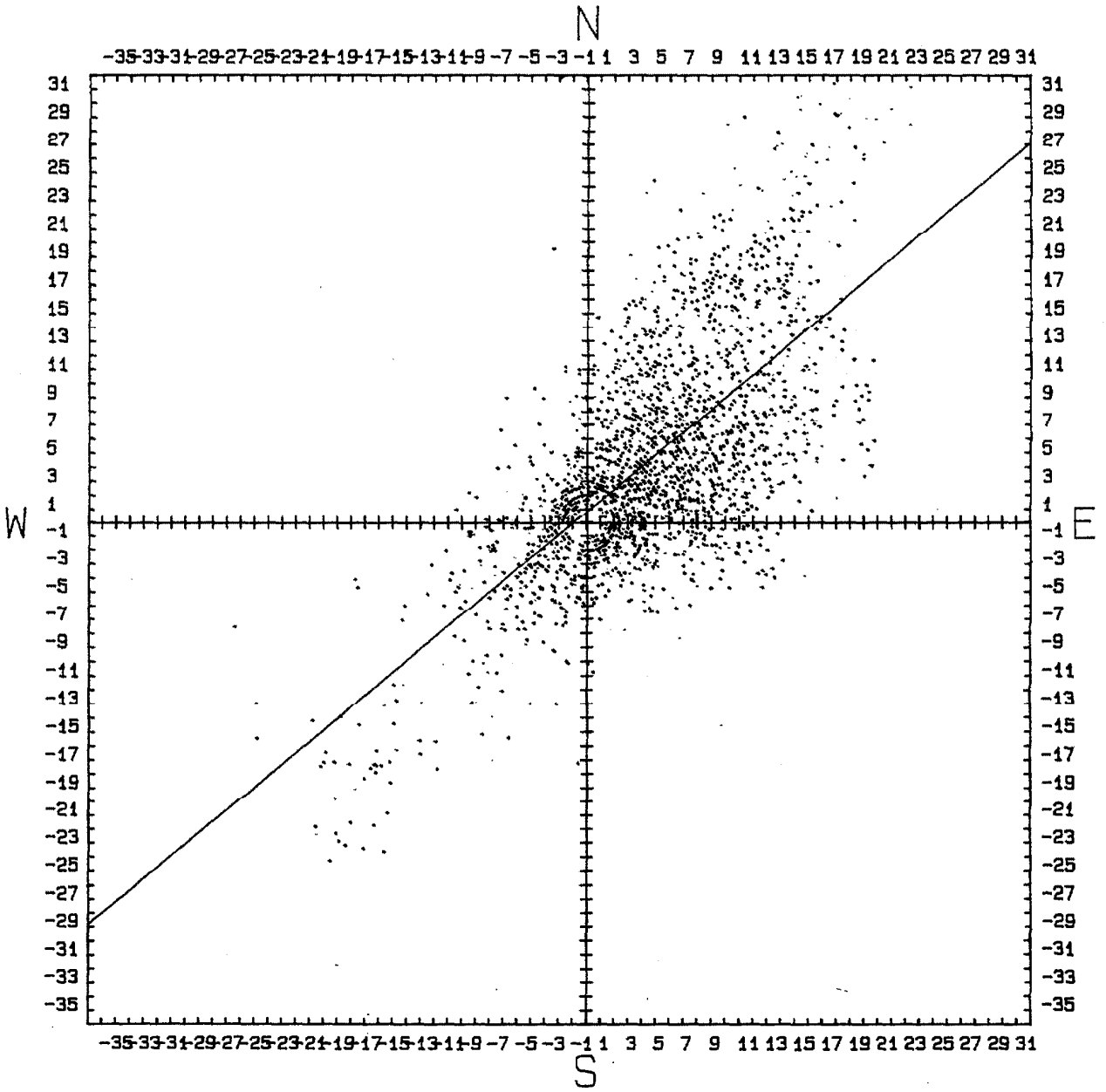
CORRENTIMETRO (TALIARTE_20M)

Fichero : 23- 6-87 (4179 datos, 10 minutos)

5- 7-87 al 19- 7-87 , 2160 datos

Diagrama polar de corrientes

Angulo = 39.4592 grados



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Figura 6.3-22

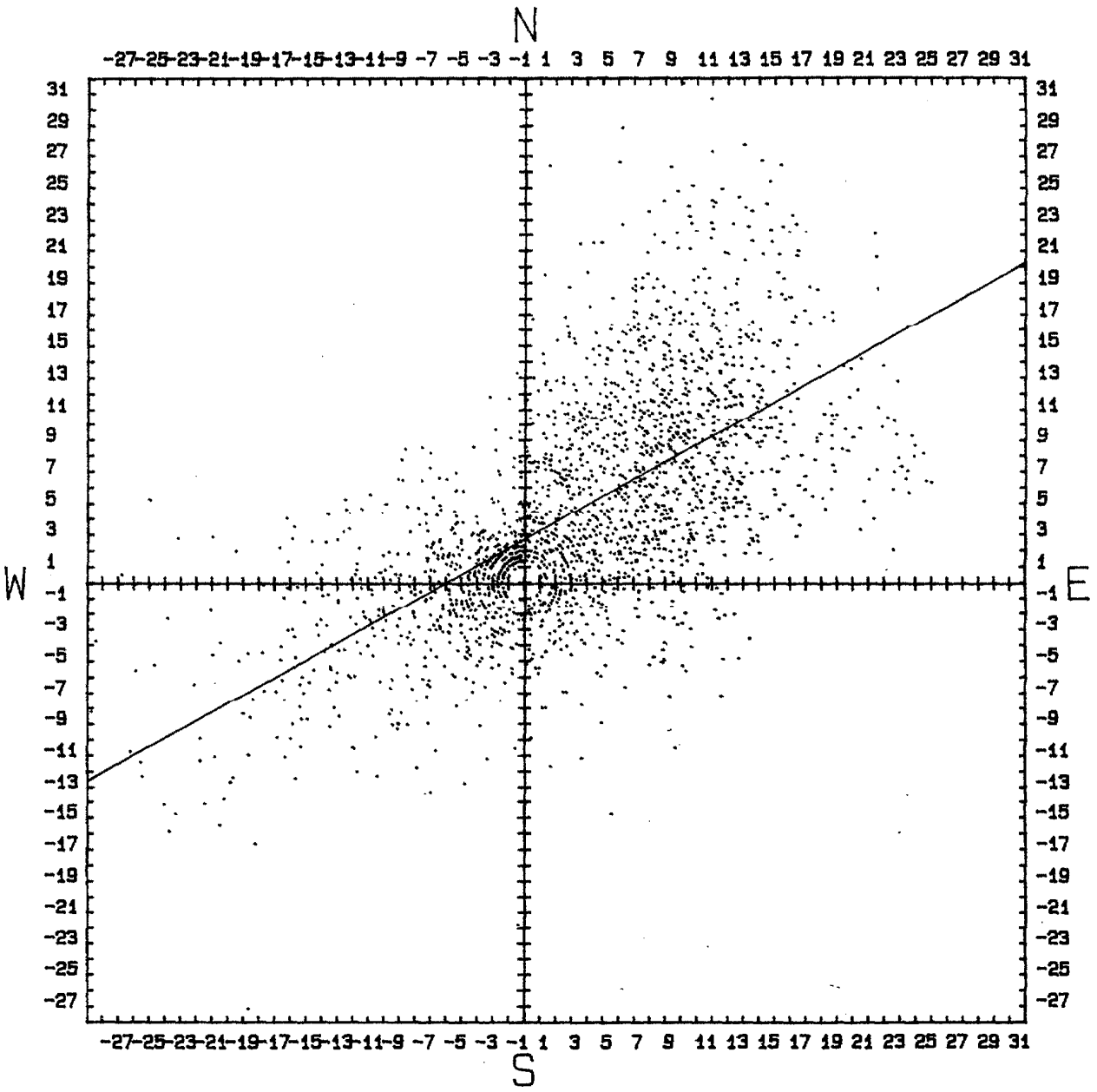
CORRENTIMETRO (TALIARTE_40M)

Fichero : 23- 6-87 (4202 datos, 10 minutos)

5- 7-87 al 19- 7-87 , 2160 datos

Diagrama polar de corrientes

Angulo = 28.7299 grados



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Figura 6.3-23

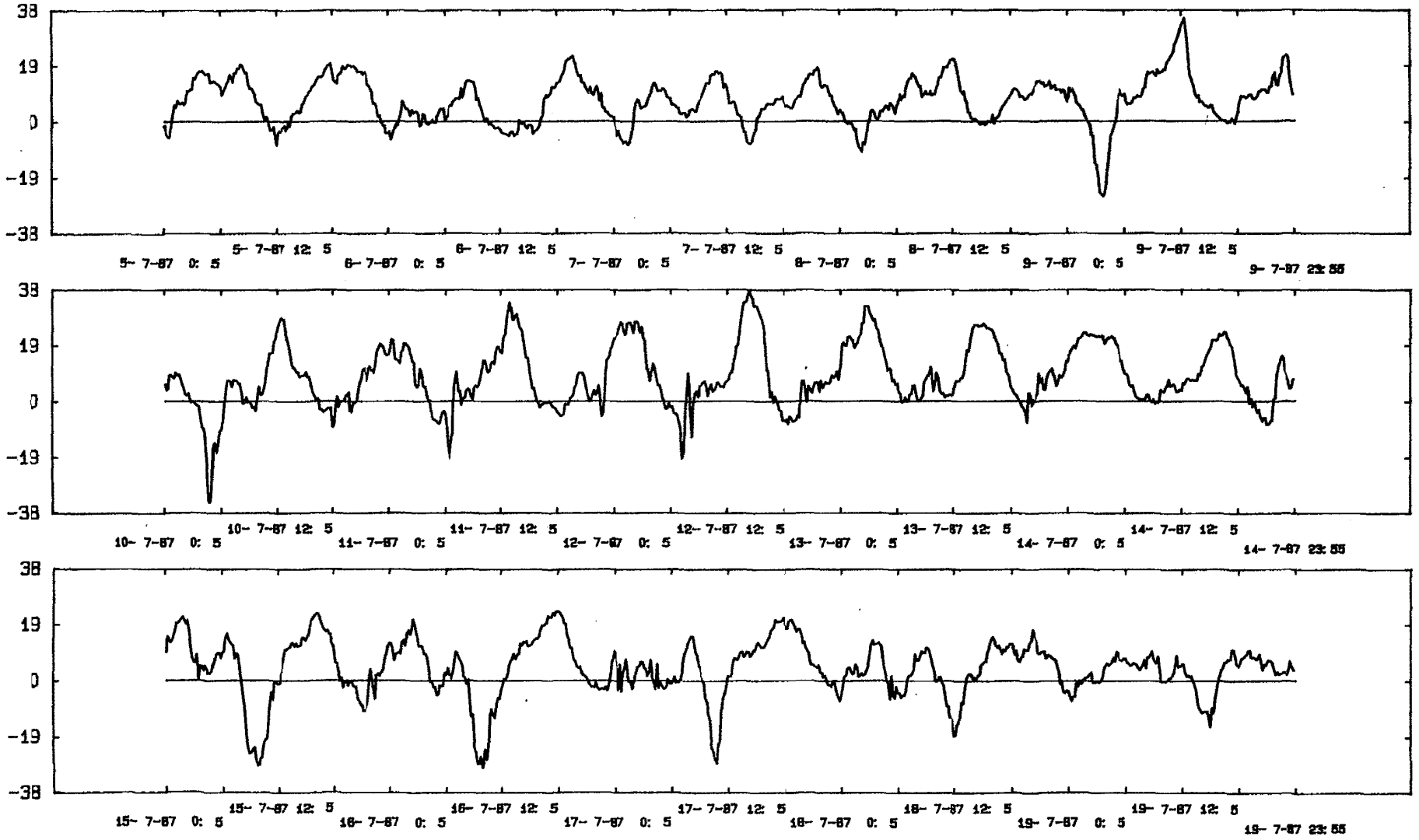


Figura 6.3-24

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

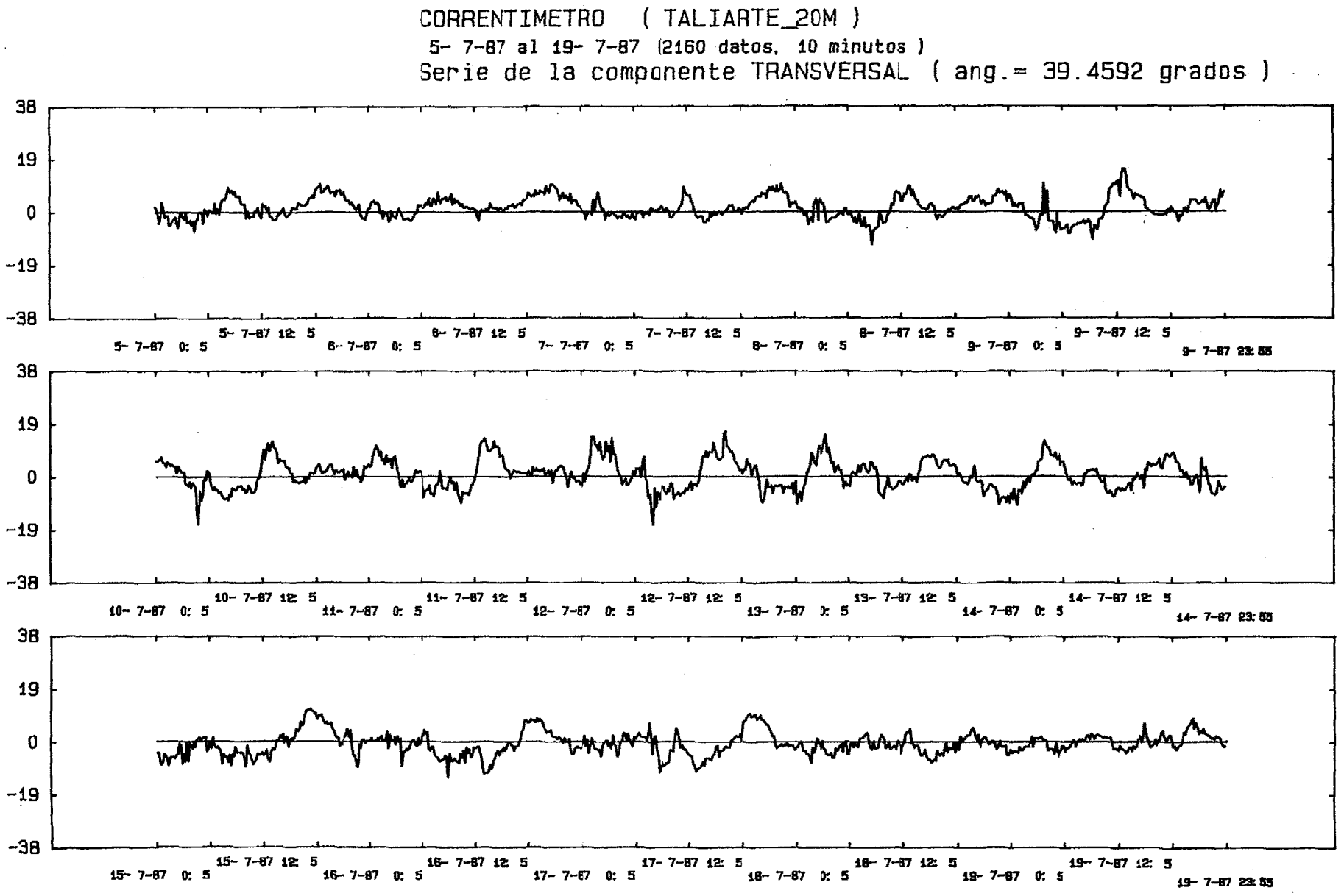


Figura 6.3-25

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003

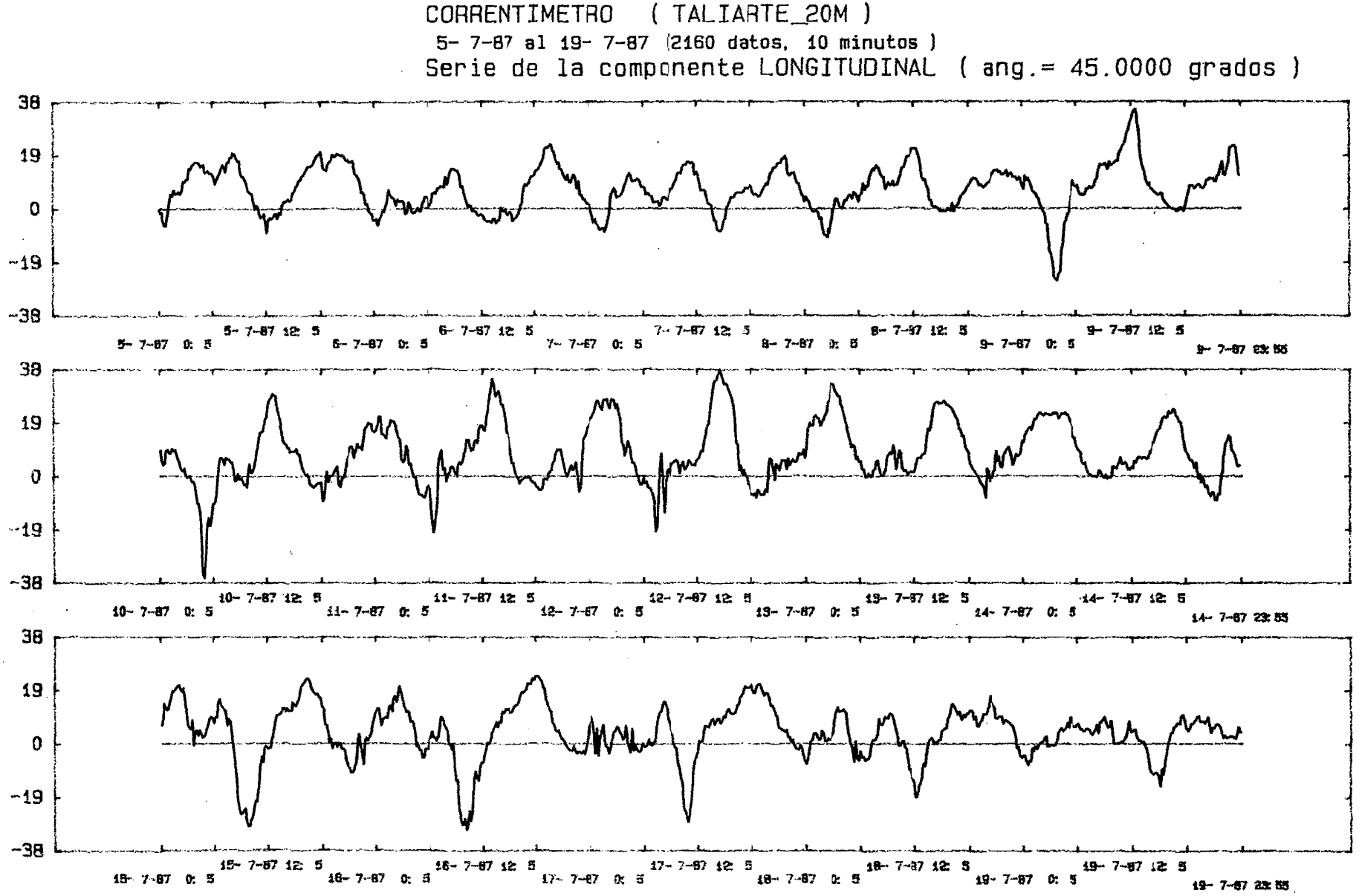


Figura 6.3-30

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

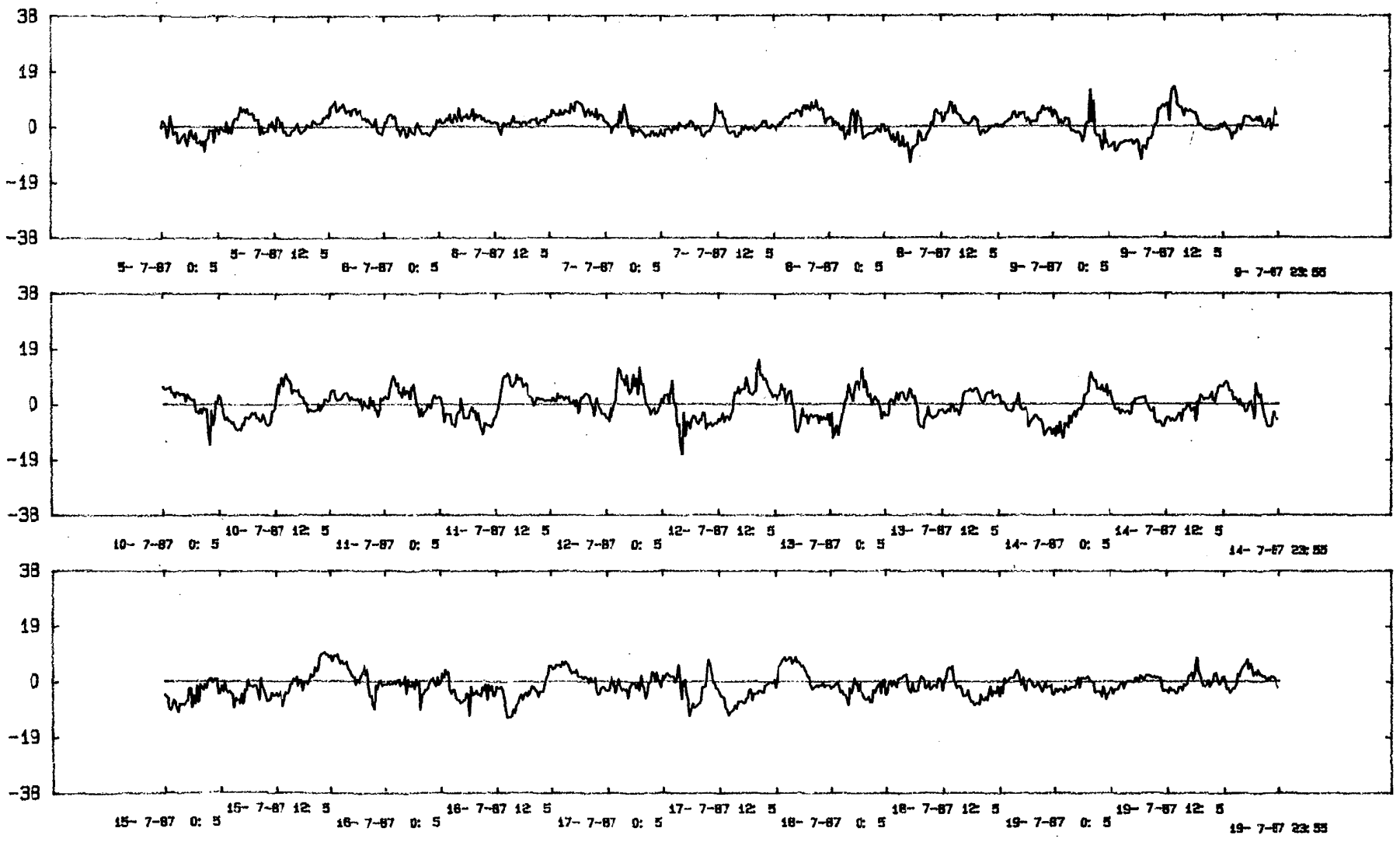


Figura 6.3-31

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

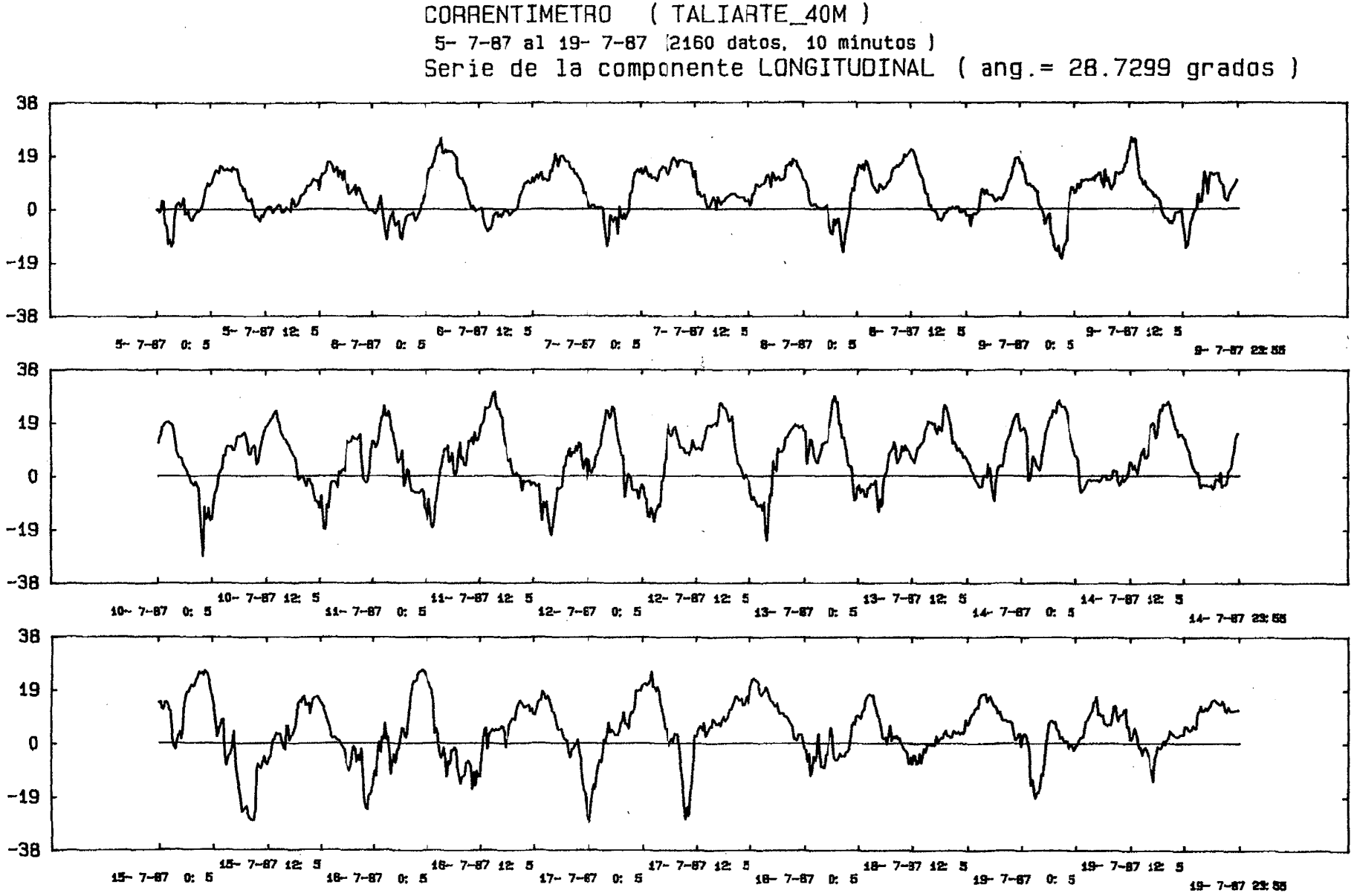


Figura 6.3-26

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003

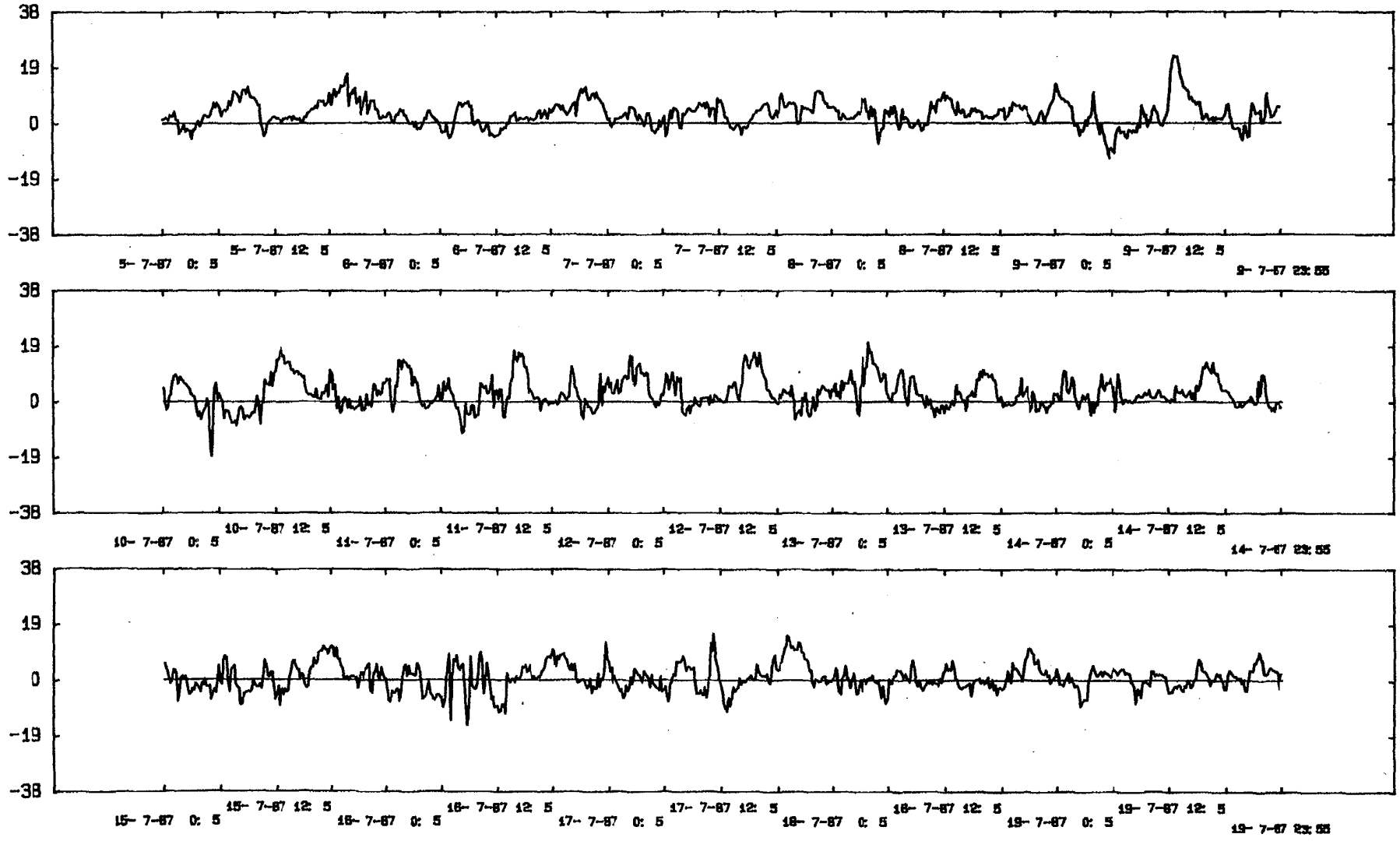


Figura 6.3-27

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

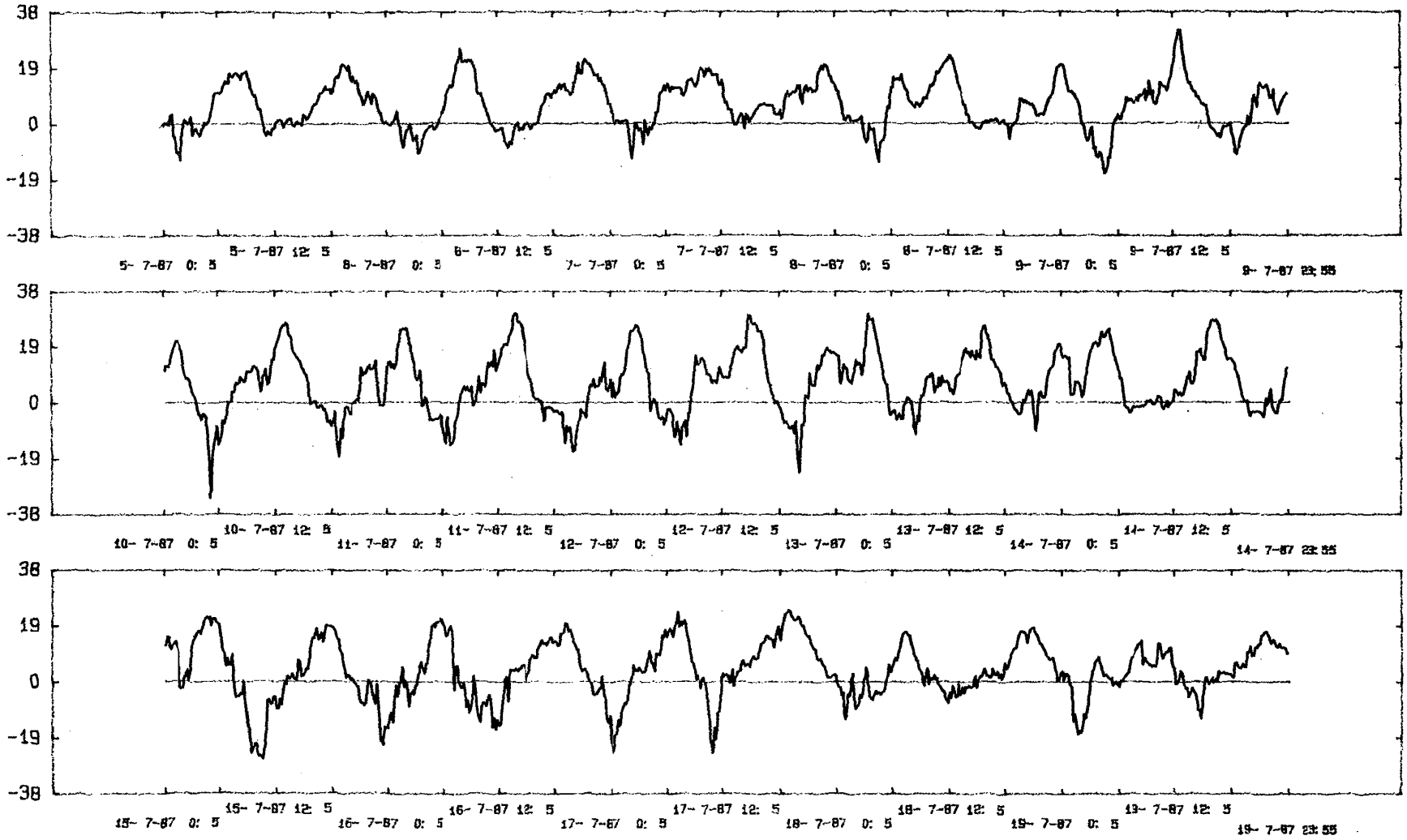


Figura 6.3-28

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

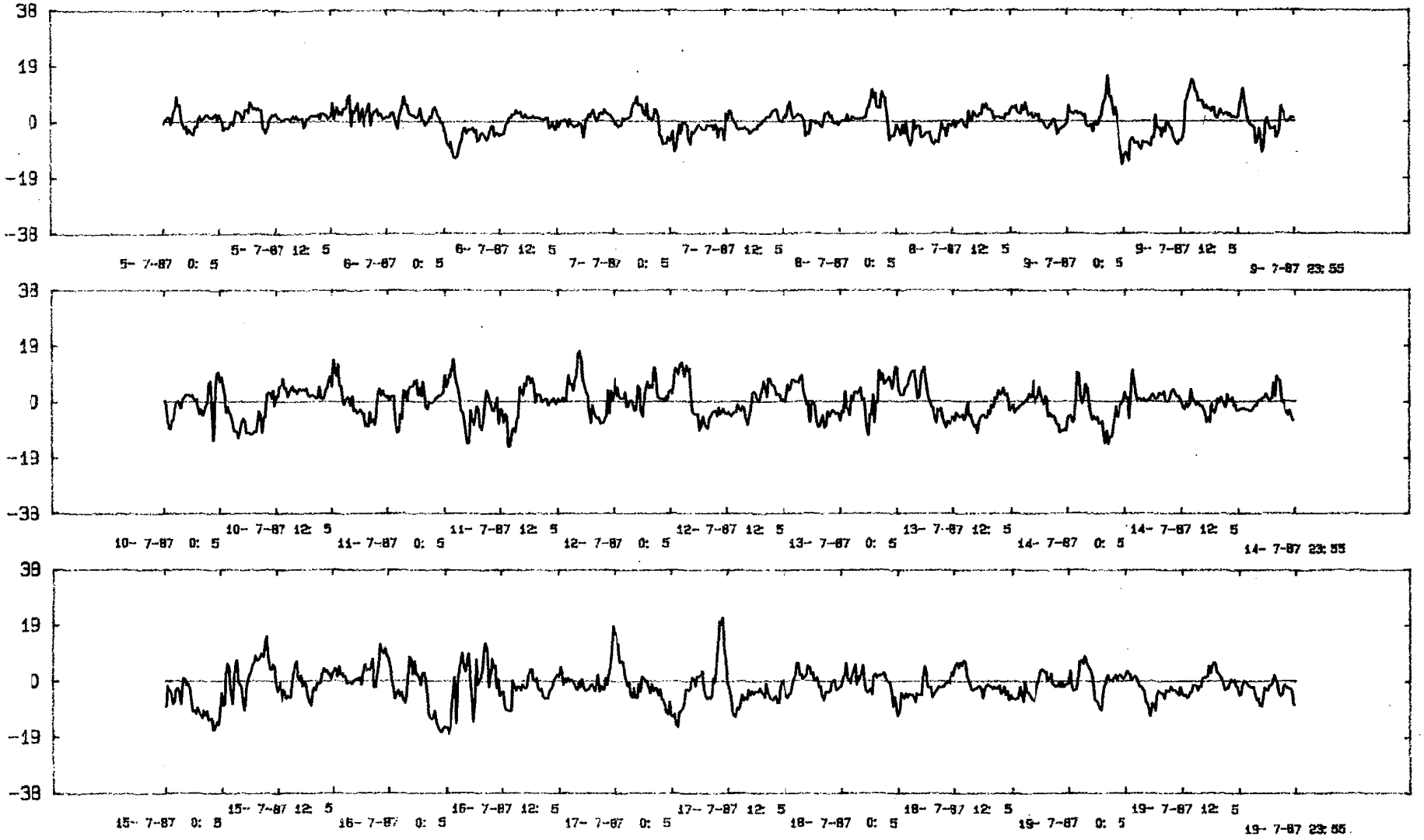
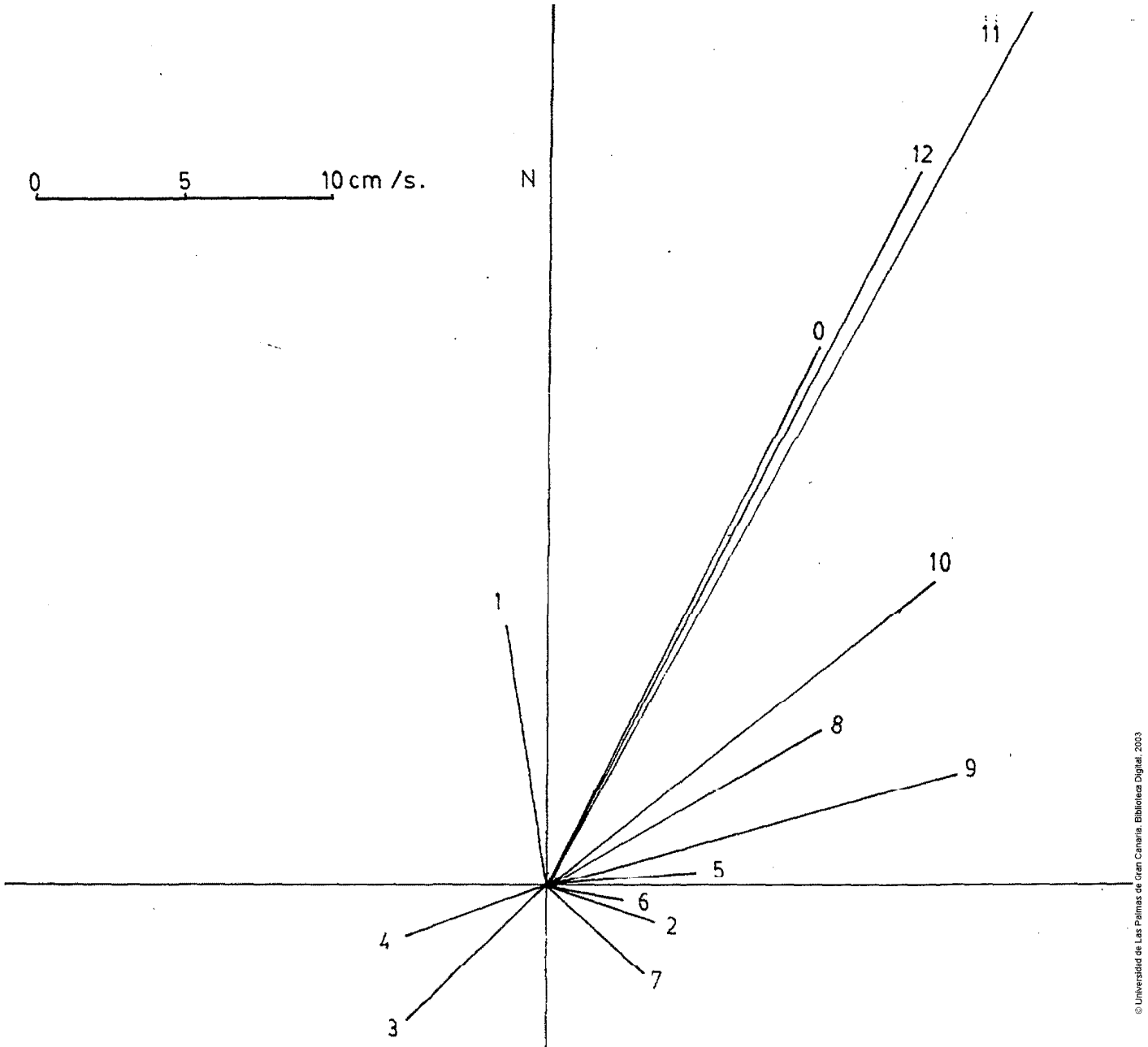


Figura 6.3-29

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

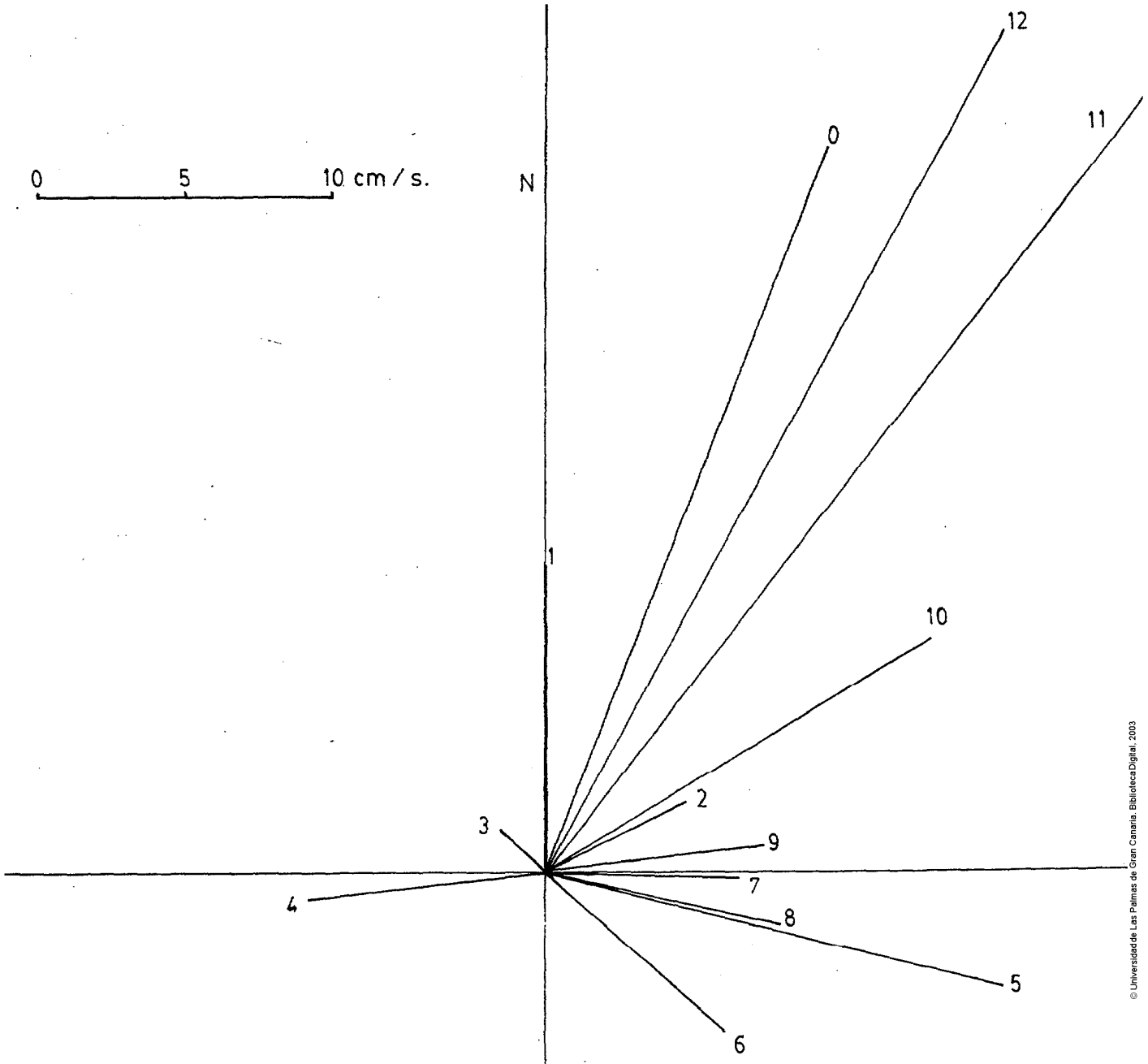


11-7-87 (2:05-14:05)

Z = 20 m

Figura 6.3-32

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

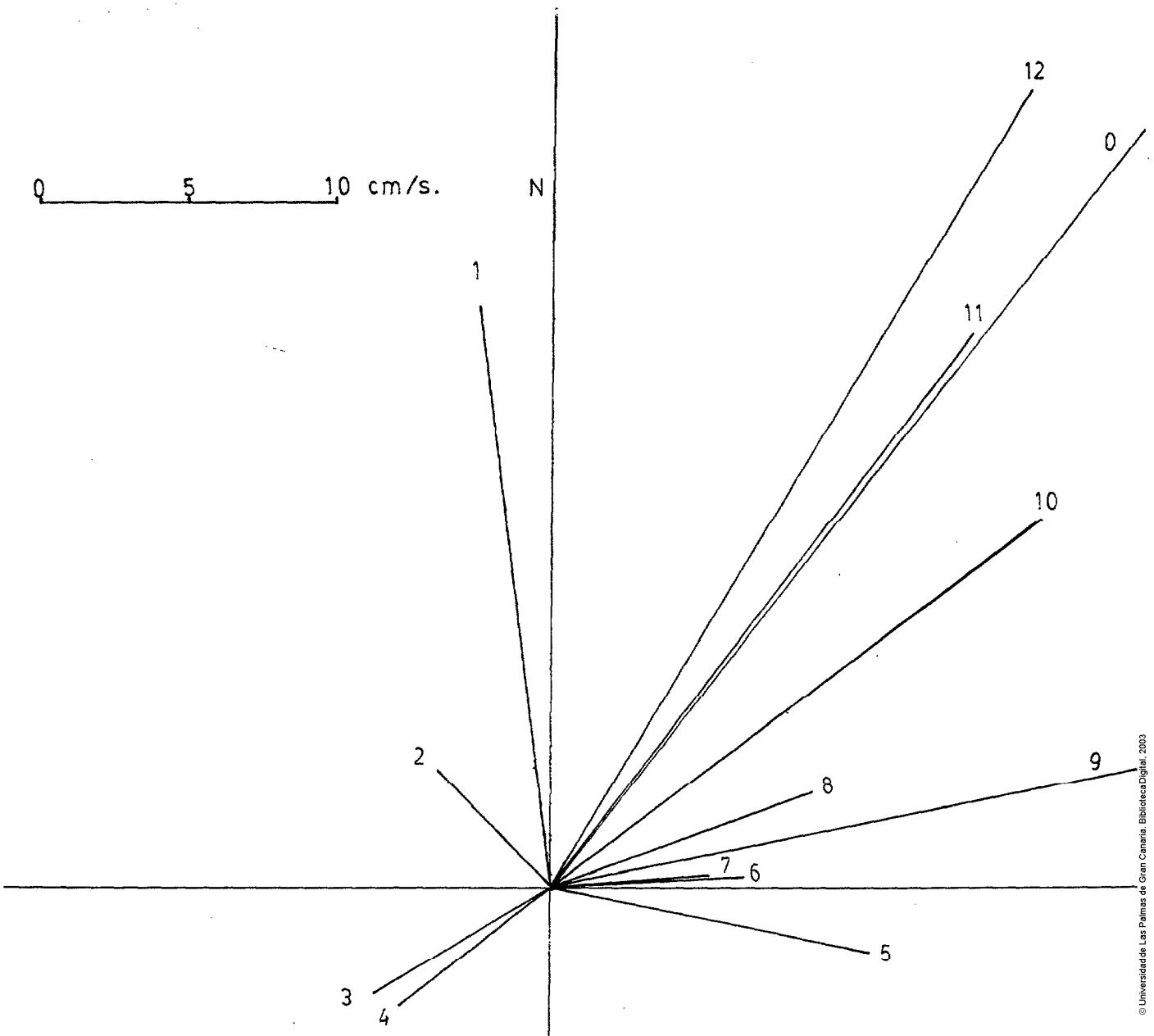


© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

12-7-87 (2:55-14: 55)

Z = 20m

Figura 6.3-33

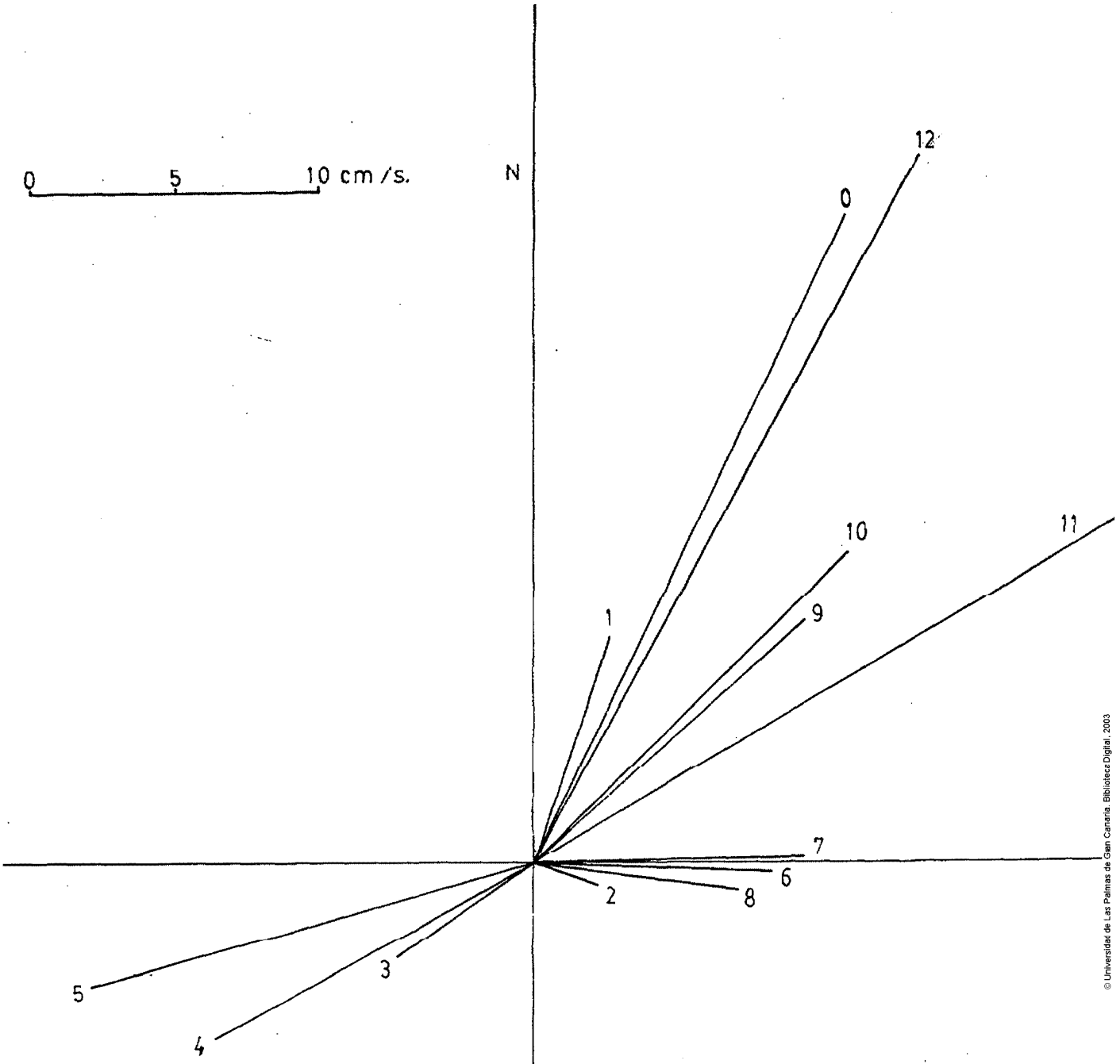


© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

12/13-7-87 (15:15 - 3:15)

Z = 20 m

Figura 6.3-34

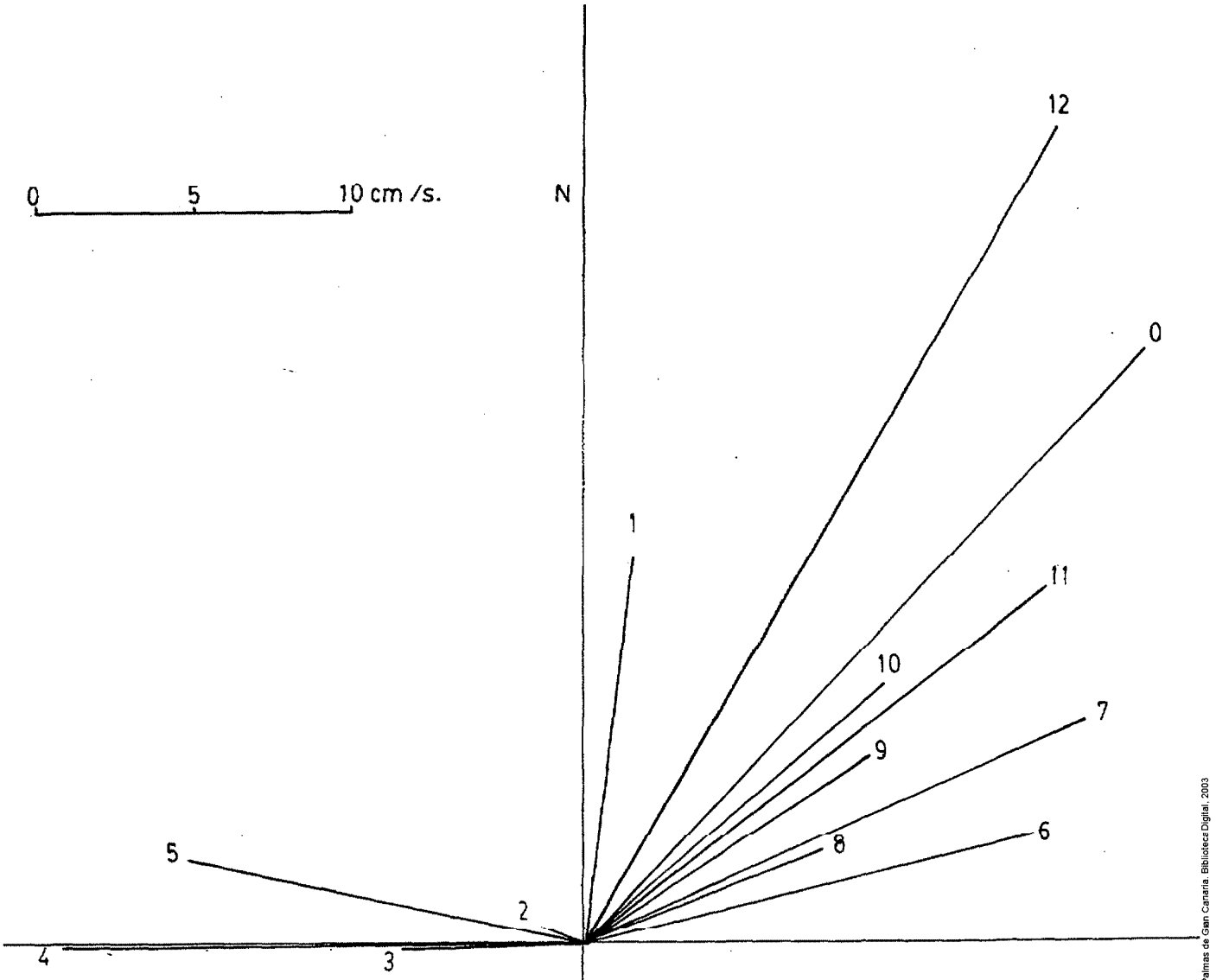


© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

11-7-87 (2:05-14:05)

Z = 40 m

Figura 6.3-35

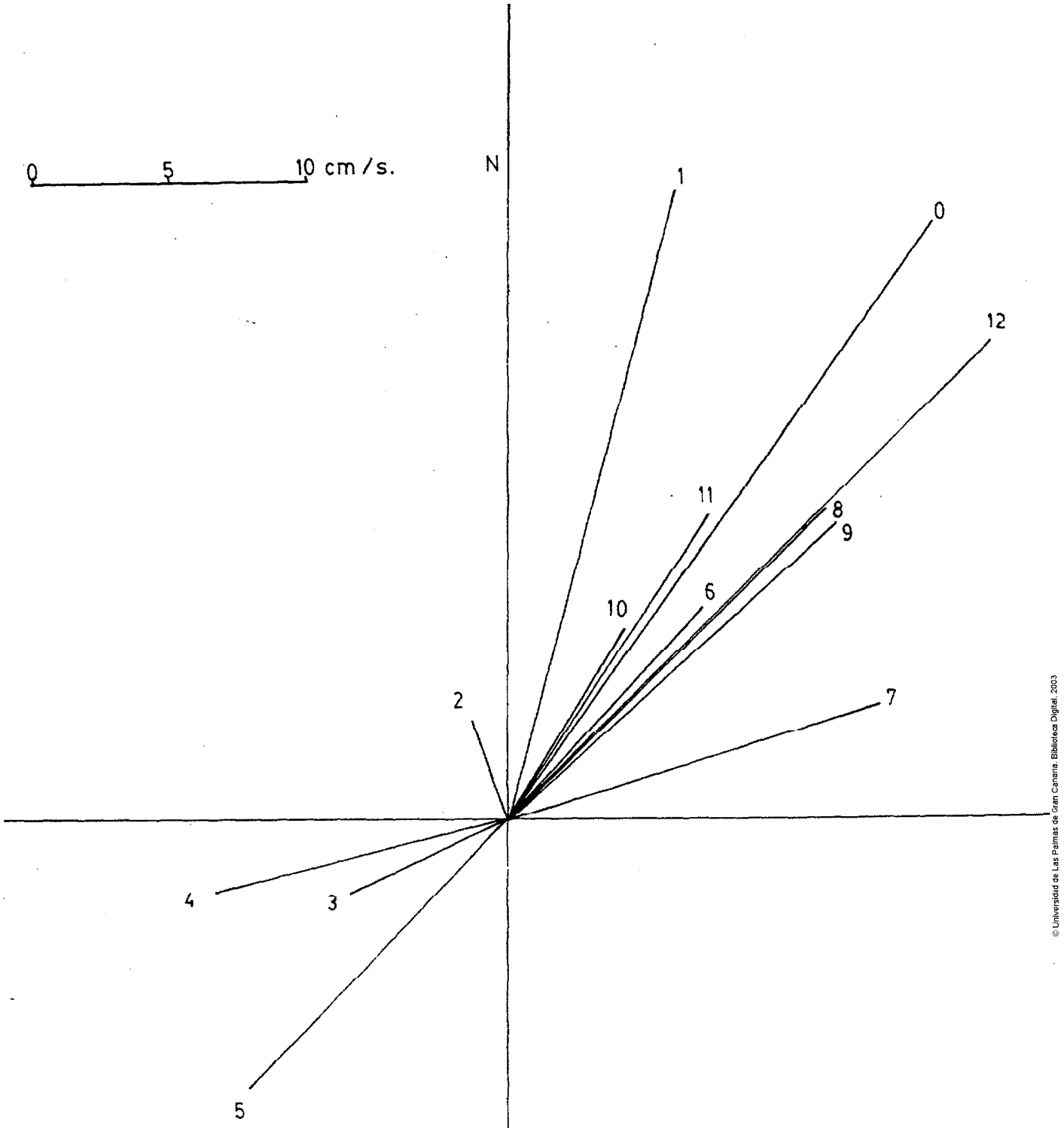


12-7-87 (2:55 -14:55)

Z = 40 m

Figura 6.3-36

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

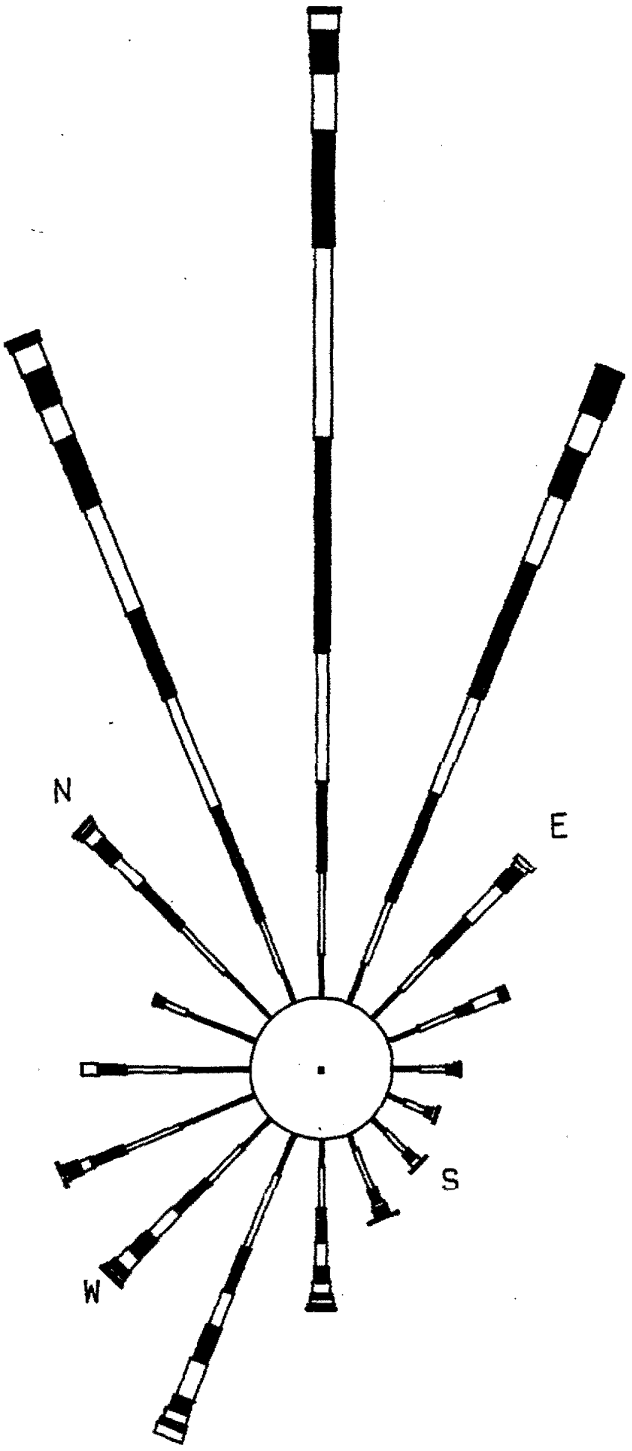


12/13-7-87 (15:15-3:15)

Z = 40 m

Figura 6.3-37

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



ROSA DE CORRIENTES (TALIARTE_40M)
5- 7-87 a 19- 7-87 (10 minutos)
1er Intervalo : 0.0 - 3.0 cm/s

Figura 6.4-1

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

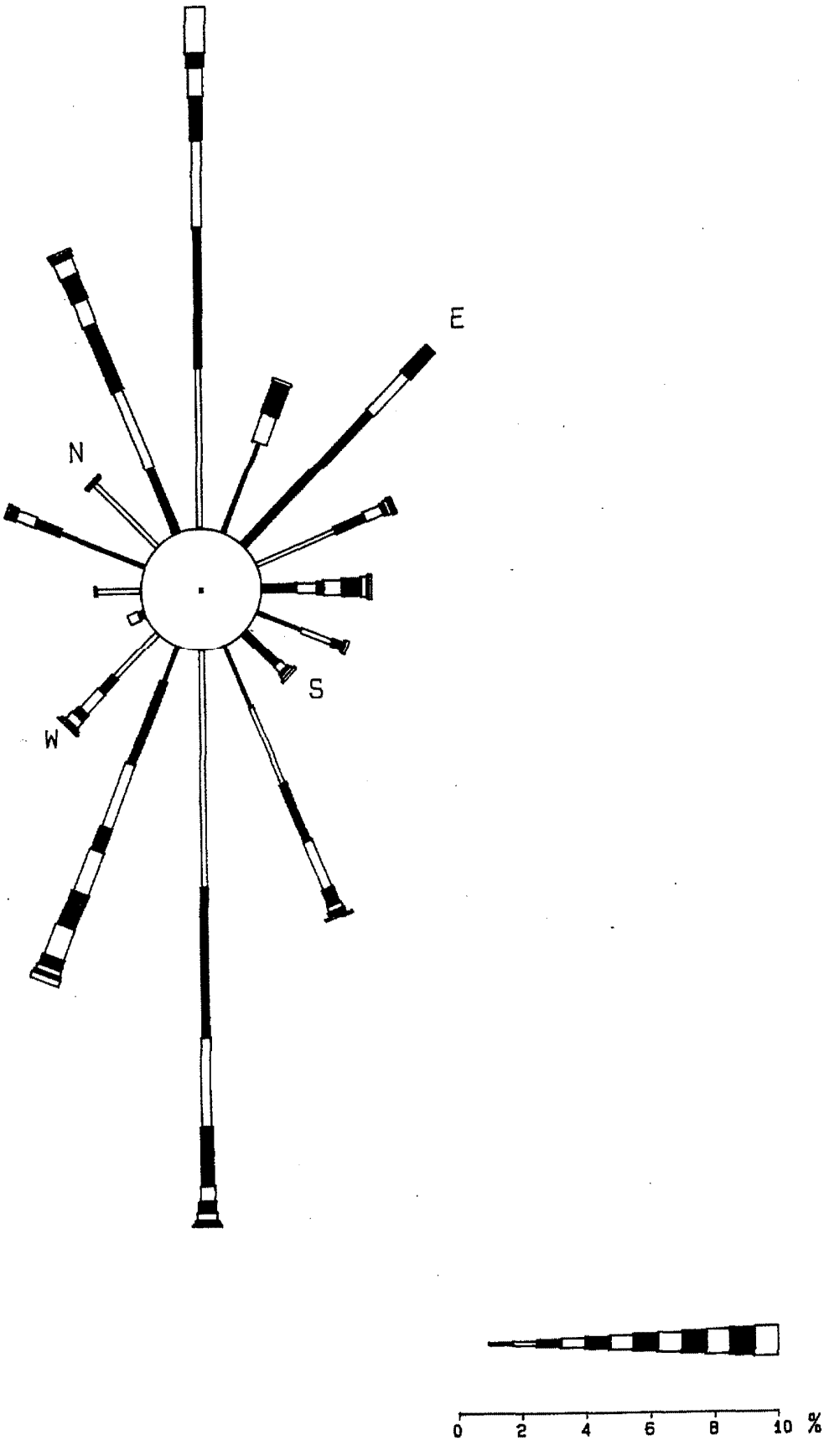


Figura 6.4-2

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

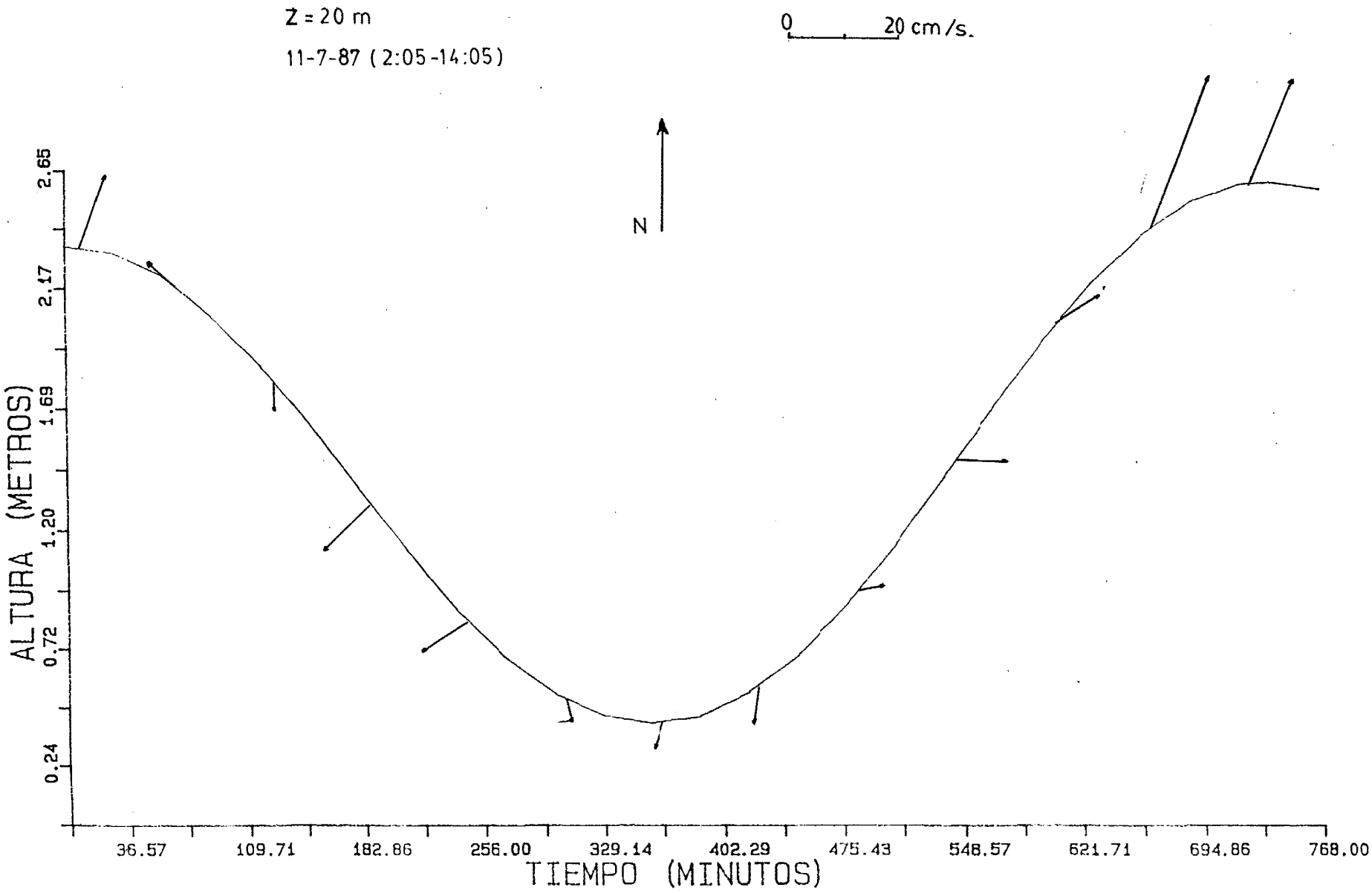


Figura 6.4-3

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

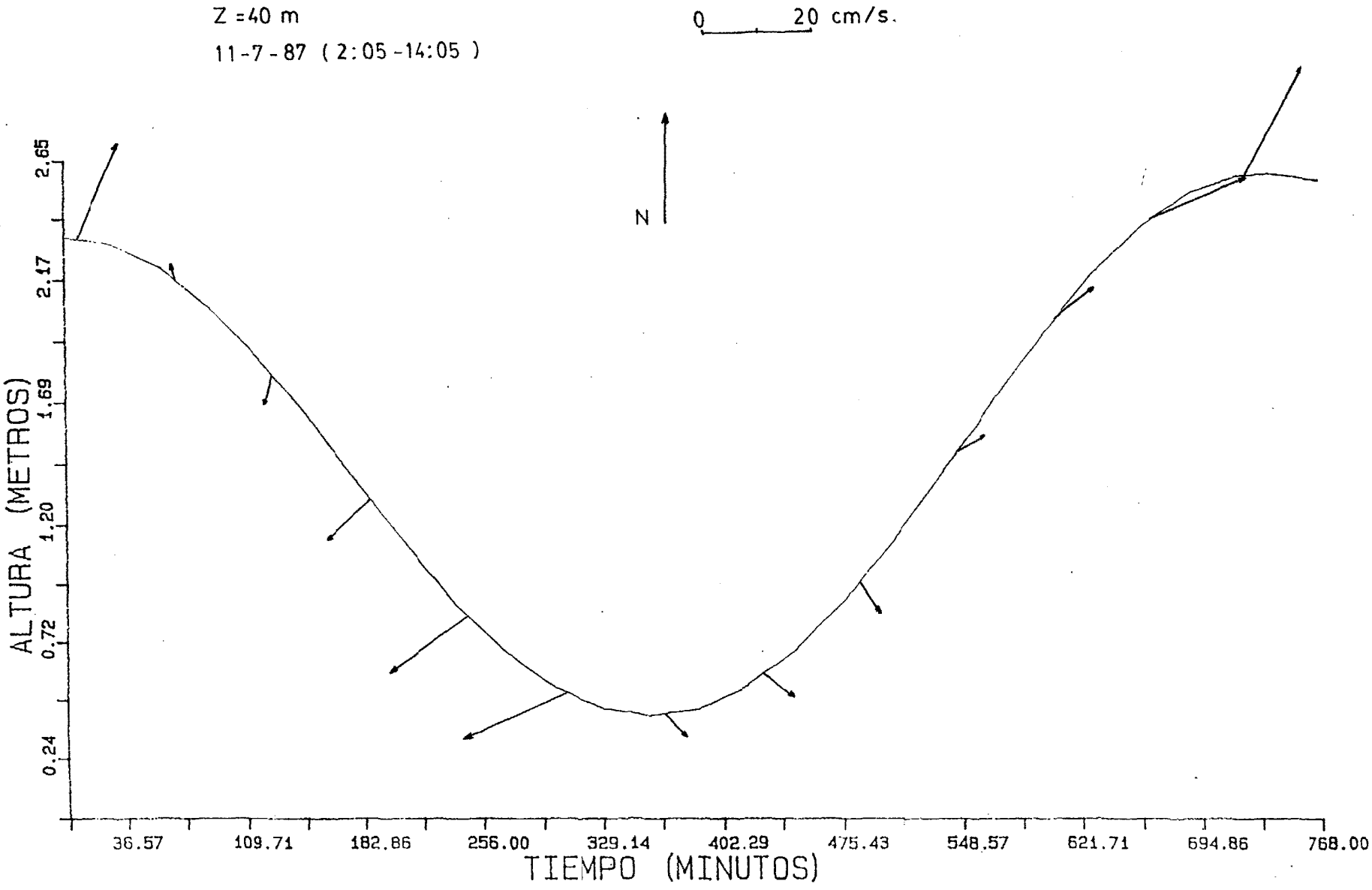


Figura 6.4-4

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

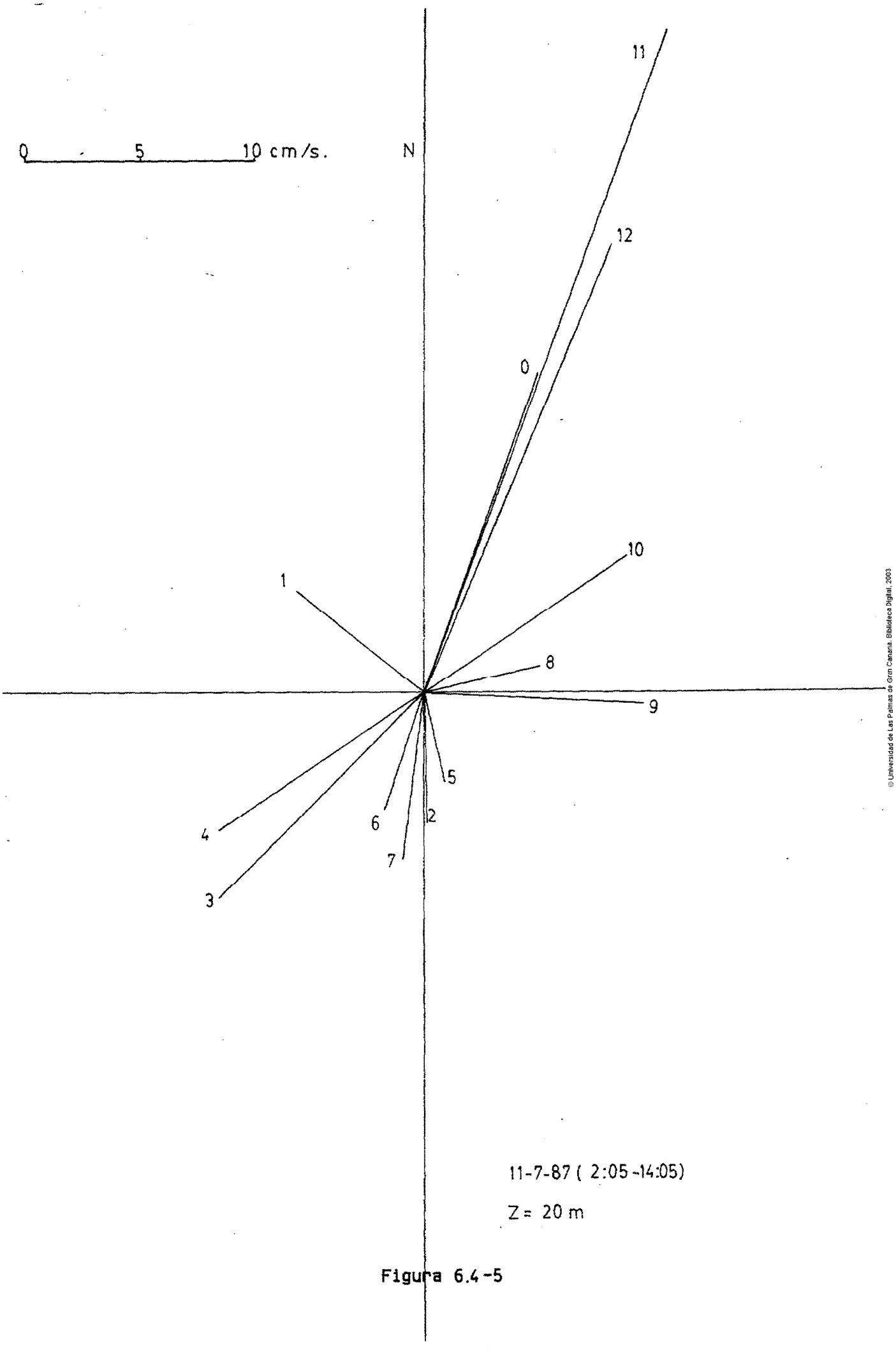


Figura 6.4-5

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

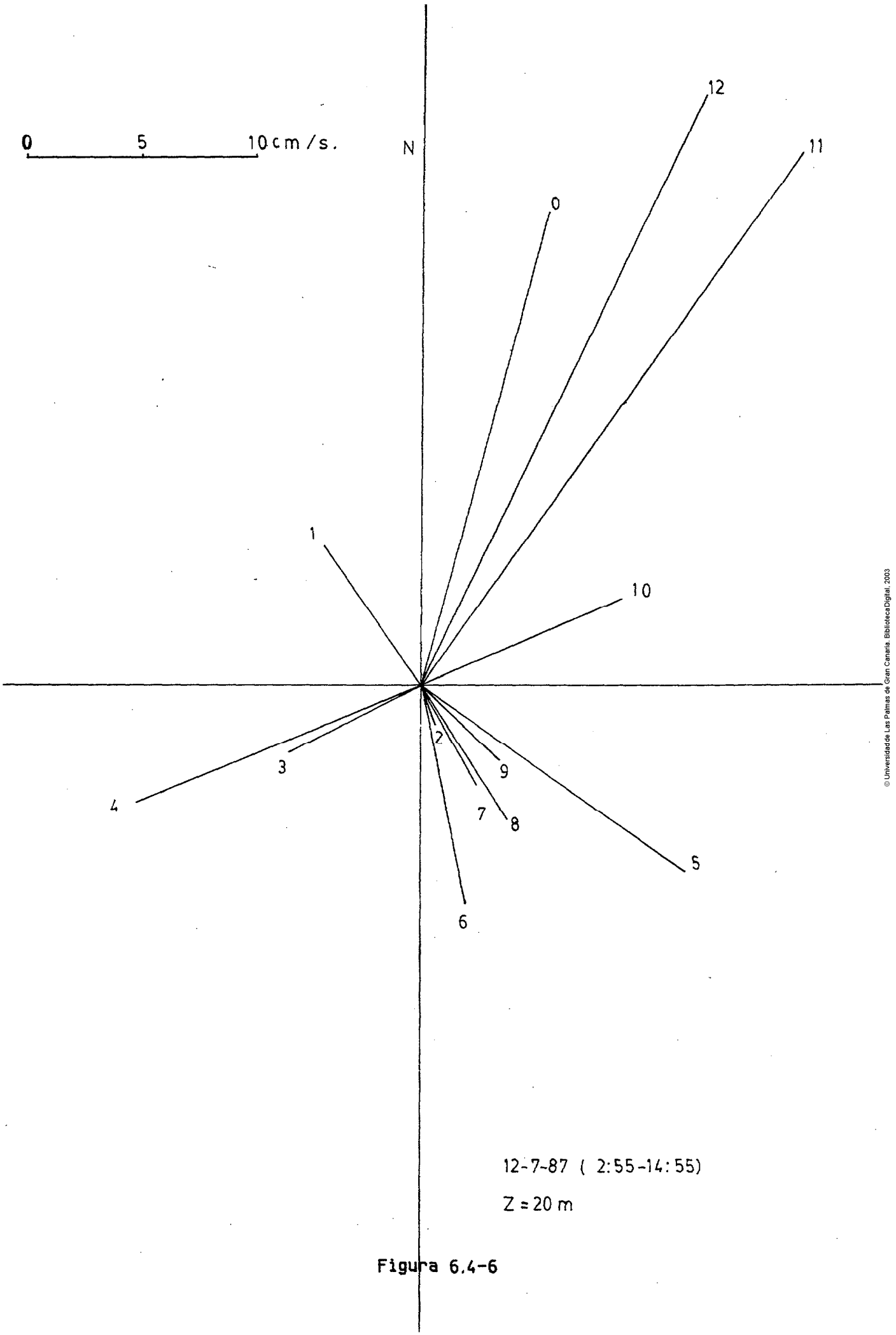


Figura 6.4-6

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

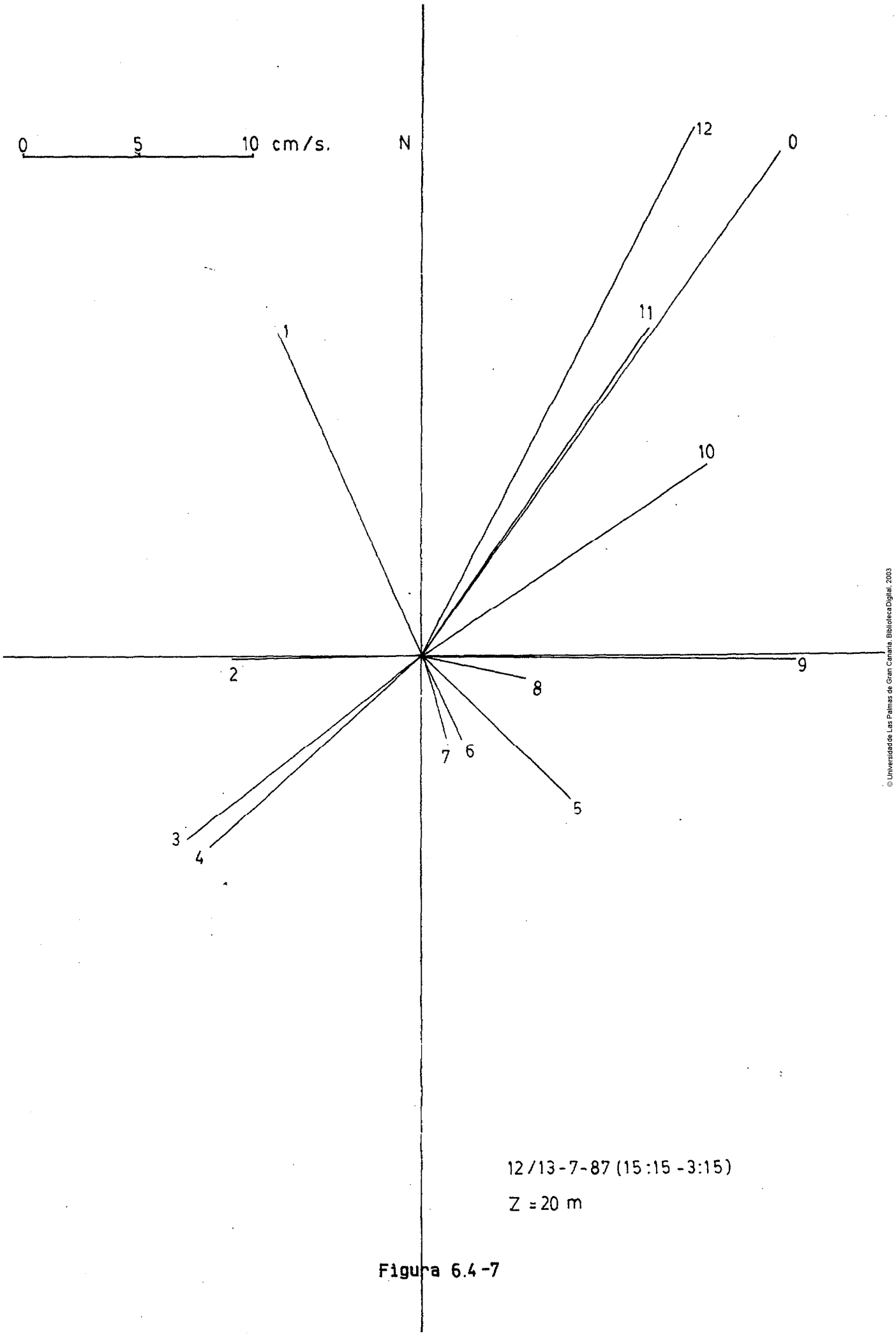


Figura 6.4-7

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. BibliotecaDigital, 2003

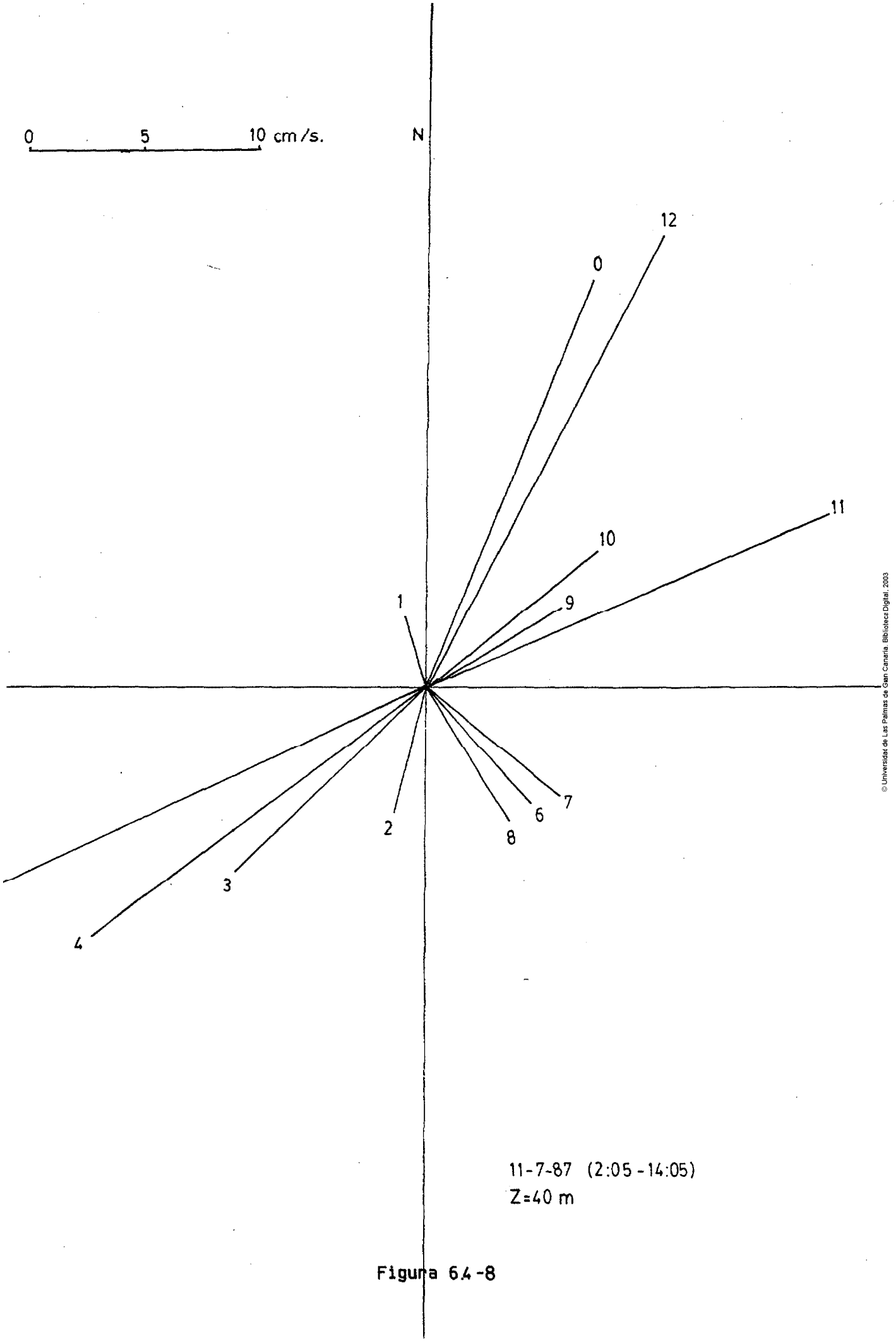
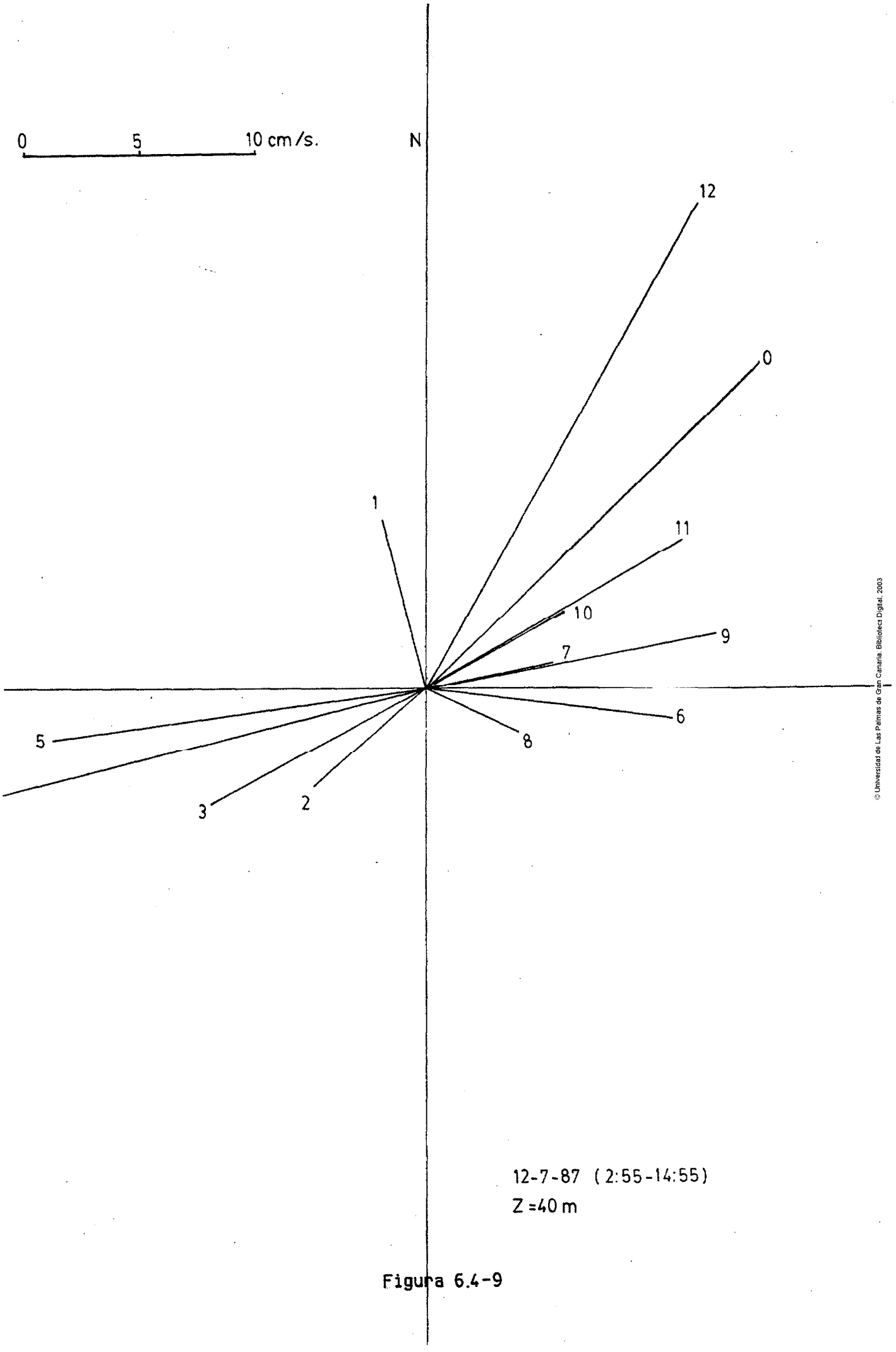


Figura 6.4-8

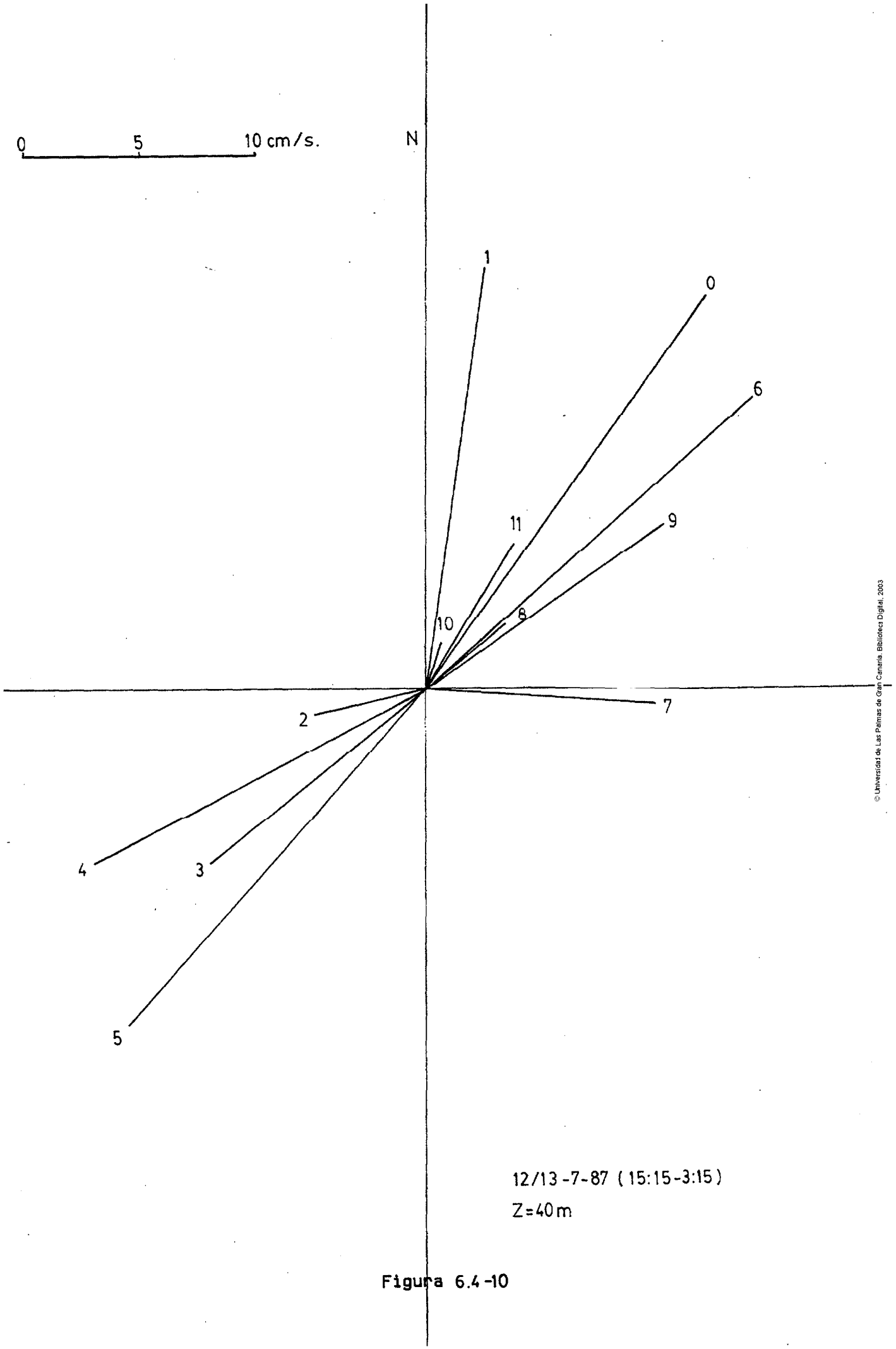
© Universitat de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



12-7-87 (2:55-14:55)
Z =40 m

Figura 6.4-9

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003



© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

Figura 6.4-10

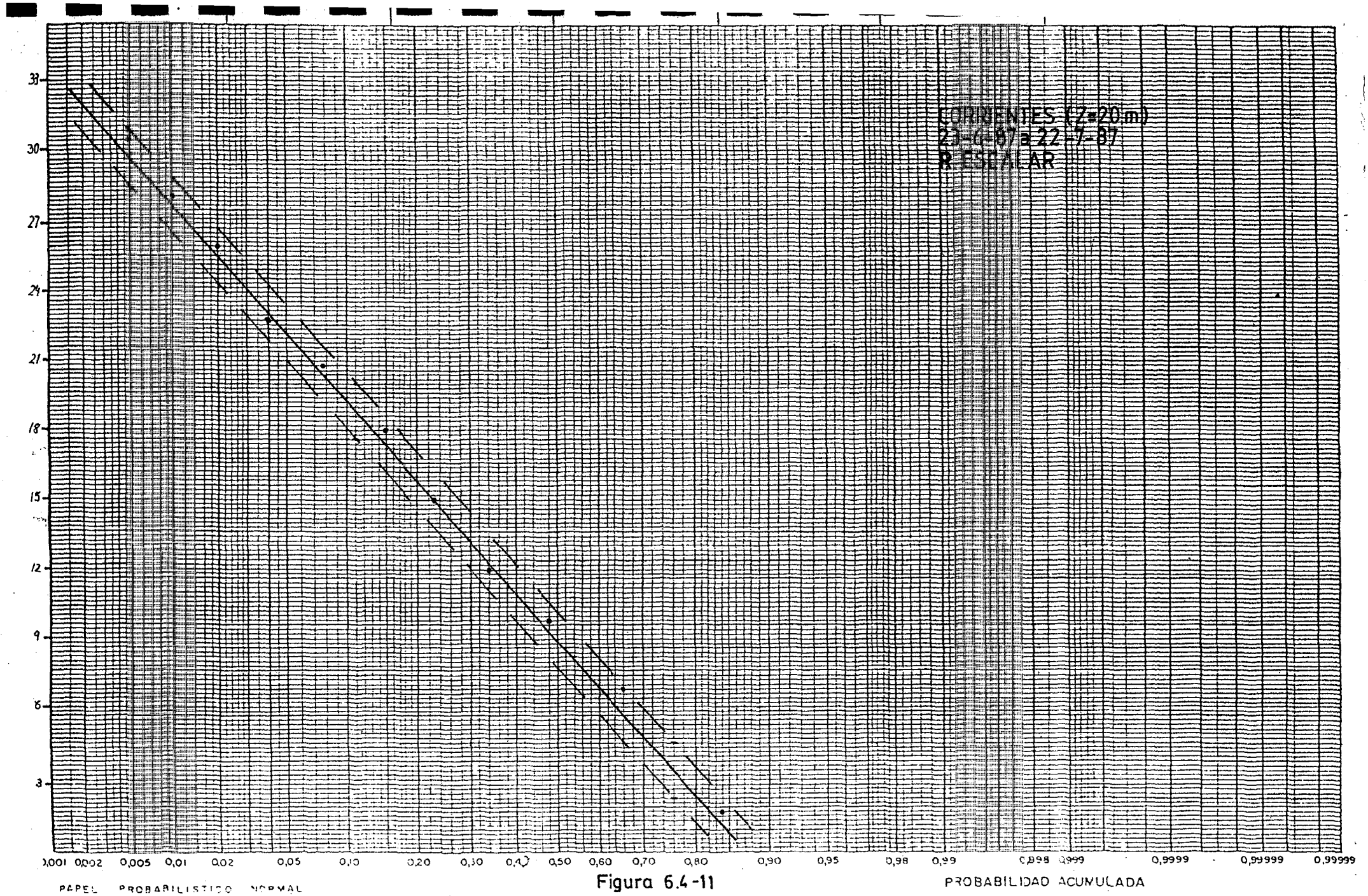


Figura 6.4-11

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital, 2003

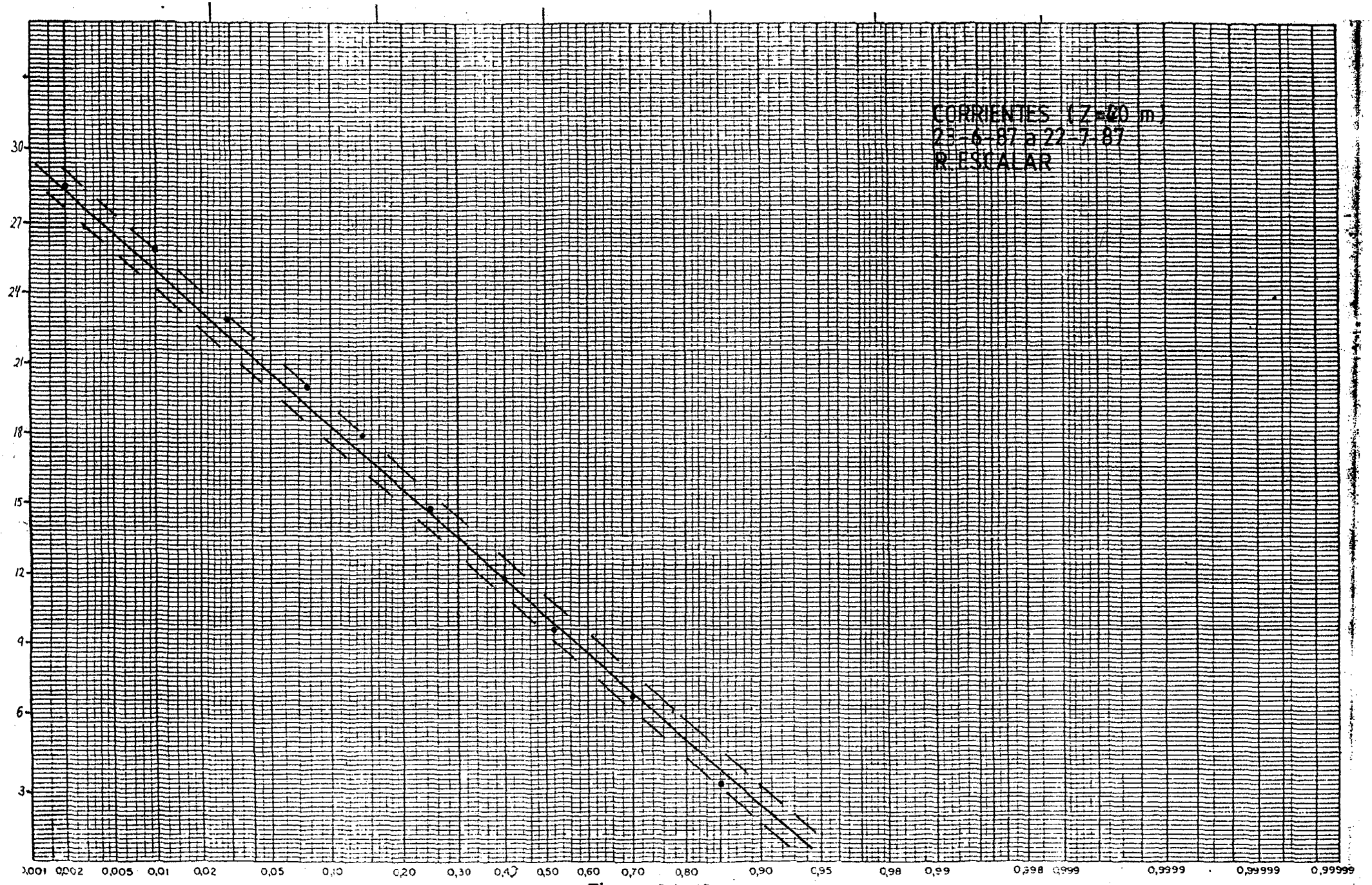


Figura 6.4-12

© Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Biblioteca Digital. 2003