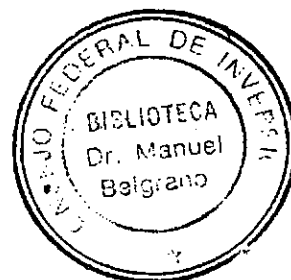


MFA-164

38737

**INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA
Y TECNICA HIDRICAS**

**LABORATORIO DE HIDRAULICA
APLICADA**



**ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE AGITACION
EN EL CANAL DE ACCESO E INTERIOR
DEL PUERTO PESQUERO EN CALETA OLIVIA
(Prov. de Santa Cruz)**

0/H. 341
I 24
II

LHA-127-01-93

Ezeiza, julio de 1993

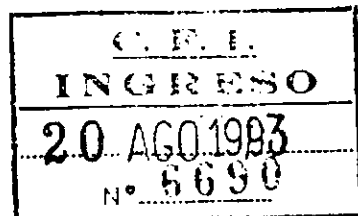


Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hidráulicas

Nota L.H.A. Nº 123 -04-93
Ref.:Caleta Olivia. Informe
de avance Nº 1

EZEIZA, 19 de agosto de 1993

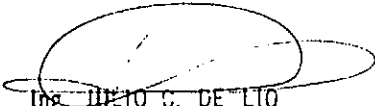
Señores
Consejo Federal de Inversiones
At.: Ing. LANDO



Me dirijo a usted con referencia al contrato suscripto entre el C.F.I. y el I.N.C.Y.T.H el 7 de julio próximo pasado para el estudio de las condiciones de agitación mediante modelación matemática de un puerto pesquero en las proximidades de Caleta Olivia, Provincia de Santa Cruz.

De acuerdo a lo establecido en el Artículo 13 y en el Anexo I del Contrato elevo a su consideración el Informe de Avance Nº 1 correspondiente al primer mes del Cronograma de Tareas establecido en el contrato.

Si otro particular, saludo a usted atentamente


Ing. JULIO C. DE LITO
Director Laboratorio de Hidráulica Aplicada

**INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIA
Y TECNICA HIDRICAS**

**LABORATORIO DE HIDRAULICA
APLICADA**

**ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE AGITACION
EN EL CANAL DE ACCESO E INTERIOR
DEL PUERTO PESQUERO EN CALETA OLIVIA
(Prov. de Santa Cruz)
LHA-127-01-93**

Resumen: Se presenta un modelo matemático de refracción de olas por el método de rayos y su aplicación al estudio de un puerto pesquero en Caleta Olivia.

Descriptores: puertos - olas - refracción de olas - modelos matemáticos - Caleta Olivia - Golfo de San Jorge.

INFORME PRODUCIDO POR

Ing. R.D.CASTELLANO

EQUIPO DE TRABAJO

Responsables de Proyecto

Ing. R.D. CASTELLANO
Dr. A.N. MENENDEZ

Profesionales

Ing. Fabián A. BOMBARDELLI
Lic. Carla de PAULA XAVIER VILELA

Técnico

Sr. C.A. HASPERT

INDICE DE MATERIAS

INTRODUCCION	1
1. OBJETIVOS	2
2. INFORMACION DE BASE PARA LA EJECUCION DE LOS ESTUDIOS	3
3. CONDICIONES FISICAS DEL AREA	4
3.1. Morfología	4
3.2. Olas	4
4. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO	7
5. METODOLOGIA DE ESTUDIO	7
5.1. Descripción física del problema	7
5.2. Modelos matemáticos	8
6. MODELO MATEMATICO DE REFRACCION DE OLAS MEDIANTE RAYOS	9
6.1. Ecuaciones básicas	9
6.2. Implementación del modelo y aplicación	10
6.2.1. Refracción con canal de navegación . . .	11
6.2.2. Refracción sin canal de navegación . . .	14
7. CONDICIONES DE ENSAYO PARA ESTUDIO DE AGITACIÓN DENTRO DEL PUERTO	16
CONCLUSIONES	18

**ESTUDIO DE LAS CONDICIONES DE AGITACION
EN EL CANAL DE ACCESO E INTERIOR
DEL PUERTO PESQUERO EN CALETA OLIVIA
(Prov. de Santa Cruz)**

**Informe de Avance Nº 1
Agosto - 1993**

INTRODUCCION

La Provincia de Santa Cruz proyecta la construcción de un puerto pesquero en las proximidades de Caleta Olivia, en el Golfo de San Jorge, a unos 70 Km al Sur de la ciudad de Comodoro Rivadavia.

A los efectos de realizar los estudios hidráulicos pertinentes, con fecha 7 de julio de 1993 el Consejo Federal de Inversiones suscribió un convenio con el Instituto Nacional de Ciencia y Técnica Hídricas, el que a través de su Laboratorio de Hidráulica Aplicada debe realizar los estudios de propagación de olas y agitación en el interior del puerto mediante modelación numérica.

De acuerdo a lo establecido en el Artículo 6º del Convenio, las tareas, con una duración total de cuatro meses, dieron comienzo dos semanas después de la firma del Convenio, es decir el 21 de julio de 1993.

El presente Informe de Avance Nº 1 describe las tareas desarrolladas en el curso del primer mes del Cronograma de Tareas, que incluye: a) Análisis y elaboración de datos y b) Implementación del modelo de refracción de olas en la zona exterior.

1. OBJETIVOS

La optimización del proyecto desde el punto de la agitación implica diseñar las obras de modo de garantizar la existencia de condiciones de oleaje dentro del puerto compatibles con la operación de los buques dentro de la dársena durante el mayor tiempo posible.

A partir del conocimiento del régimen de olas que caracteriza a la región, pueden determinarse las condiciones de agitación resultantes en el canal de acceso y el interior de la dársena mediante técnicas de simulación numérica. Ello permite verificar la eficiencia de las obras proyectadas (tanto en la etapa inicial como en la configuración final) y permitir al proyectista efectuar los cambios en el proyecto que se consideren convenientes, de manera de adecuarlo a las condiciones de operación y rentabilidad exigidos.

En este Informe de Avance se describen las técnicas utilizadas para los cálculos de refracción de olas y se presentan los primeros resultados correspondientes a la propagación de olas en la zona exterior, es decir desde aguas profundas hasta la entrada al puerto. En la zona de la restinga los cálculos se han efectuado para aguas medias y altas. La compleja morfología de esta zona hace que el modelo matemático que se describe en este Informe tenga algunas limitaciones para niveles de marea bajos. En estos casos y al igual que en el interior del puerto, se ha previsto aplicar otros modelos matemáticos que incorporan los fenómenos de difracción y reflexión del oleaje, lo que será desarrollado más adelante en este estudio.

2. INFORMACION DE BASE PARA LA EJECUCION DE LOS ESTUDIOS

La batimetría de la zona de estudio se obtuvo de cartas náuticas publicadas por el Servicio de Hidrografía Naval (S.H.N.), según el listado que sigue:

Carta Náutica Nº 59, S.H.N., Golfo San Jorge, escala 1:400.000.

Carta Náutica Nº 98, S.H.N. Caleta Olivia, en escala 1:25.000.

Plano Hidrográfico en escala 1:2.500 realizado por el S.H.N. (Septiembre- Octubre 92).

Plano A.P.3 (Prov. de Santa Cruz - Consejo Federal de Inversiones). Anteproyecto Puerto Pesquero Caleta Paula. Anteproyecto preliminar ajustado. Cotas superiores de muelles y traza canal de acceso. Enero 1993.

Plano Nº A.P.3 (Provincia de Santa Cruz - Consejo Federal de Inversiones) - Plano de dragado canal de acceso, obras de abrigo y ubicación general del Puerto. Mayo - 1993.

Plano A.P.4 - (Prov. de Santa Cruz - Consejo Federal de Inversiones). Canal de acceso - Perfiles de dragado. Mayo 1993.

Plano A.P.6 - Prov. de Santa Cruz - Consejo Federal de Inversiones - Anteproyecto Puerto Pesquero Caleta Paula, 1ª Etapa. Cortes accesos viales. Mayo 1993.

Plano A.P.11 - Prov. de Santa Cruz - Consejo Federal de Inversiones. Anteproyecto Puerto Pesquero Caleta Paula, 1ª Etapa. Tablestacado y pilotes metálicos. Mayo 1993.

"Clima de olas en la zona de Caleta Olivia (Provincia de Santa Cruz- Argentina)". Dr. Carlos MAZIO, S.H.N., 1991.

3. CONDICIONES FISICAS DEL AREA

3.1. Morfología

En esta zona, al igual que en gran parte del litoral patagónico, la costa presenta una plataforma rocosa de ancho variable (restinga) que resulta alternativamente cubierta por el mar durante las mareas altas y que separa el entorno marítimo de la playa propiamente dicha. La isobata de 10 m se encuentra a unos 1.500 m de la costa. La marea presenta una amplitud de 6.64 m.

Las Cartas Náuticas Nº 59 y 98 publicadas por el Servicio de Hidrografía Naval reflejan la morfología del lecho marino en el Golfo de San Jorge y en las proximidades del emplazamiento del puerto respectivamente. Un relevamiento de detalle efectuado por el S.H.N. sobre un área de unos 1.000 m de frente de costa por 1.800 m en sentido transversal permitió conocer en detalle las características de la topografía del lecho marino en el área del emplazamiento del puerto. Las profundidades se hallan referidas a un plano de comparación que coincide con el límite inferior de las bajamares de sicigias; este mismo plano es el utilizado por el S.H.N para referir los niveles de marea. Este plano se halla 2,26 m debajo del cero del M.O.P., utilizado como plano de referencia en el proyecto de las obras.

3.2. Olas

Del informe de predicción de oleaje efectuado por el S.H.N. sobre la base del análisis de cartas sinópticas de superficie del Servicio Meteorológico Nacional para el período 1984-1988, se ha extraído la Tabla Nº 1 que indica las alturas probables de ola significativa (establecidas a partir de 189 tormentas en ese período):

TABLA Nº 1 - Altura probable de ola significativa para distintas direcciones y recurrencias.

Dirección	Recurrencia (años)					
	2	5	10	20	50	100
NNE	1.11	2.06	2.65	3.18	3.83	4.28
NE	2.62	3.49	3.98	4.41	4.90	5.24
ENE	2.80	3.48	3.87	4.20	4.59	4.85
E	1.47	2.15	2.54	2.88	3.27	3.53
ESE	1.17	1.70	2.00	2.25	2.55	2.75
SE	0.79	1.51	2.03	2.54	3.19	3.68
SSE	0.70	1.05	1.25	1.42	1.32	1.76

También resulta de interés la duración de cada tormenta y su persistencia media en el año. Se transcribe a continuación una Tabla del mismo estudio efectuado por el S.H.N.

TABLA Nº 2 - Estadística de las tormentas marítimas.

Dirección	Frec. rel. (%)	Prom. de horas/año	Duración media (horas)
NNE	3.2	10.2	8.5
NE	39.7	108.2	7.2
ENE	30.7	98.2	8.5
E	10.7	27.6	6.9
ESE	3.7	12.0	8.6
SE	5.3	11.6	5.8
SSE	6.9	15.6	6.0
TOTAL	100	283.4	7.5

De esta Tabla surge que el conjunto de las direcciones NE, ENE y E abarcan el 81.1 % de las horas de temporal. En el Anexo I de ese informe se da un listado de la totalidad de las tormentas analizadas. En él se indican alturas significativas y períodos en cada caso.

Con estos datos se efectuó una regresión lineal para los datos correspondientes a cada dirección, de manera de correlacionar altura de ola con su período. Ello permitió determinar los coeficientes a y b de la expresión $T = a + b.H$ y asignar así un valor de T a las alturas probables de la Tabla Nº 1. El cálculo para cada dirección se sintetiza en la Tabla Nº 3, en la que se han indicado el número de datos, el coeficiente de correlación k y error standard σ de la variable dependiente (T) de cada serie.

TABLA Nº 3 - Correlación de altura y período de olas

Dir	Nro.	k	σ	a	b
NE	42	0.916	0.44	1.84	2.60
ENE	29	0.937	0.36	1.84	2.655
E	12	0.899	0.35	1.986	2.49

Con los valores de la Tabla Nº 3 se construyó la Tabla Nº 4, en la que se indica el período asociado a las alturas probables de la Tabla Nº 1, en función de la recurrencia.

Tabla Nº 4 - Alturas y período de las olas para distintas direcciones y recurrencias

Dirección		Recurrencia (años)					
		2	5	10	20	50	100
NE	H(m)	2.62	3.49	3.98	4.41	4.90	5.24
	T(s)	7.4	9.0	9.9	10.7	11.6	12.2
ENE	H(m)	2.80	3.48	3.87	4.20	4.59	4.85
	T(s)	7.8	9.1	9.8	10.4	11.1	11.6
E	H(m)	1.47	2.15	2.54	2.88	3.27	3.53
	T(s)	5.4	6.8	7.5	8.2	9.0	9.5

4. CARACTERISTICAS GENERALES DEL PROYECTO

El puerto será excavado en tierra y su acceso se efectuará a través de la caleta Paula, conformada por una interrupción de la restinga rocosa. El acceso al puerto deberá realizarse mediante un canal de navegación de 150 m de ancho, parcialmente dragado, y con profundidad bajo el cero M.O.P. de 9.76 m (7,50 bajo el plano de referencia S.H.N.).

El puerto será construido en dos etapas. En la primera, estará constituido por una dársena de 250 m x 250 m. La zona de aguas tranquilas estará protegida del oleaje por escolleras de materiales sueltos cubiertas por elementos prefabricados en su cara externa. El ancho de la entrada será de 80 m. La cota del fondo será -9.76 m respecto del plano de referencia del M.O.P. (7.50 m bajo el plano de referencia del S.H.N.), con excepción de un área sobre el borde norte, donde se construirá un muelle para buques de transporte, con cota a pie de muelle de -11.42 m (M.O.P.). Los contornos del recinto estarán conformados por taludes revestidos de pendiente 1:2.

En una segunda etapa se prevé la ampliación de la zona de aguas tranquilas y la construcción de nuevos muelles para buques de transporte. En su configuración final la dársena tendrá 600 x 500 m. En las Figuras N° 1 y 2 se muestran los esquemas de las obras en ambas Fases respectivamente.

5. METODOLOGIA DE ESTUDIO

El problema de agitación por oleaje en la aproximación y el interior del puerto se estudiará mediante simulación numérica, técnica cuya confiabilidad y eficiencia ya han sido plenamente comprobadas.

5.1. Descripción física del problema

Como se ha indicado precedentemente, en el área de estudio pueden distinguirse tres zonas cualitativamente distintas: una zona externa (I), que se extiende desde aguas profundas hasta la línea de comienzo de la restinga, una zona intermedia (II), que incluye las restingas y la caleta, y una zona interna (III), que comprende todo el interior del puerto.

En la zona I se produce la propagación, con refracción como fenómeno dominante, del oleaje incidente hacia la costa. No es necesario considerar las olas reflejadas en la restinga, las irradiadas desde la caleta y las generadas por los vientos que soplan desde el continente, por carecer de interés.

En la zona II el fenómeno depende del nivel de marea. Para aguas bajas la restinga genera fenómenos de difracción, reflexión de las olas. En cambio para aguas altas, los fenómenos de refracción son francamente predominantes. En ningún caso es necesario considerar las olas irradiadas desde el interior del puerto, ya que éstas se propagarán hacia aguas afuera.

Finalmente, en la zona III (el interior del puerto) también se producen fenómenos de difracción, reflexión y absorción, pero sobre contornos bien definidos para todos los niveles de marea.

5.2. Modelos matemáticos

En función de lo descripto previamente, los modelos matemáticos a utilizarse en las distintas zonas son:

- Zona I: modelo de rayos.
- Zonas II: modelo de rayos para aguas altas y modelo completo de agitación para aguas bajas
- Zona III: modelo completo de agitación.

El modelo de rayos, basado en las hipótesis de la óptica geométrica, simula adecuadamente los fenómenos de refracción y bajío. Por su parte, el modelo completo de agitación está basado en la ecuación de Berkhoff, que tiene en cuenta los fenómenos de refracción, reflexión y difracción de olas.

Obviamente, los resultados de la zona I proveen el dato de oleaje incidente sobre la zona II, mientras que los resultados de la zona II determinan la ola que penetra en el puerto (zona III).

6. MODELO MATEMATICO DE REFRACCION DE OLAS MEDIANTE RAYOS

6.1. Ecuaciones básicas

La propagación de olas en aguas de profundidades restringidas, específicamente cuando $d/L < 0.5$, y cuando los cambios de profundidad son graduales en la trayectoria de la ola, se ve afectada por el fenómeno de refracción; éste es el resultado de la deformación de la cresta de la ola debido a la variación de la celeridad de la onda a lo largo de la misma. Tal variación obedece precisamente a las profundidades cambiantes a lo largo de una misma cresta. En aguas profundas ($d/L > 0.5$) la celeridad no se ve afectada por la profundidad y resulta uniforme a lo largo de la cresta; por esta razón la cresta de una onda puede suponerse recta y se propaga sin deformarse.

La relación entre la celeridad de una onda y la profundidad en que se propaga está dada por la relación de dispersión:

[1]

$$\omega^2 = gk \tanh(kd)$$

donde

ω : frecuencia = $2\pi/T$

d : profundidad

k : numero de onda = $2\pi d/L$

de la ec. [1] se desprende que

[2]

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh(kd)$$

y finalmente

[3]

$$C = \frac{gT}{2\pi} \tanh(kd)$$

La ley de Snell es aplicable al fenómeno de refracción y se expresa como:

[4]

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\sin(\alpha_1)}{\sin(\alpha_2)}$$

y

[5]

$$\frac{\beta_2}{\beta_1} = \frac{\cos(\alpha_2)}{\cos(\alpha_1)}$$

donde

L: longitud de onda

α : ángulo respecto de una curva de nivel

β : separación entre dos rayos ortogonales a la cresta de la ola.

La relación entre dos alturas de ola en dos regiones diferentes se basa en la conservación de la energía en un tubo confinado entre dos ortogonales a las crestas de las olas:

[6]

$$\beta_1 \frac{\gamma H_1^2 L_1 n_1}{8} = \beta_2 \frac{\gamma H_2^2 L_2 n_2}{8}$$

donde :

$$n = \frac{1}{2} \left[1 + \frac{4 \cdot \pi \cdot d/L}{\sinh(4 \cdot \pi \cdot d/L)} \right]$$

de donde surge que :

[7]

$$\frac{H_2}{H_1} = \sqrt{\left(\frac{L_1 n_1}{L_2 n_2}\right)} \sqrt{\frac{\beta_1}{\beta_2}} = k_s \cdot k_r$$

en la que K_s es el coeficiente de bajío y K_r es el coeficiente de refracción.

La determinación de K_r puede realizarse entonces a partir de la determinación de la separación β entre dos ortogonales. Para ello es necesario construir las ortogonales, es decir la trayectoria de cada rayo, lo que se efectúa computacionalmente mediante las ec.[4] y [5]. Resuelta esta etapa, la separación β entre rayos puede resolverse numéricamente mediante la ecuación diferencial de segundo orden [8], cuya solución mediante el método de Runge-Kutta permite obtener el valor de K_r . De este modo puede calcularse la altura de ola en un punto cualquiera de la trayectoria del rayo.

[8]

$$\frac{d^2 \beta}{ds^2} + p(s) \frac{d\beta}{ds} + q(s) \beta = 0$$

donde

$$p(s) = -\frac{\cos \theta}{C} \frac{\partial C}{\partial x} - \frac{\sin \theta}{C} \frac{\partial C}{\partial y}$$

y

$$q(s) = \frac{\sin^2 \theta}{C} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - \frac{2 \sin \theta \cos \theta}{C} \frac{\partial^2 C}{\partial x \partial y} + \frac{\cos^2 \theta}{C} \frac{\partial^2 C}{\partial y^2}$$

siendo C la celeridad en el punto considerado y θ el ángulo de propagación de la onda.

6.2. Implementación del modelo y aplicación

Se aplicó el modelo computacional al cálculo de la propagación de oleaje en el Golfo de San Jorge, en las proximidades de Caleta Olivia. Para la aplicación del modelo se construyeron tres mallas de cálculo anidadas, de manera de permitir disponer cada vez de mayor detalle en áreas más limitadas, teniendo en cuenta la complejidad de la topografía en las áreas costeras. La posición relativa de la tres mallas se indica en la Figura N° 3.

La primera malla tuvo 100 x 120 Km, con nodos cada 4 Km; el eje X es paralelo a un meridiano y el eje Y a un paralelo. Los datos de profundidades fueron extraídos de la Carta Náutica N° 59, mediante un proceso de digitalización y la malla construida por medio de técnicas computacionales.

La segunda malla tuvo 16.000 m x 10.000 m, con nodos cada 400 m. La información de base se obtuvo de la Carta Náutica N° 98.

La tercera malla de cálculo tuvo 1.000 x 1.800 m y una separación entre nodos de 20 m; la información de base se obtuvo del relevamiento realizado por el S.H.N.

6.2.1. Refracción con canal de navegación

En la tercera malla se incluyó, mediante un proceso computacional, el canal de acceso al puerto, con 150 m de ancho de solera y cota de fondo 7.5 m bajo el plano de referencia y taludes laterales de pendiente 1:2. Las curvas de nivel resultantes en cada una de las tres mallas se muestran en las Figuras N° 4 a 6. Una perspectiva de la malla 3 con el canal de acceso se muestra en la Figura N° 7.

Las olas de hasta 9 segundos inclusive no se refractan en la malla 1, debido a que las profundidades en ésta resultan superiores a $L/2$ ($L_0 = 126.4$ m para $T = 9$ seg), de manera que sólo se requiere efectuar el cálculo en la segunda y tercera mallas para períodos iguales o inferiores a 9 segundos.

El modelo de refracción de rayos se aplicó sucesivamente en cada una de estas mallas; en cada etapa del cálculo el programa produce las condiciones de borde para la siguiente, esto es, coordenadas iniciales de cada rayo (en el siguiente sistema de referencia), separación de rayos (la separación inicial en aguas profundas se asumió igual a 1 m) y convergencia inicial de los mismos. La convergencia es la variación de la separación entre dos rayos a lo largo de su trayectoria; rayos paralelos tienen convergencia igual a 0, y equivalen a un frente de onda recto. Esta situación es la que corresponde a aguas profundas.

Las condiciones de oleaje para los cálculos en las dos primeras mallas fueron las siguientes:

Dirección de incidencia:	NE	ENE	E	ESE	SE
Angulo (°)	: 135	112,5	90	67,5	45
Período (segundos)	: 5.0	7.5	10.0	12.5	15.0

Los resultados para las mallas 1 y 2 se observan en las Figuras Nº 8 a 47. Puede notarse que los efectos de refracción resultan más pronunciados para las direcciones E y SE que para la NE, dada la orientación general de las isobatas respecto de la dirección de proopagación; las olas con períodos inferiores a 9 segundos no se refractan en la malla 1 debido a las grandes profundidades respecto de la longitud de onda correspondiente. La comparación de la trayectoria para distintos períodos con la misma dirección de incidencia muestra el escaso efecto de la topografía del fondo sobre los patrones de propagación en la malla 1.

Para la malla 2 los efectos de refracción resultan más notables debido a las profundidades cada vez más reducidas. Las trayectorias resultan más curvadas a medida que la dirección de propagación se hace más inclinada respecto de las isobatas, como es el caso del cuadrante SE. Como es lógico las olas de mayores períodos se presentan trayectorias de curvatura más acentuada, especialmente para incidencia oblicua (cuadrante SE).

En la malla 3 se efectuó un análisis de la sensibilidad a los niveles de marea; se realizaron cálculos para la dirección NE con niveles de + 3.14 (nivel medio), +4.0, +5.0, +6.0, +6.64 (pleamar) y +7.50 m, para un período $T = 10$ segundos; los resultados se indican en las Figuras Nº 48 a 53 y en la Tabla Nº 5. Los valores indicados corresponden a la entrada al puerto.

TABLA Nº 5 - Refracción de olas para $T = 10$ seg
Sensibilidad al nivel del agua

Dirección	NM (m)	Kr	Ks
NE	3.14	0.159	0.975
NE	4.00	0.205	0.965
NE	5.00	0.161	0.955
NE	6.00	0.245	0.946
NE	6.64	0.311	0.942
NE	7.50	0.257	0.936

Puede notarse una tendencia general a efectos más acentuados para los niveles de agua más bajos; para la dirección analizada

(NE), los rayos que llegan a la entrada al puerto se propagan en los últimos 1.000 m sobre el canal de navegación, de profundidad constante; puede notarse el marcado cambio de la dirección de propagación al cruzar los rayos el talud del canal; el canal actúa separando los rayos y reduciendo la altura de ola que llega al puerto desde esta dirección.

Para el resto de las direcciones se adoptó como nivel de cálculo $NM = +6.64$ m y $T = 5.0, 7.5, 10.0, 12.5$ y 15.0 segundos. Dado los cambios importantes en el valor de K_r que se encontraron entre las direcciones E, ENE y NE, se resolvió incluir algunas direcciones intermedias entre las mencionadas. Los resultados se muestran en la Figuras N° 54 a 87 y en las Tablas N° 6 y 7.

Cabe señalar que los coeficientes indicados en estas Tablas relacionan la altura de ola en la entrada al puerto y en el límite exterior de la malla 3 (isobata de -10 m), donde se asume que ha sido efectuado el pronóstico de olas del S.H.N. Con ello queda claro que si bien el cálculo de la refracción de olas para las diversas situaciones se realizó desde aguas profundas hasta la costa, los coeficientes de la Tabla permiten transformar altura de ola desde la isobata -10 m hasta la entrada al puerto, y por lo tanto no son absolutos como en el caso anterior (Tabla N° 5).

TABLA N° 6 - Refracción de olas para $T = 5$ y 7.5 seg. Coeficientes de refracción y bajío para distintas direcciones y $NM = +6.64$ m

Dir	Período (seg)			
	5.0		7.5	
	Kr	Ks	Kr	Ks
135	0.322	1.005	0.315	0.998
123,75	0.506	0.982	0.214	0.996
117				
112,5	0.720	0.982	0.365	0.994
106				
101,25	0.335	0.984	0.204	0.998
90	0.142	0.982	0.159	0.994
75				
67,5	0.273	1.026	0.557	0.998
55				
45	0.168	1.053	0.276	0.909

TABLA Nº 7 - Refracción de olas para T = 10, 12.5 y 15 seg.
Coeficientes de refracción y bajío para
distintas direcciones y NM = +6.64 m

Dir	Período (seg)					
	10.0		12.5		15.0	
	Kr	Ks	Kr	Ks	Kr	Ks
135 (NE)	0.198	1.020	0.177	1.039	0.124	1.063
123,75	0.346	1.017	0.326	1.021	0.322	1.041
112,5	0.262	1.019	0.239	1.032	0.225	1.039
101,25	0.239	1.018	0.208	1.011	0.225	1.019
90 (E)	0.248	1.019	0.156	1.033	0.155	1.043
67,5	0.088	1.019	0.179	1.032	0.250	1.043
45 (SE)	0.106	1.019	0.130	1.030	0.171	1.038

Puede notarse una vez más el efecto de refracción que ejercen los taludes del canal (Figura Nº 56) aún para períodos cortos. Los rayos que se propagan por el centro del canal lo hacen con trayectorias más rectilíneas, puesto que se propagan sobre un fondo plano.

La Figura Nº 88 sintetiza los resultados del cálculo de los coeficientes de refracción y bajío Kr y Ks en la entrada al puerto. En la Figura se ha graficado el producto de ambos en función de la direcciones de incidencia en aguas profundas para distintos períodos.

Puede concluirse que el cuadrante SE (direcciones entre 45° y 90°) muestra en la entrada al puerto una considerable atenuación del oleaje por refracción, resultando por este motivo que las olas procedentes de este cuadrante llegarán a la costa con alturas del orden de 10 a 30 % de su valor en la zona exterior. Para el cuadrante NE (90° a 135°) las olas llegarán a la entrada al puerto con alturas de 20 a 70 % de su valor en la zona exterior, dependiendo del período. Las olas de períodos más cortos llegarán a la entrada al puerto sin resultar tan afectadas por efectos de refracción como las de mayores períodos.

6.2.2. Refracción sin canal de navegación

Con el propósito de evaluar las actuales condiciones de oleaje en la costa y discriminar el efecto del canal de la topografía natural, se realizaron cálculos de refracción en la malla 3 sin el canal de acceso, y para un período de 10 segundos.

Los resultados se observan en la Figuras Nº 89 a 93. Se evaluó el coeficiente de refracción y bajío en un frente de costa de 400 m con centro en la entrada al puerto. Los resultados se sintetizan en la Tabla que sigue:

TABLA Nº 8 - Coeficientes de refracción y bajío en la costa.
Sin canal de navegación.

Dir.	Valores medios			Máximo	Mínimo
	Kr	Ks	Kr.Ks	Kr.Ks	Kr.Ks
NE	0,23	1,48	0,34	0,48	0,14
ENE	0,53	1,51	0,80	1,58	0,38
E	0,80	1,44	1,16	3,61	0,22
ESE	0,16	1,50	0,24	0,69	0,10
SE	0,20	1,55	0,32	0,64	0,11

Puede concluirse que la playa en su estado actual se encuentra expuesta especialmente a las olas procedentes del E y del ENE; ésta última dirección es además la que presenta los temporales más severos. Se observa que a lo largo del frente de costa estudiado, de 400 m se producen variaciones importantes en el coeficiente de refracción y en consecuencia de las alturas de ola al llegar a la costa. En algunas zonas del frente de costa analizado es esperable una importante concentración de la energía de las olas, como lo indica la existencia de coeficientes de refracción y bajío mayores que 1. Esta circunstancia puede ser responsable de eventuales procesos erosivos en la misma.

El canal de acceso al puerto generará nuevas condiciones para la refracción de olas en el tramo final de aproximación a la costa. La comparación de las Figuras Nº 52 y 89 (NE), 69 y 90 (ENE), 71 y 91 (E), 72 y 92 (ESE) y 73 y 93 (SE) permite apreciar cómo los taludes del canal refractan fuertemente las trayectorias, permitiendo en cambio una propagación rectilínea en la zona central, a diferencia de la topografía natural que ejerce efectos de refracción más graduales. Estos efectos son más notables para las olas procedentes del cuadrante NE.

7. CONDICIONES DE ENSAYO PARA ESTUDIO DE AGITACIÓN DENTRO DEL PUERTO.

A partir de los resultados obtenidos se escogieron las condiciones más desfavorables por grupos de direcciones y períodos. Con estos valores se construyó la Tabla N° 9, en la que se indica el producto de los coeficientes de refracción y bajío. Entre paréntesis se indica la dirección de llegada a la entrada al puerto, respecto del eje X del sistema de referencia.

TABLA N° 9 - Condiciones de oleaje en la entrada al puerto para el modelo de agitación.

Dirección	Período (segundos)				
	5,0	7,5	10,0	12,5	15,0
135,0					
123,75			0.352 (100)	0.333 (98)	0.335 (98)
112,5	0.697 (95)	0.329 (97)			
101,25	0.324 (94)	0.186 (95)	0.229 (99)	0.194 (97)	0.206 (97)
90,0					
67,5	0.253 (88.5)	0.404 (94)	0.062 (97)	0.093 (98)	0.108 (96)
45,0					

Puede notarse que para períodos superiores a 7 segundos, la dirección de incidencia en la boca del puerto es aproximadamente independiente de la dirección en aguas profundas; bastará con un ensayo (dentro del puerto) para cada uno de esos períodos. Para T = 5 segundos, las direcciones de llegada al puerto dependen de la dirección en aguas profundas. Las direcciones 112,5 y 101,25 llegan a la entrada al puerto con la misma dirección; en cambio, la dirección 67,5° (ESE) llega con 88,5°, y deberá ser motivo de un análisis independiente. En todos los casos, dada la rotación de la entrada al puerto respecto del eje X del sistema de referencia, corresponde restar 5° a los ángulos indicados para obtener el dato que será utilizado por el modelo de agitación en el interior del puerto. En la Tabla N° 10 se ha diseñado un programa tentativo de ensayos para el modelo matemático de agitación, indicando las condiciones generales para realizar la modelación.

TABLA N° 10 - Programa de ensayos en modelo matemático de agitación en el interior del puerto (zona III), para NM = +6,64 m.

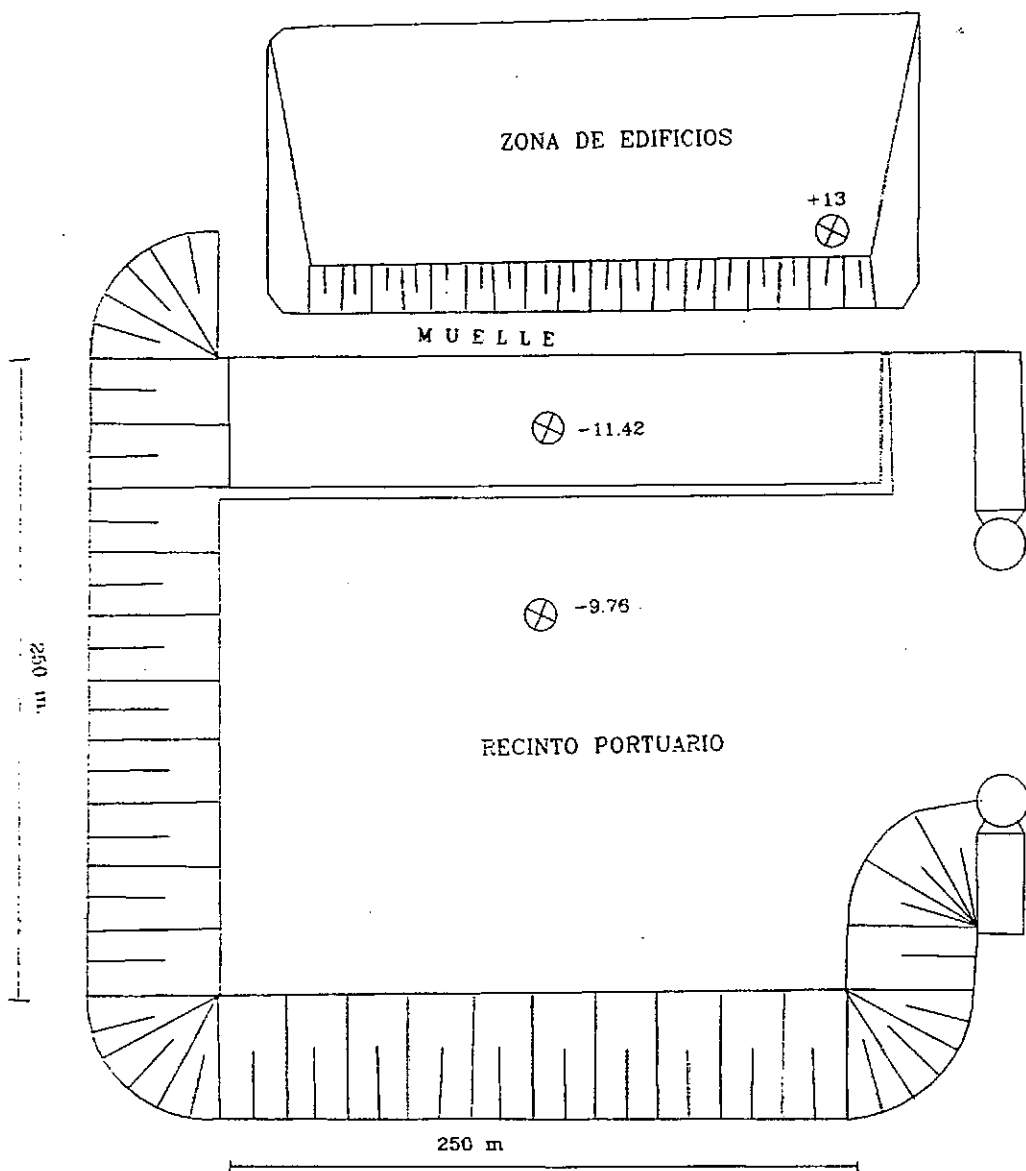
Ensayo	Nivel del mar (m)	Período (seg)	Dirección en la entrada (°)
I-15-1	6.64	15	92
I-12-1	6.64	12,5	93
I-10-1	6.64	10	94
I-7-1	6.64	7,5	91
I-5-1	6.64	5	90
I-5-2	6.64	5	83

CONCLUSIONES

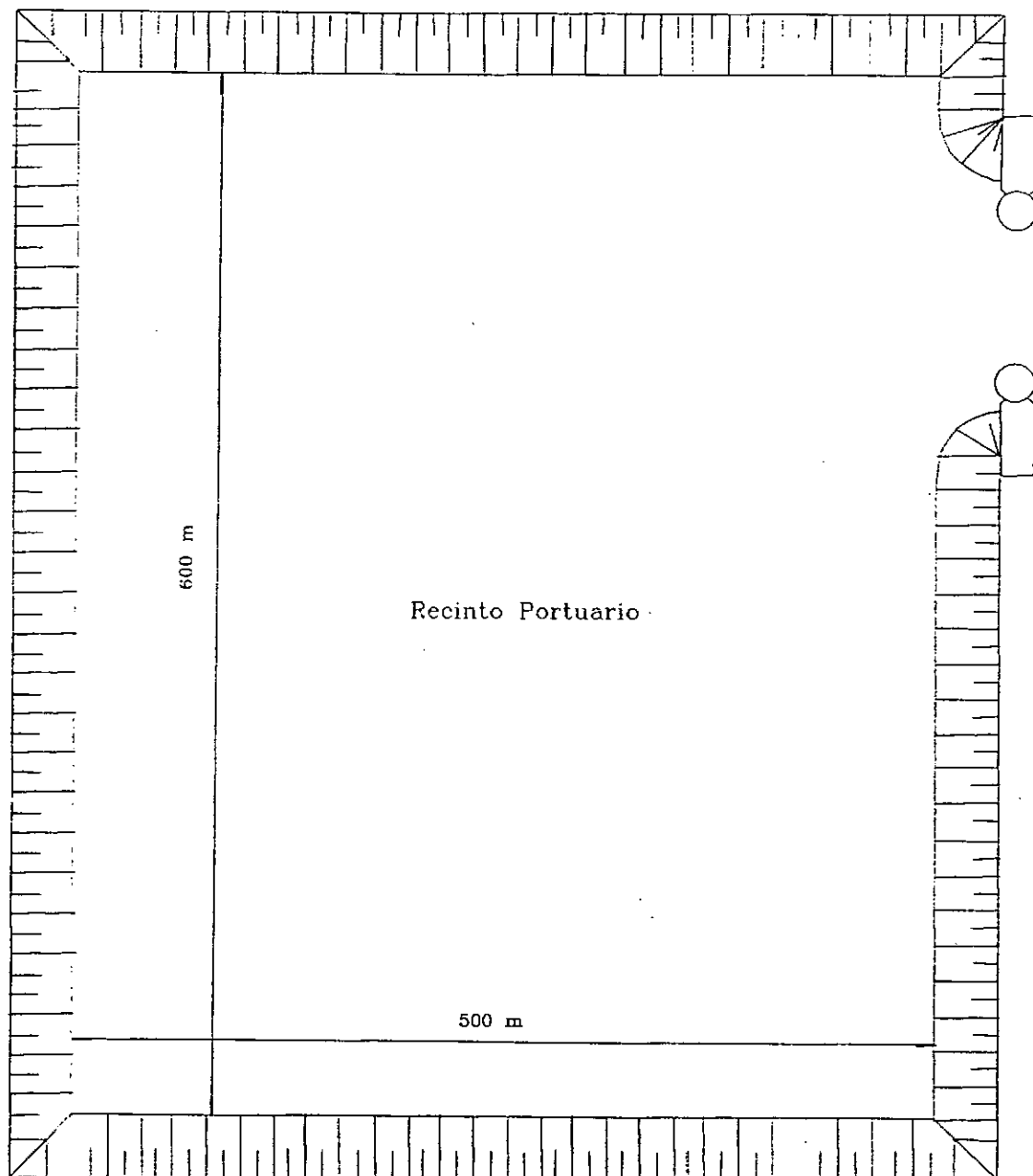
- 1) El presente Informe de Avance N° 1 completa las tareas previstas en los Items 1 y 2 del Cronograma del Anexo II del Contrato, "Análisis y elaboración de datos" e "Implementación del modelo matemático en la zona I", correspondientes al primer mes. También se avanzó en la "implementación del modelo matemático en la zona II" para el caso particular de aguas altas.
- 2) Mediante modelación matemática se estudió la propagación de olas de períodos comprendidos entre 5 y 15 segundos y direcciones desde SE hasta el NE, con nivel del mar correspondiente a pleamar (+6,64 m). Se ha analizado la propagación del oleaje desde aguas profundas hasta la entrada al puerto para siete direcciones (NE, ENE, E, ESE, SE) y 5 períodos (5, 7.5, 10, 12.5 y 15 segundos). Para algunos períodos, y a requerimiento del proyectista, se estudiaron también algunas direcciones intermedias a los efectos de mejorar la definición de la variación del coeficiente de refracción en función de la dirección de incidencia del oleaje. La dirección NE presenta los coeficientes de refracción más desfavorables entre los casos estudiados y especialmente para los períodos más cortos, debido a la orientación de la costa respecto de esa dirección de incidencia.
- 3) Se analizó la influencia del nivel del mar sobre la refracción; para ello se estudió la propagación de olas de 10 segundos con niveles del mar que abarcaron desde +3.14 m (nivel medio) hasta +7.50 m. Los cambios de nivel del mar por efecto de la marea tienen efecto especialmente sobre el coeficiente de refracción: para el menor nivel estudiado (Nivel medio) la refracción es sensiblemente mayor y el coeficiente resulta aproximadamente la mitad que para pleamar. El coeficiente de bajío es afectado en forma inversa pero presenta una sensibilidad mucho más reducida. De acuerdo a ello, se adoptó como nivel del marea para el resto de los ensayos la cota +6,64 m sobre el plano de referencia.
- 4) Desde el punto de vista del oleaje, la dirección NE resulta la más desfavorable para una recurrencia superior a los 2 años. En esta dirección se producen los temporales con mayor altura de ola (4.90 m para una recurrencia de 50 años) y es la dirección que presenta una mayor cantidad de horas de temporal al año. El 39,7% de los temporales provienen de esta dirección, seguidos de 30,7% para la dirección ENE.
- 5) A los efectos de analizar la actual situación en la costa, se estudió la propagación de oleaje para un período de 10 segundos, nivel del mar +6,64 y sin la presencia del canal de navegación. La presencia del canal de acceso tiene influencia sobre los patrones de refracción de las olas al llegar al puerto. Los taludes del canal refractan fuertemente los rayos, en tanto os que se propagan por la parte central lo hacen de manera rectilínea, al ser la profundidad constante. La topografía natural refracta los rayos de manera más gradual.

- 6) Mediante la modelación realizada se obtuvieron las condiciones de borde para la modelación matemática en el interior del puerto para aguas altas y se diseñó un programa tentativo de ensayos para el estudio de agitación en el interior del puerto.

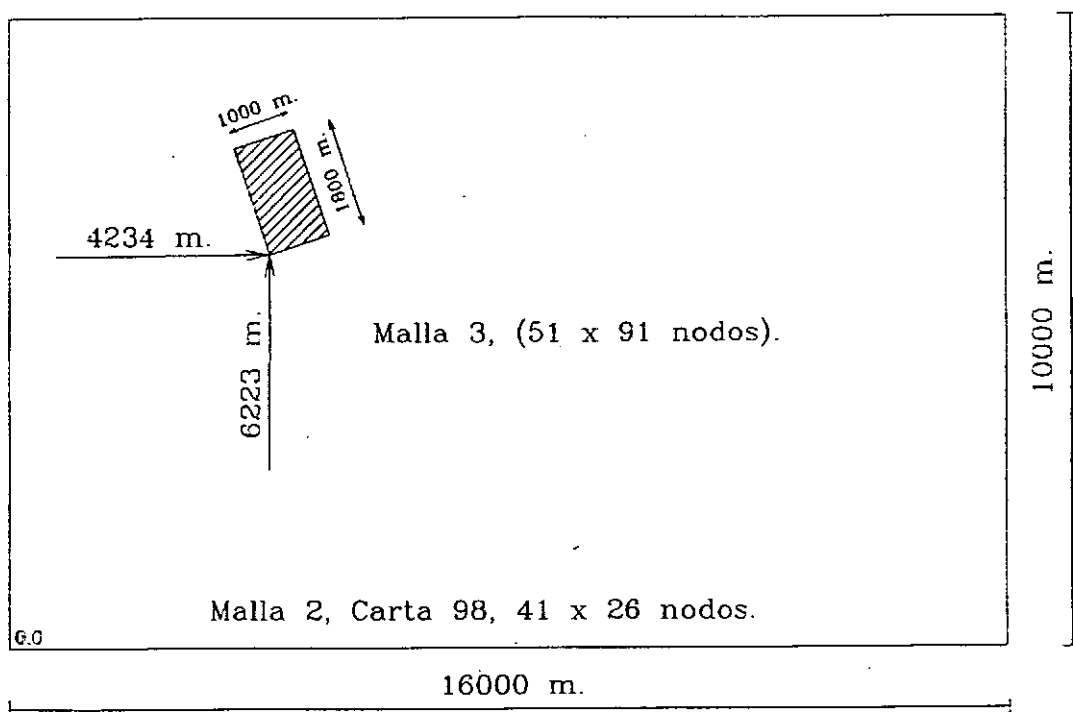
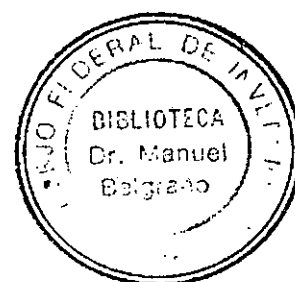
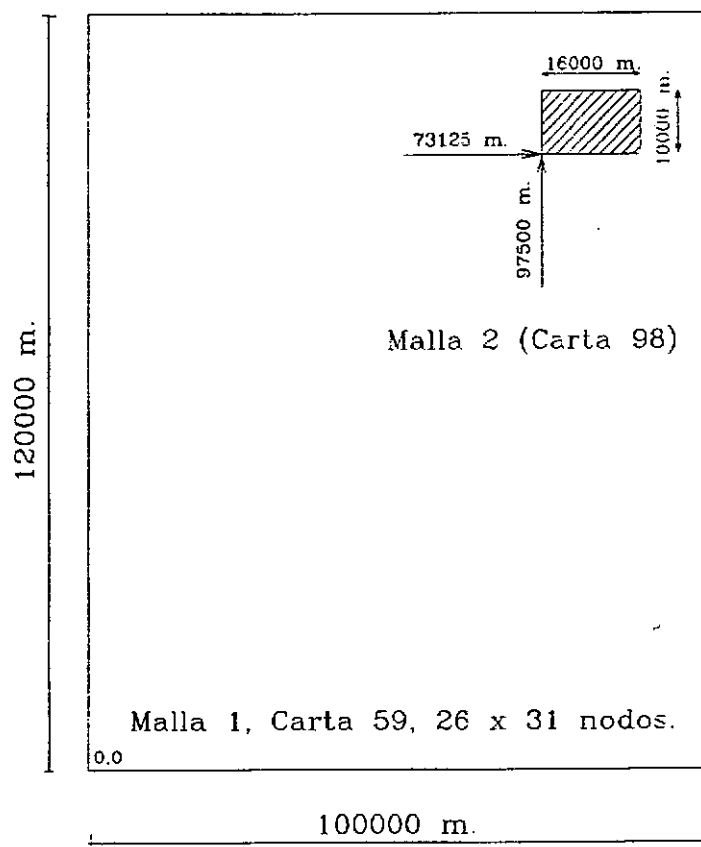
FIGURAS



Cotas referidas al cero M.O.P.

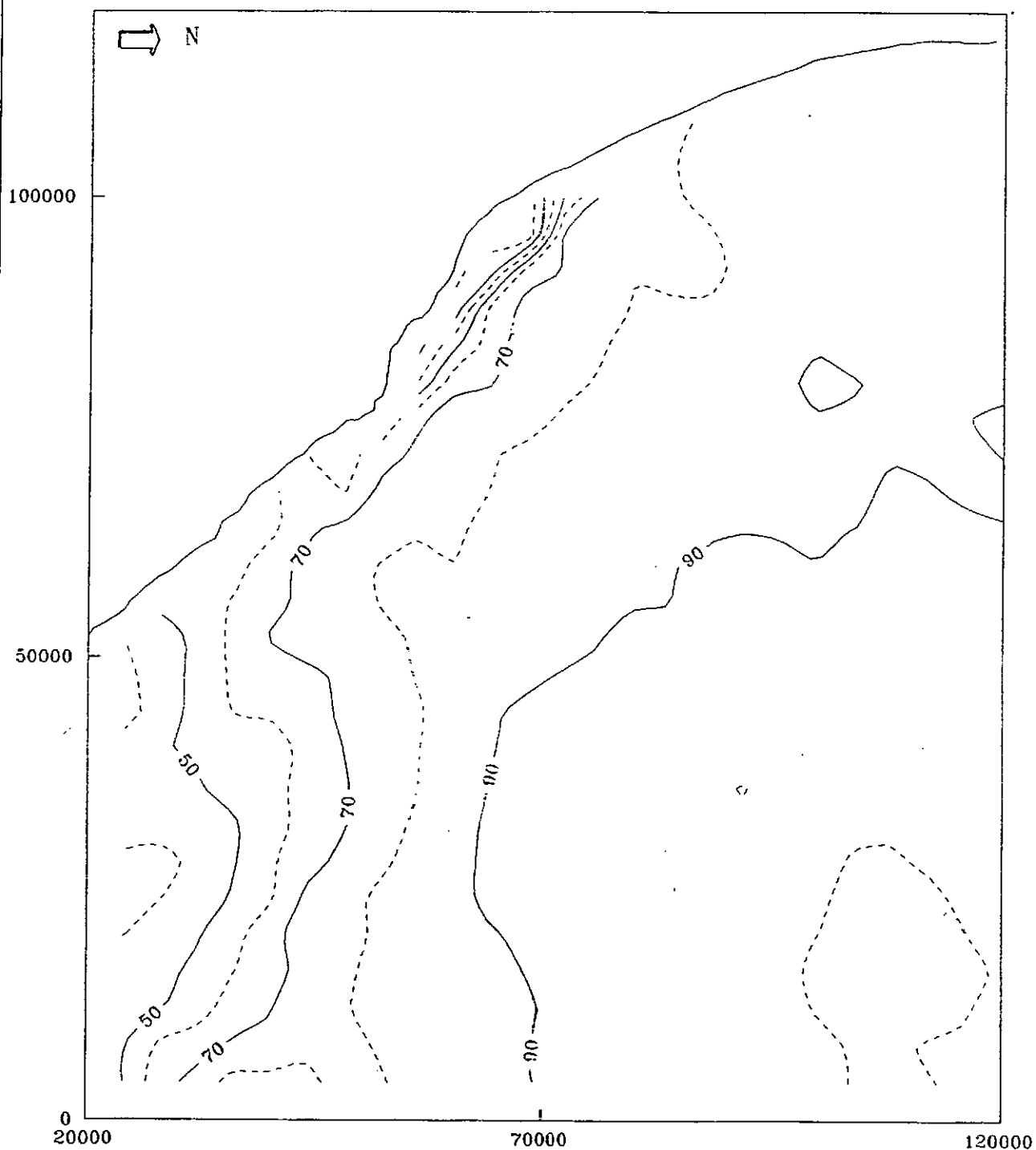


Cotas referidas al cero M.O.P.



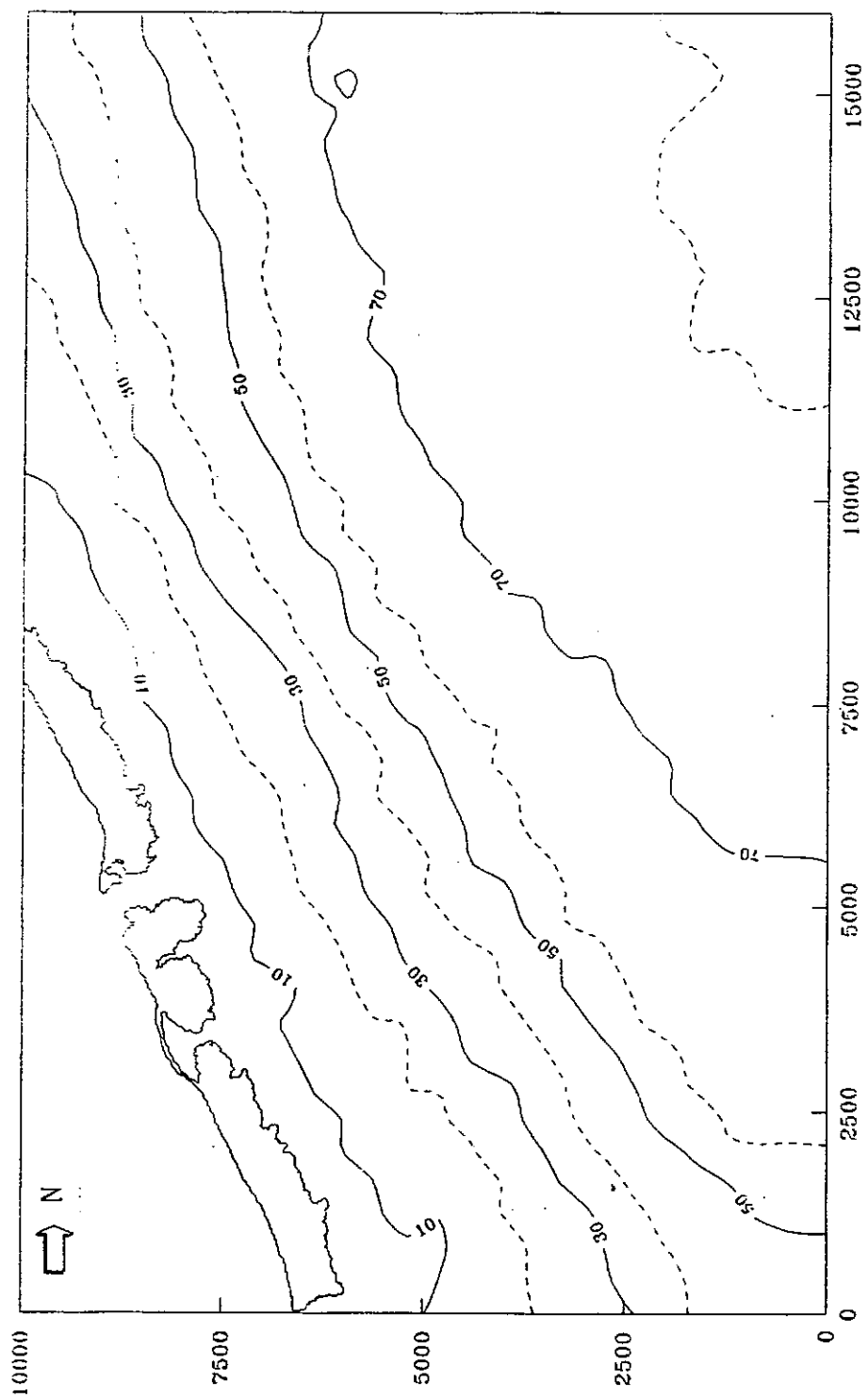
Ubicacion relativa de las mallas de calculo.

Figura Nro. 3



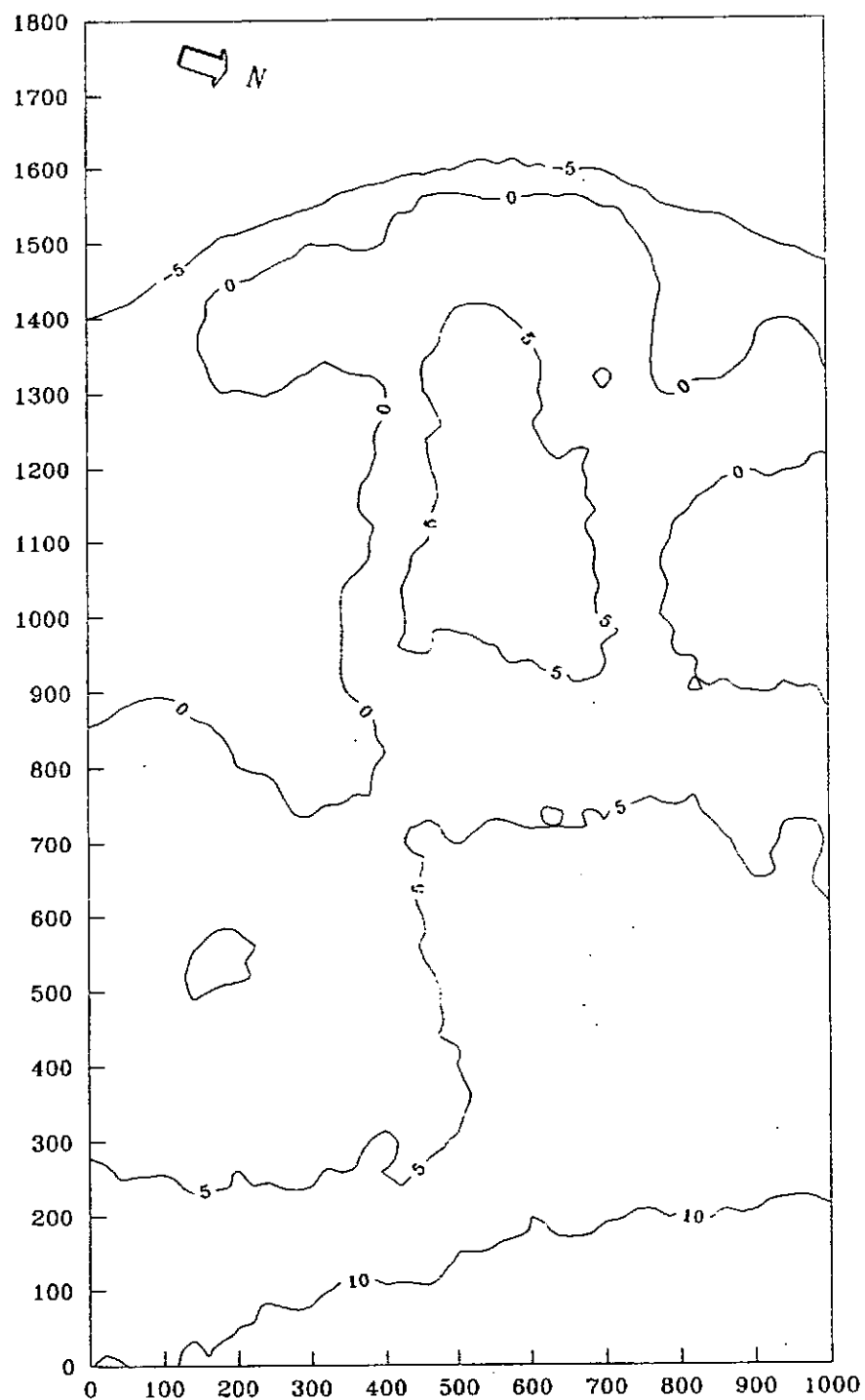
Malla 1. Curvas de nivel.

Figura Nro. 4



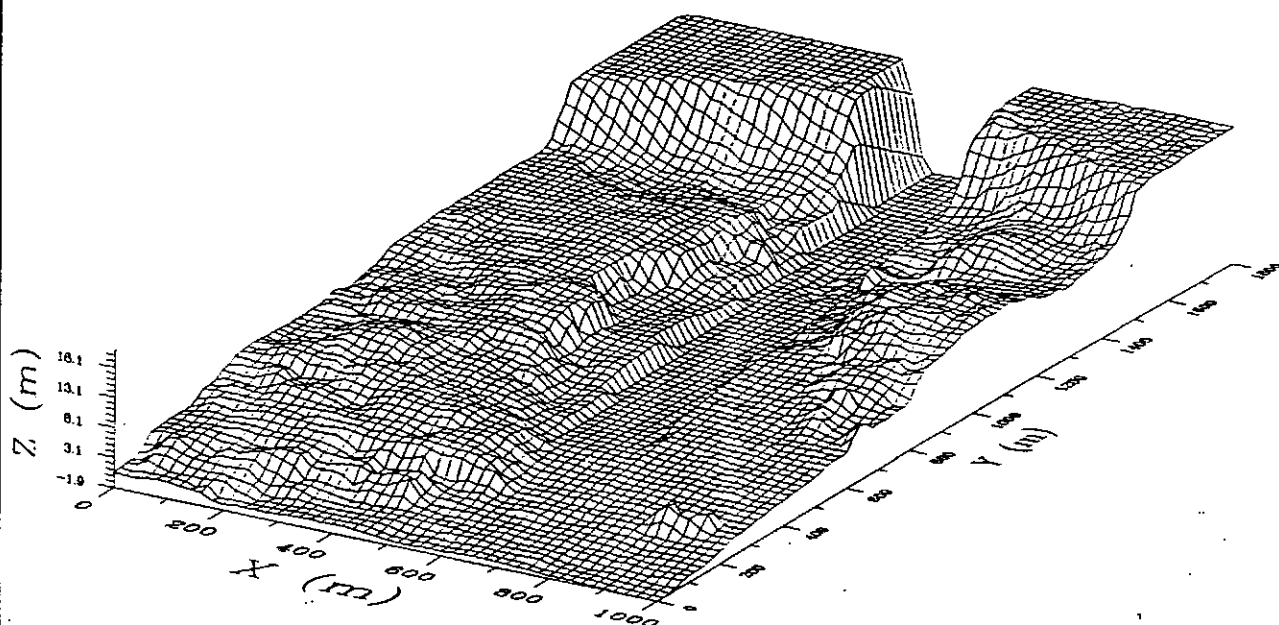
Malla 2. Curvas de nivel.

Figura Nro. 5



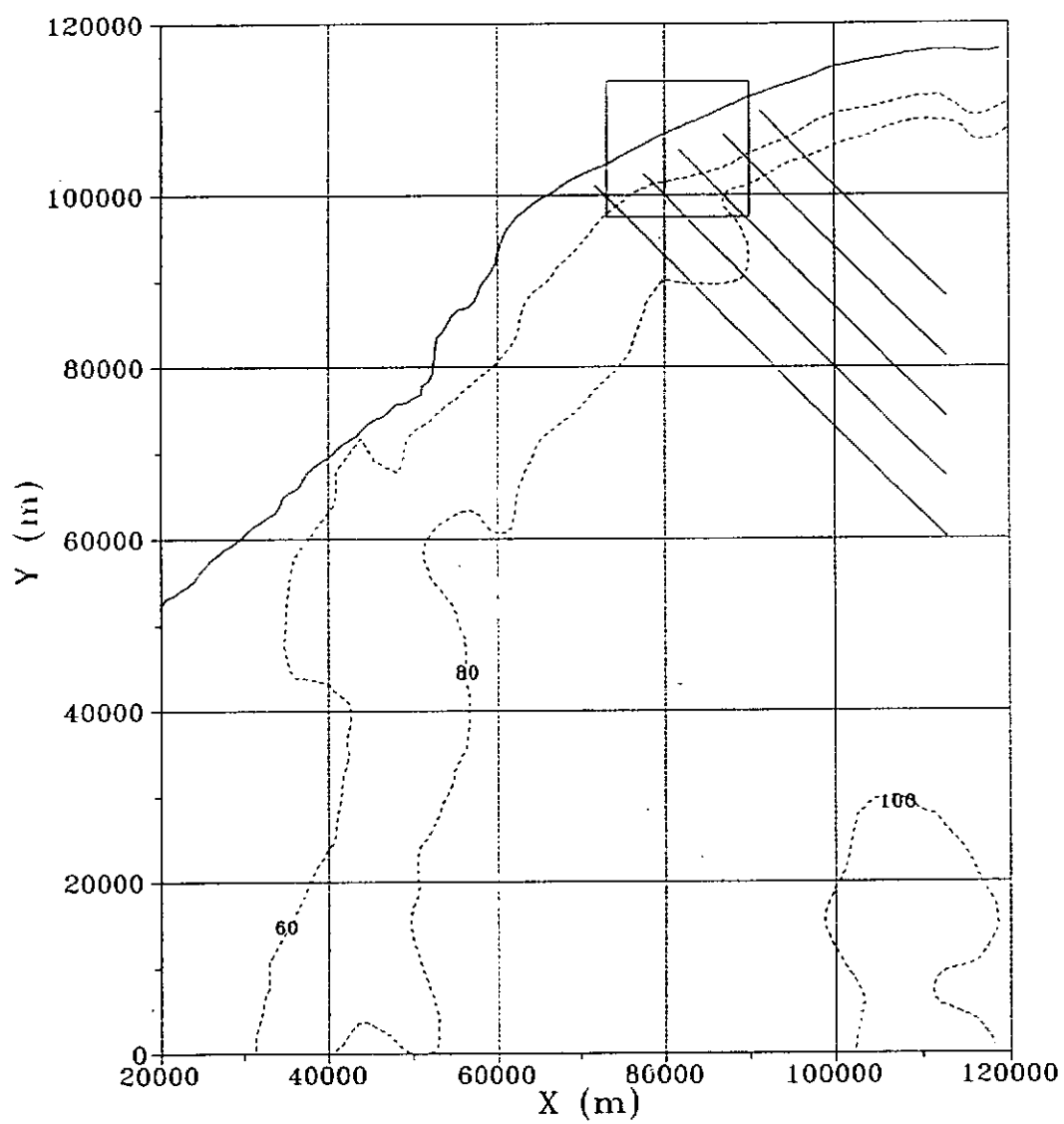
Malla 3. Curvas de nivel.

Figura Nro. 6



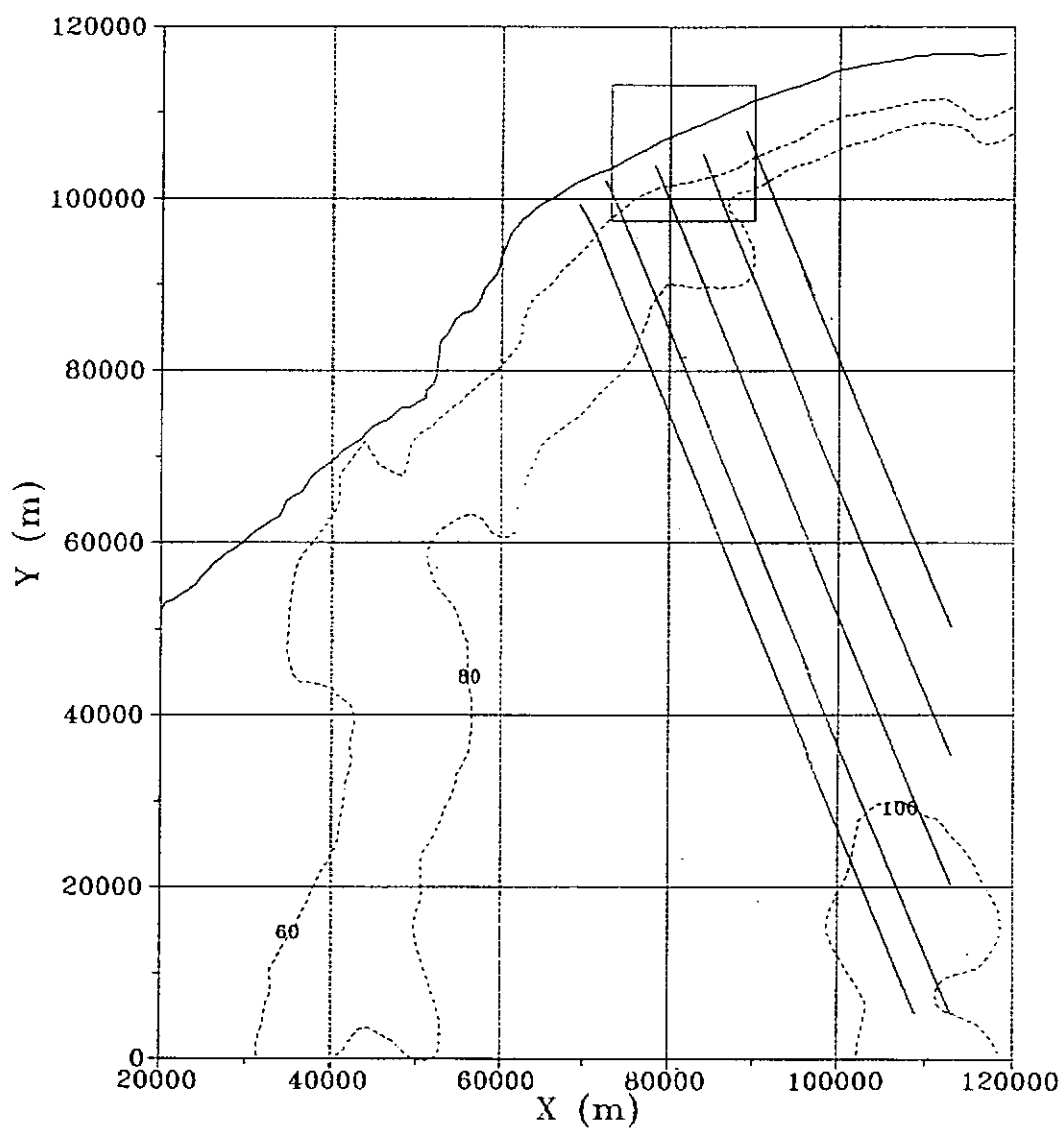
Vista tridimensional con el canal de acceso

Figura Nro. 7



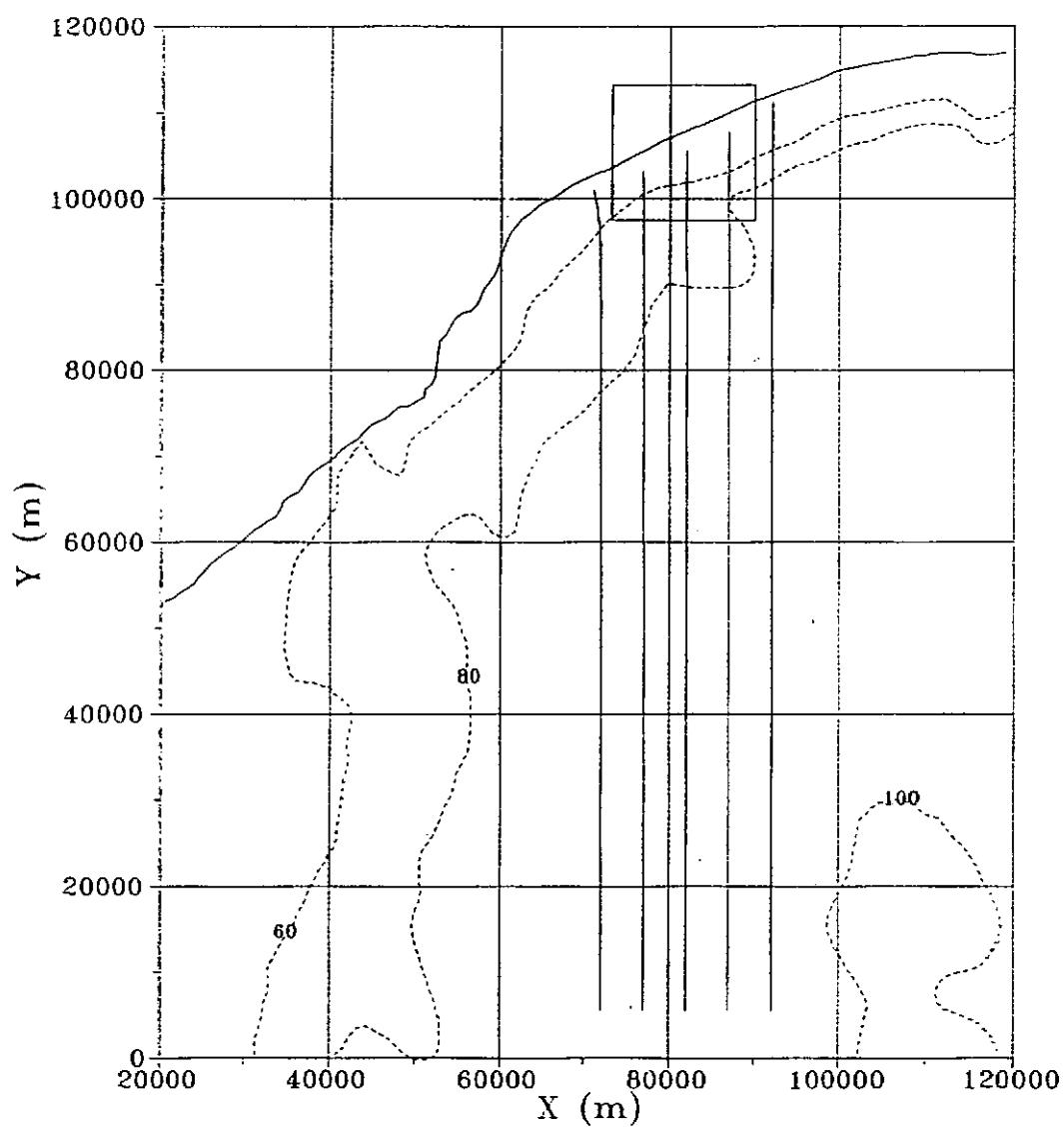
Malla 1, Direccion NE, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 8



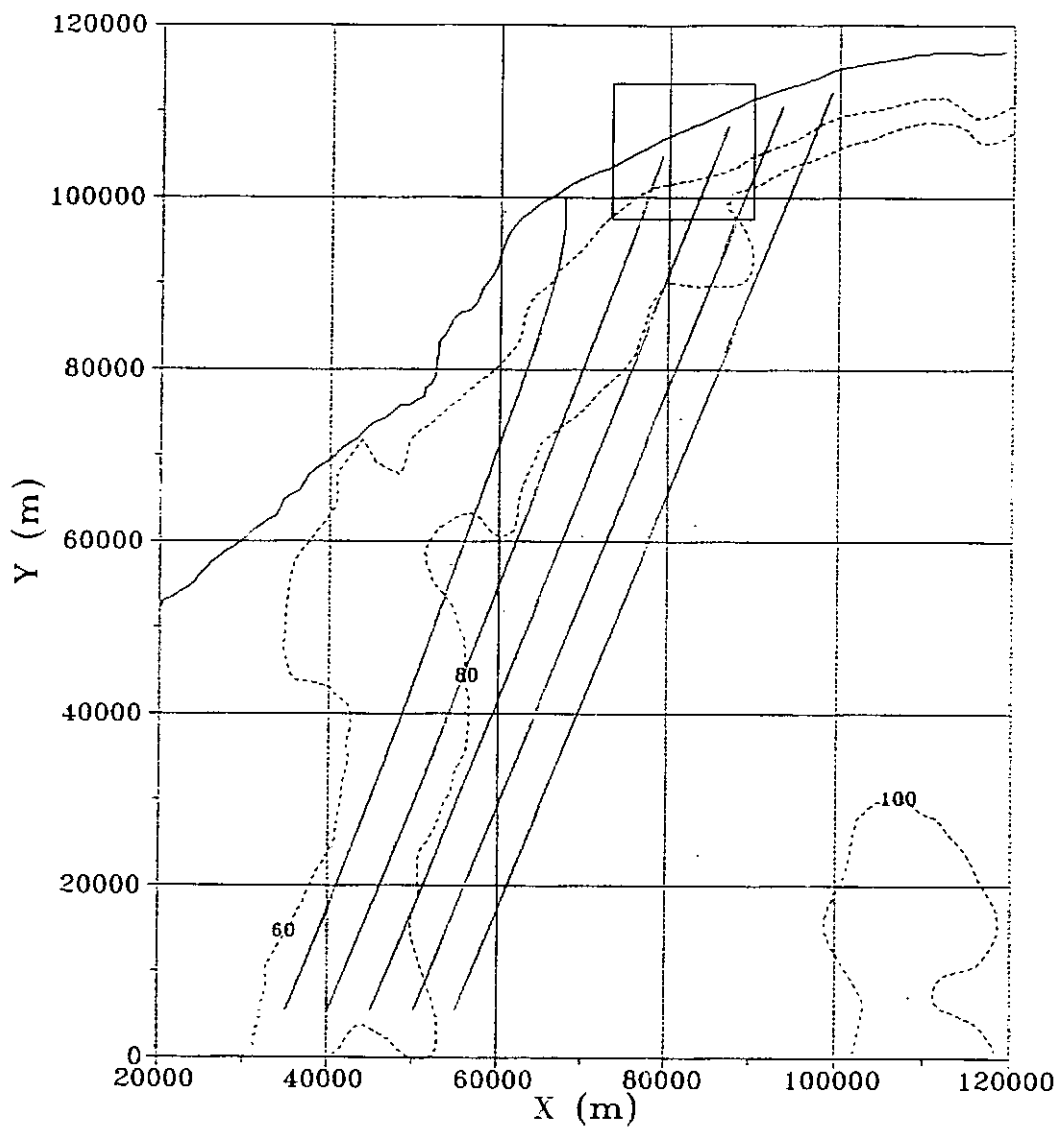
Malla 1, Direccion ENE, Periodo 10 seg.

Figura Nro.9



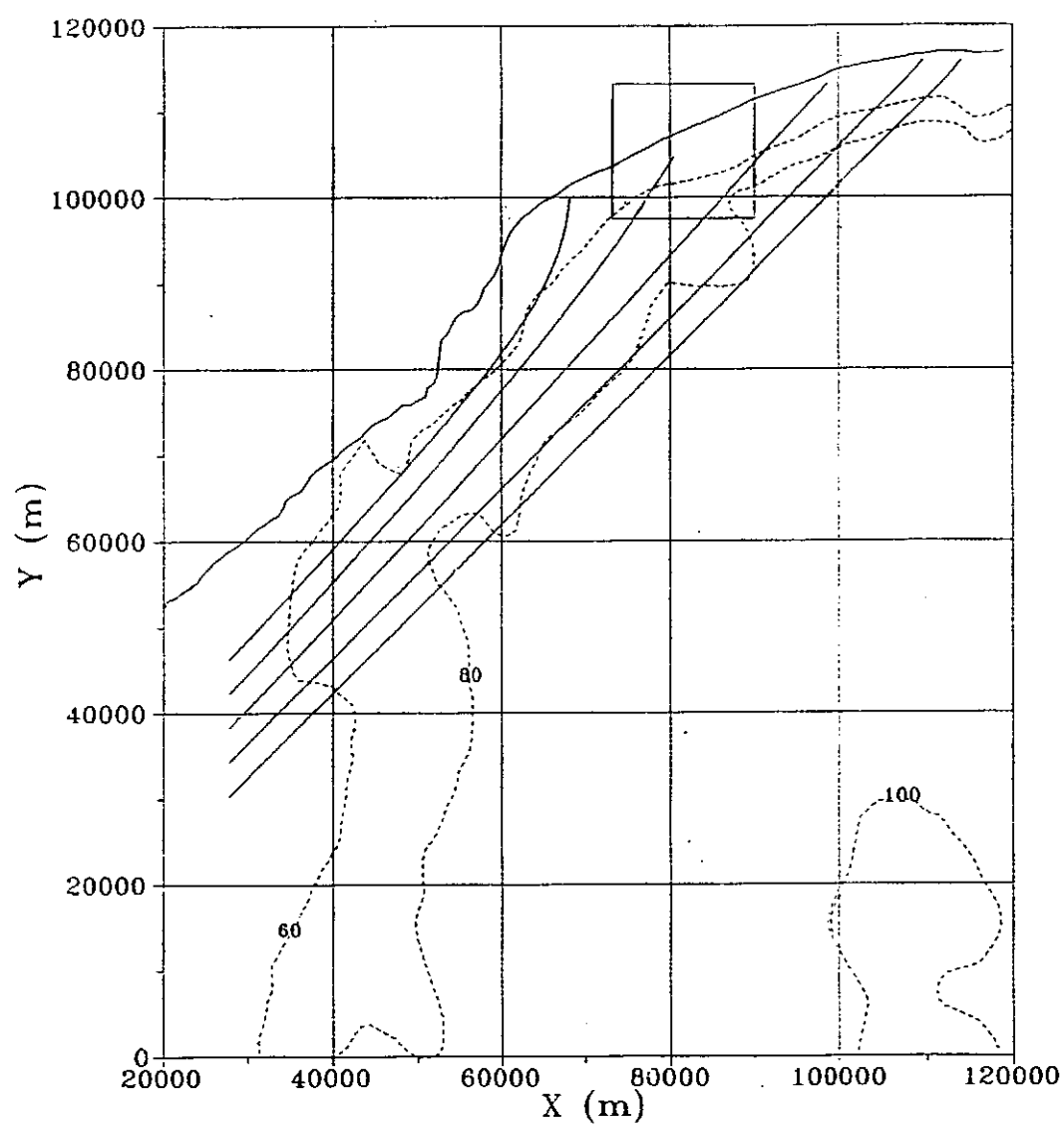
Malla 1, Direccion E, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 10



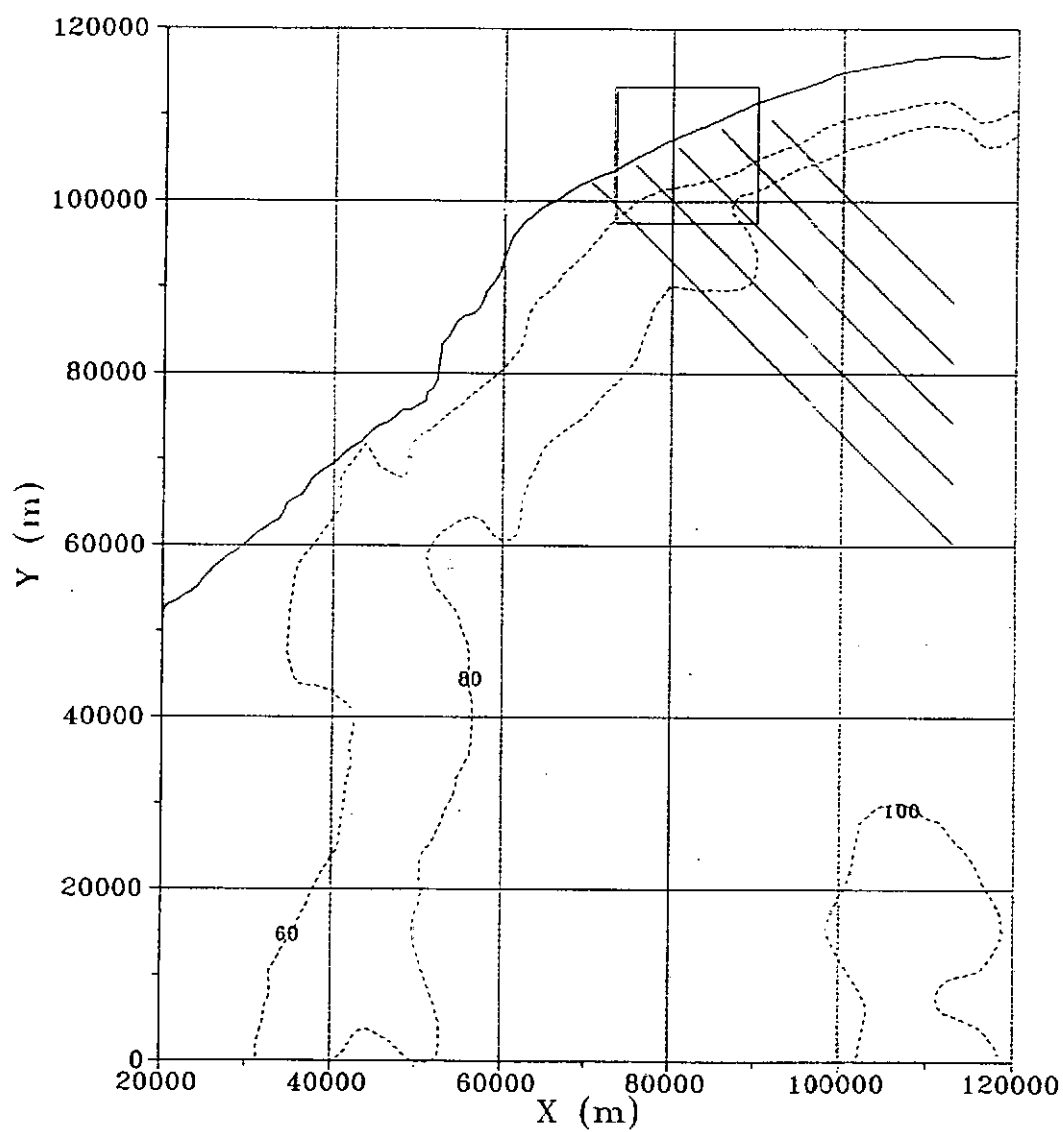
Malla 1, Direccion ESE, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 11



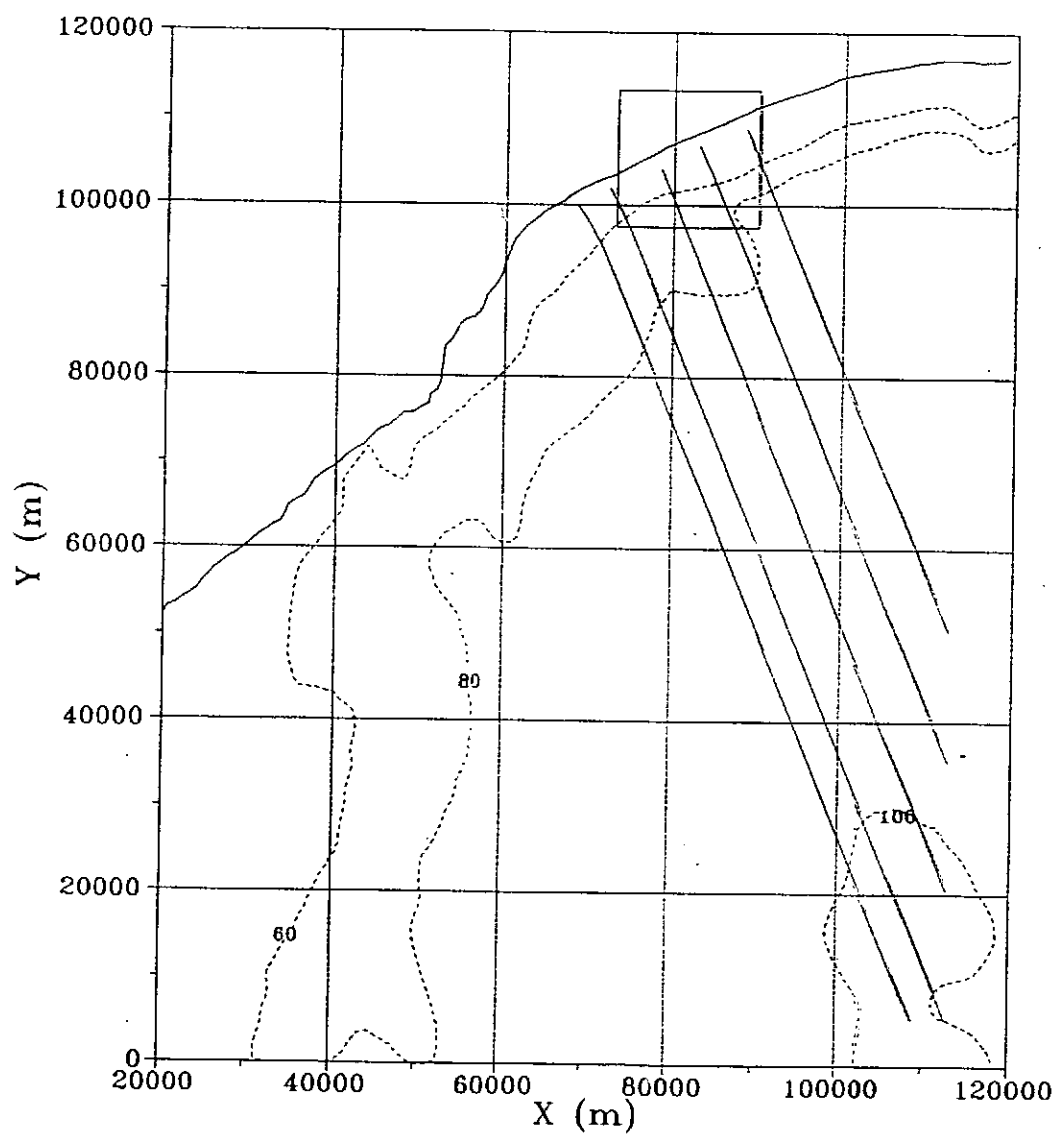
Malla 1, Direccion SE, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 12



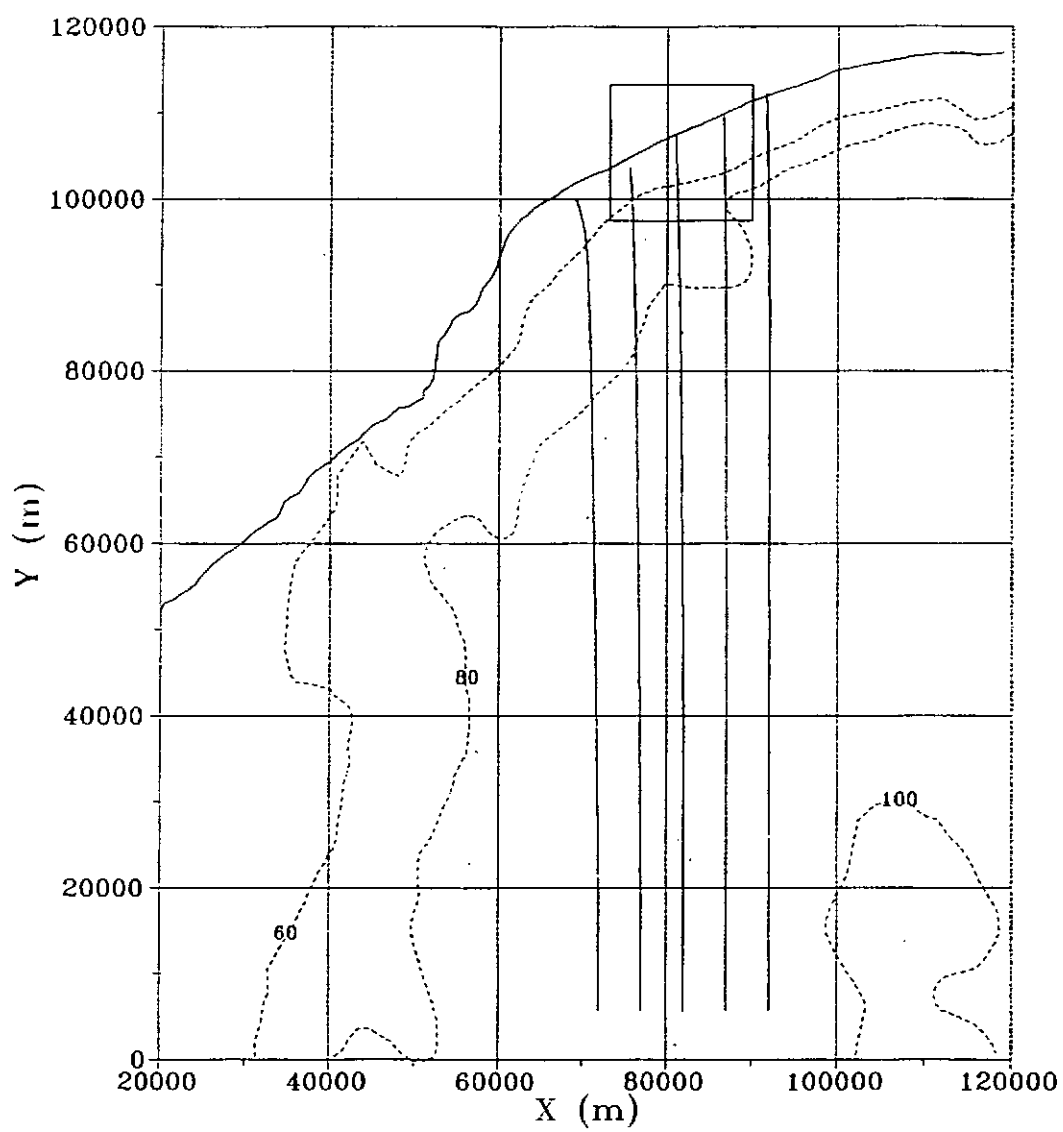
Malla 1, Direccion NE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 13



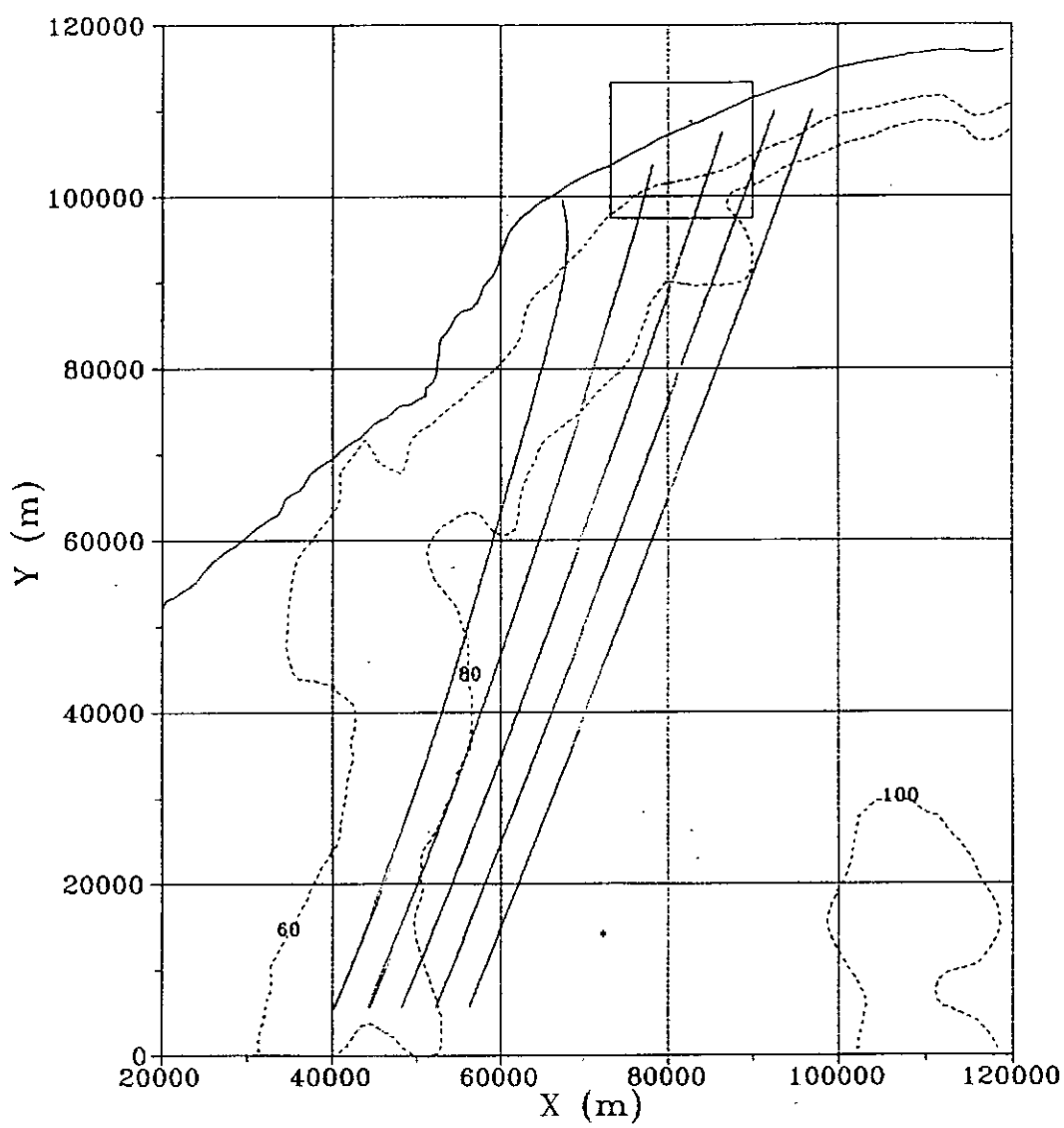
Malla 1, Direccion ENE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 14



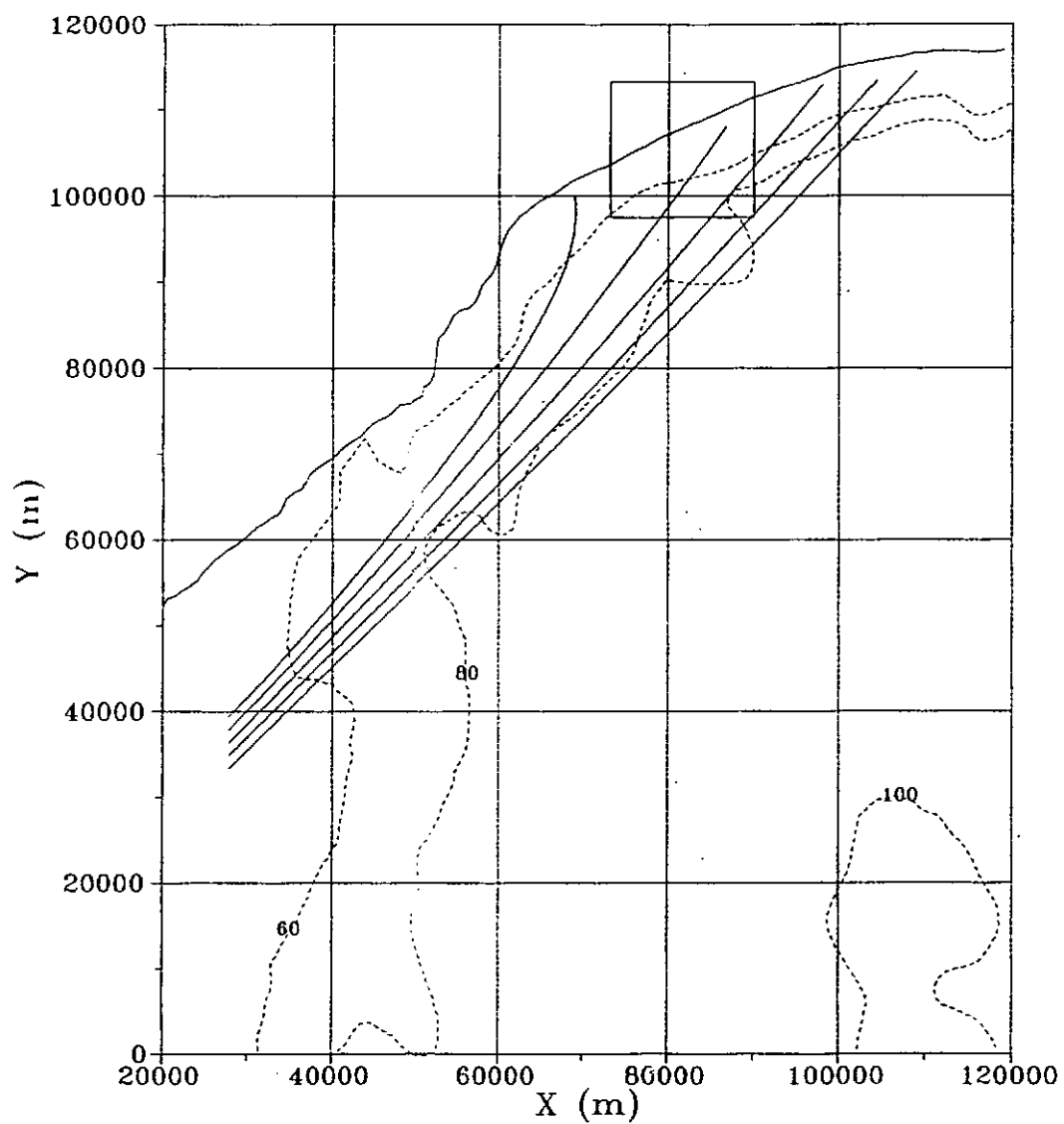
Malla 1, Direccion E, periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 15



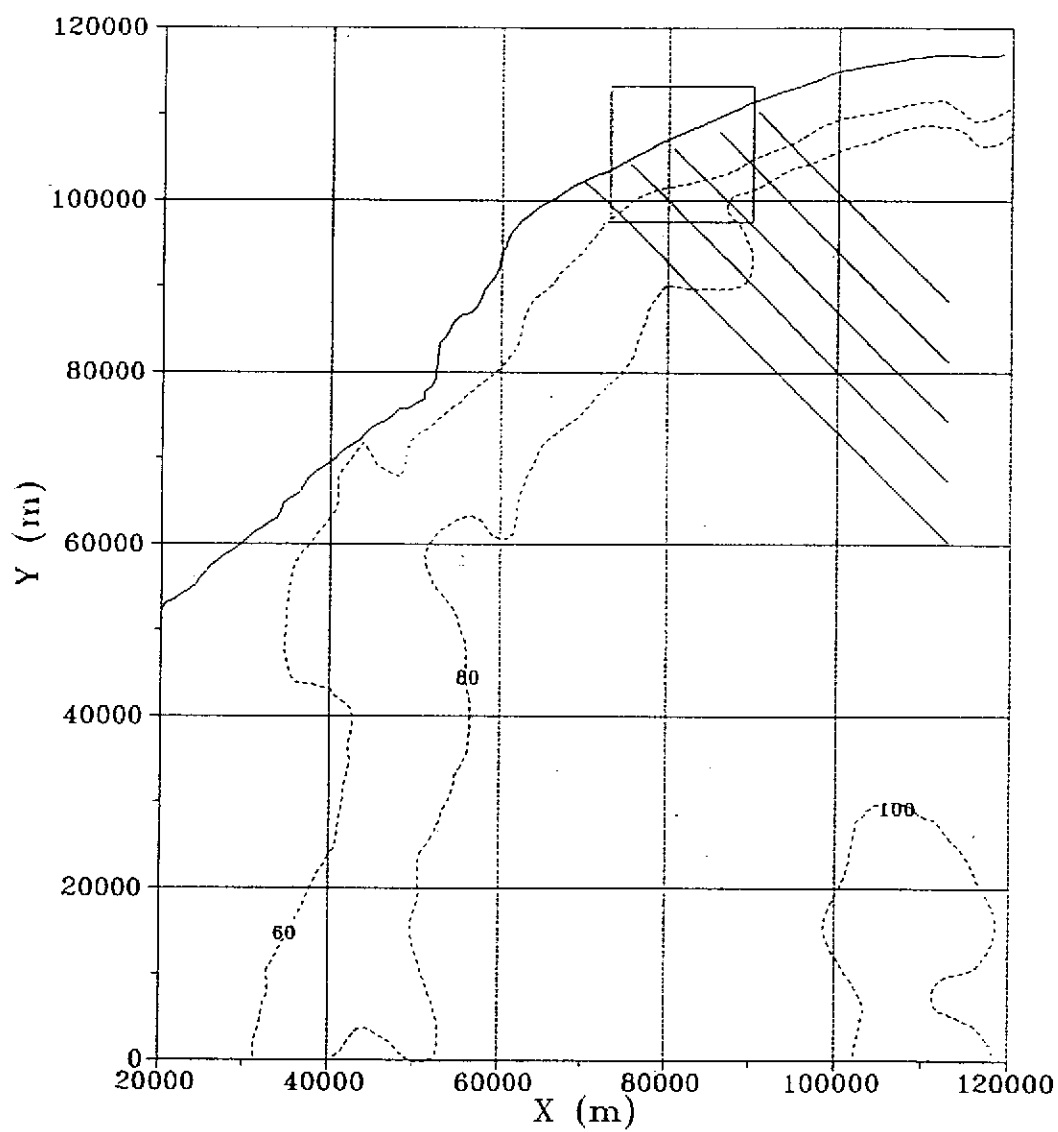
Malla 1, Direccion ESE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro.16



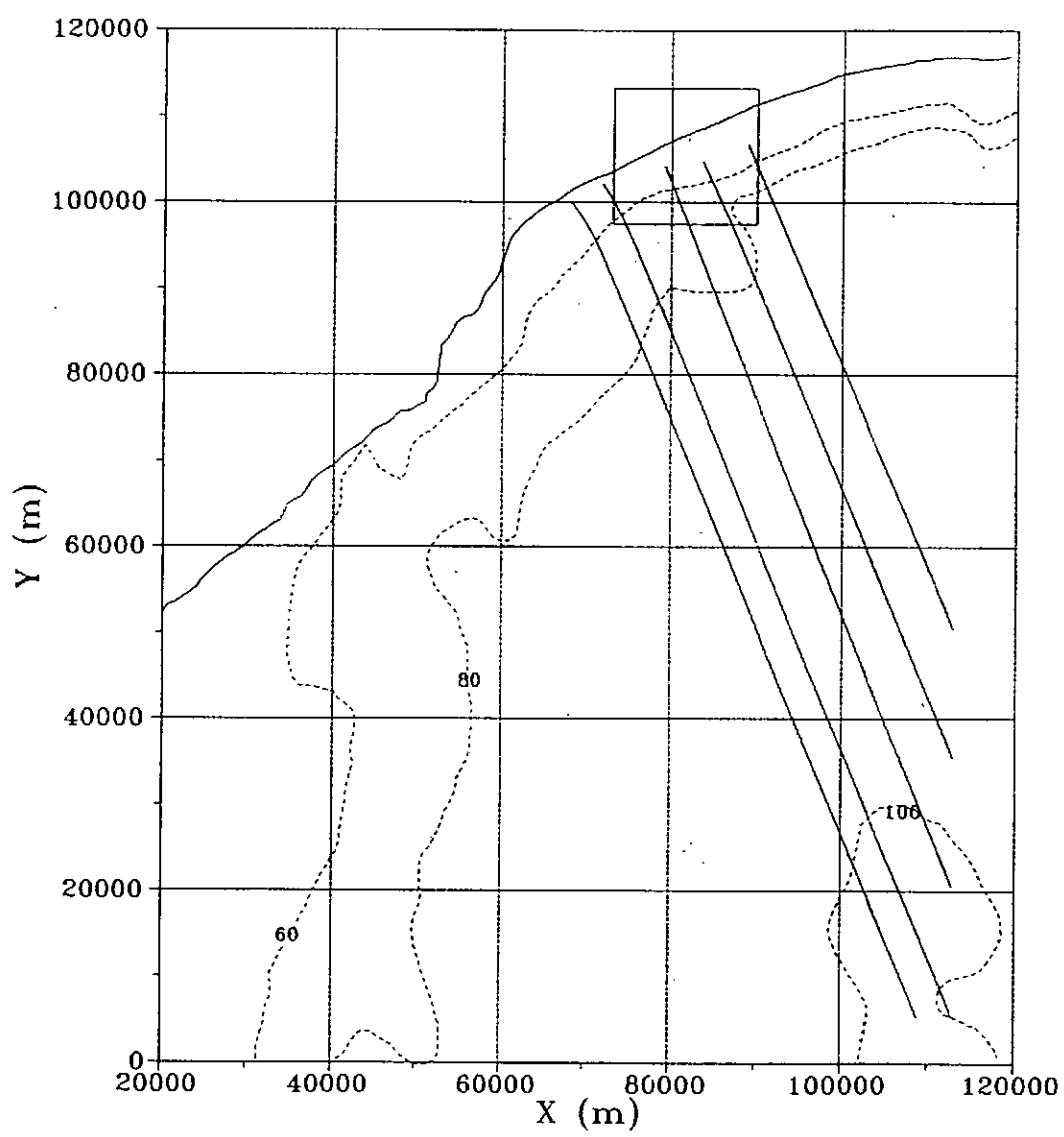
Malla 1, Direccion SE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 17



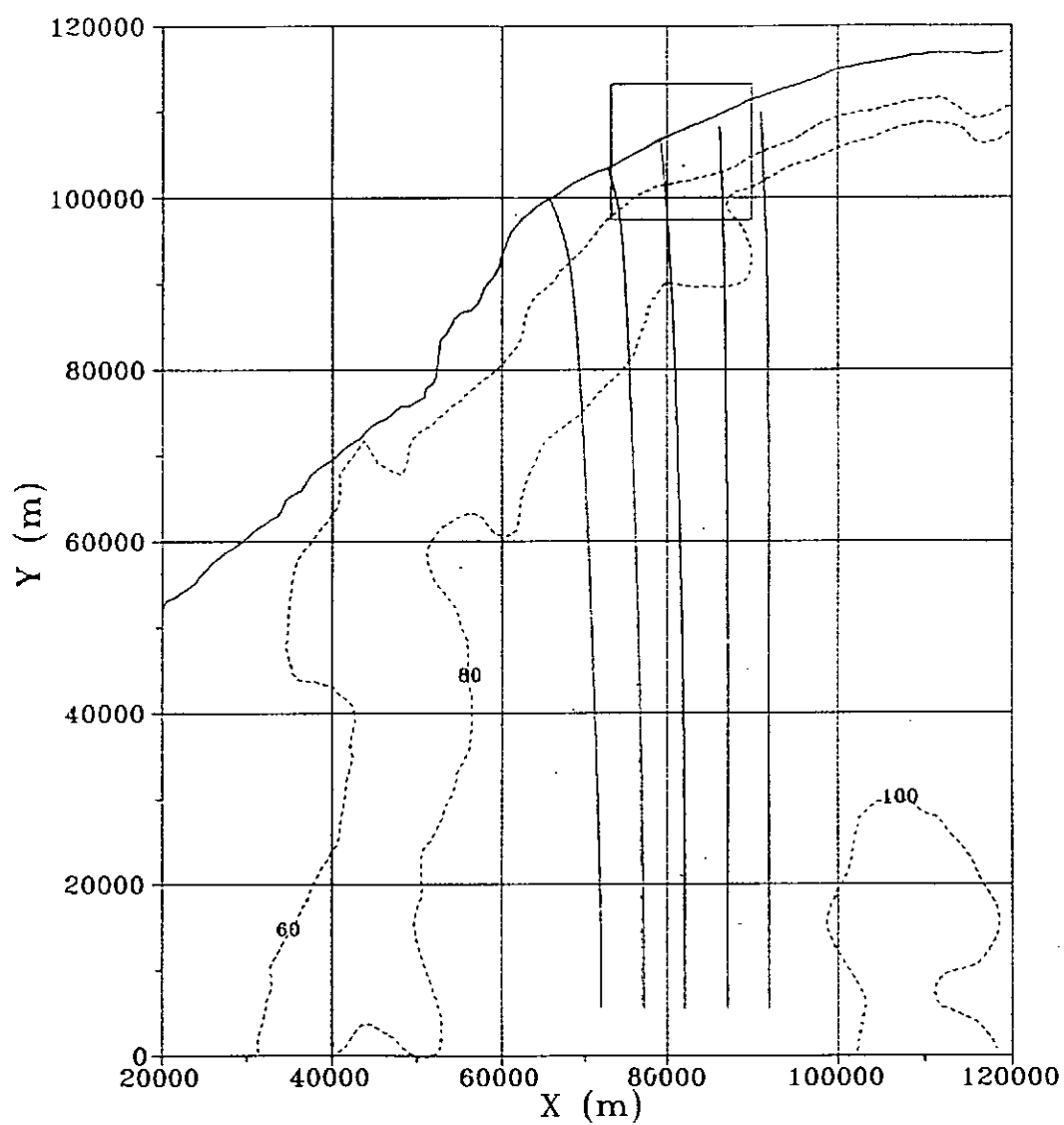
Malla 1, Direccion NE, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 18



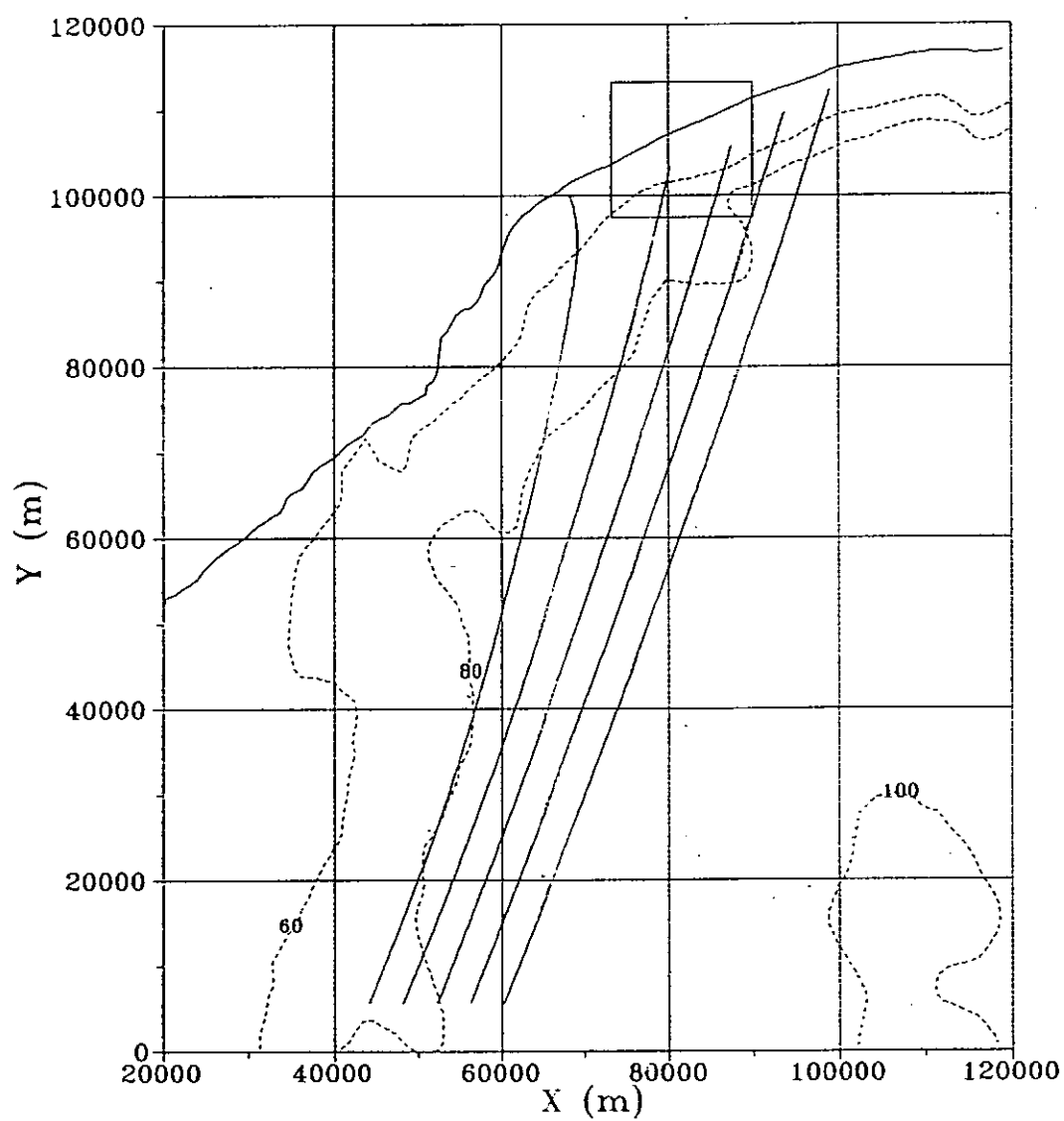
Malla 1, Direccion ENE, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 19



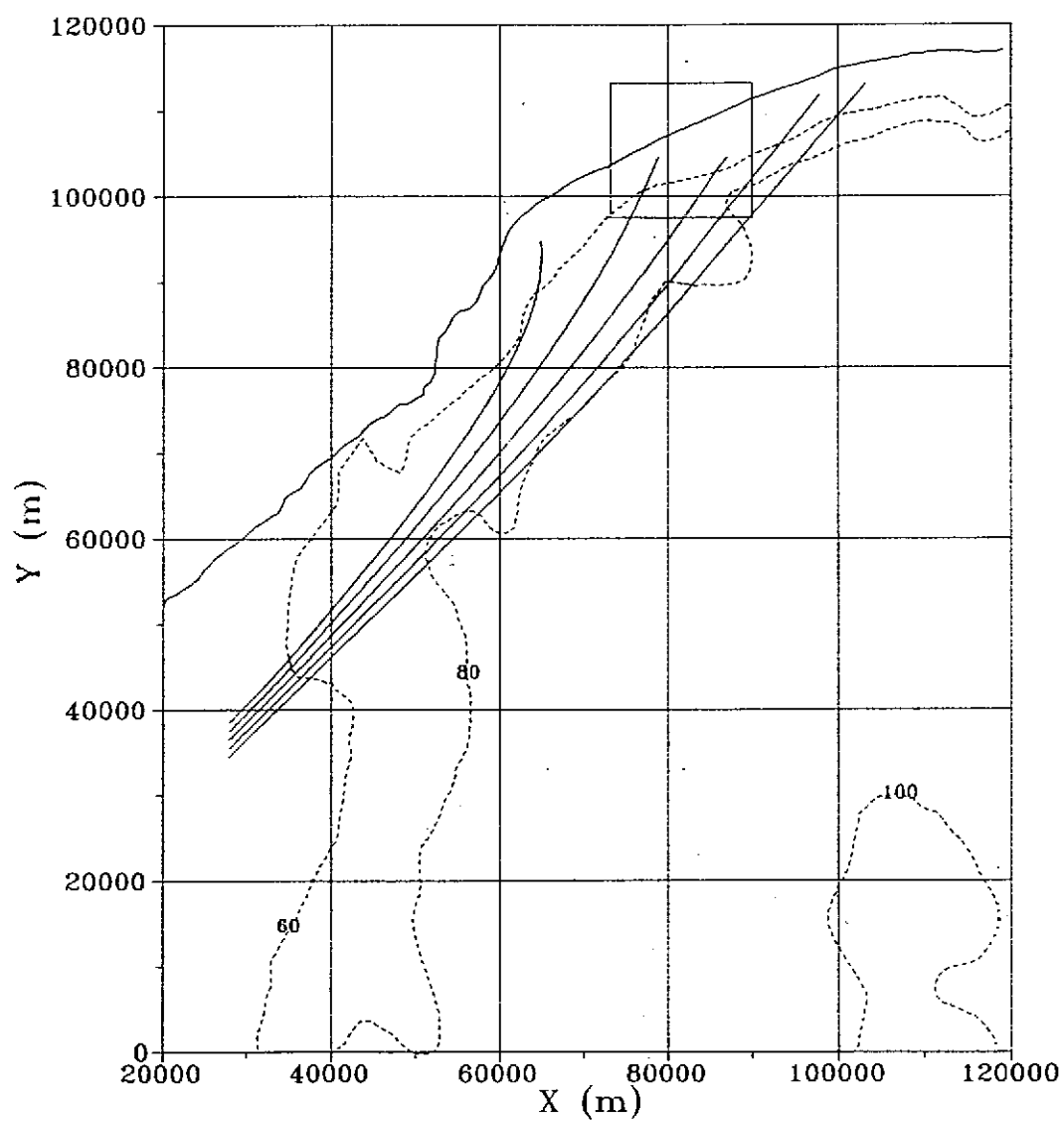
Malla 1. Direccion E, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 20



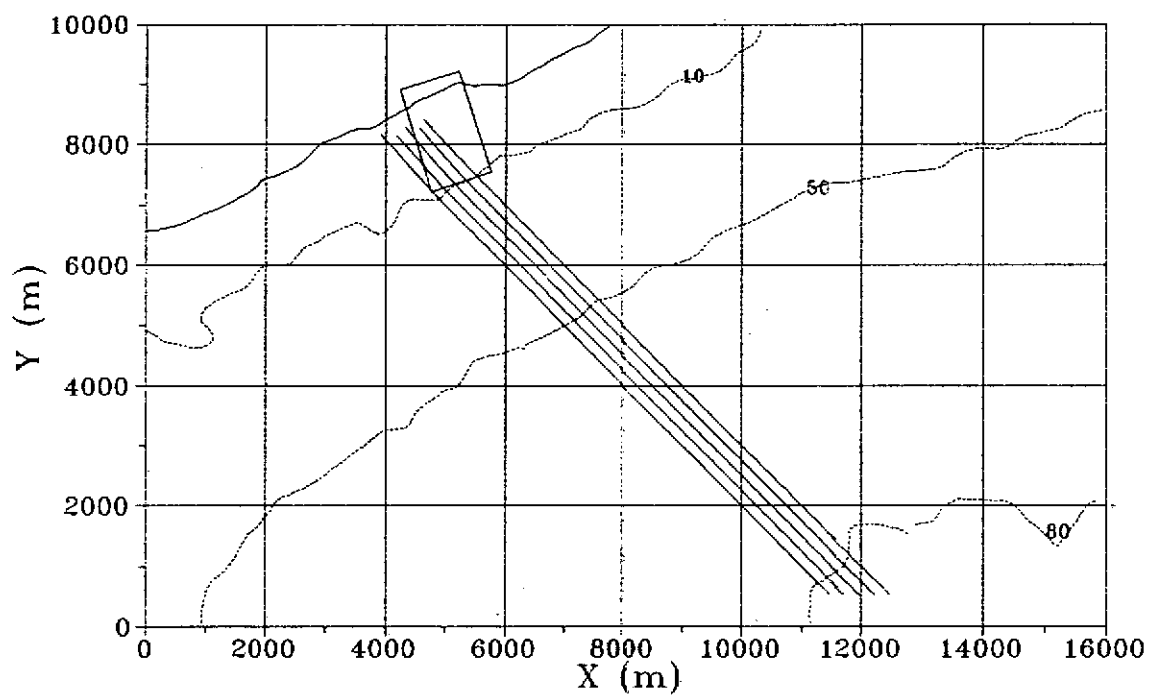
Malla 1, Direccion ESE, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 21



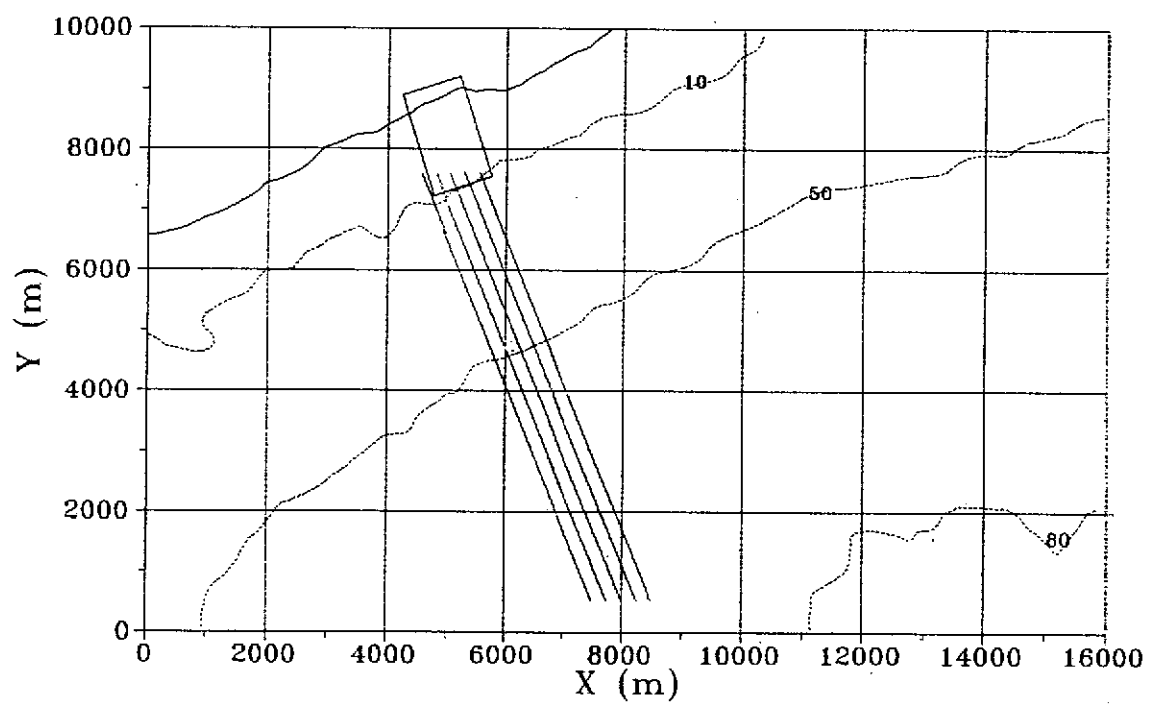
Malla 1, Direccion SE, Periodo 15. seg.

Figura Nro. 22



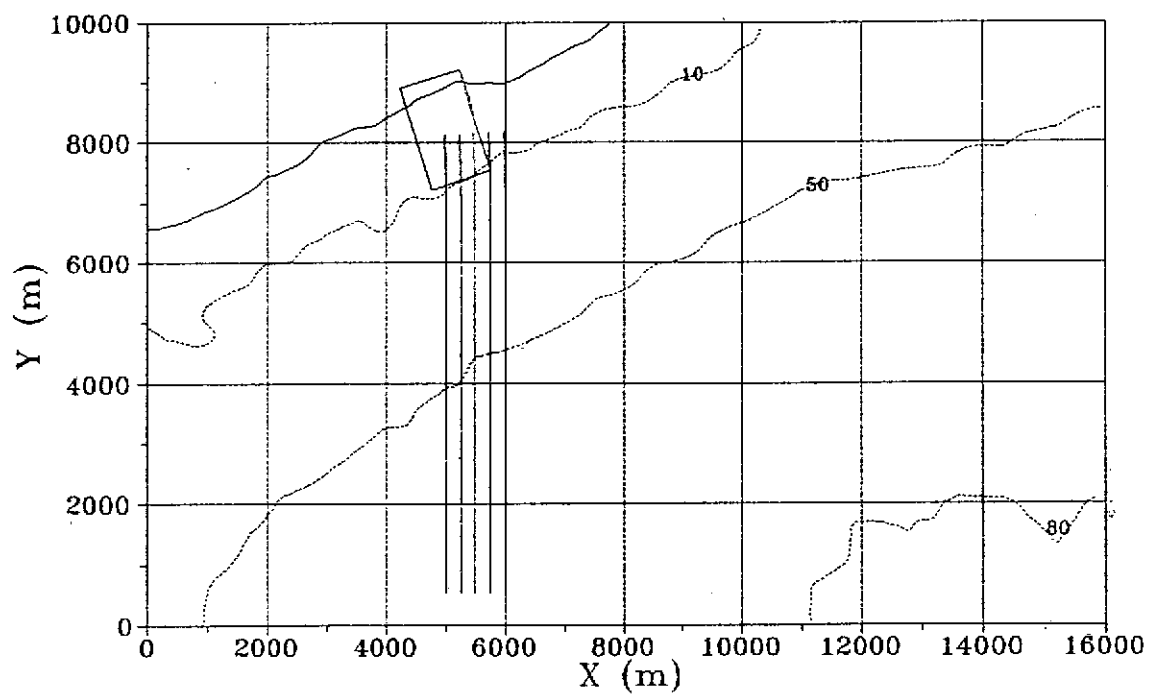
Malla 2, Direccion NE, Periodo 5 seg

Figura Nro. 23



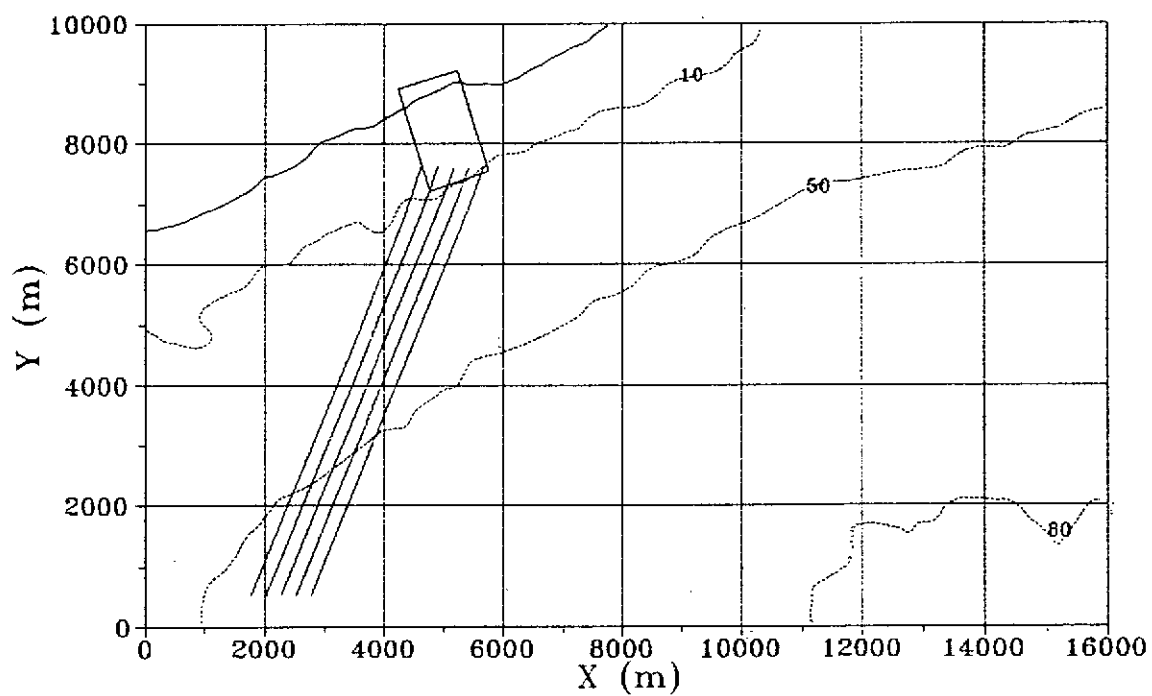
Malla 2, Direccion ENE, Periodo 5 seg.

Figura Nro. 24



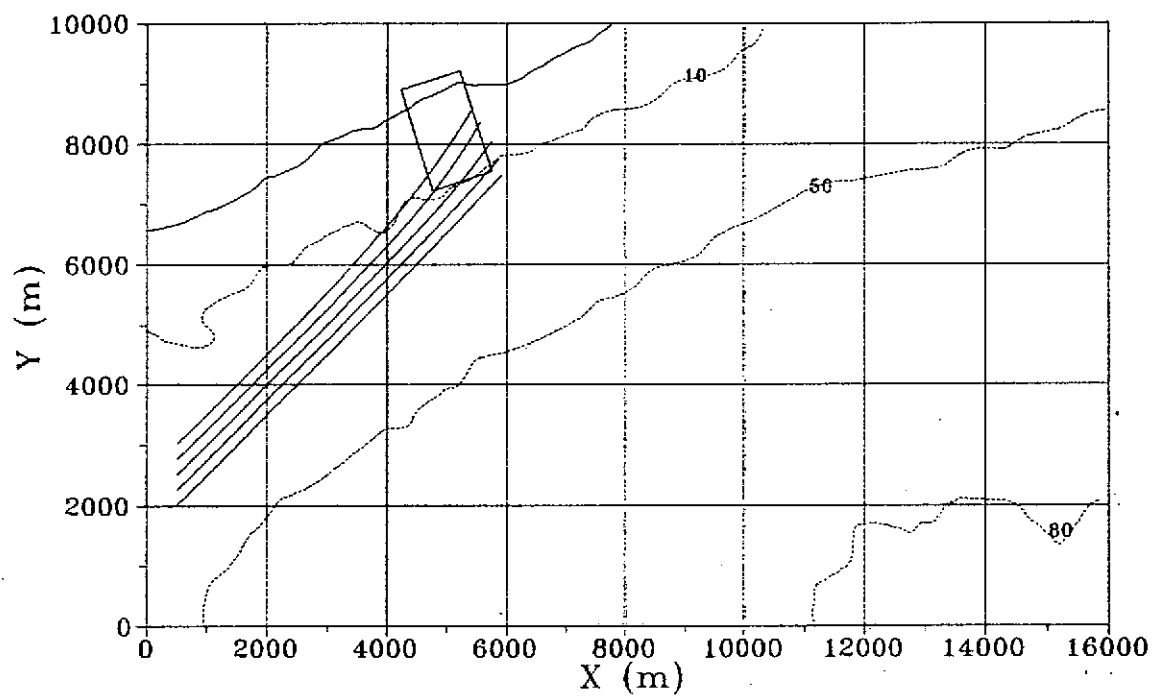
Malla 2, Direccion E, Periodo 5 seg.

Figura Nro. 25



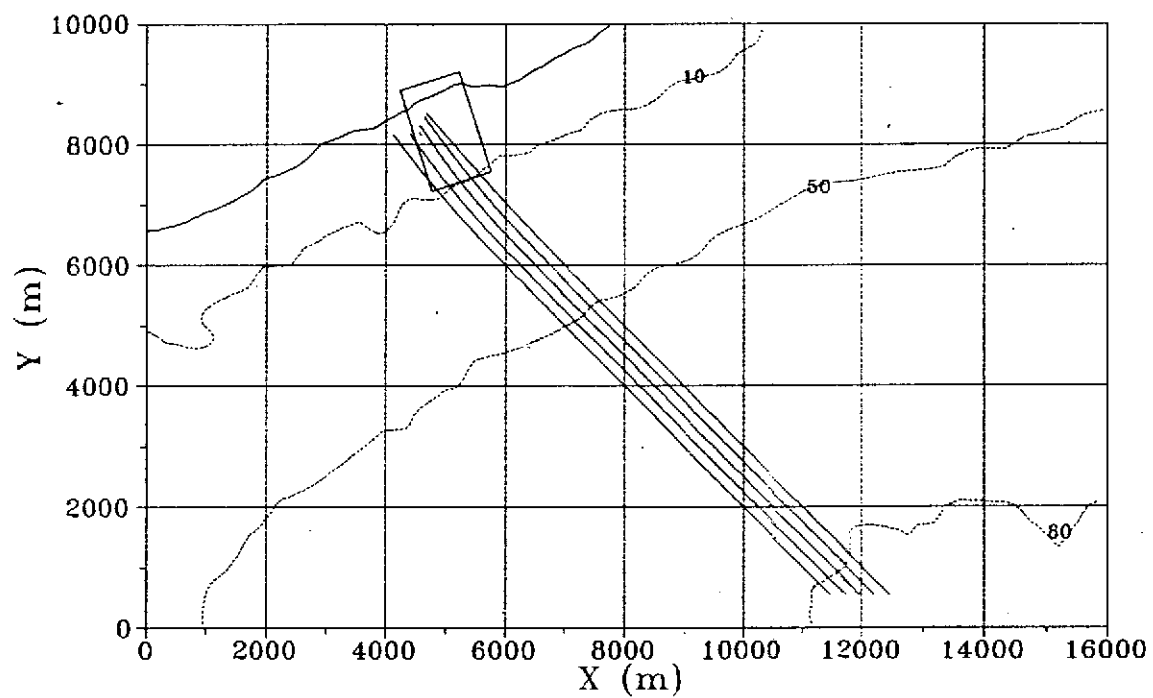
Malla 2, Direccion ESE, Periodo 5 seg.

Figura Nro. 26



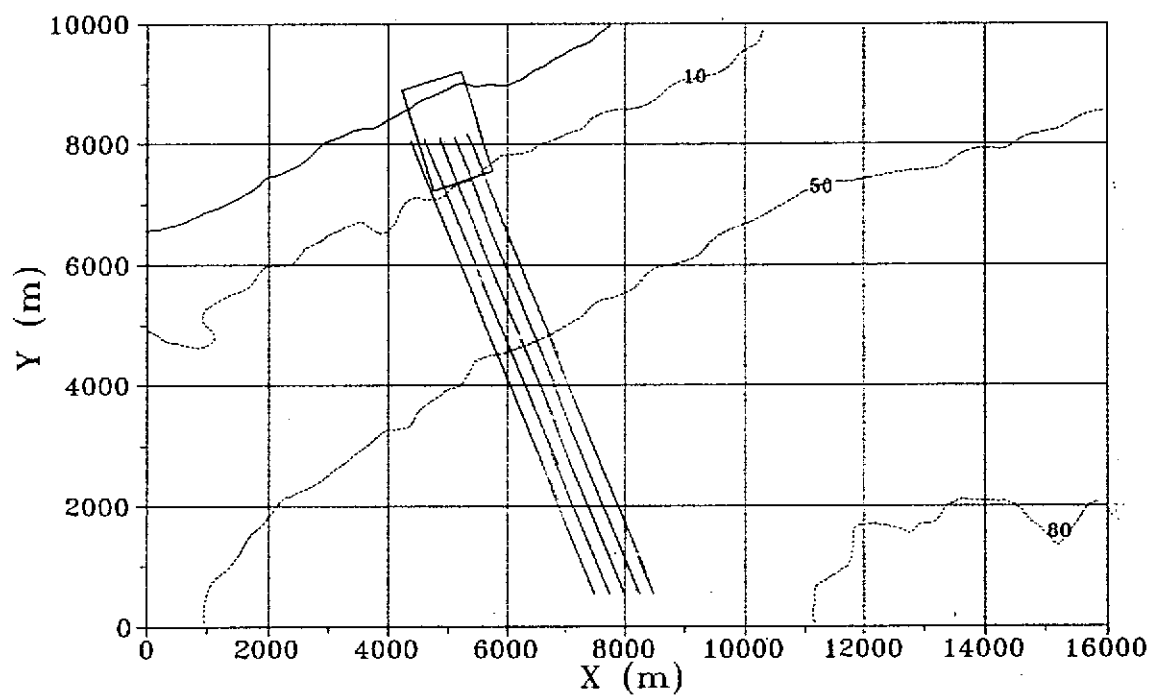
Malla 2, Direccion SE, Periodo 5 seg.

Figura Nro. 27



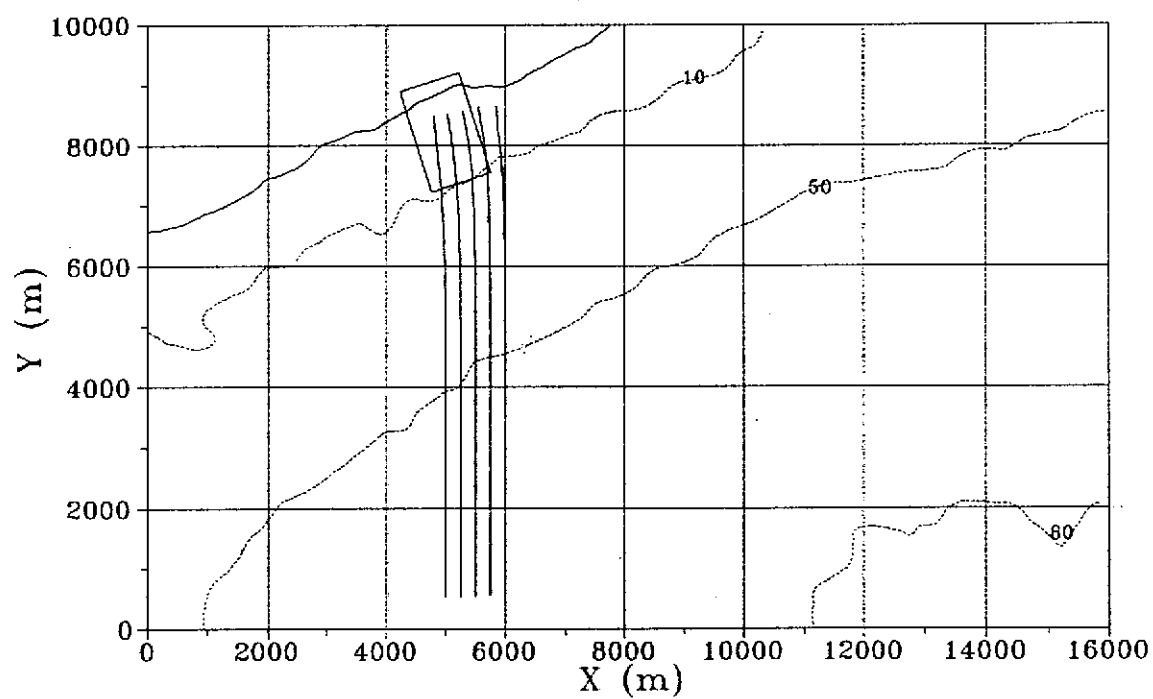
Malla 2, Direccion NE, Periodo 7.5 seg.

Figura Nro. 28



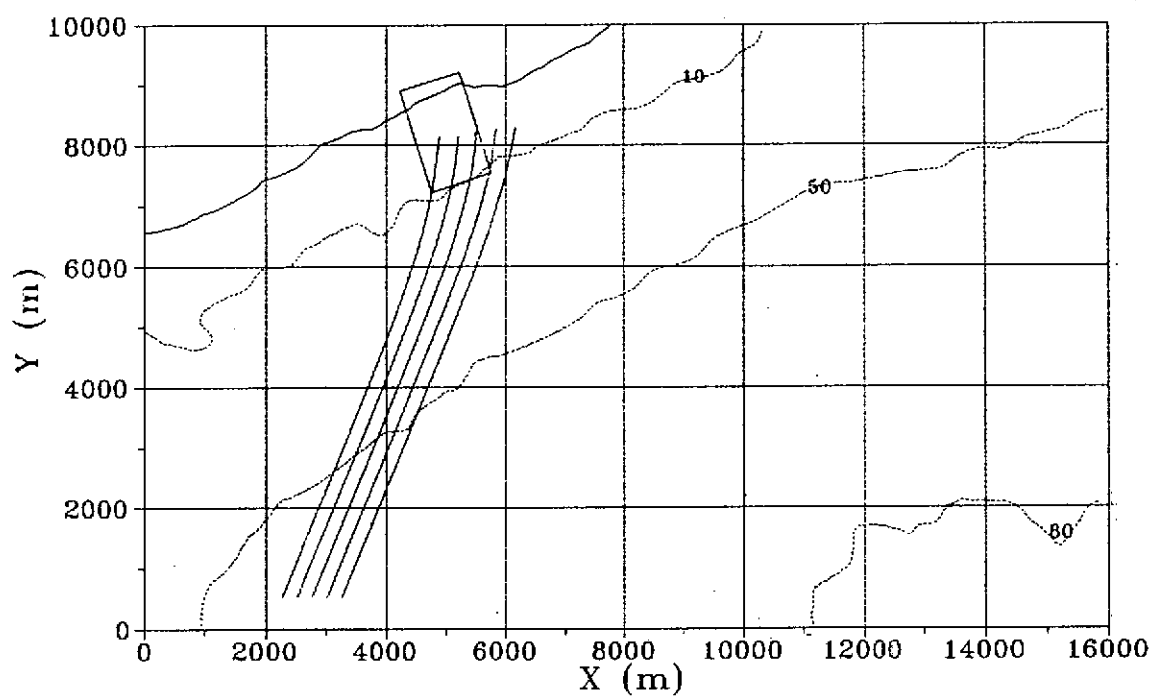
Malla 2, Direccion ENE, Periodo 7.5 seg.

Figura Nro. 29



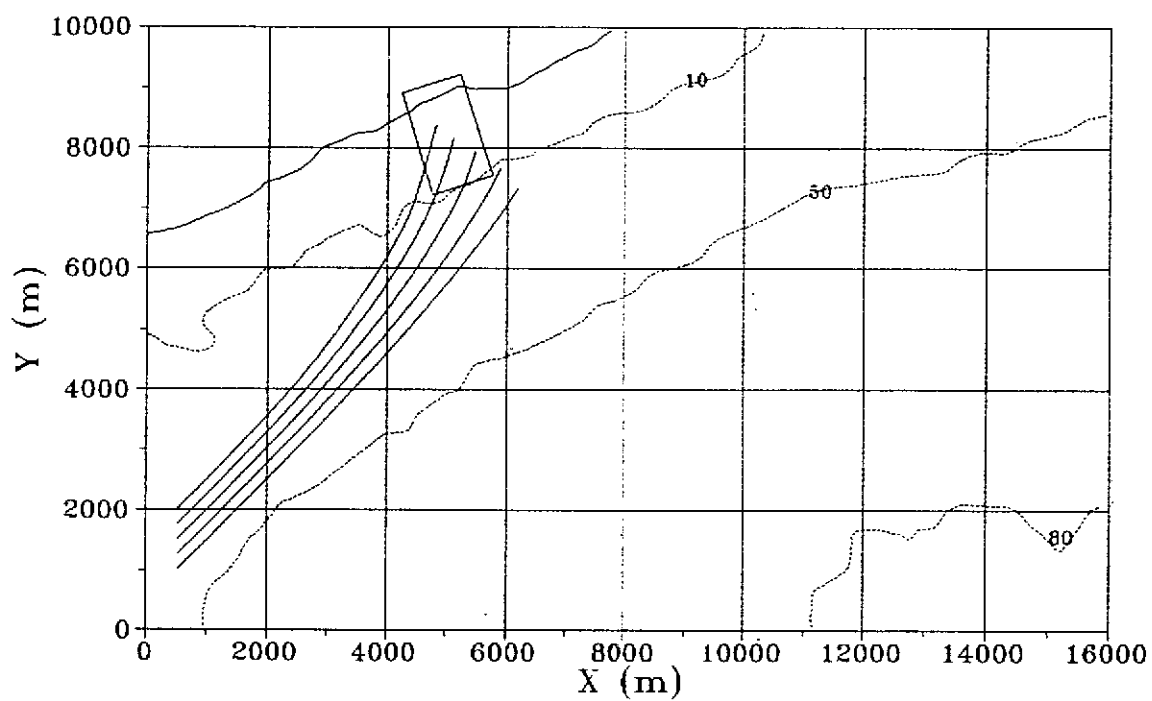
Malla 2, Direccion E, Periodo 7.5 seg.

Figura Nro. 30



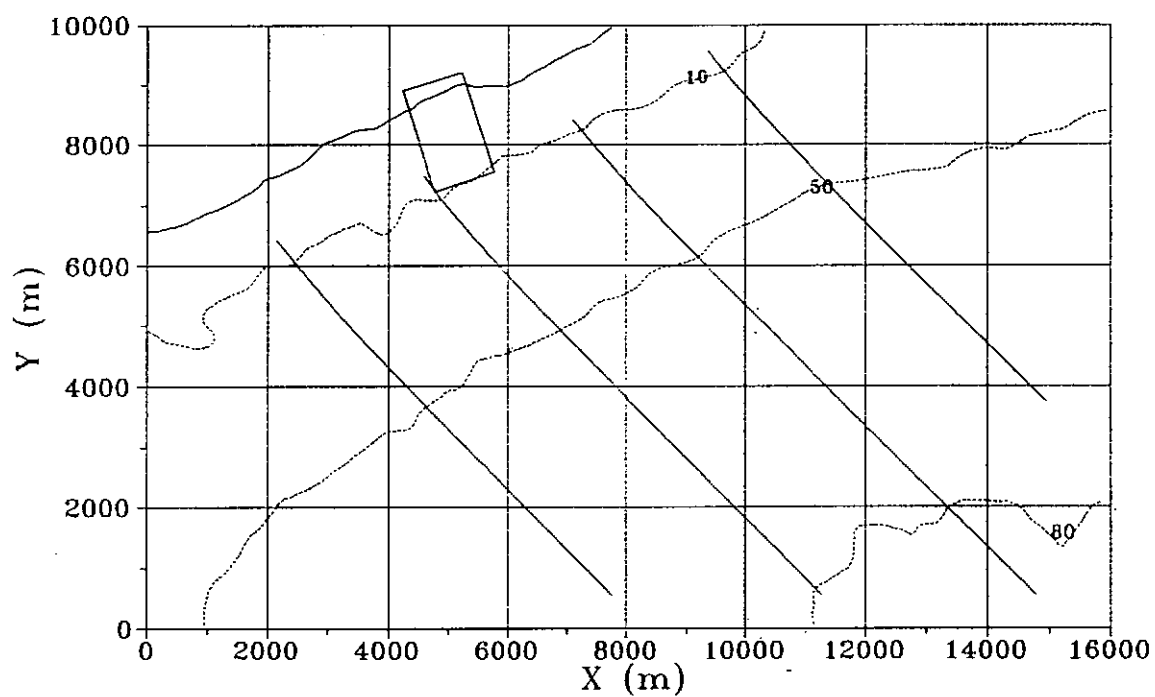
Malla 2, Direccion ESE, Periodo 7.5 seg.

Figura Nro. 31



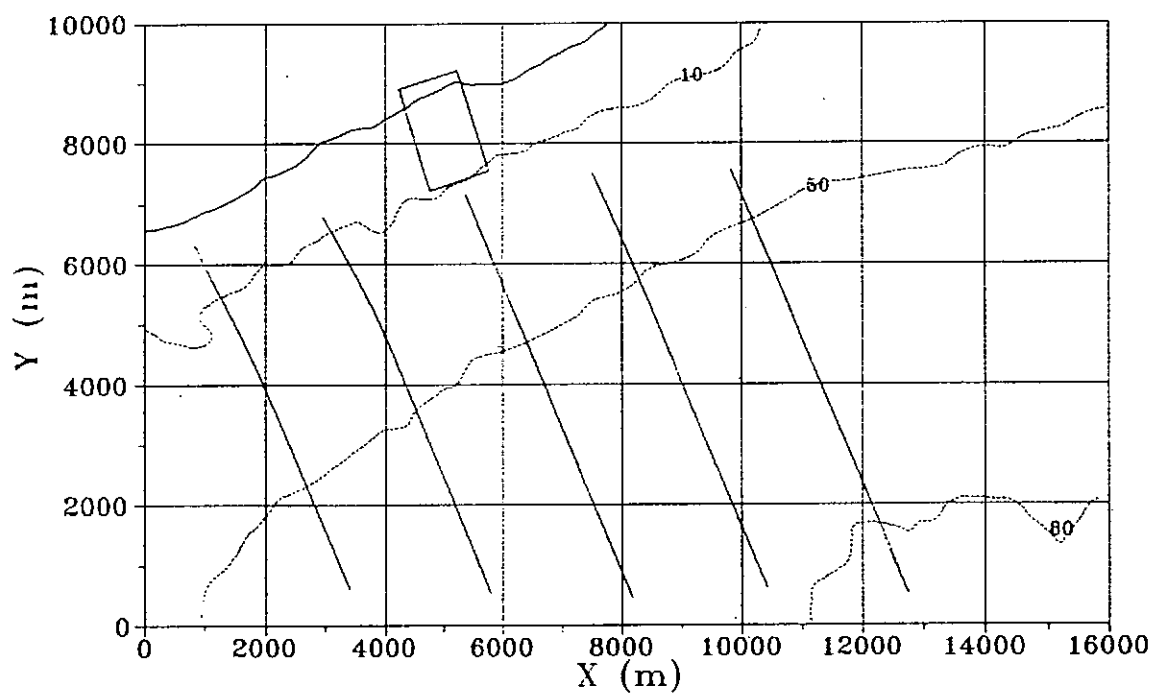
Malla 2, Direccion SE, Periodo 7.5 seg.

Figura Nro. 32



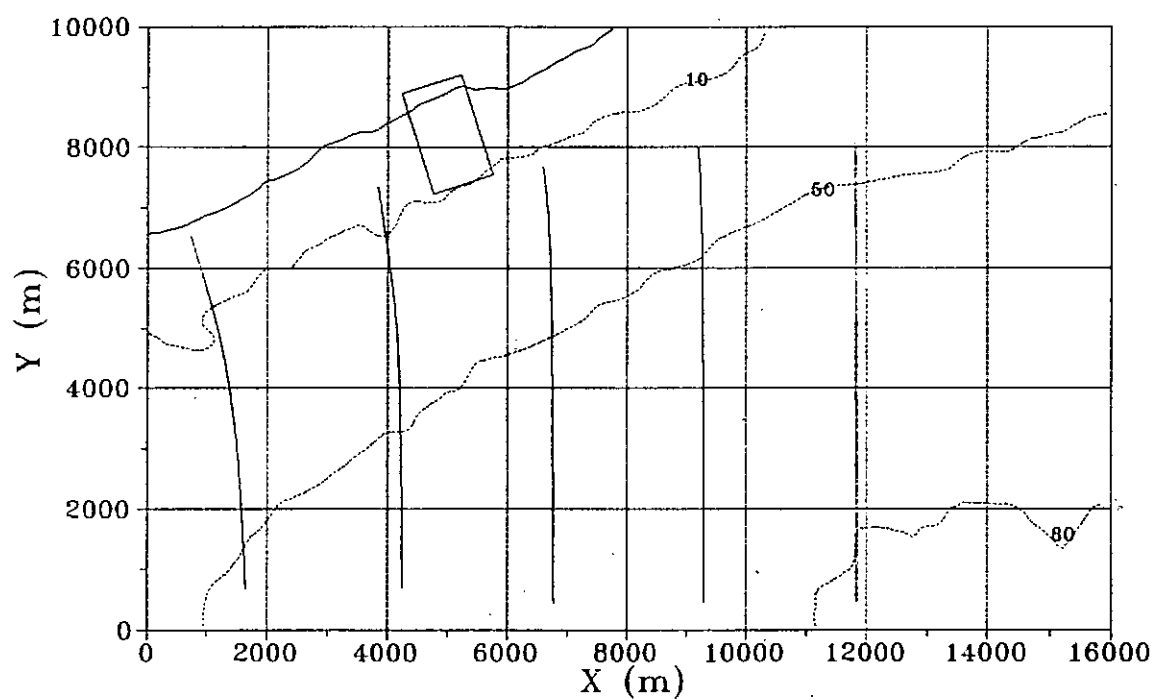
Malla 2, Direccion NE, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 33



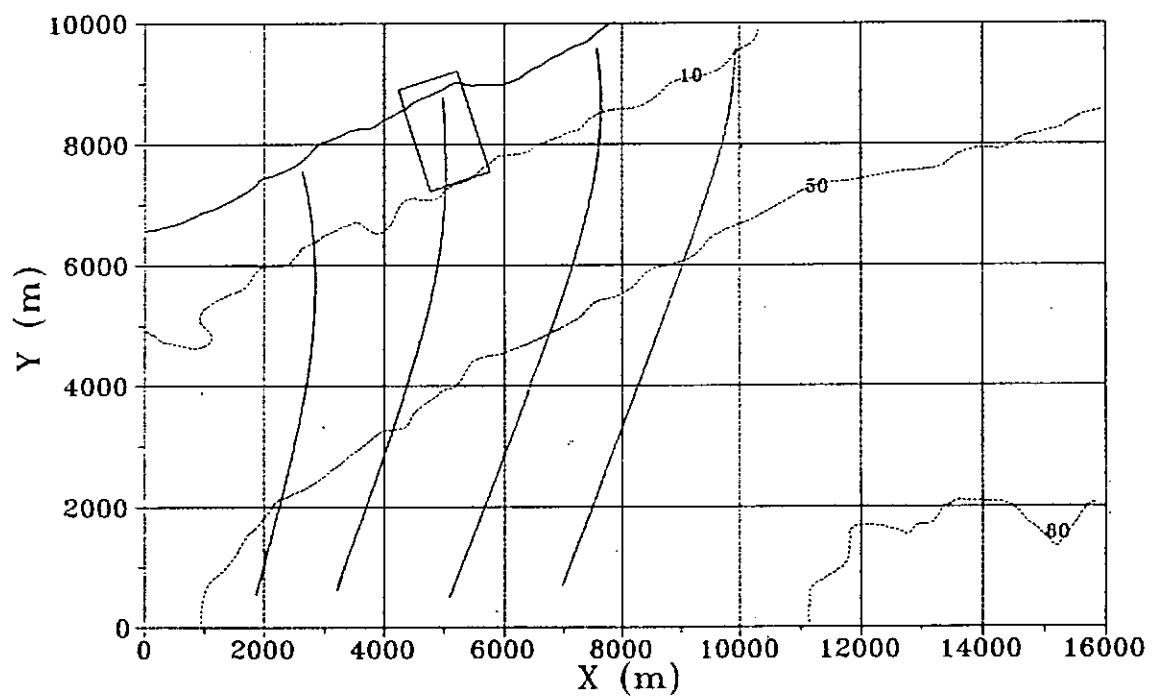
Malla 2, Direccion ENE, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 34



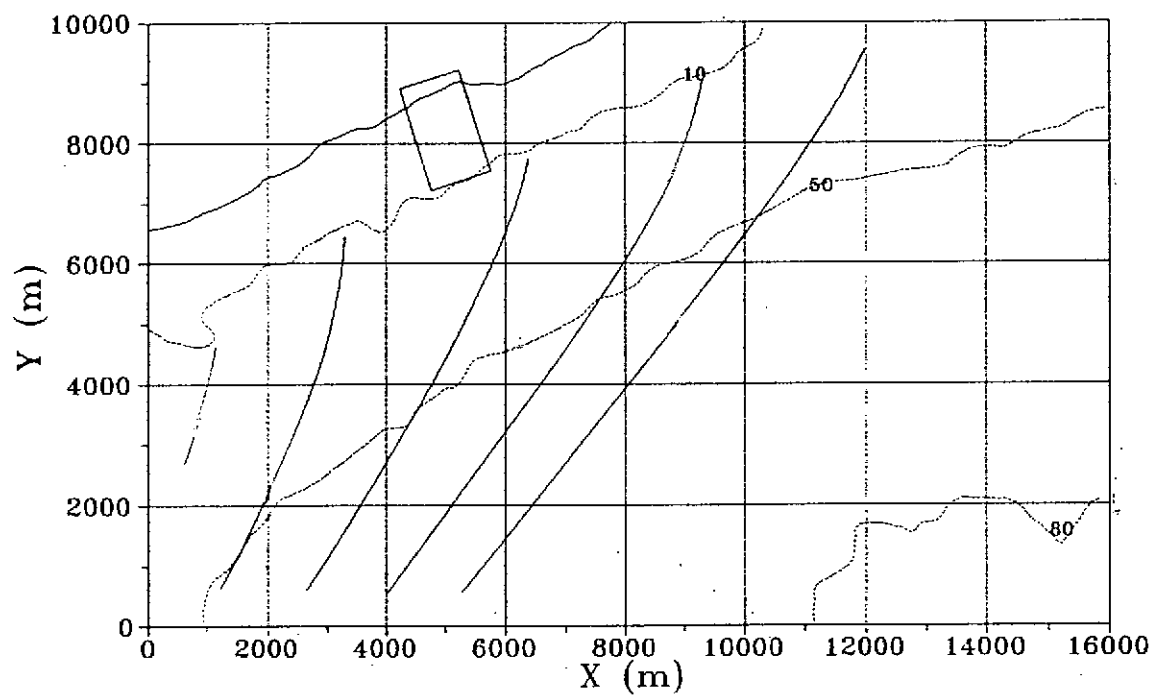
Malla 2, Direccion E, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 35



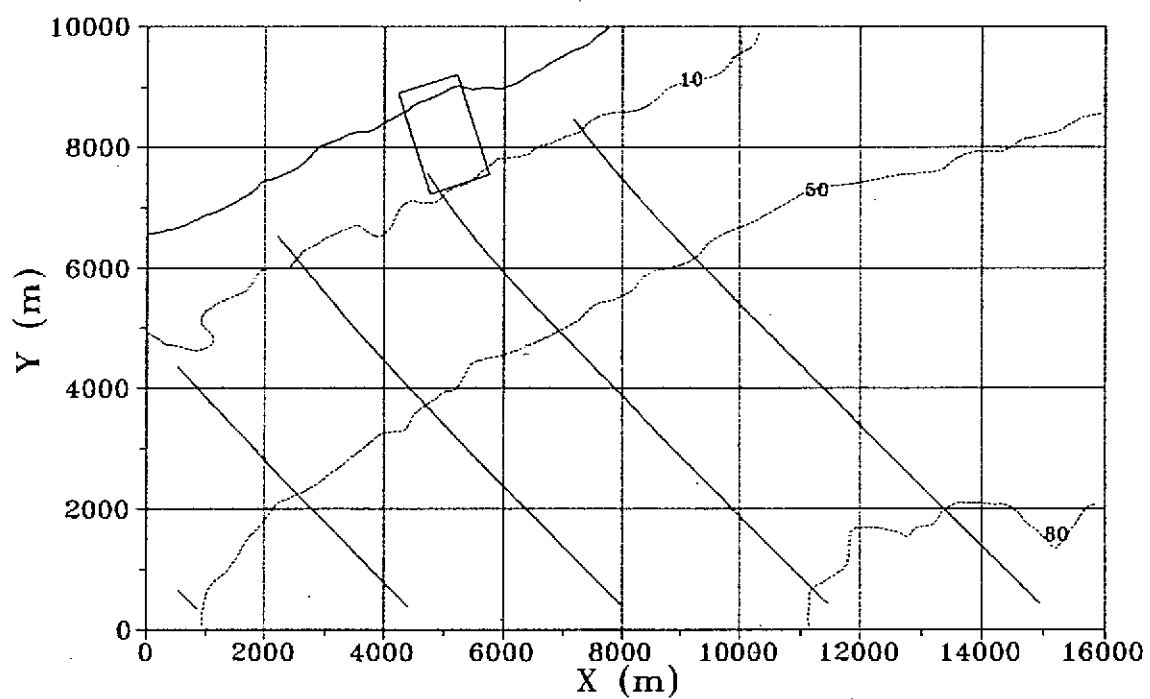
Malla 2, Direccion ESE, Periodo 10 seg.

Figura Nro. 36



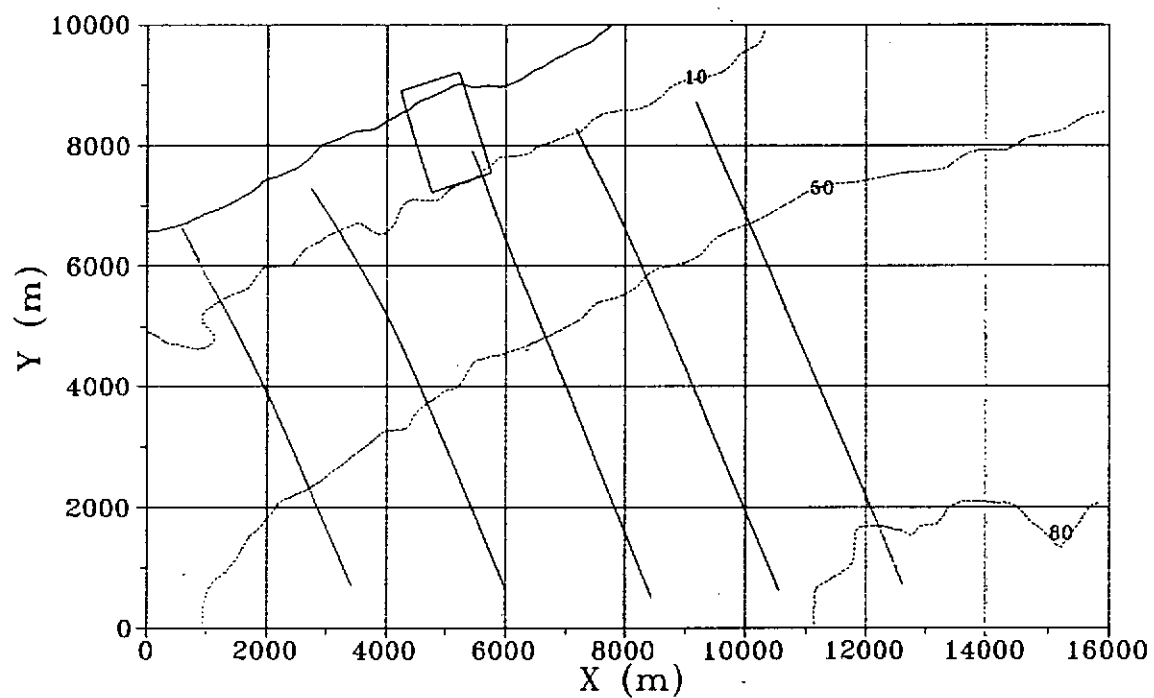
Malla 2, Direccion SE, Periodo 10 seg.

Figura Nro.37



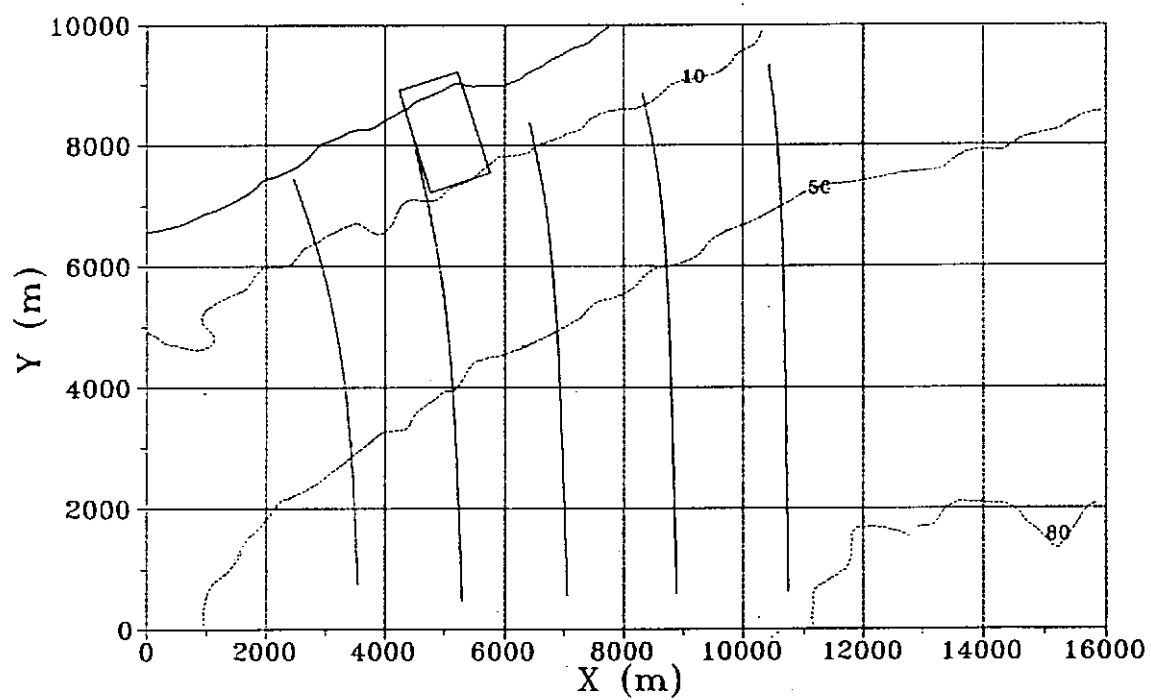
Malla 2, Direccion NE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 38



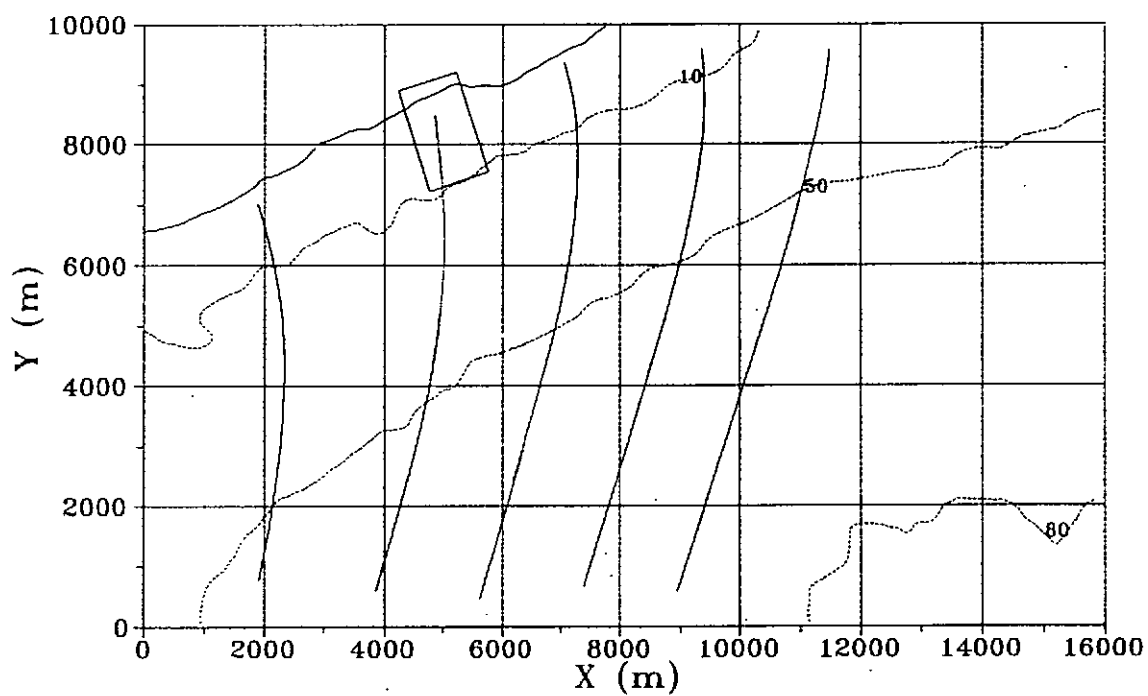
Malla 2, Direccion ENE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 39



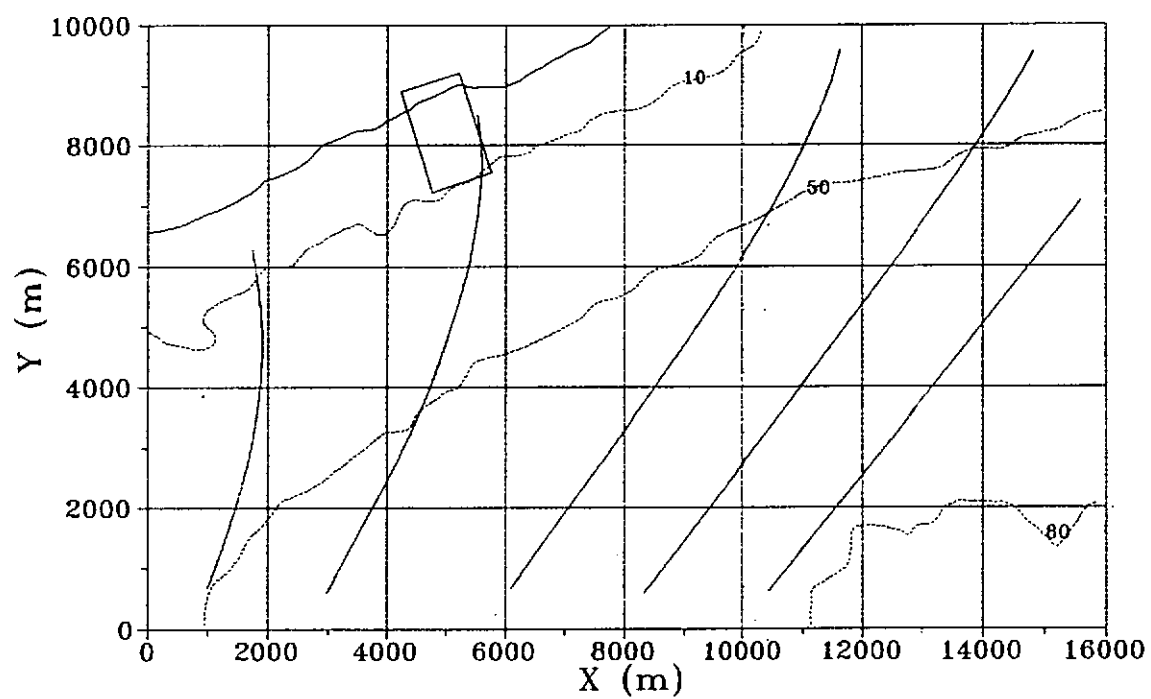
Malla 2, Direccion E, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 40



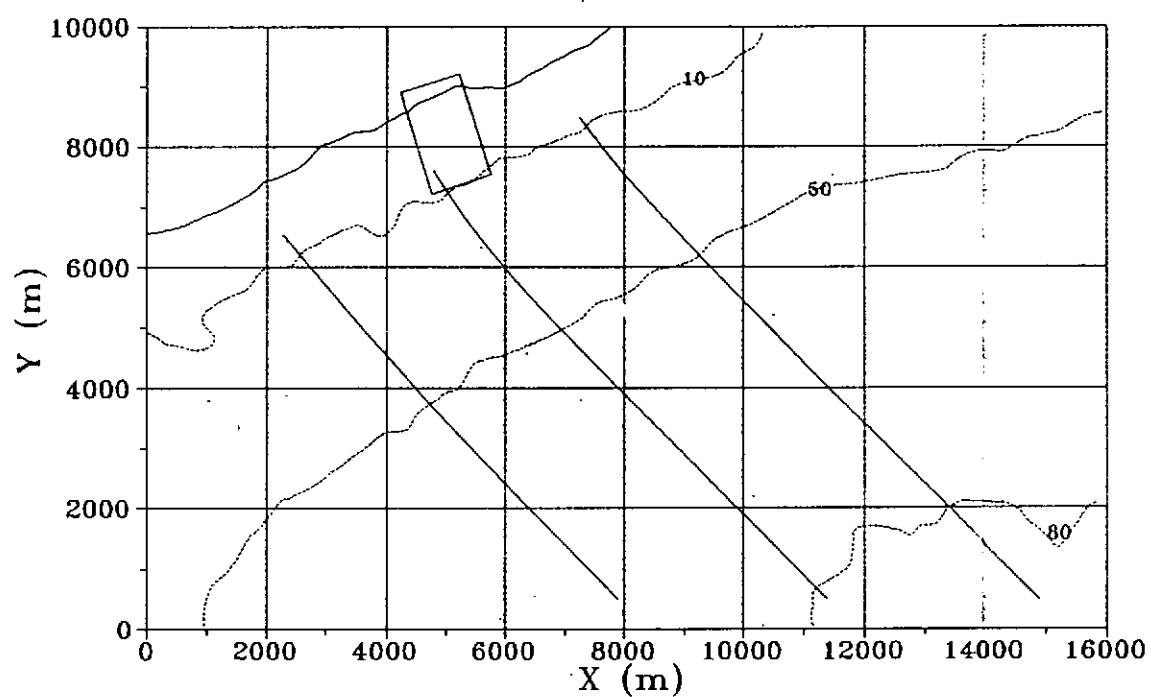
Malla 2, Direccion ESE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 41



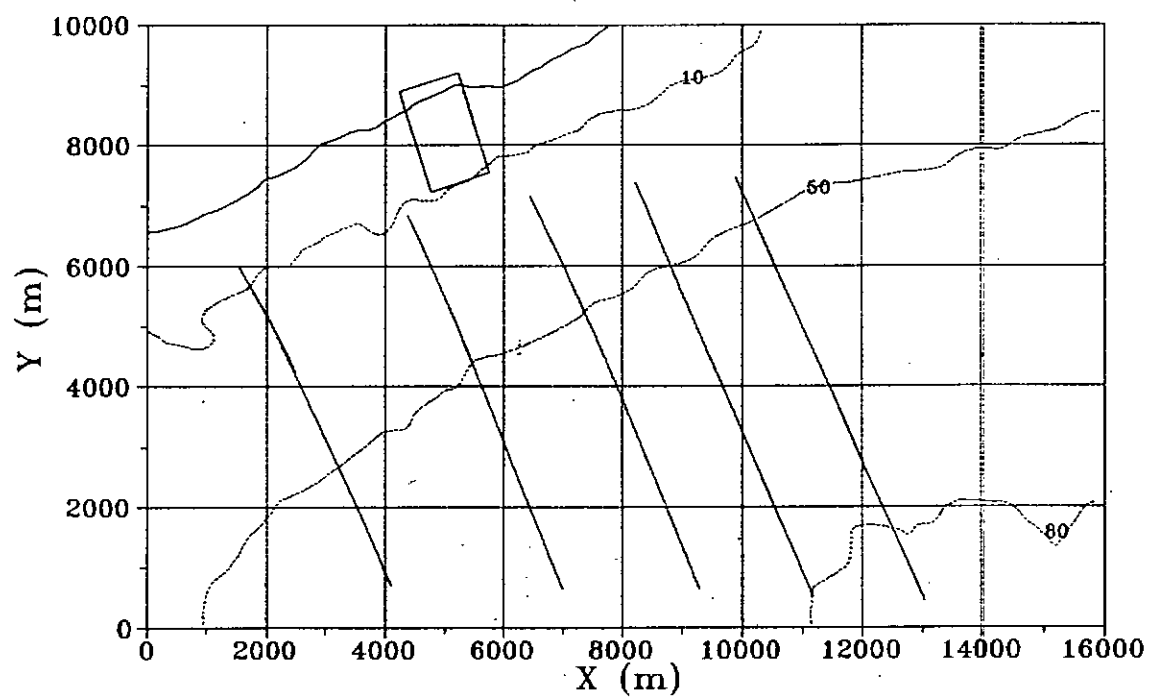
Malla 2, Direccion SE, Periodo 12.5 seg.

Figura Nro. 42



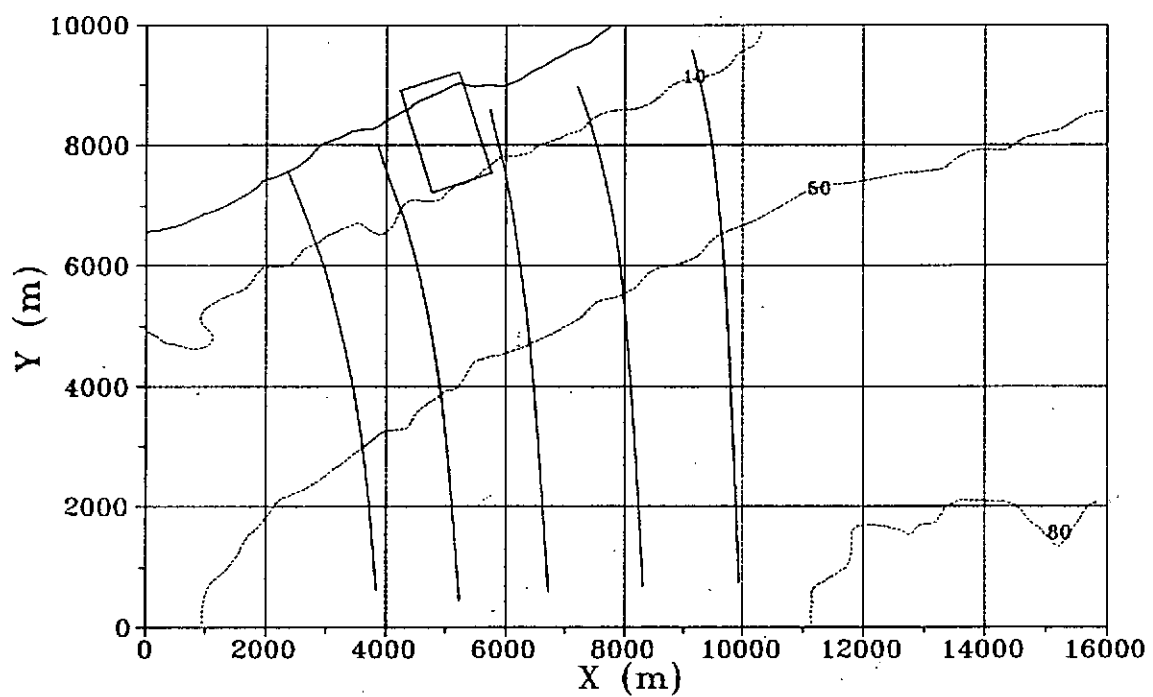
Malla 2, Direccion NE, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 43



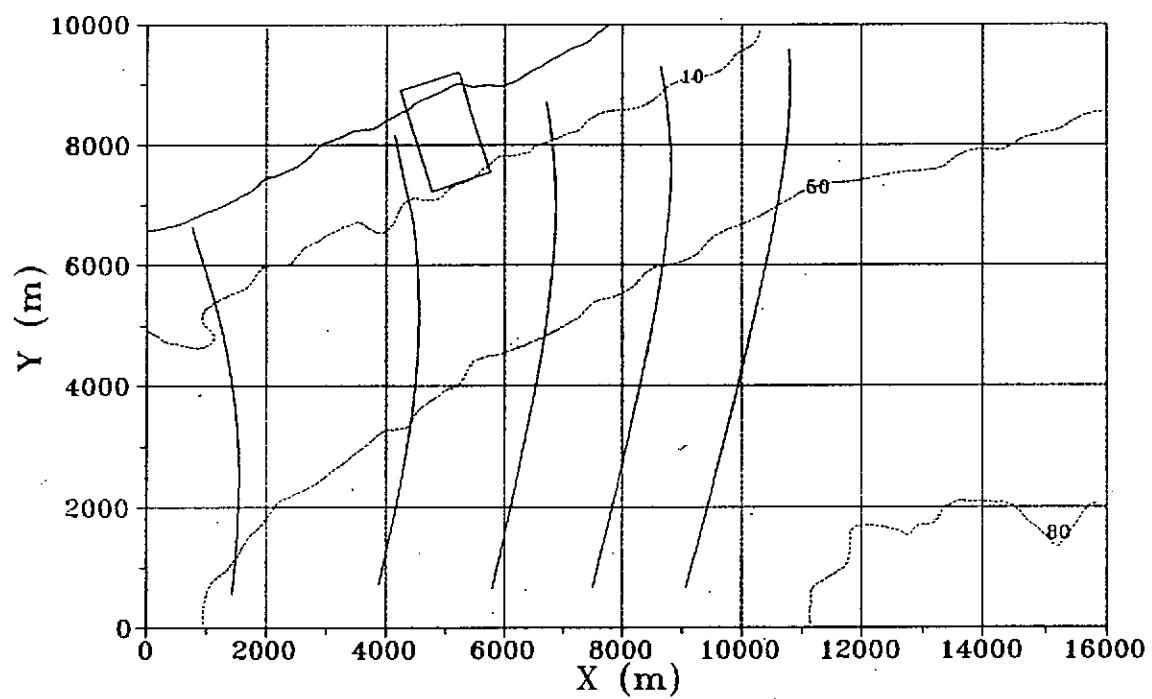
Malla 2, Direccion ENE, Periodo 15 seg.

Figura Nro.44



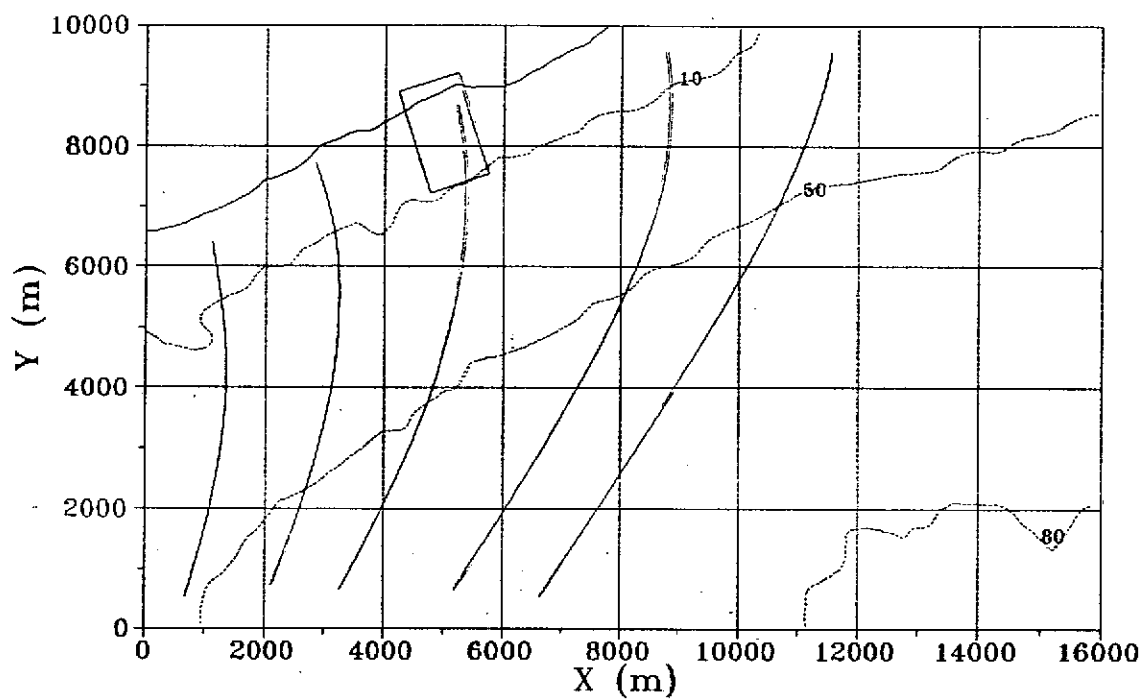
Malla 2, Direccion E, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 45



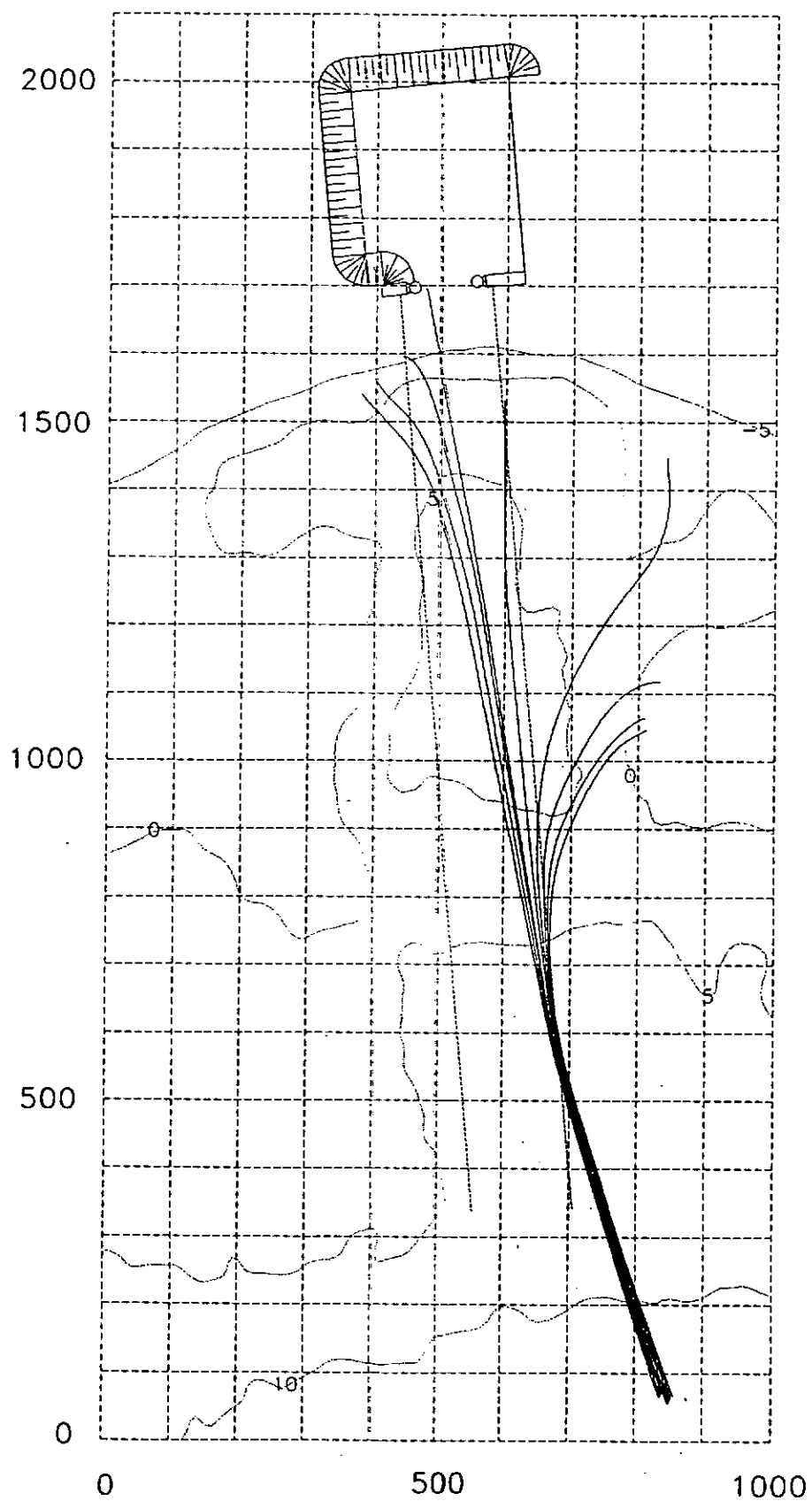
Malla 2, Direccion ESE, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 46



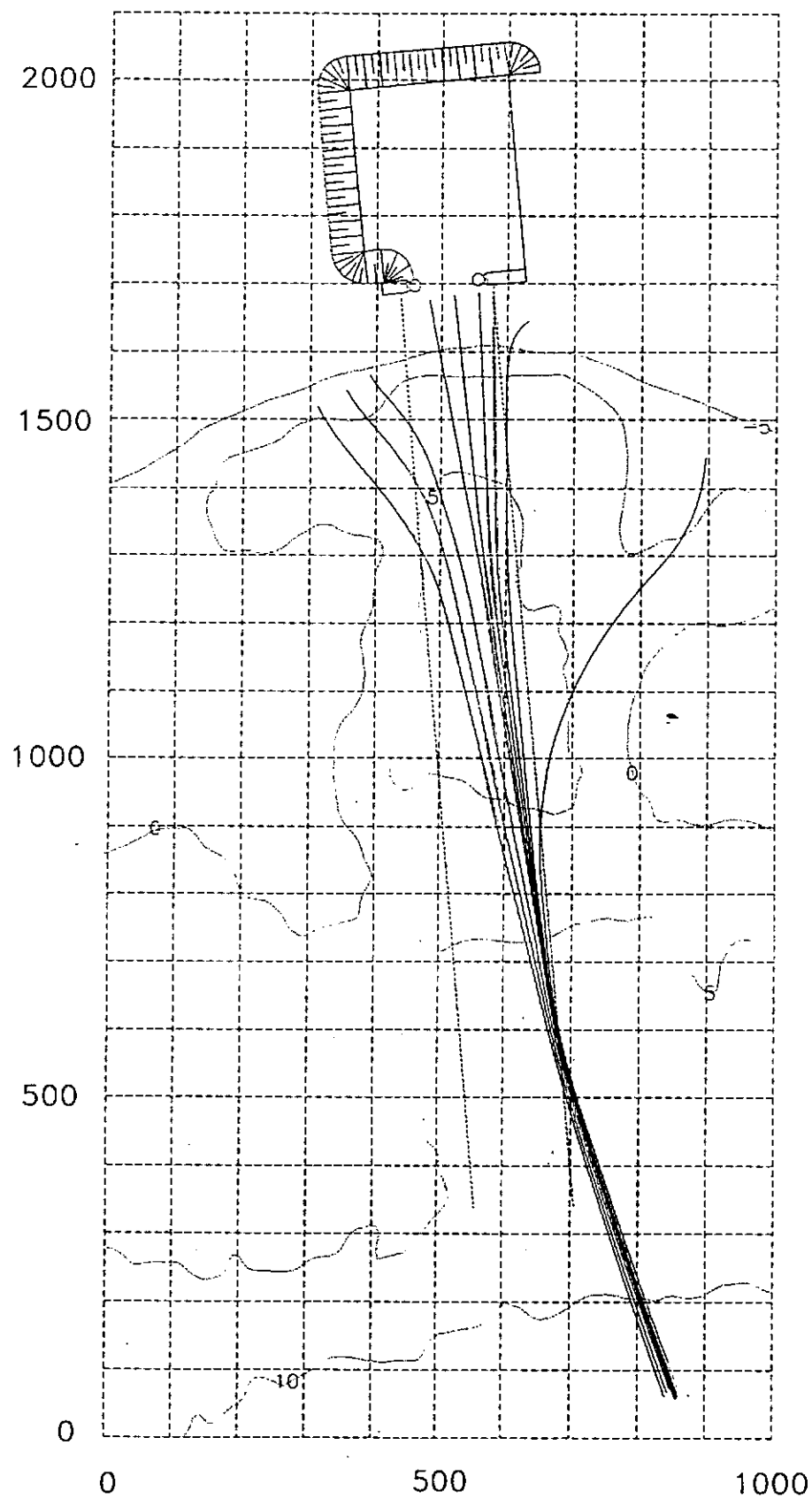
Malla 2, Direccion SE, Periodo 15 seg.

Figura Nro. 47



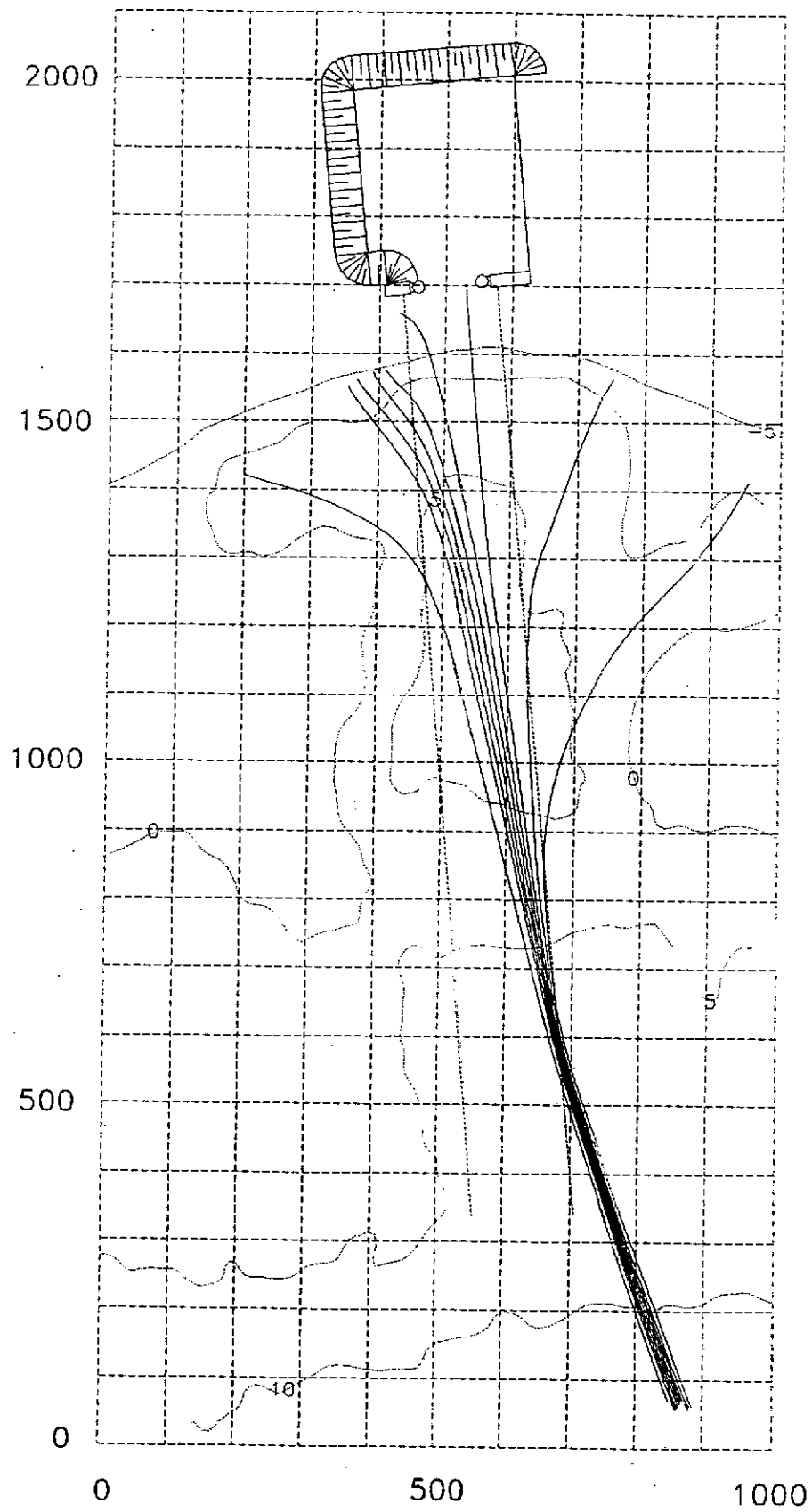
Direccion NE, Periodo 10 seg, N.M. 3.14 m.

Figura Nro 48



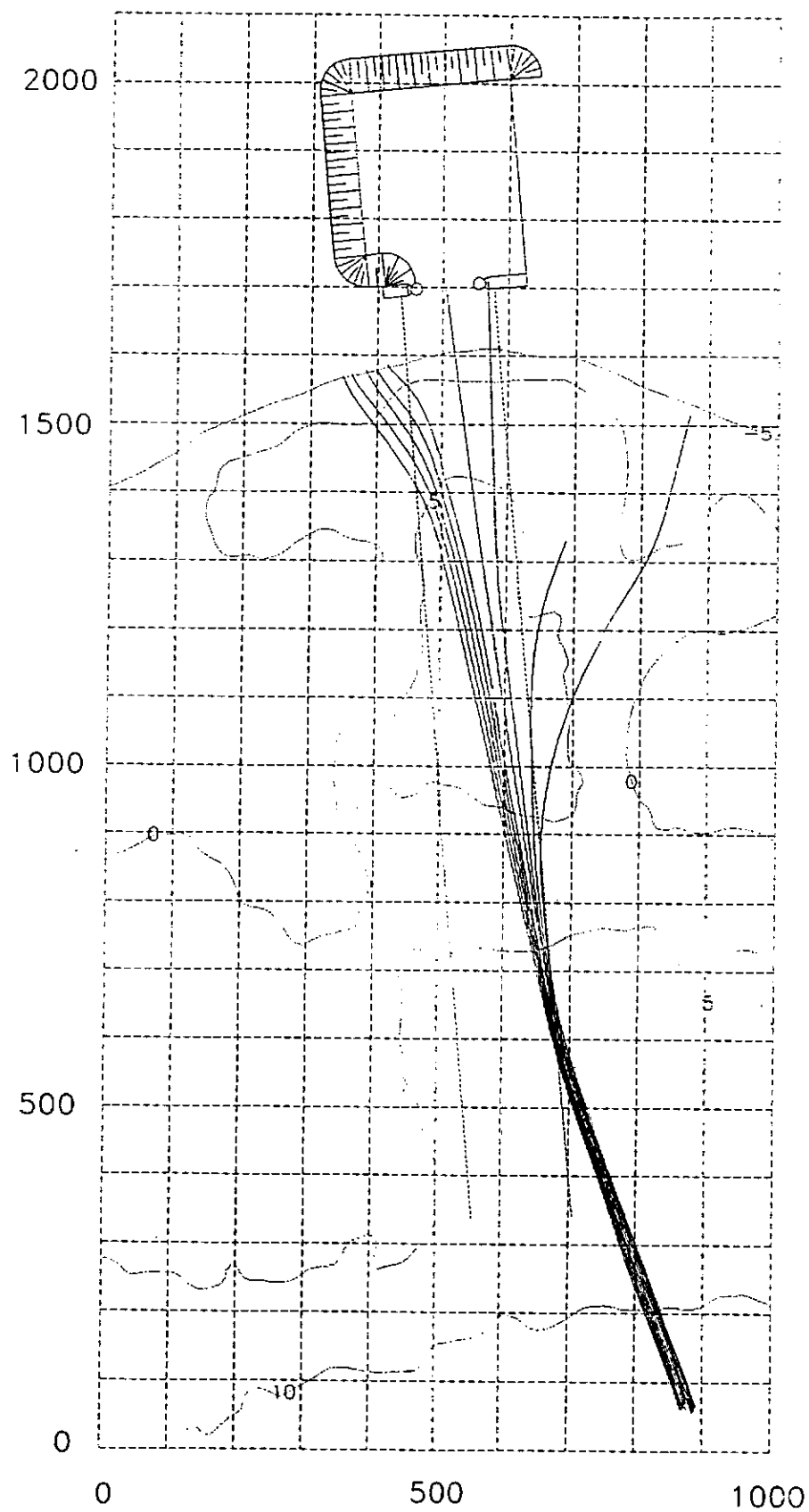
Direccion NE, Periodo 10 seg, N.M. +4.00 m.

Figura Nro. 49



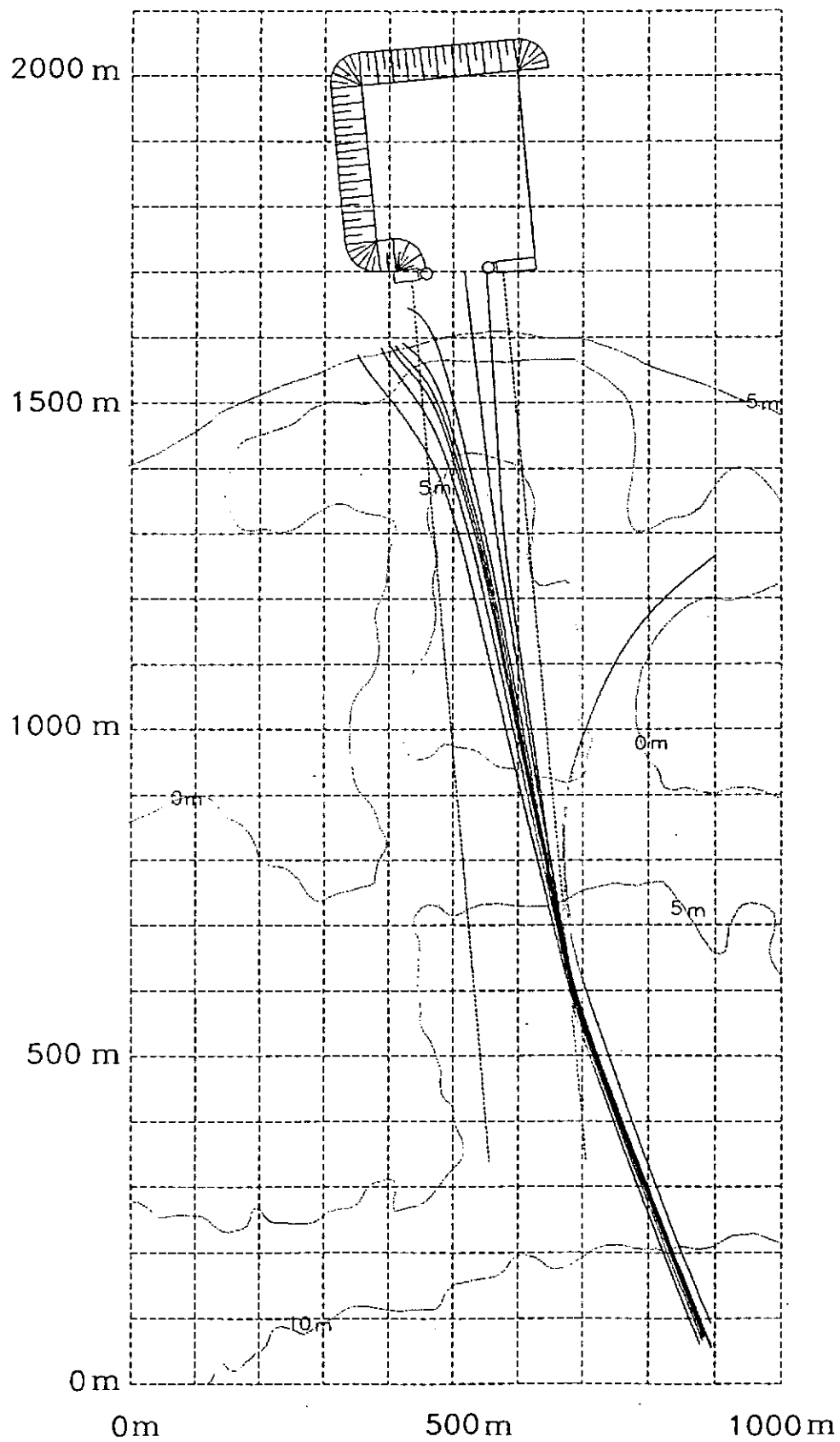
Direccion NE, Periodo 10 seg, N.M. +5.00 m.

Figura Nro.50



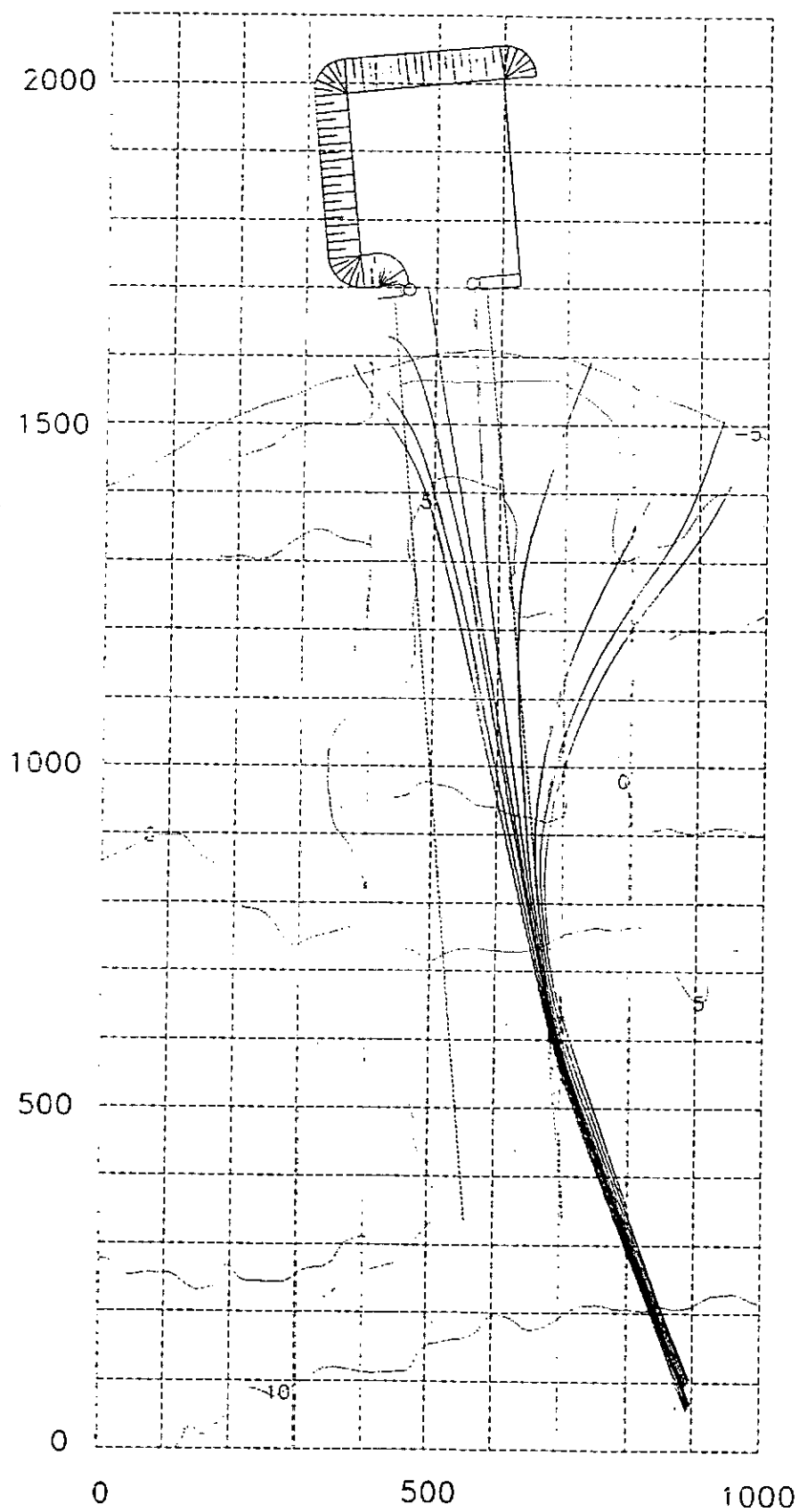
Direccion NE, Periodo 10 seg, N.M. +6.00 m.

Figura Nro. 51



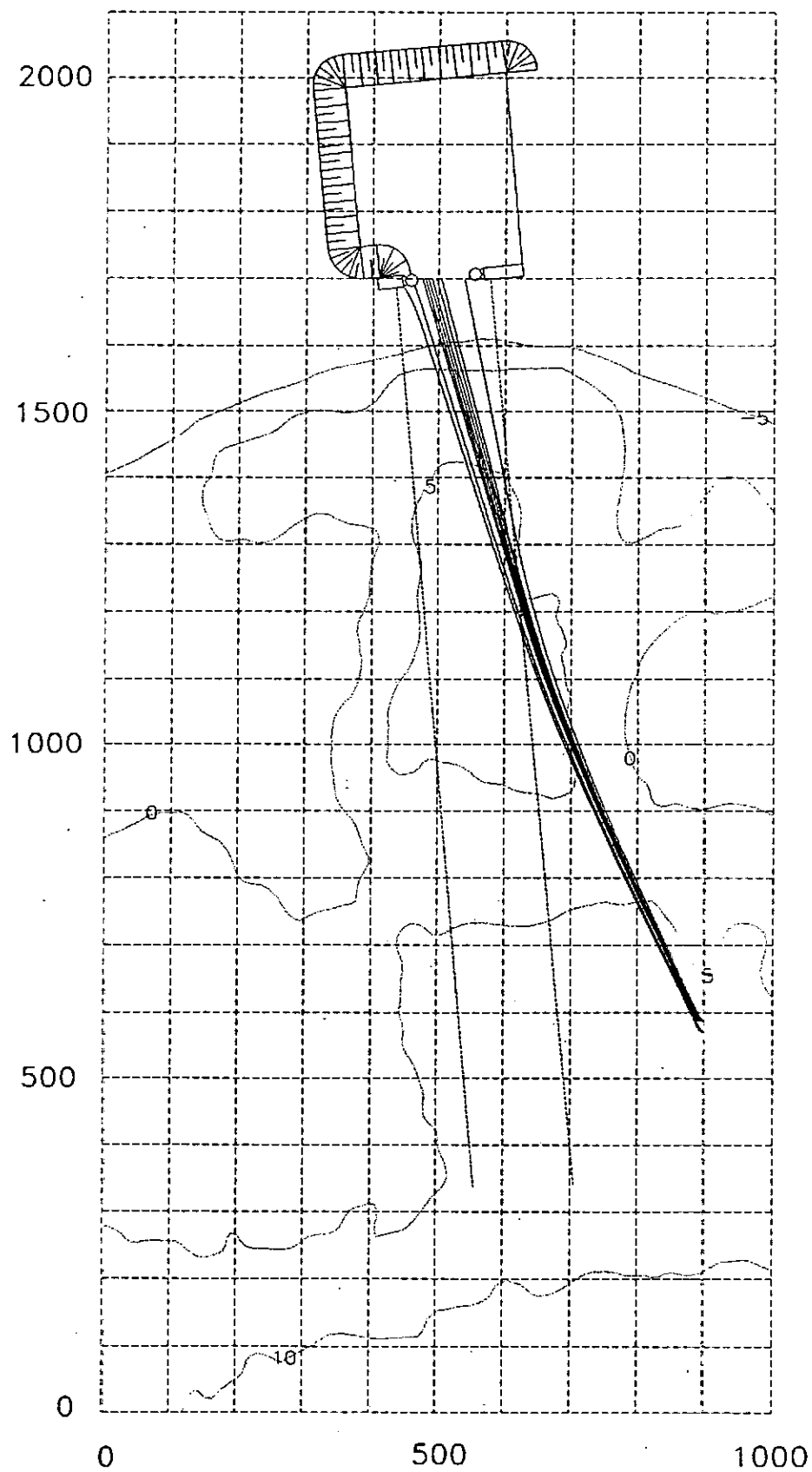
Direccion NE, Periodo 10 seg, N.M. +6.64 m.

Figura Nro.52



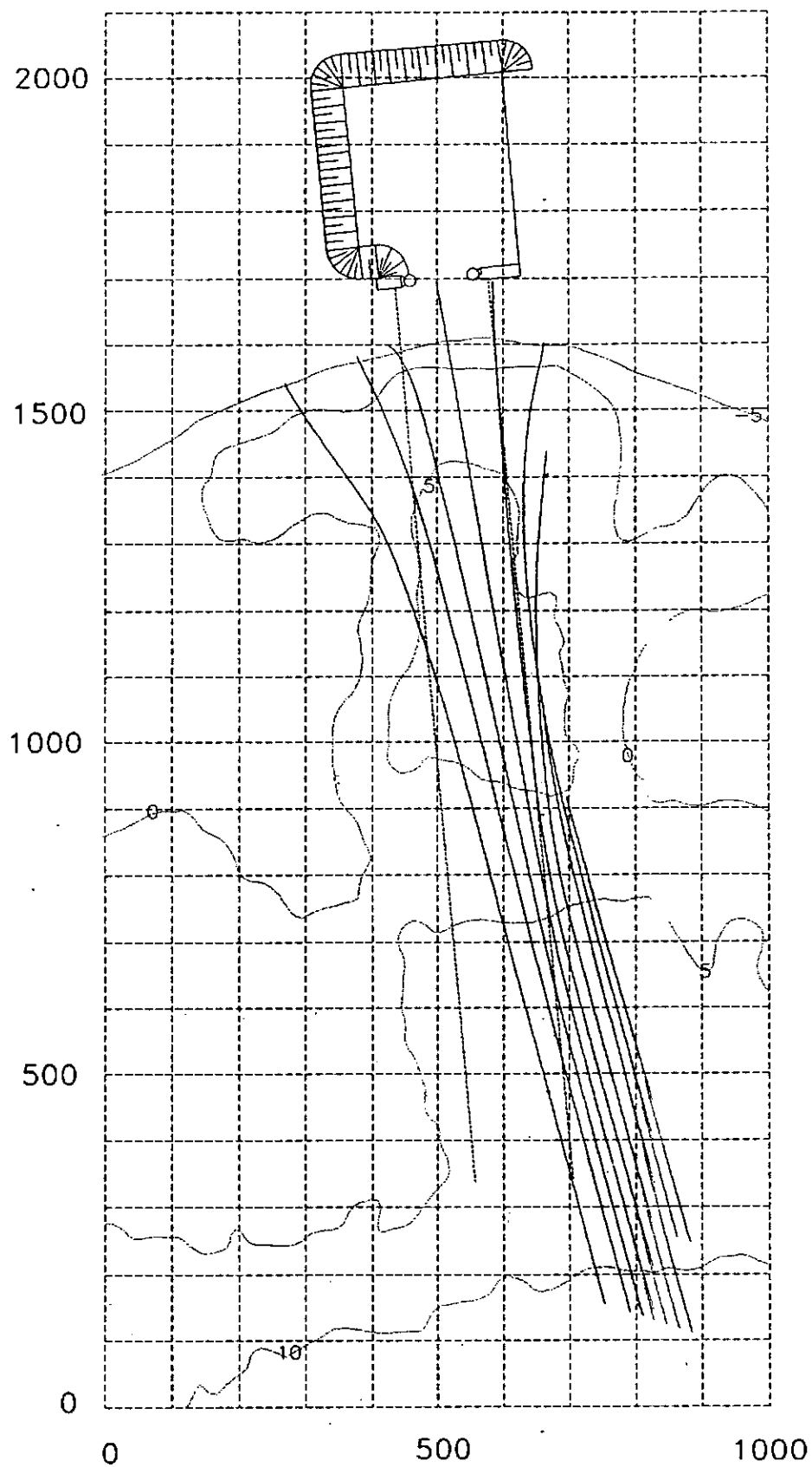
Dirección NE, Periodo 10 seg, N.M. +7.50 m.

Figura Nro.53



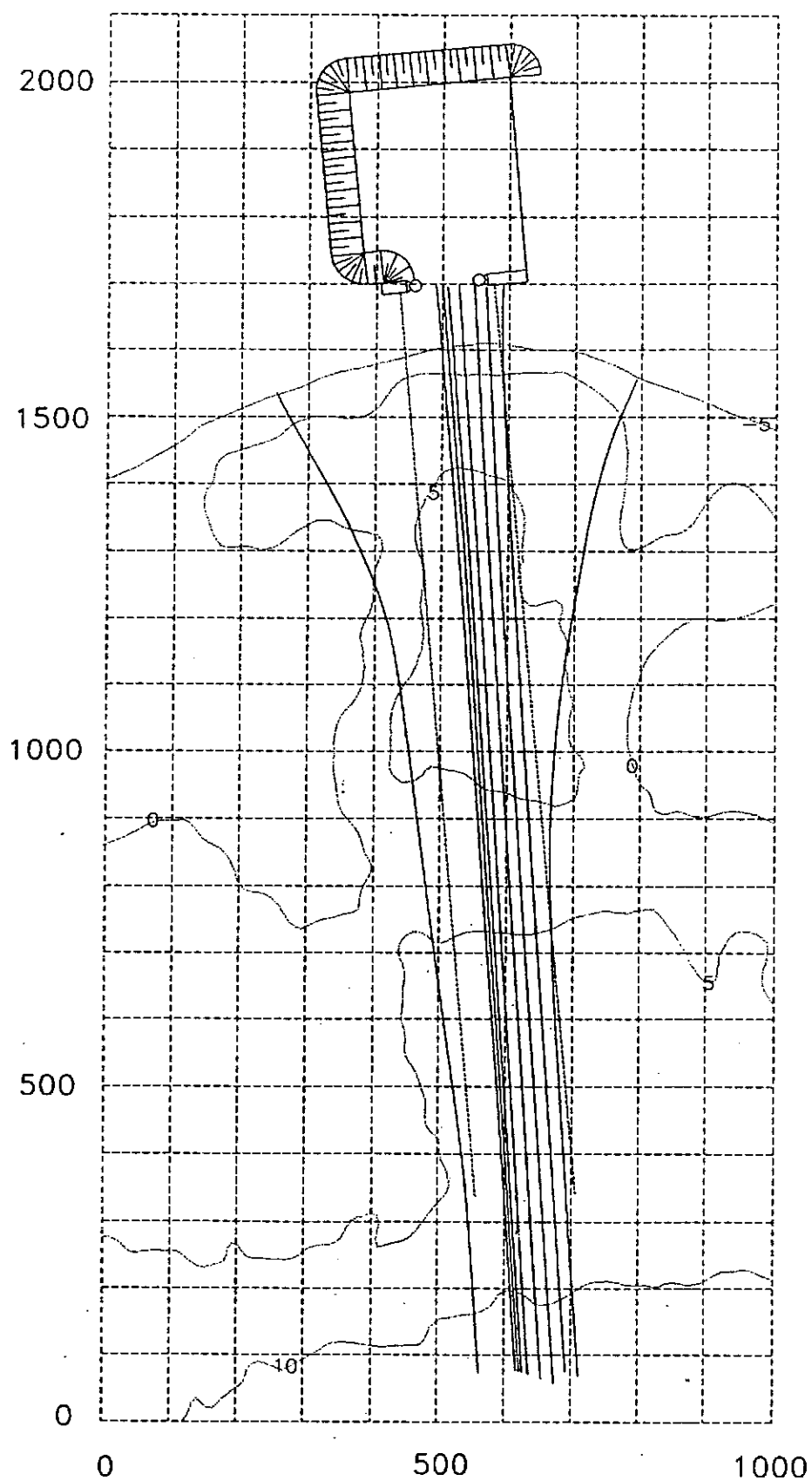
Direccion NE, Periodo 5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.54.



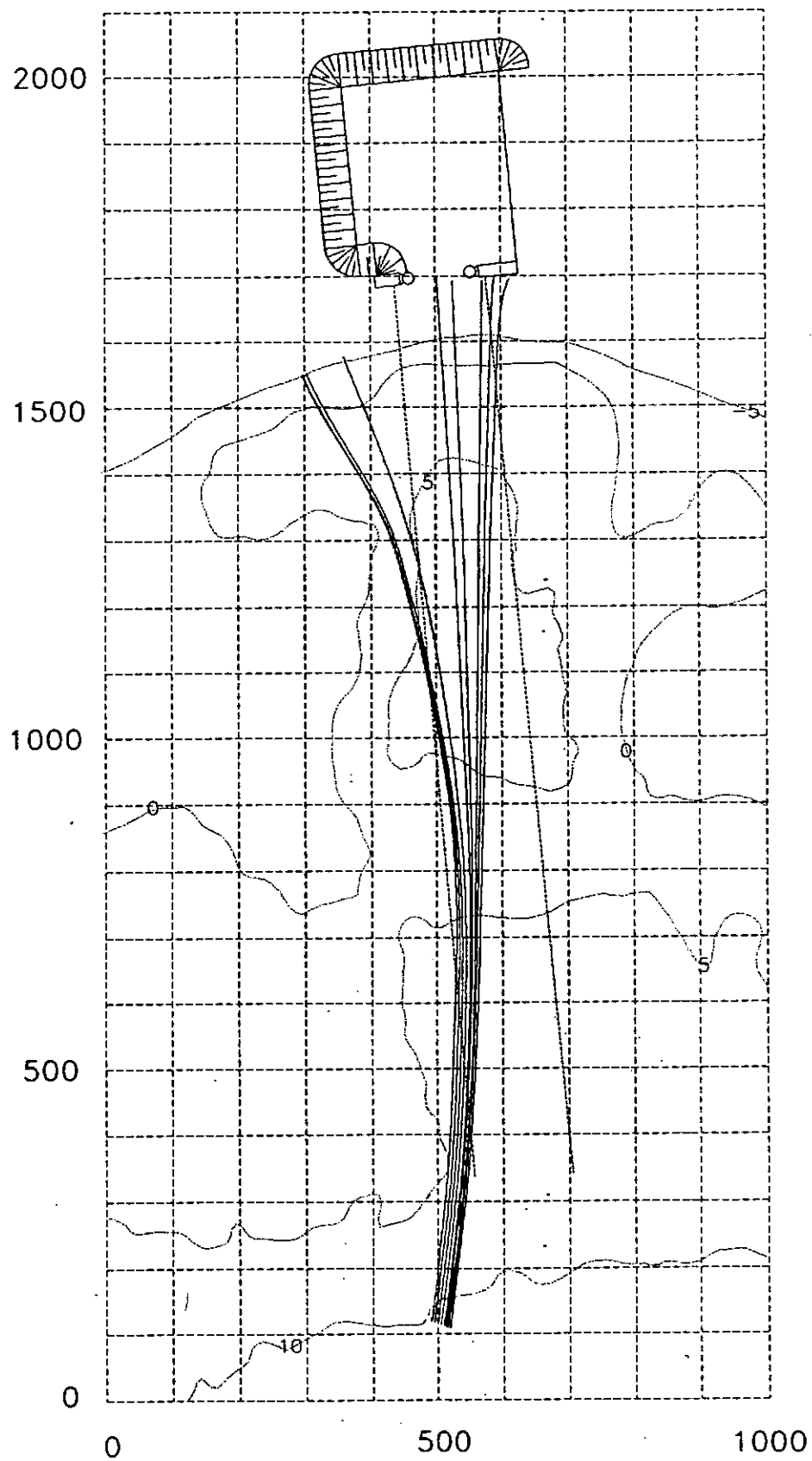
Direccion 123.75 grados, Periodo 5 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 55]



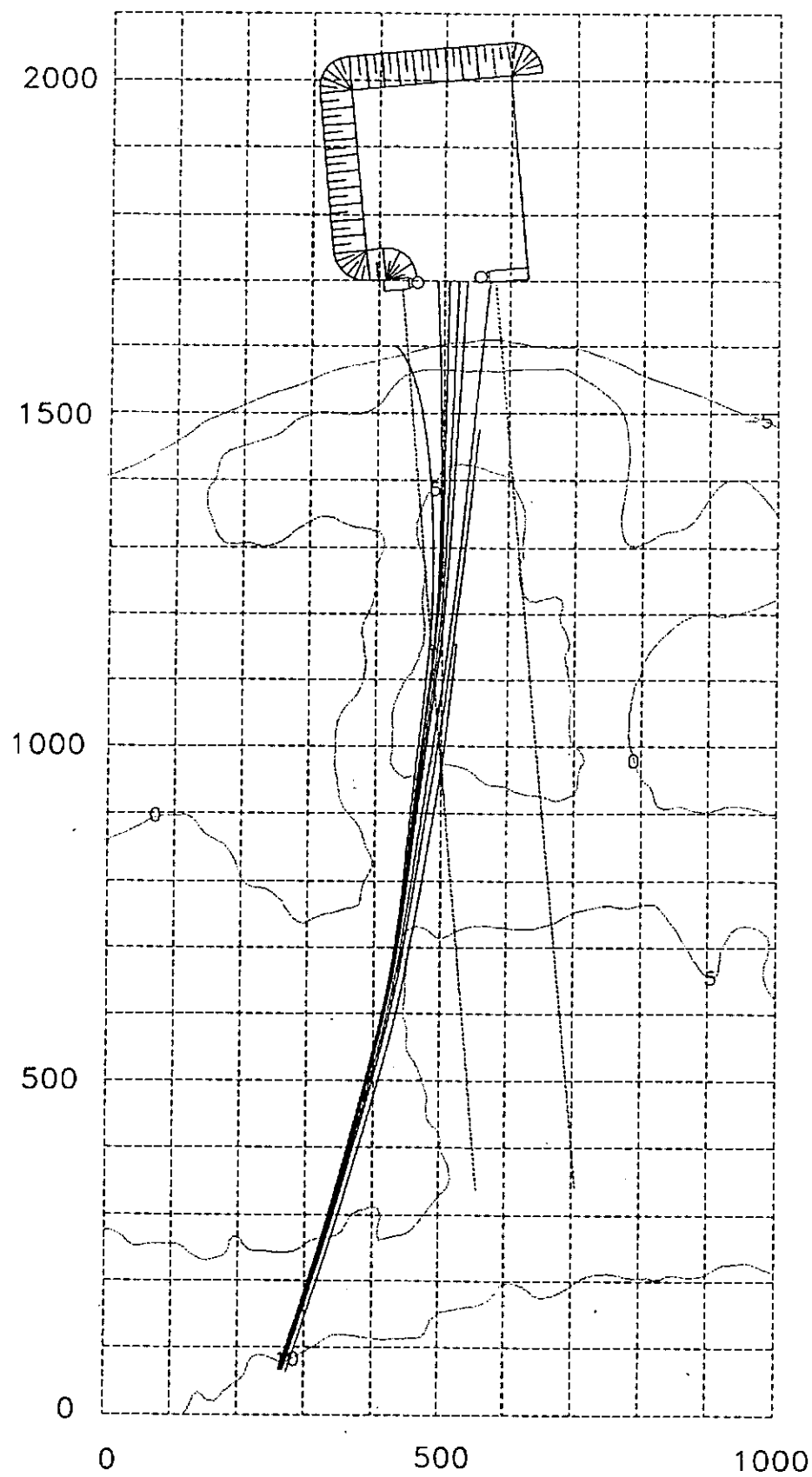
Direccion ENE, Periodo 5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.56.



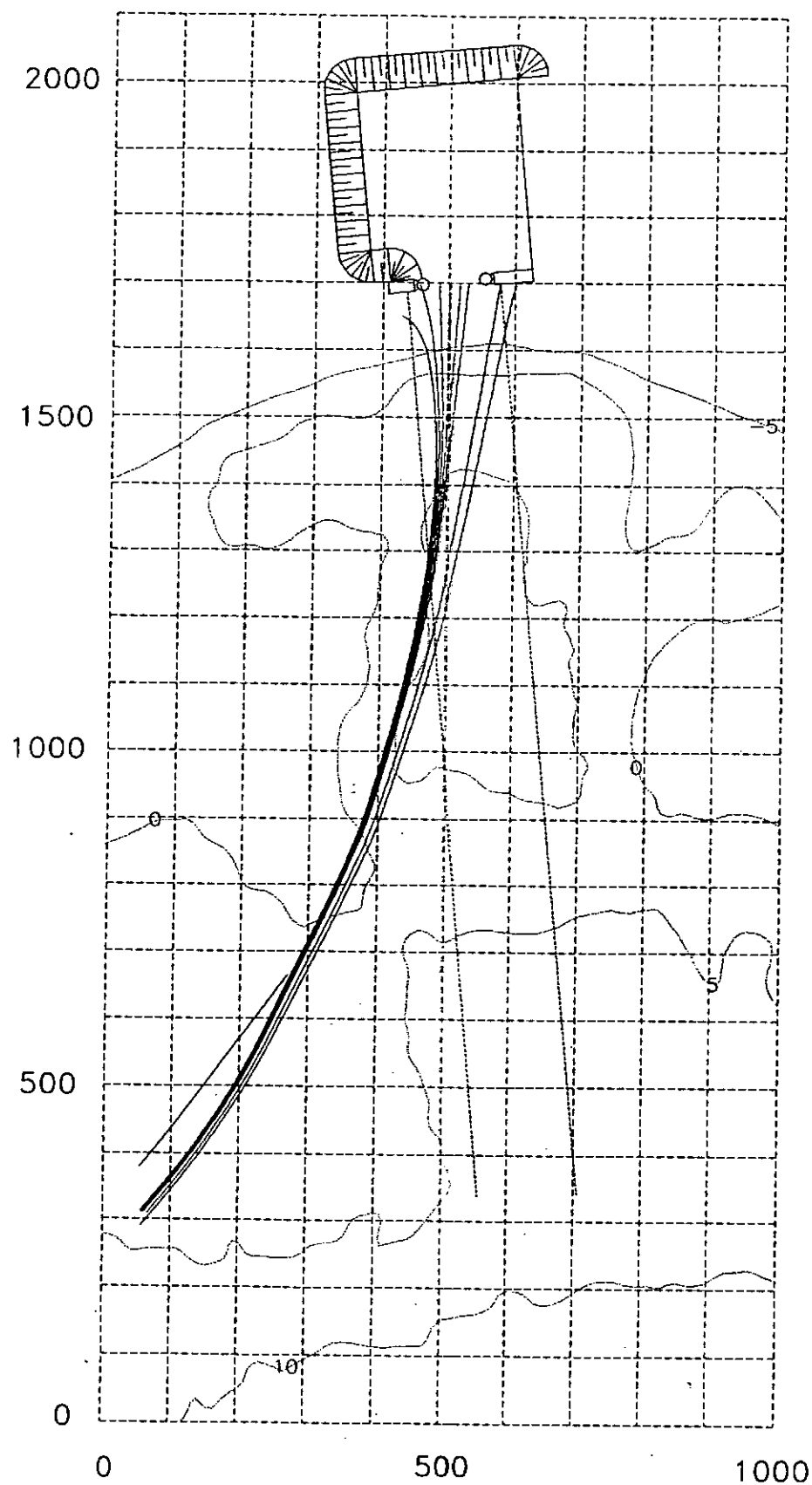
Direccion 101.25 grados, Periodo 5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 57



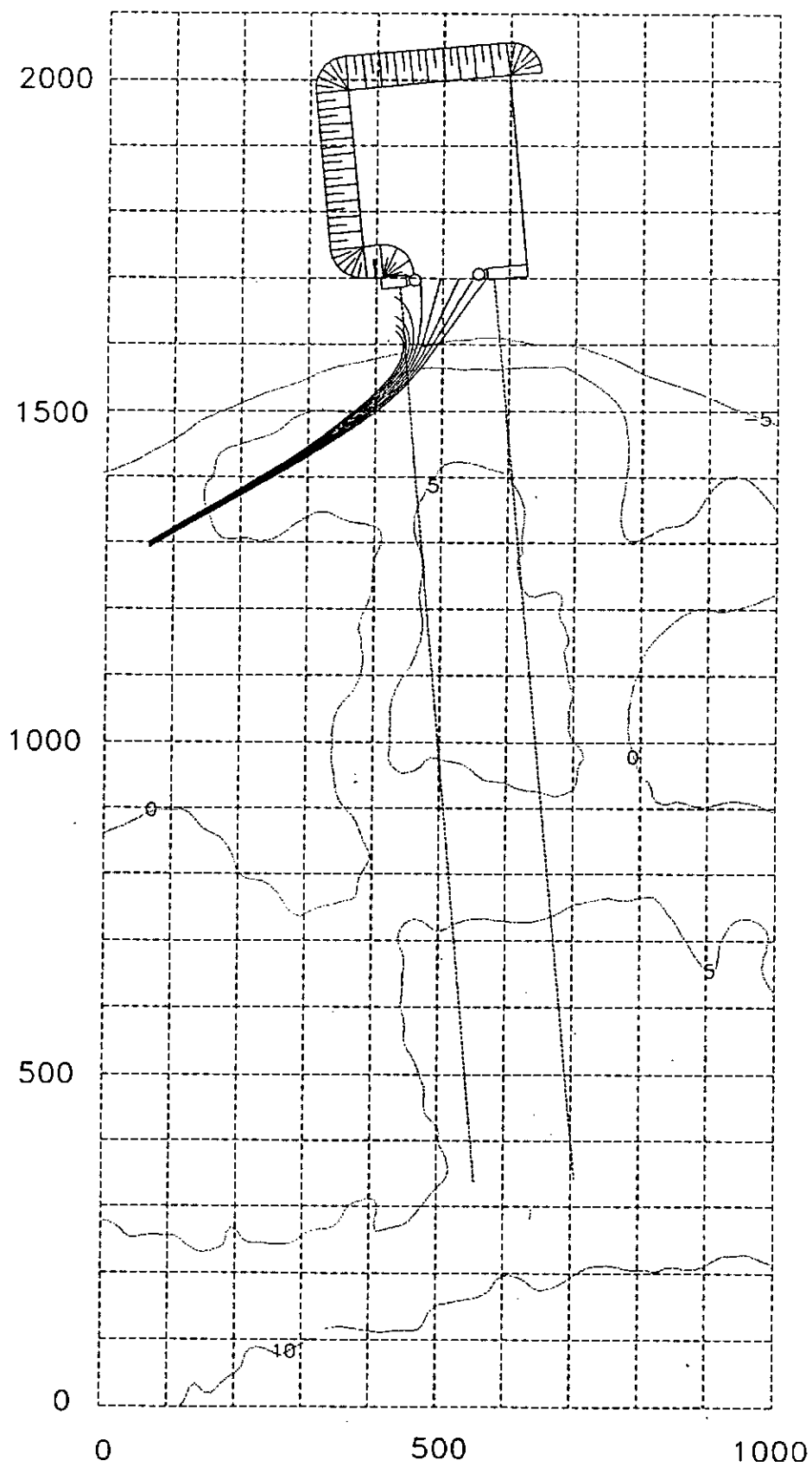
Direccion E, Periodo 5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.58



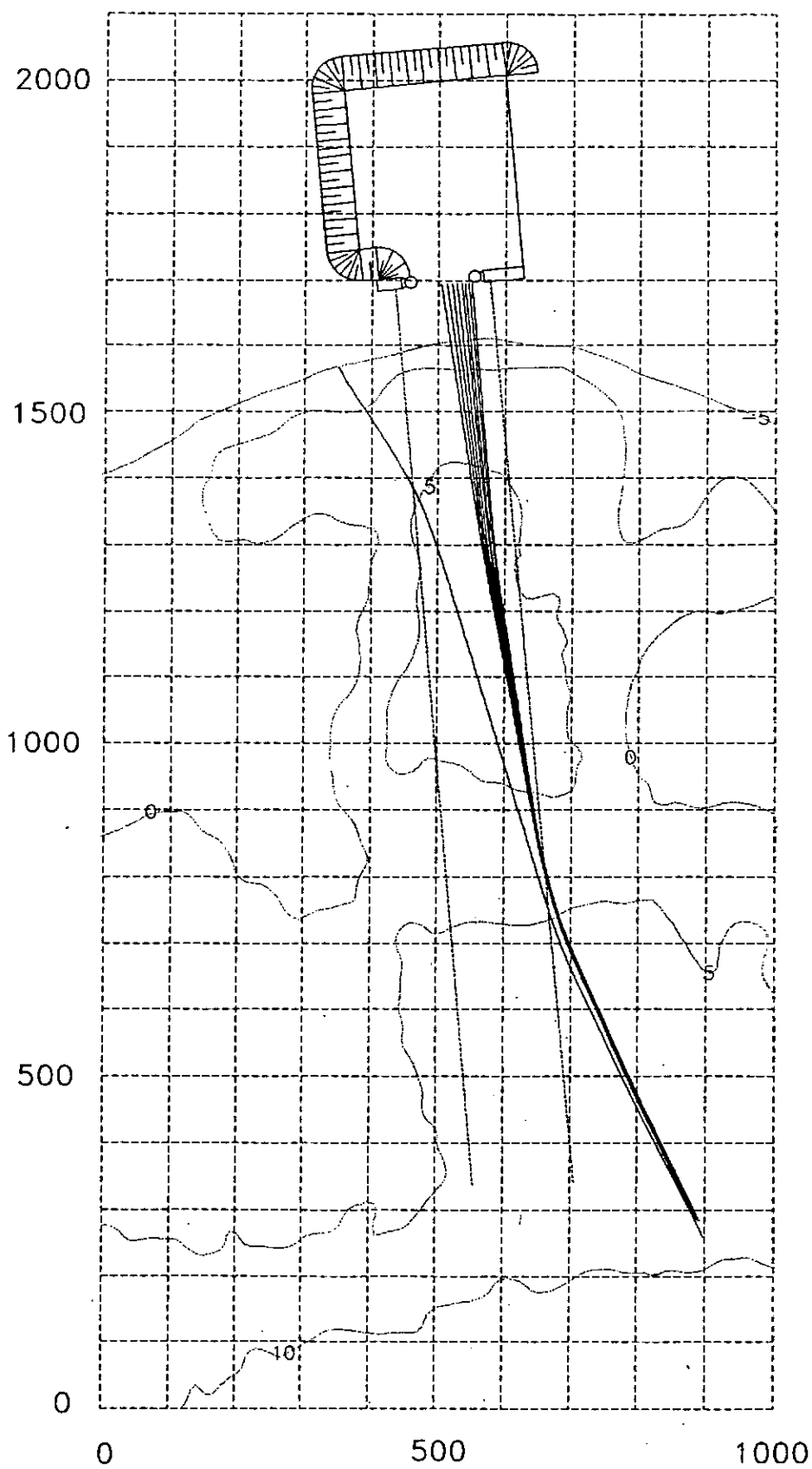
Direccion ESE, Periodo 5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 59



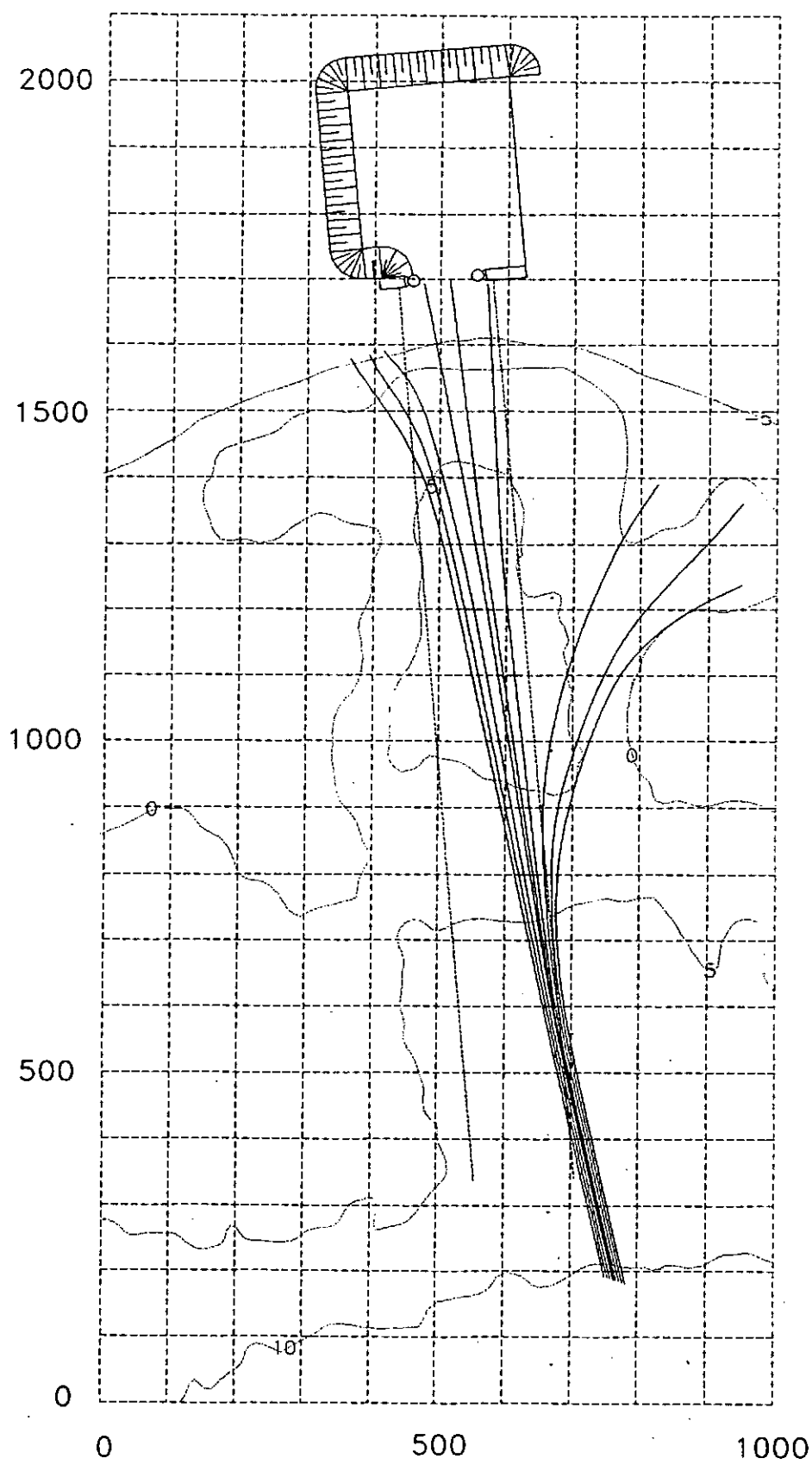
Direccion SE, Periodo 5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.60



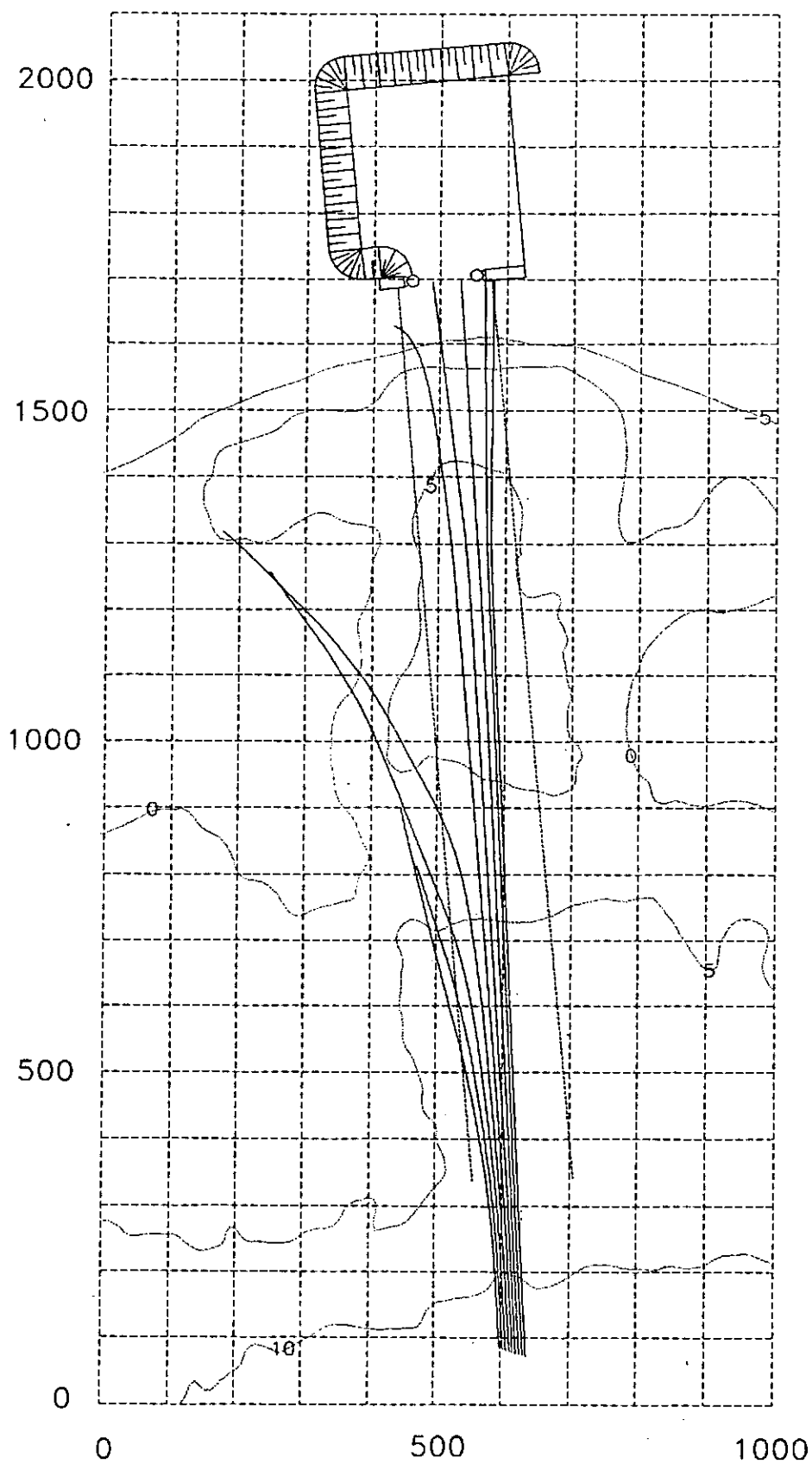
Direccion NE, Periodo 7.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.61



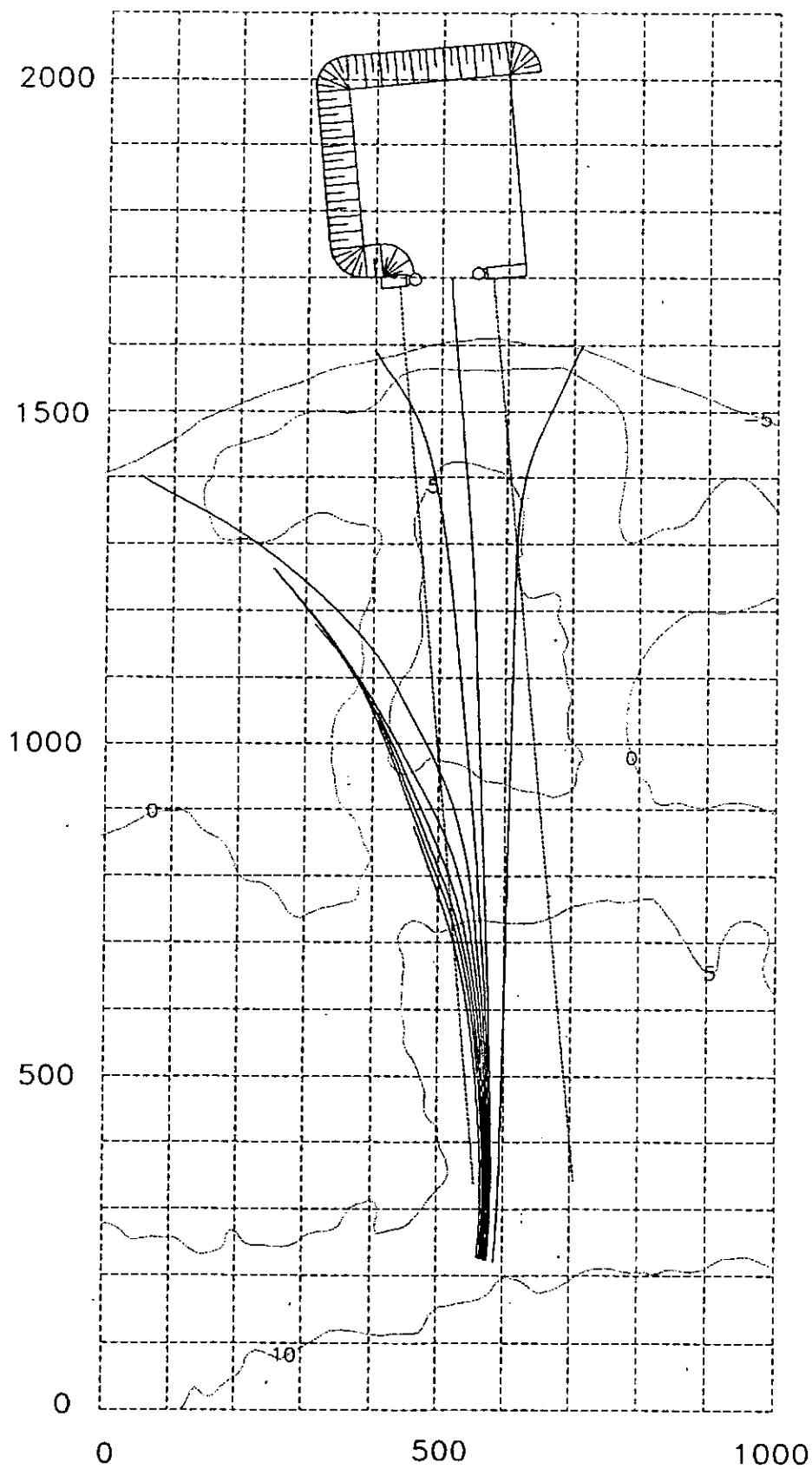
Direccion 123.75 grados, Periodo 7.5 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 62.



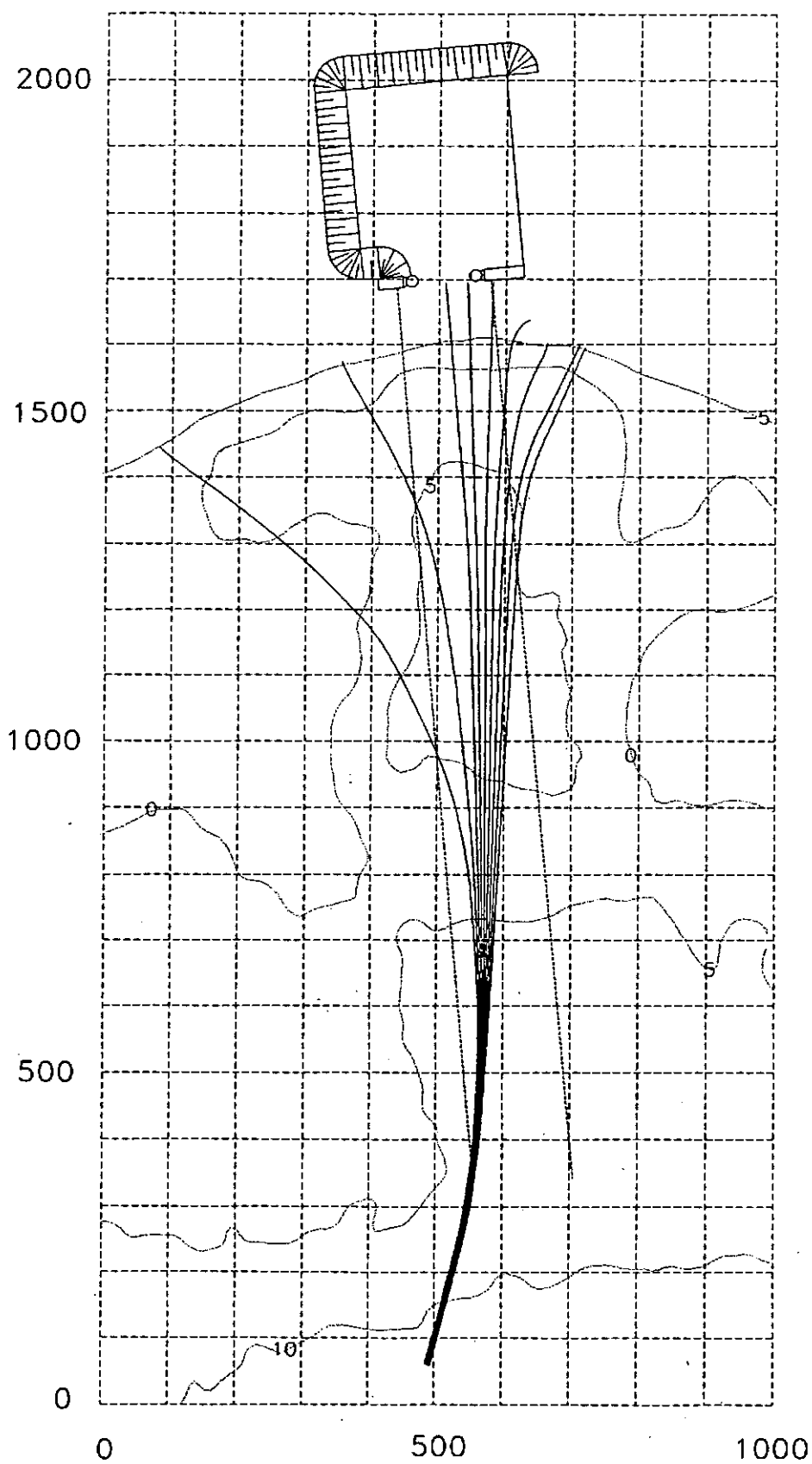
Direccion ENE, Periodo 7.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.63



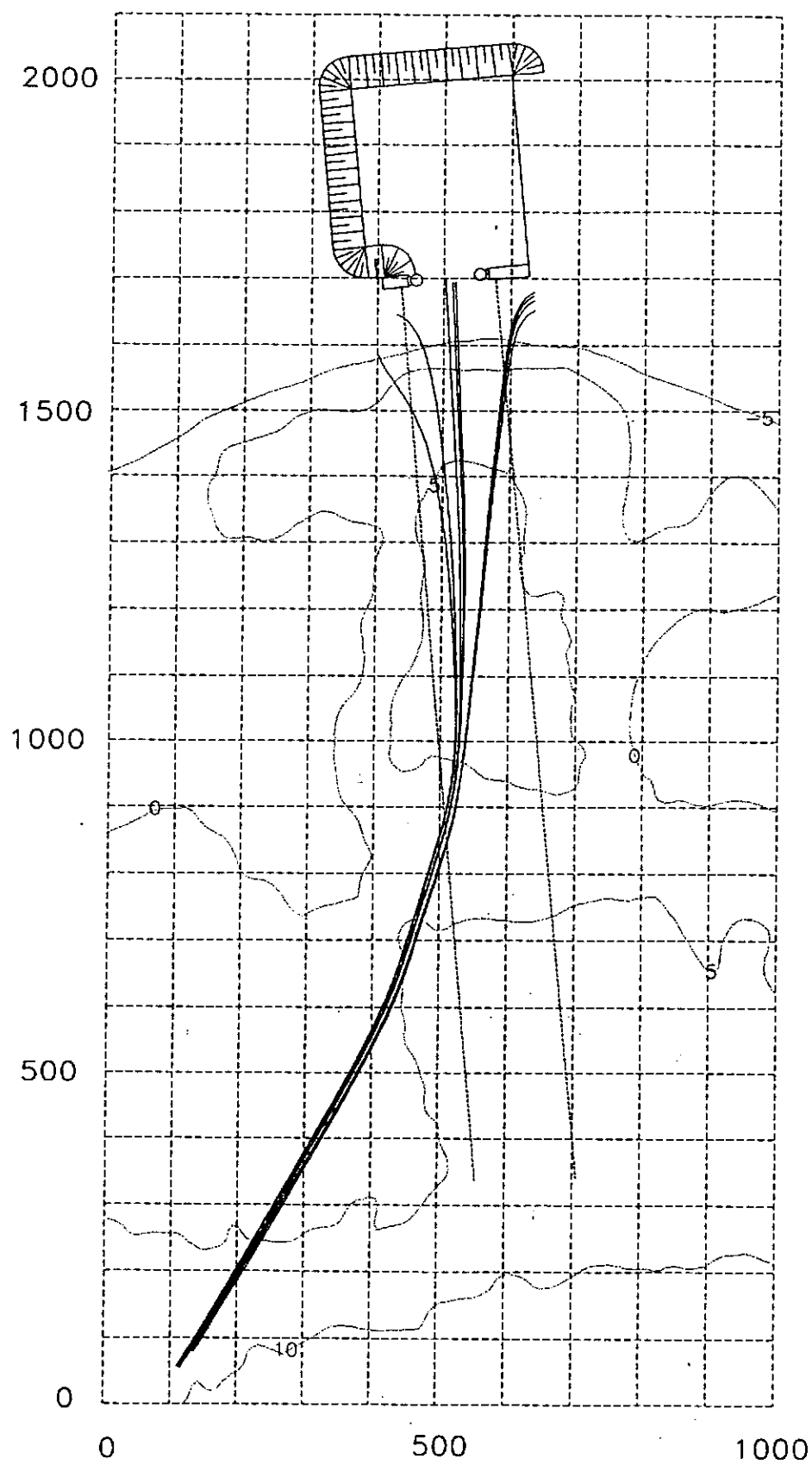
Direccion 101.25 grados, Periodo 7.5 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.64



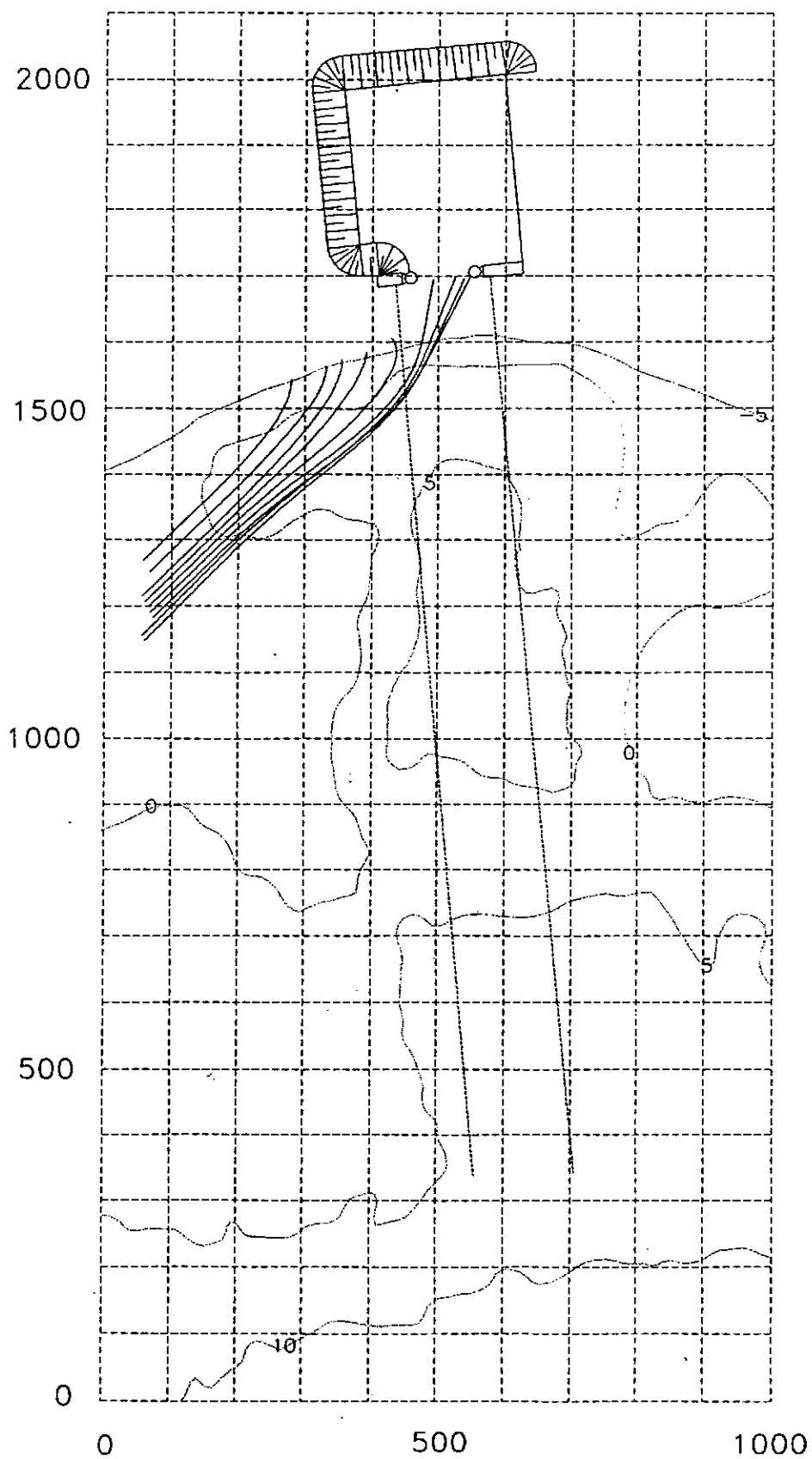
Direccion E, Periodo 7.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.65



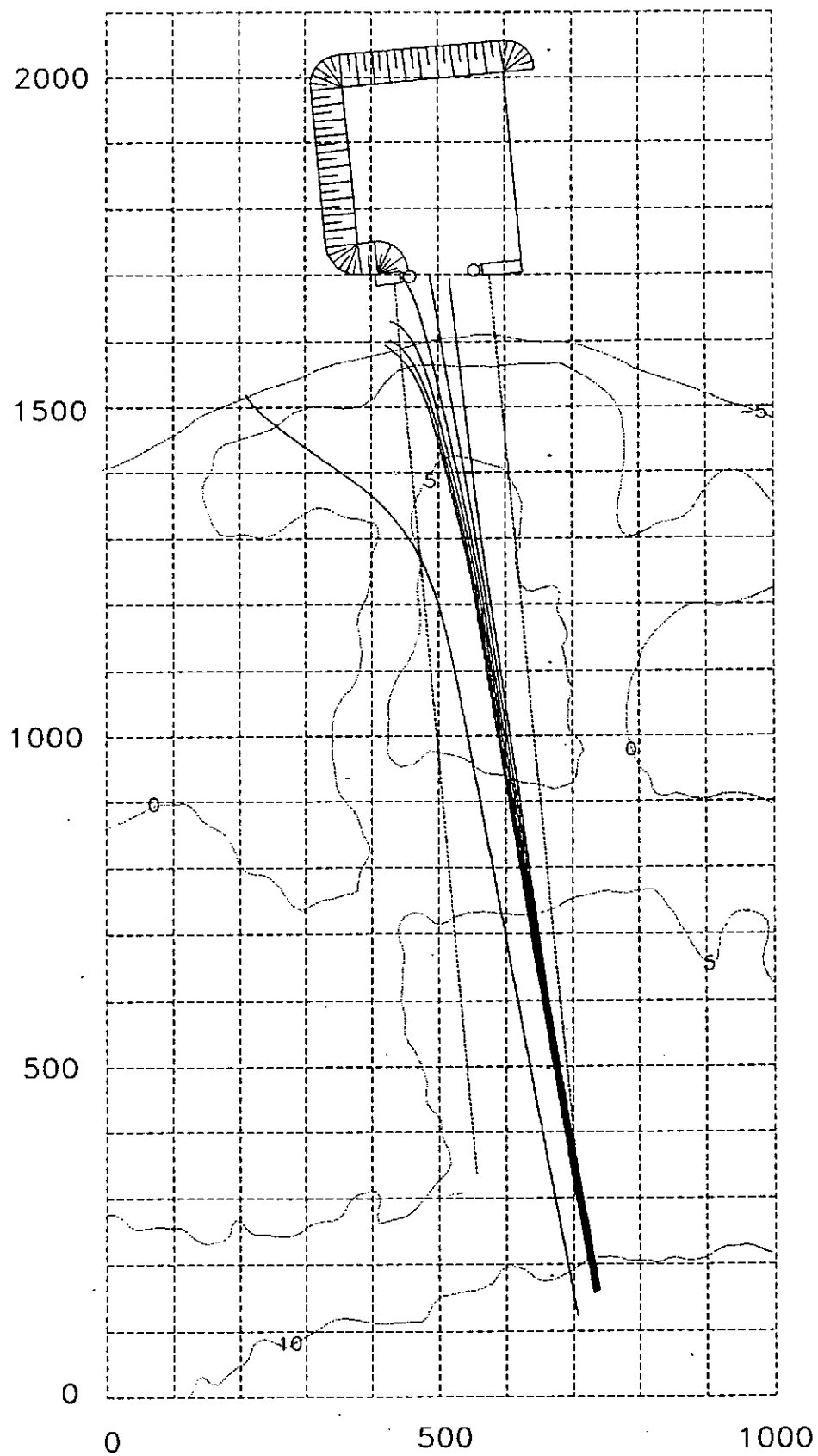
Direccion ESE, Periodo 7.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.66



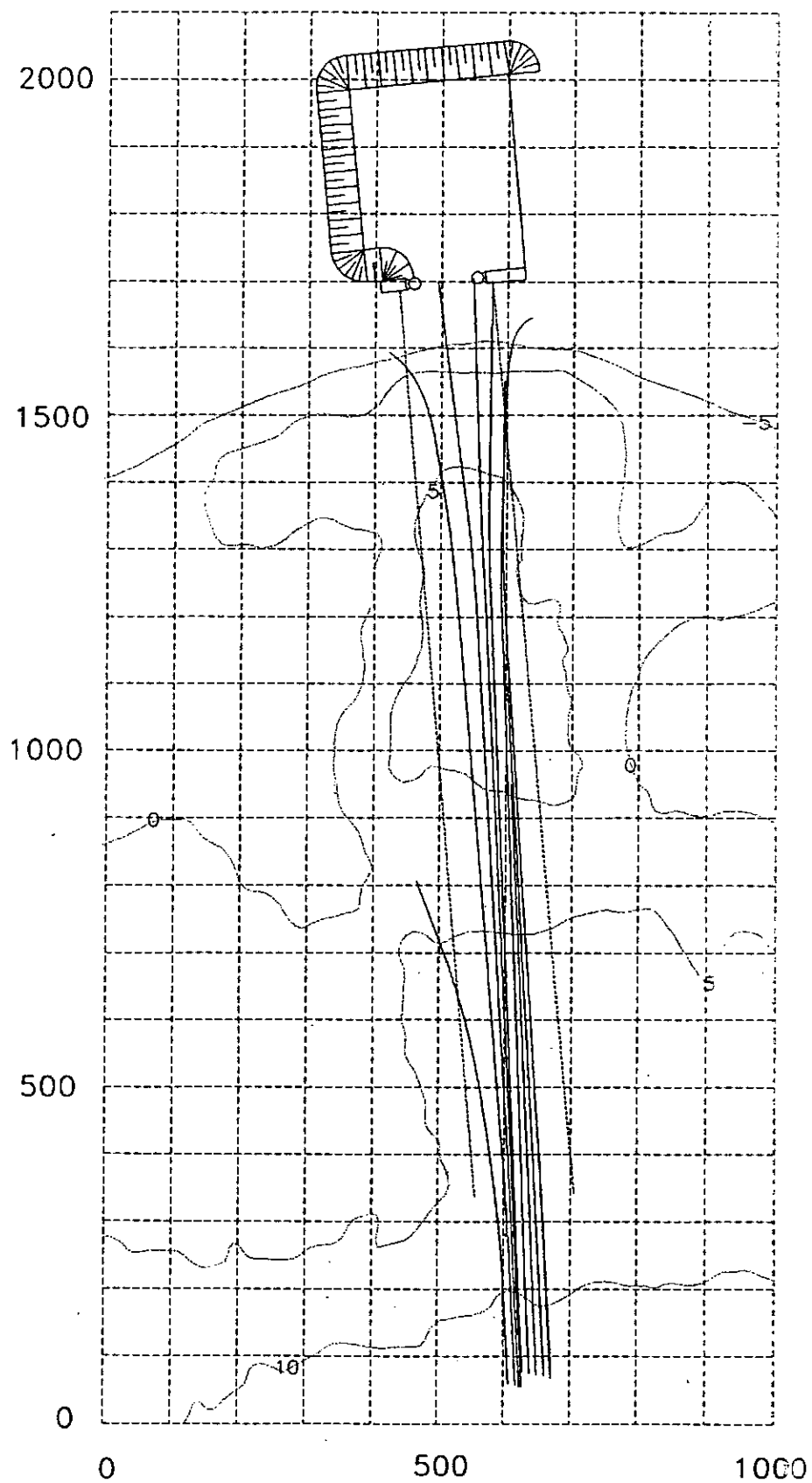
Direccion SE, Periodo 7.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 67



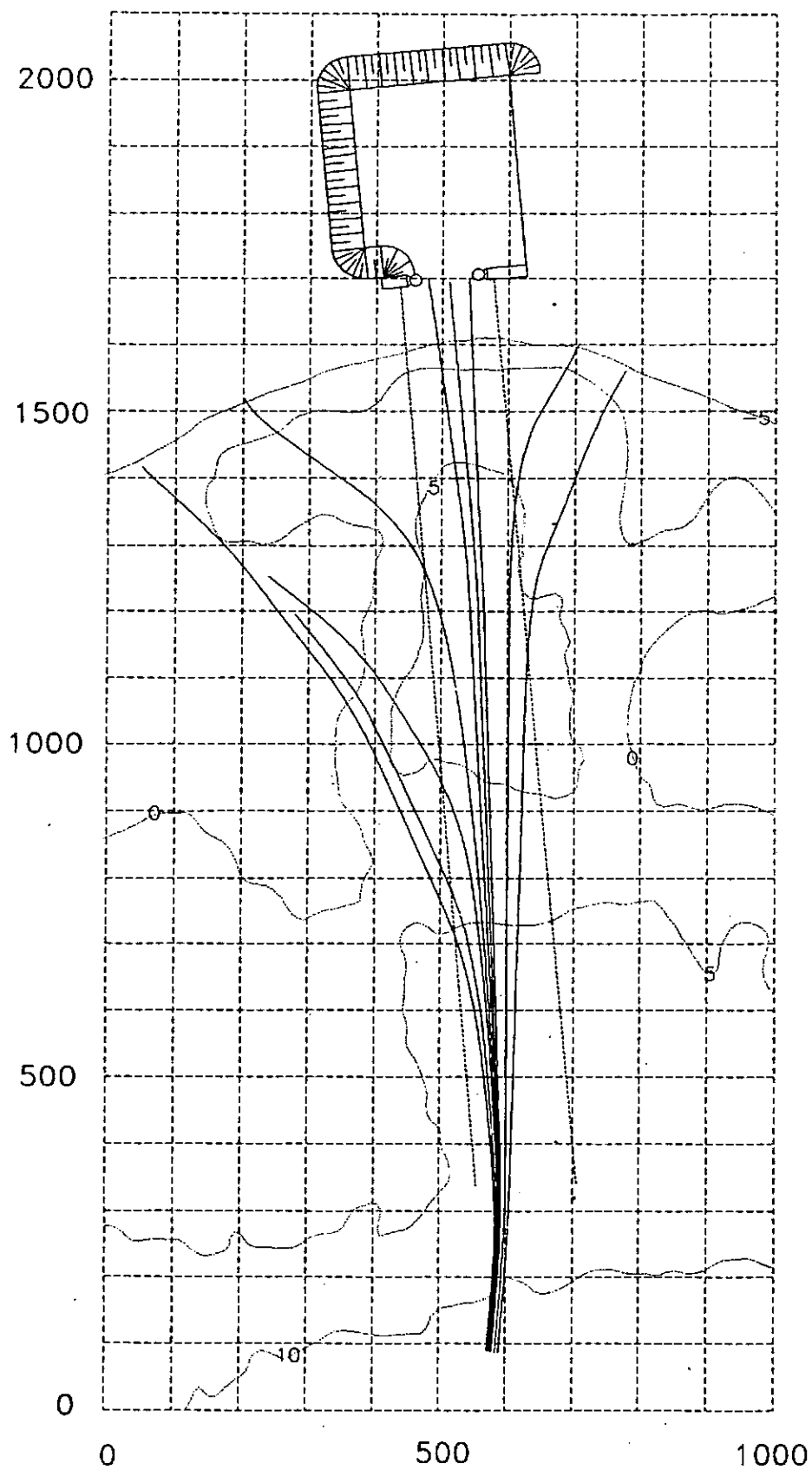
Direccion 123.75 grados, Periodo 10 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.68



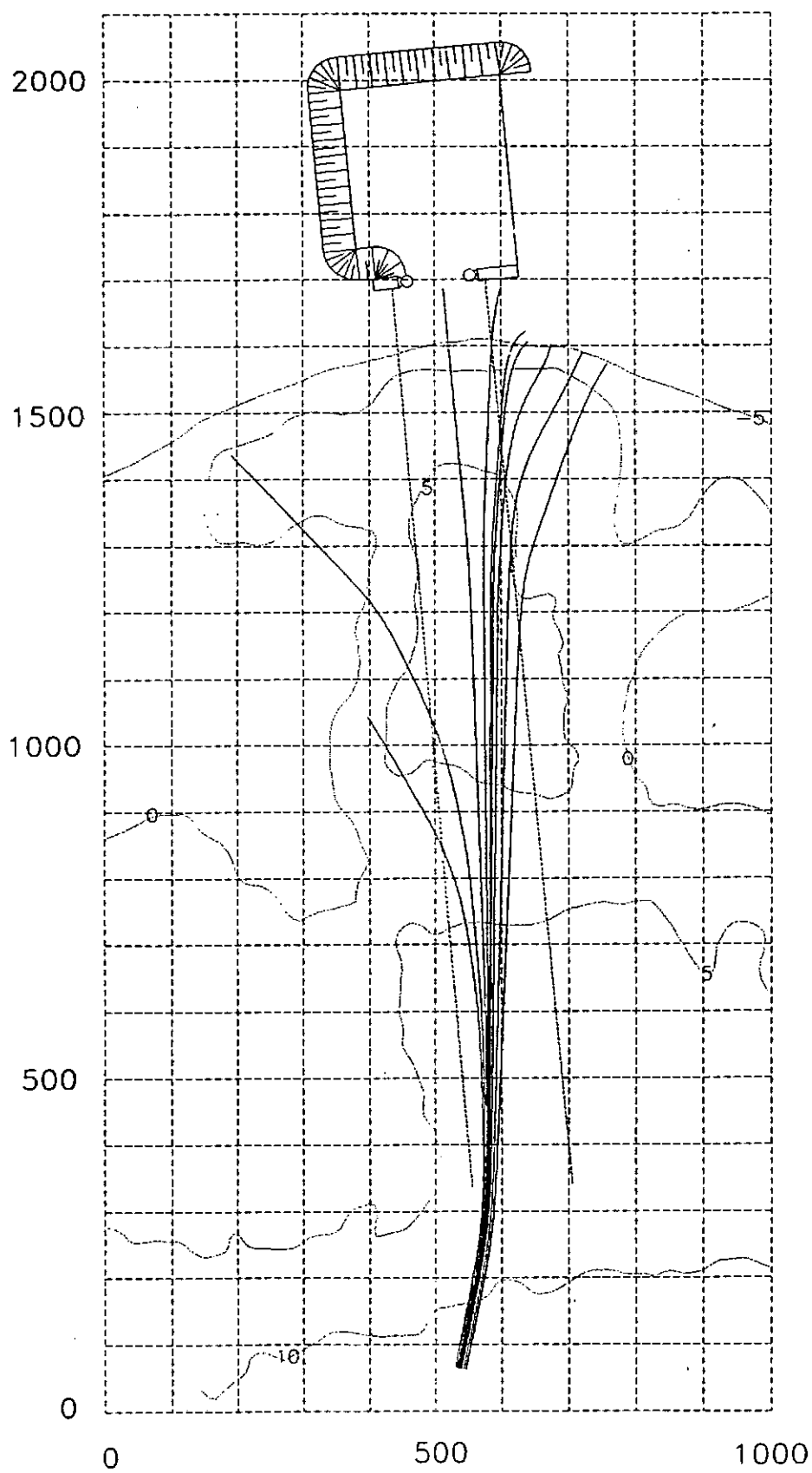
Direccion ENE, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 69



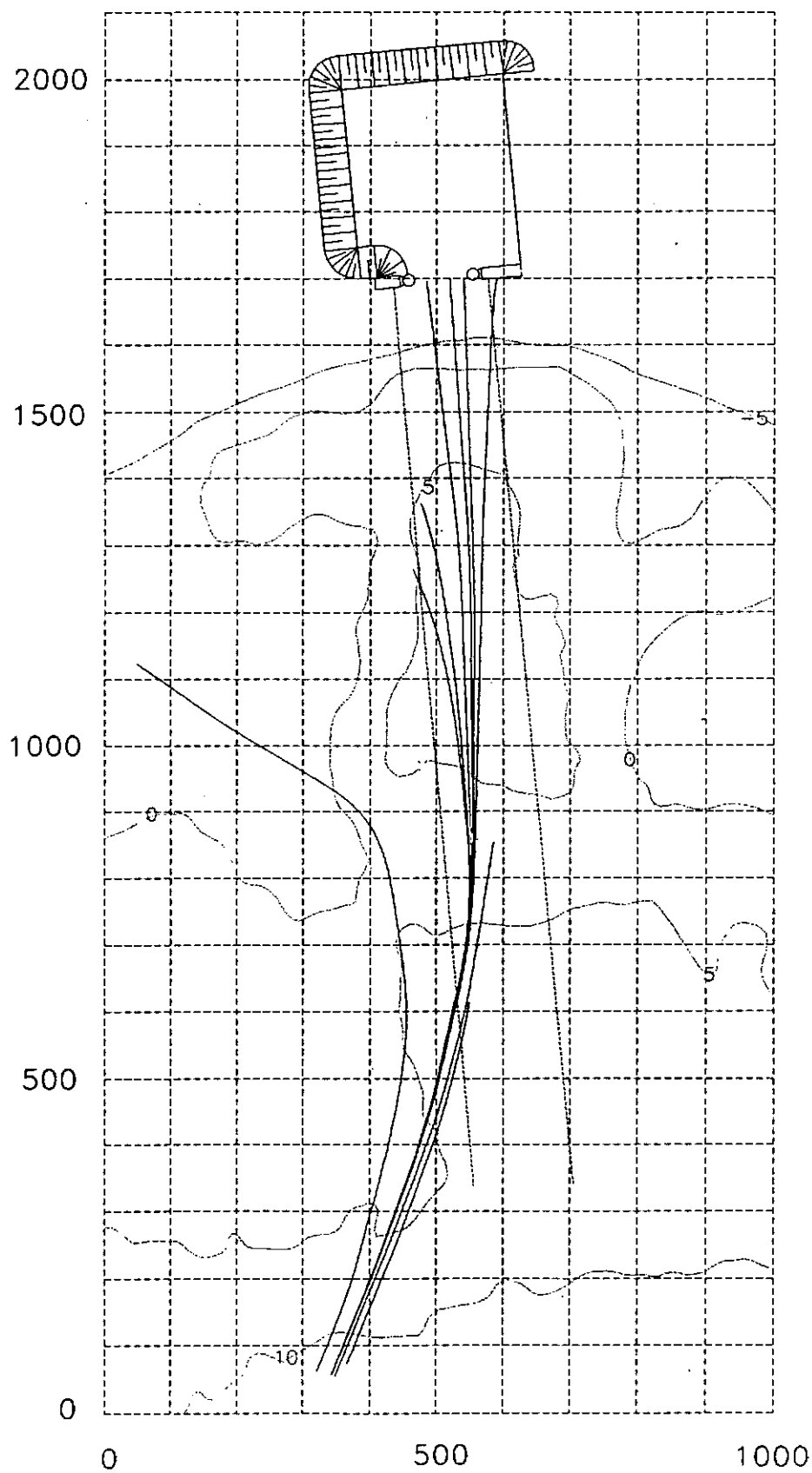
Direccion 101.25 grados, Periodo 10 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.70



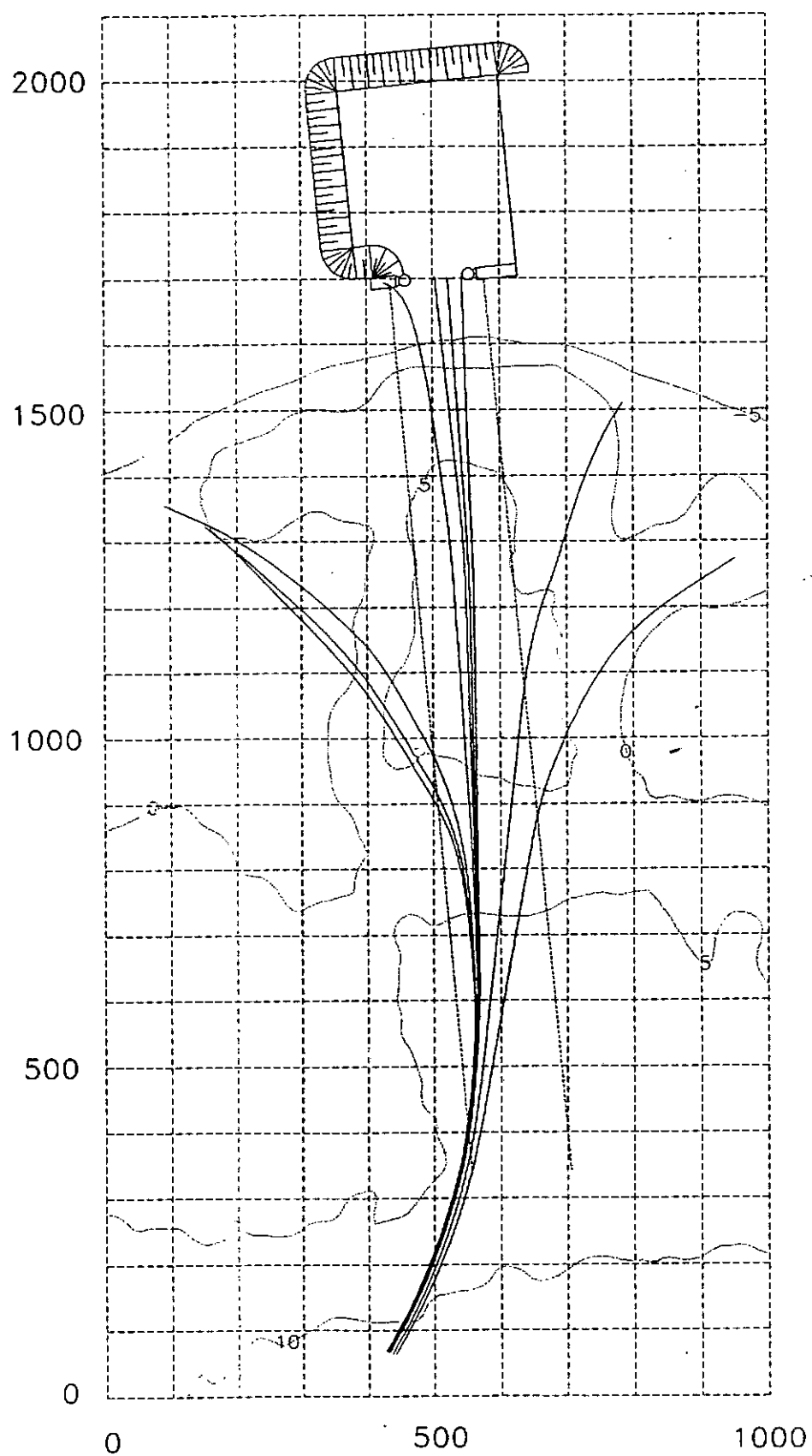
Direccion E, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 71



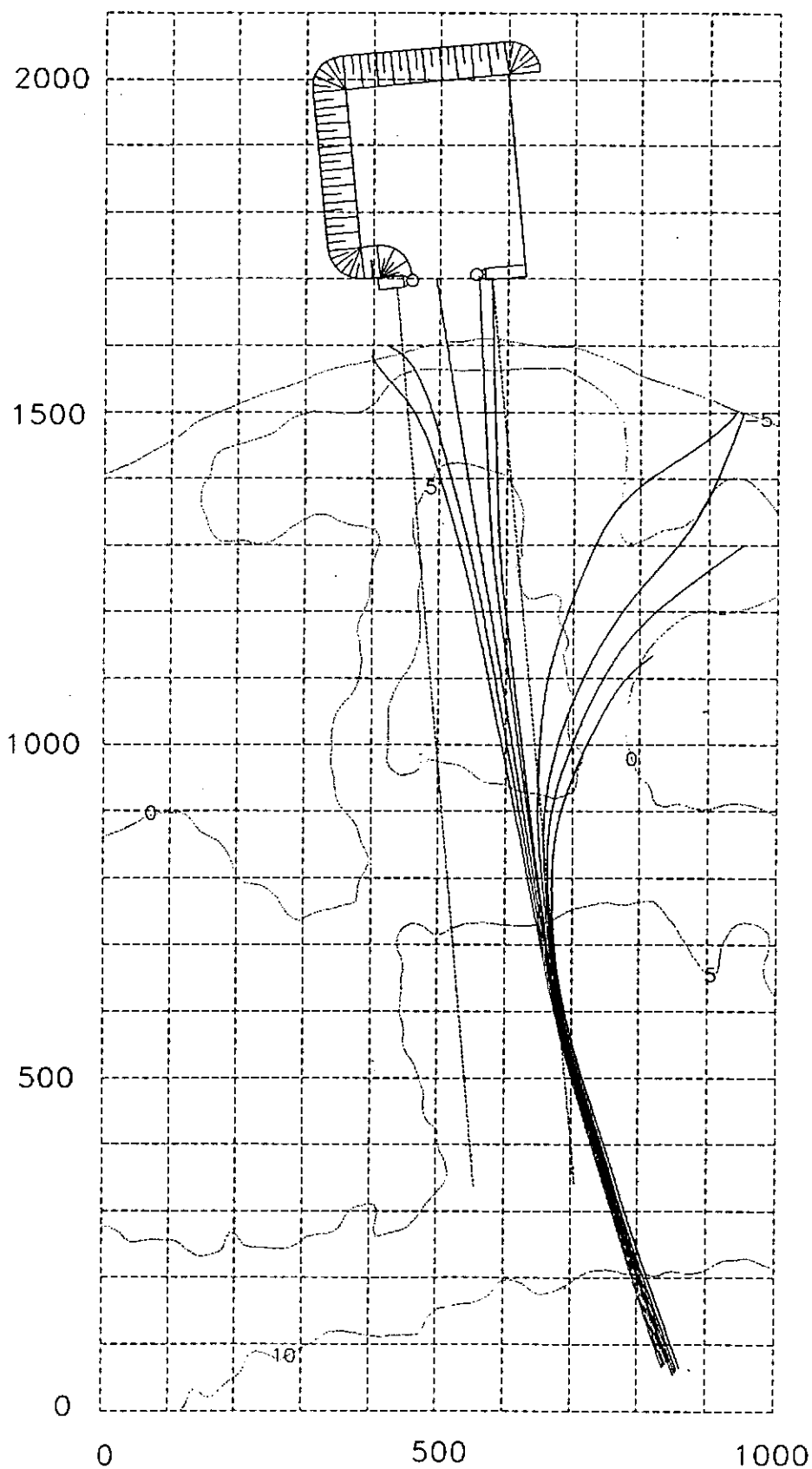
Direccion ESE, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.72



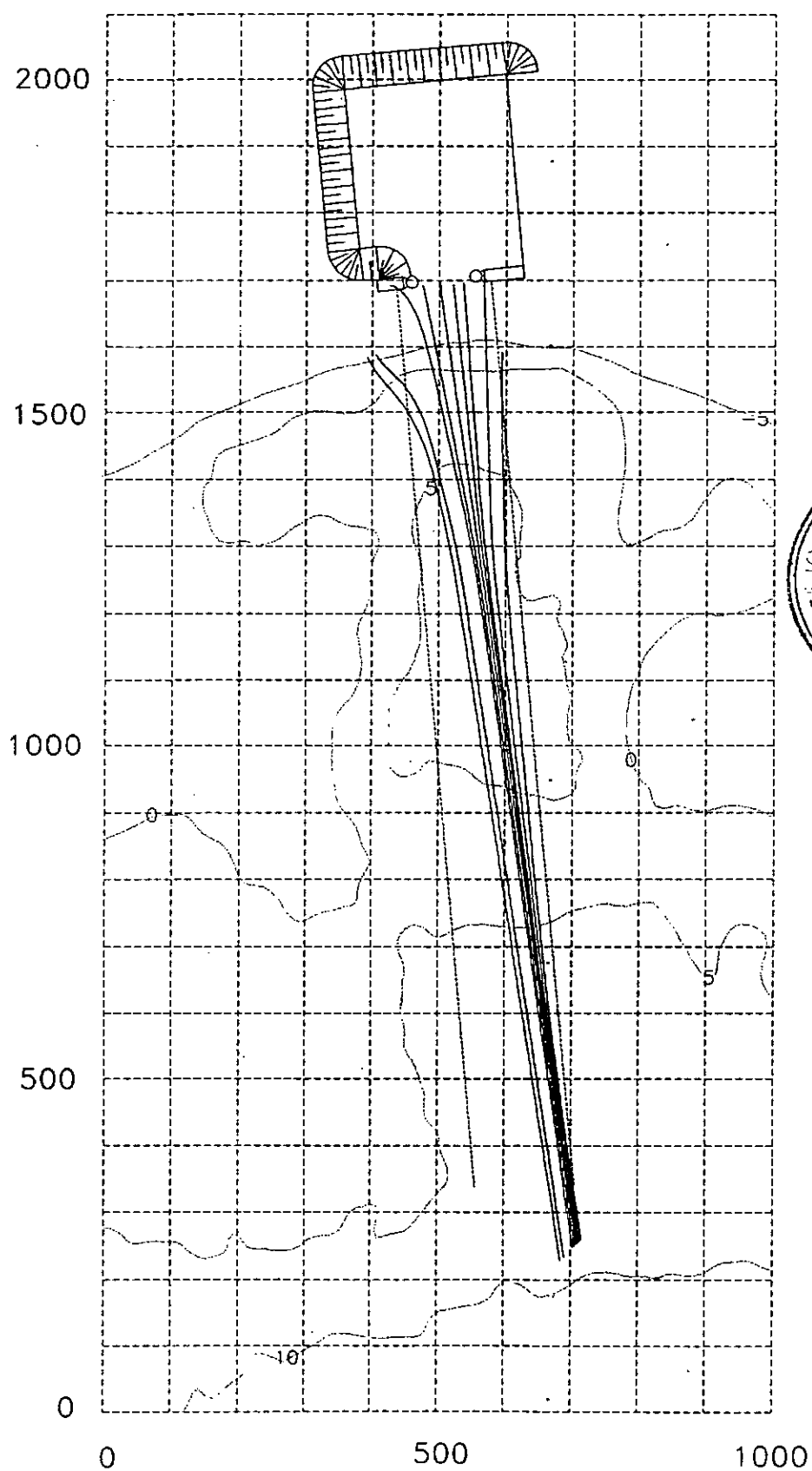
Direccion SE, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.73



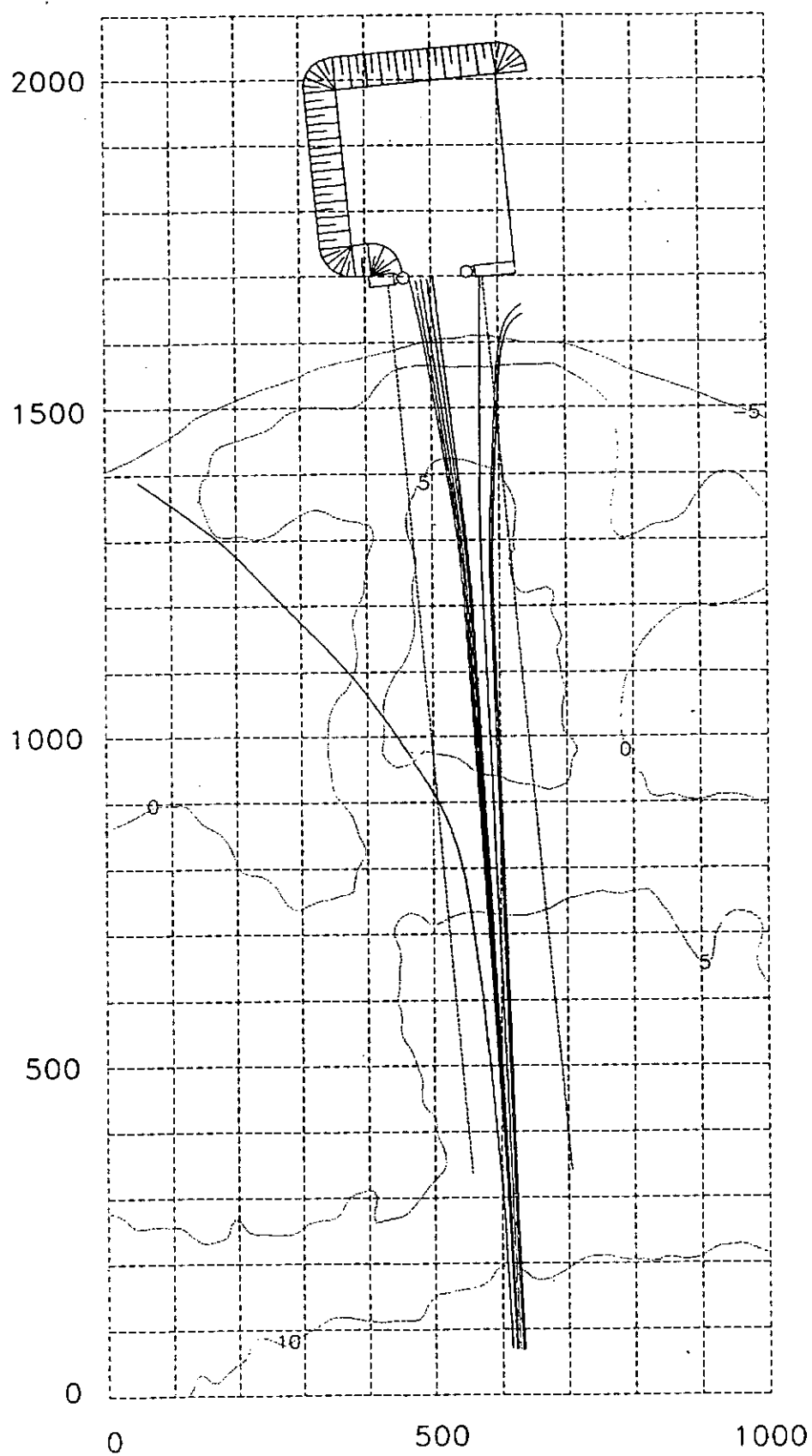
Direccion NE, Periodo 12.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 74



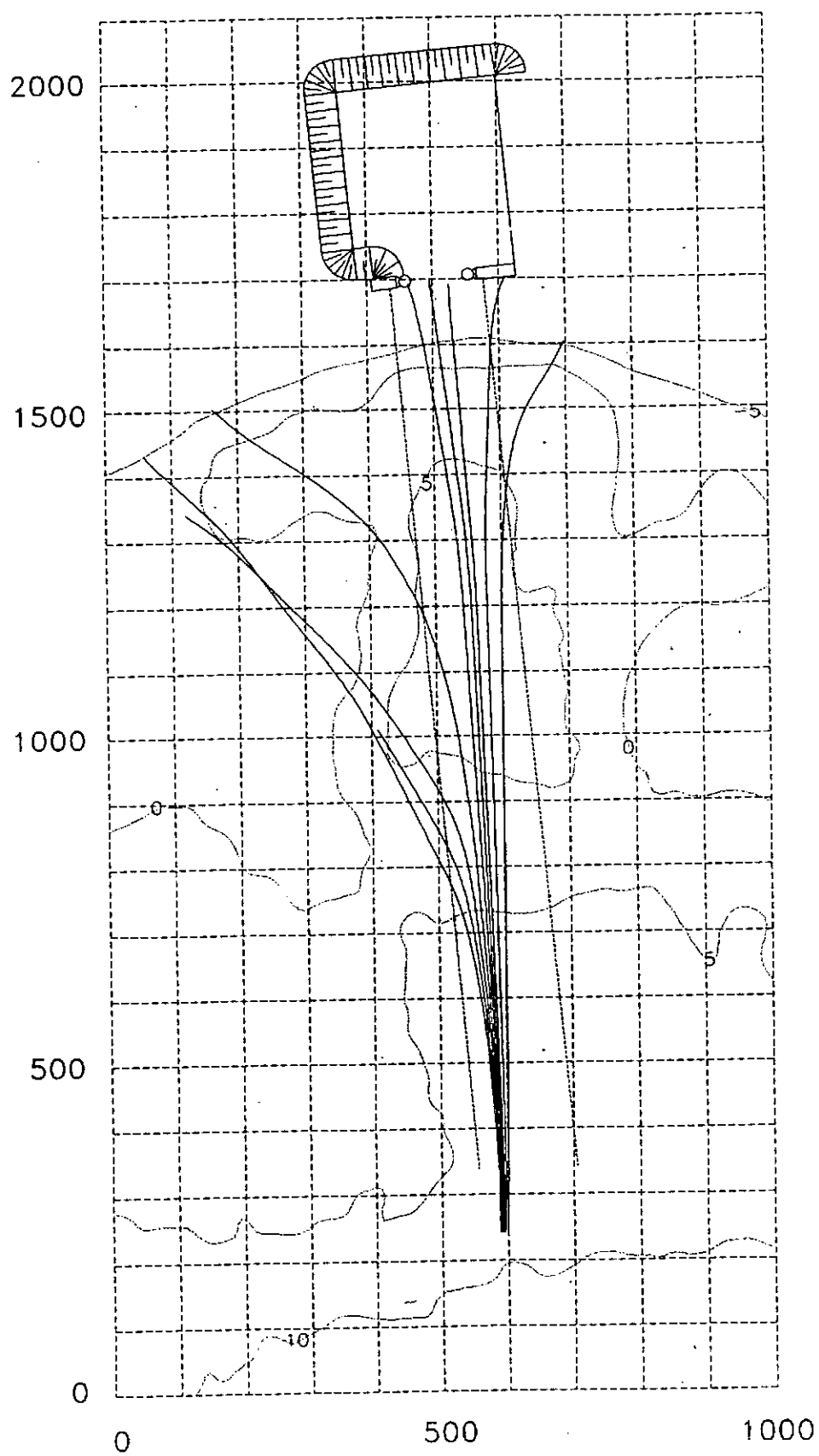
Direccion 123.75 grados, Periodo 12.5 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.75



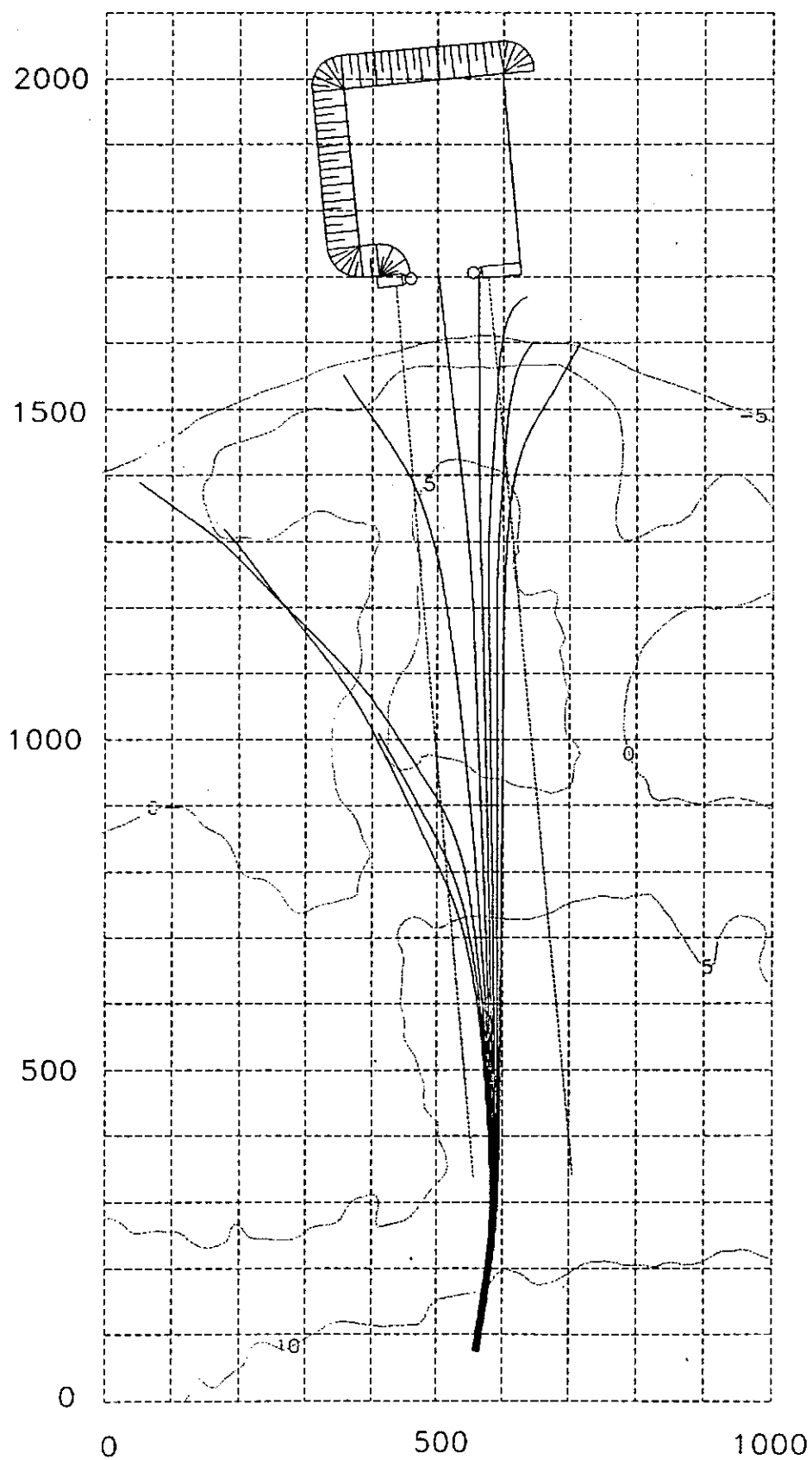
Direccion ENE, Periodo 12.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 76



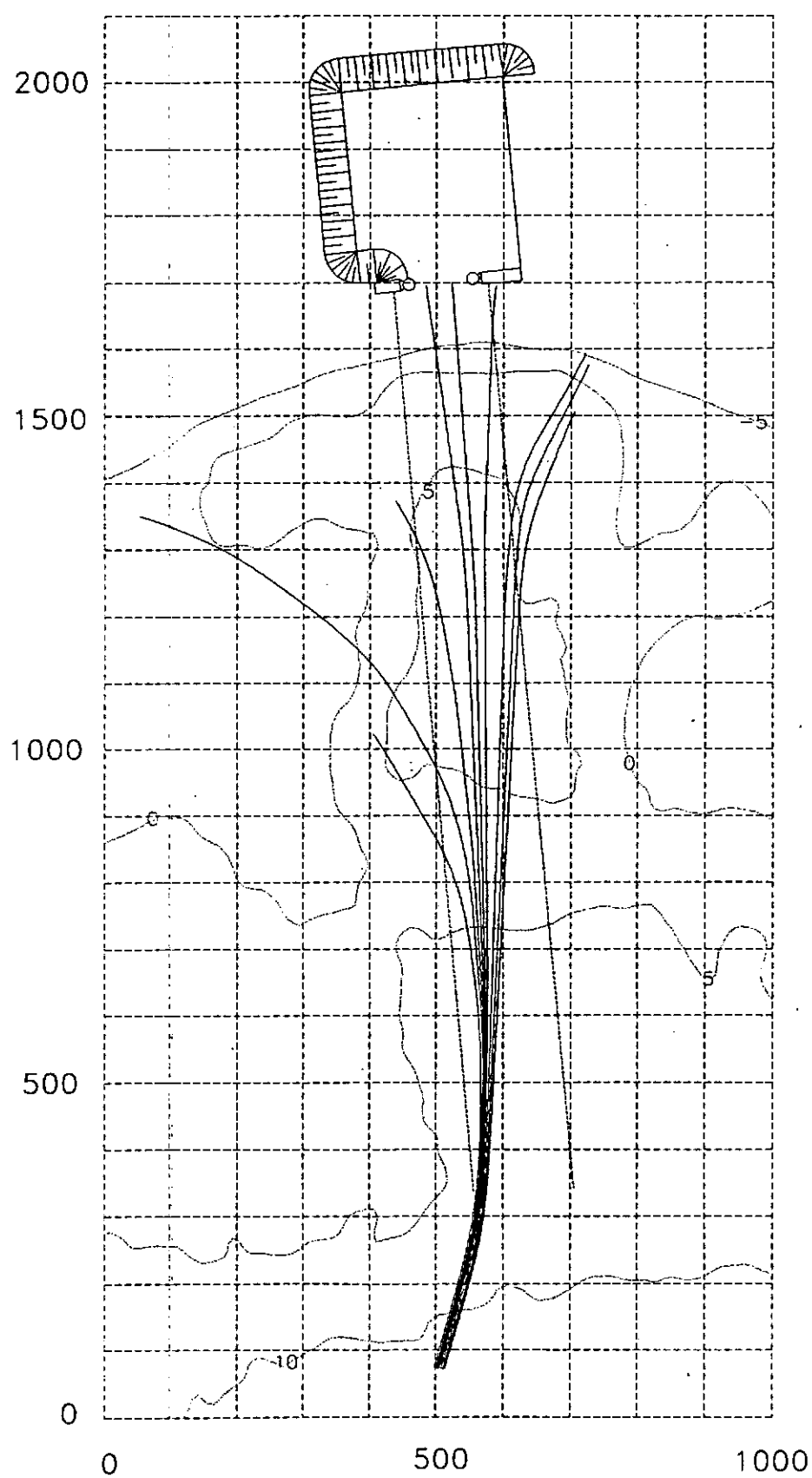
Direccion 101.25 grados, Período 12.5 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 77



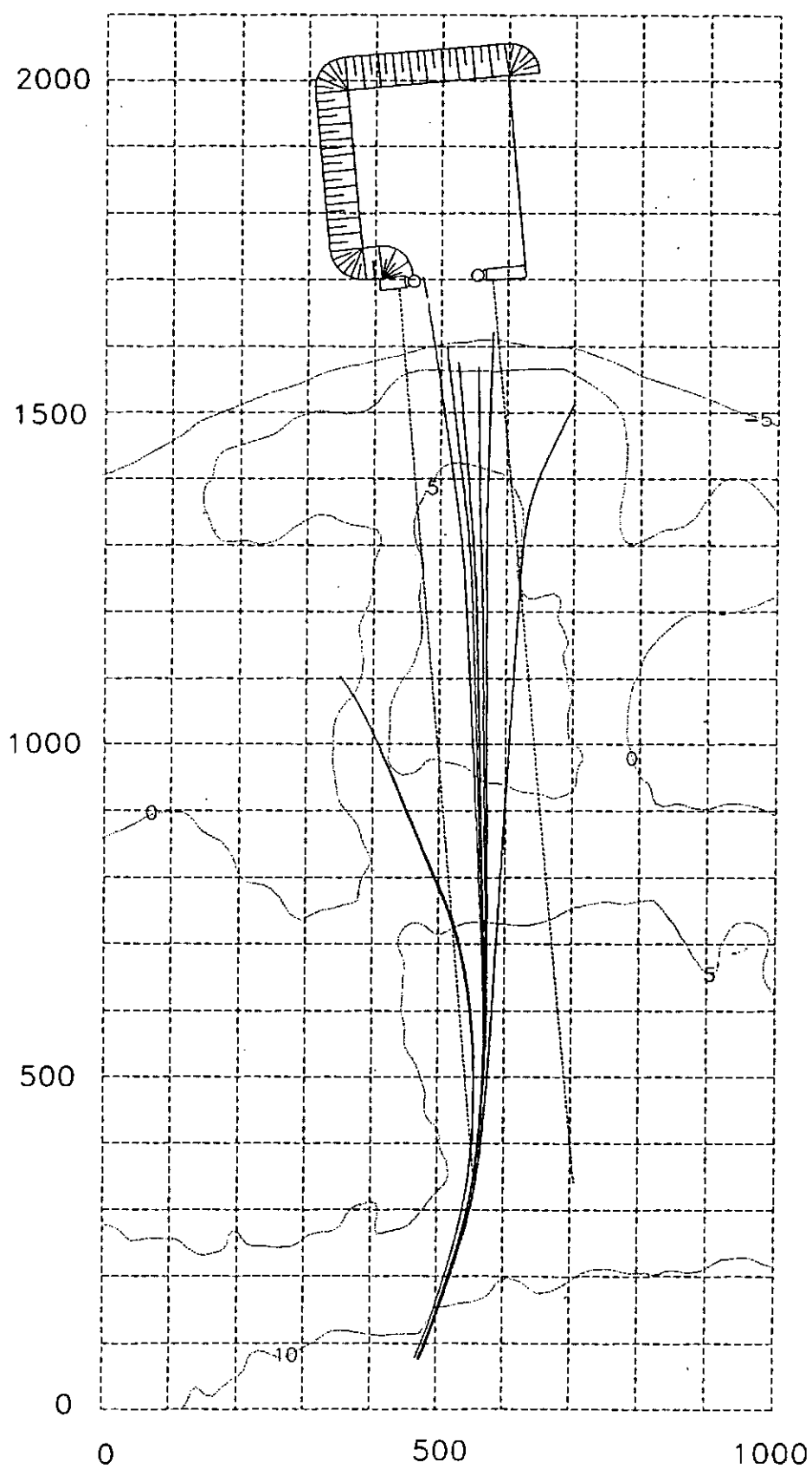
Direccion E, Periodo 12.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 78



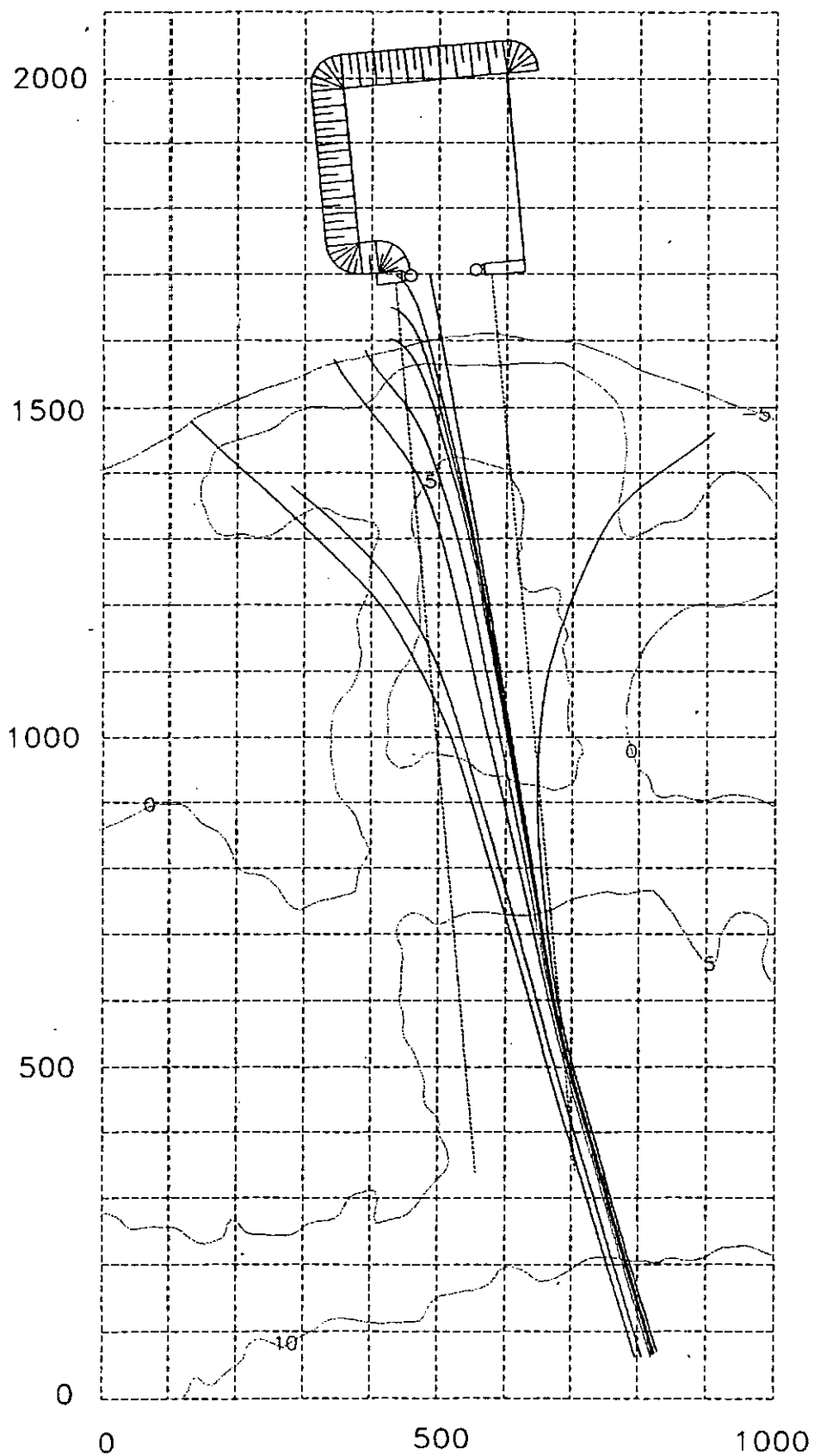
Dirección ESE, Período 12.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 79



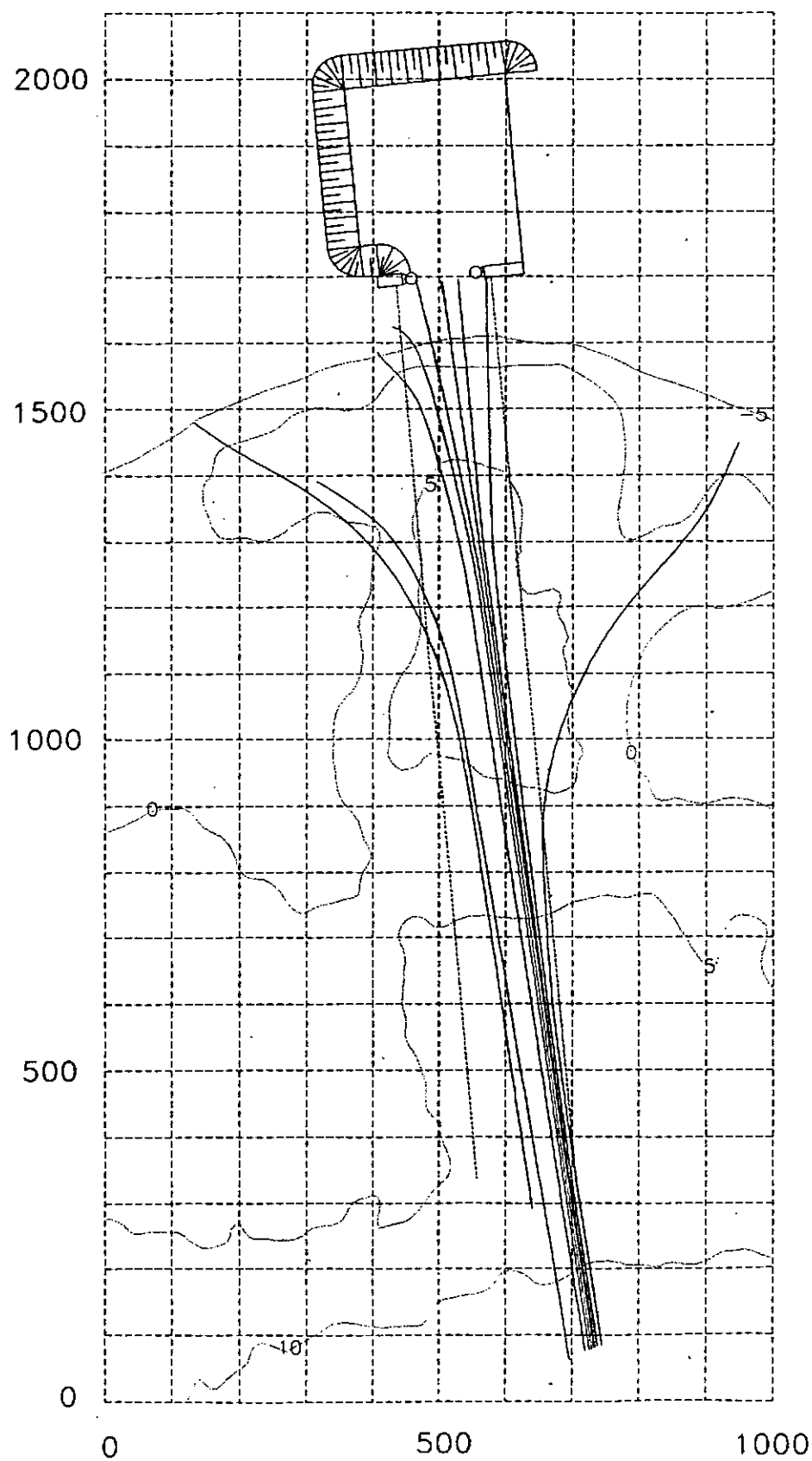
Direccion SE, Periodo 12.5 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.80



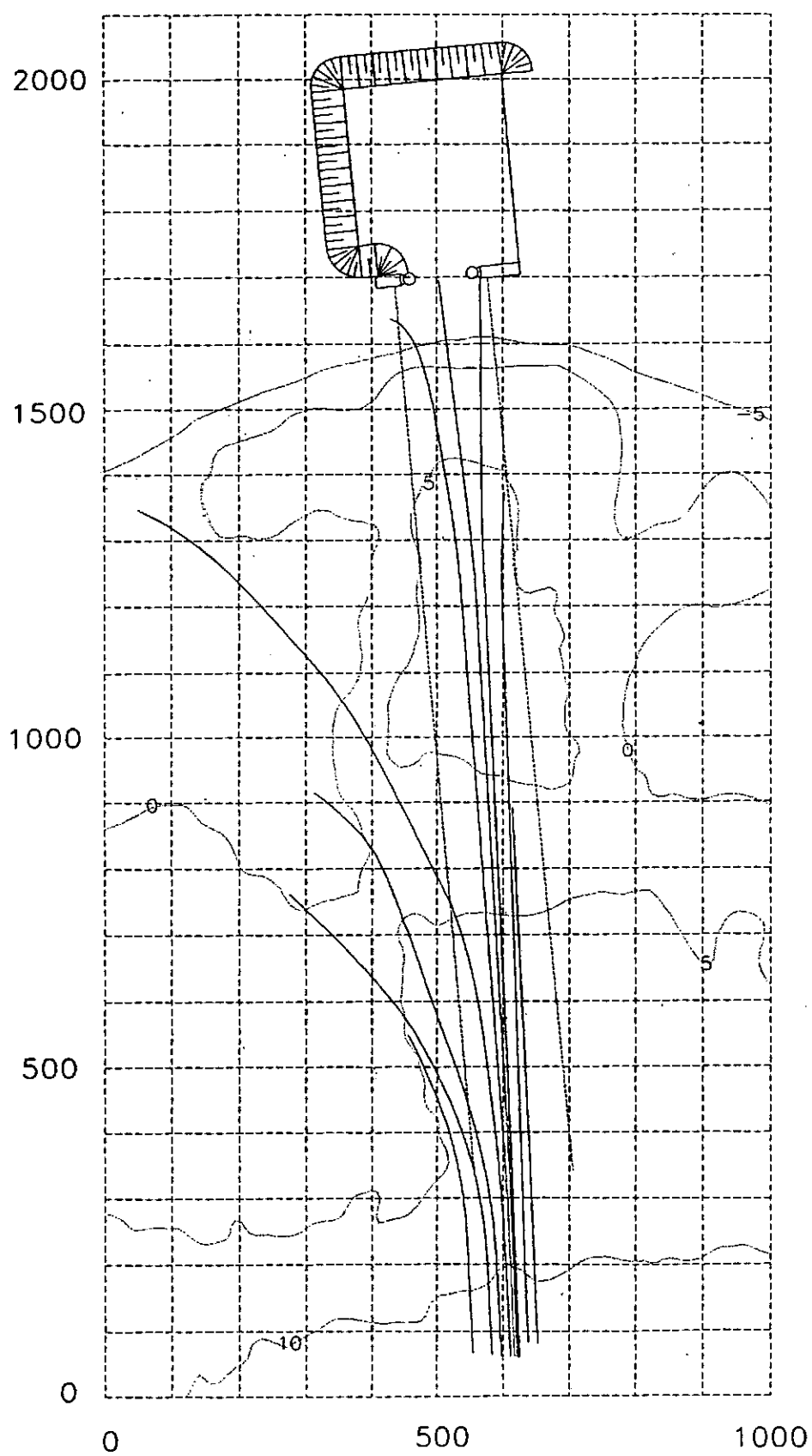
Direccion NE, Periodo 15 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 81



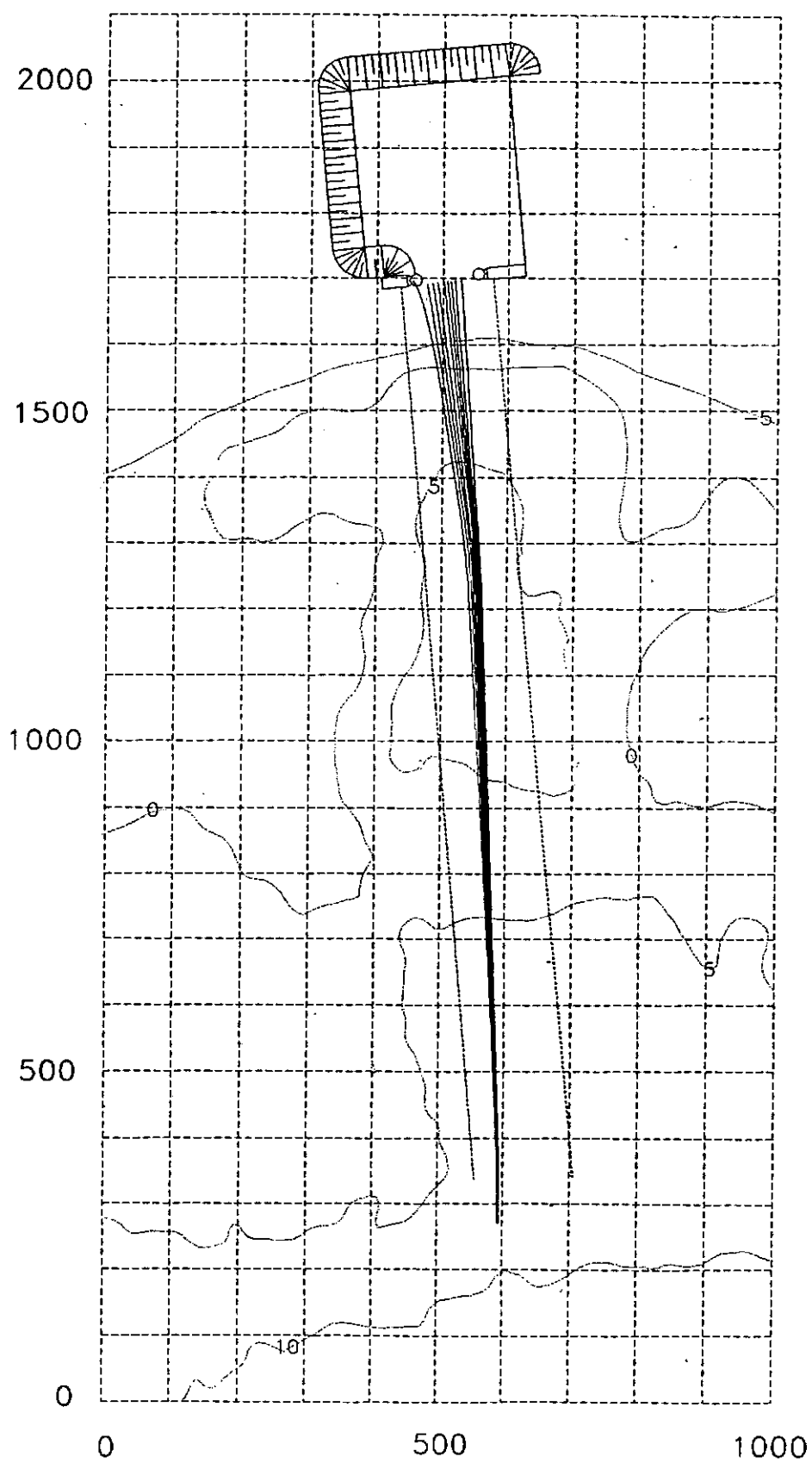
Direccion 123.75 grados, Periodo 15 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 82



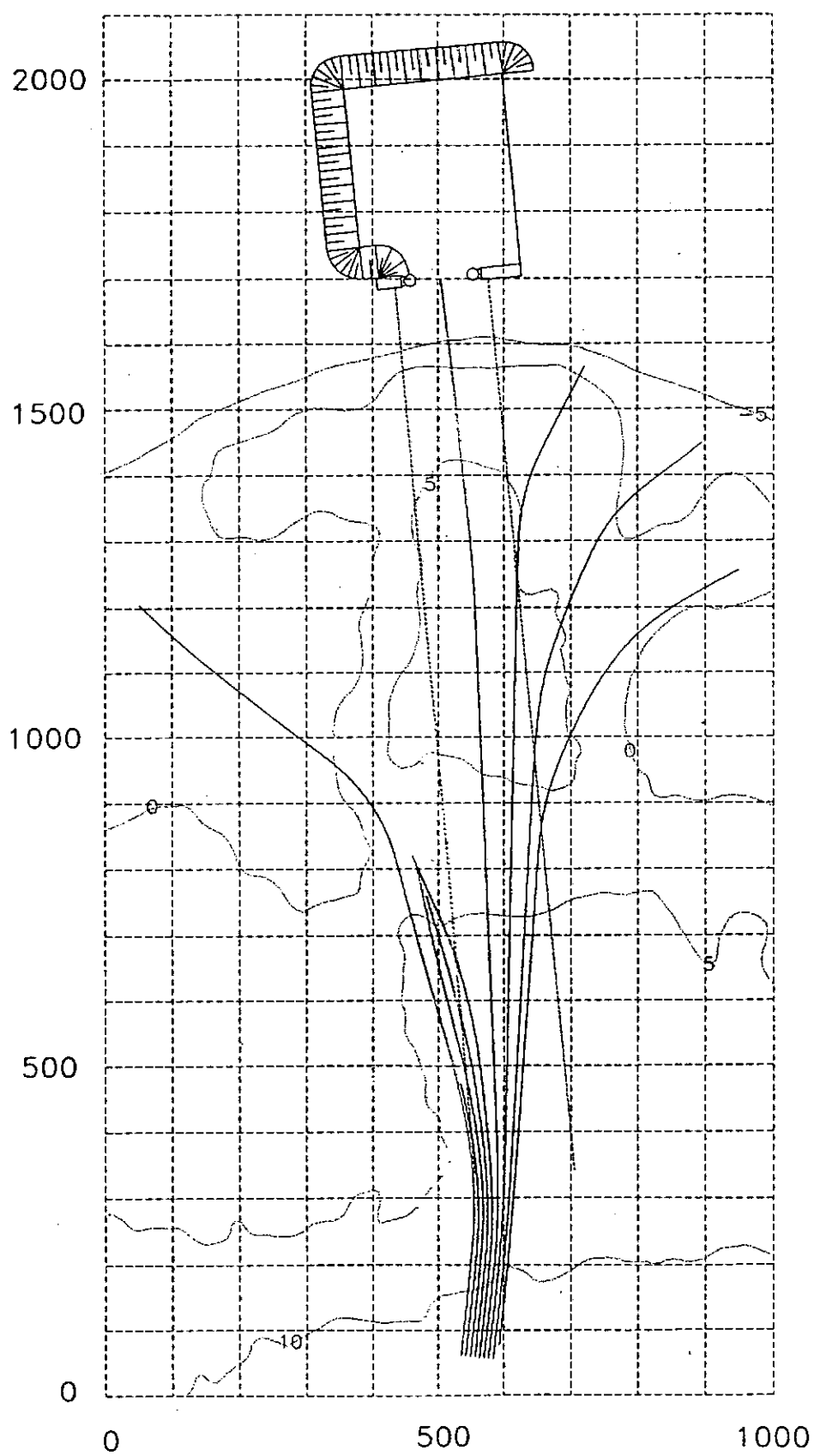
Direccion ENE, Periodo 15 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.83



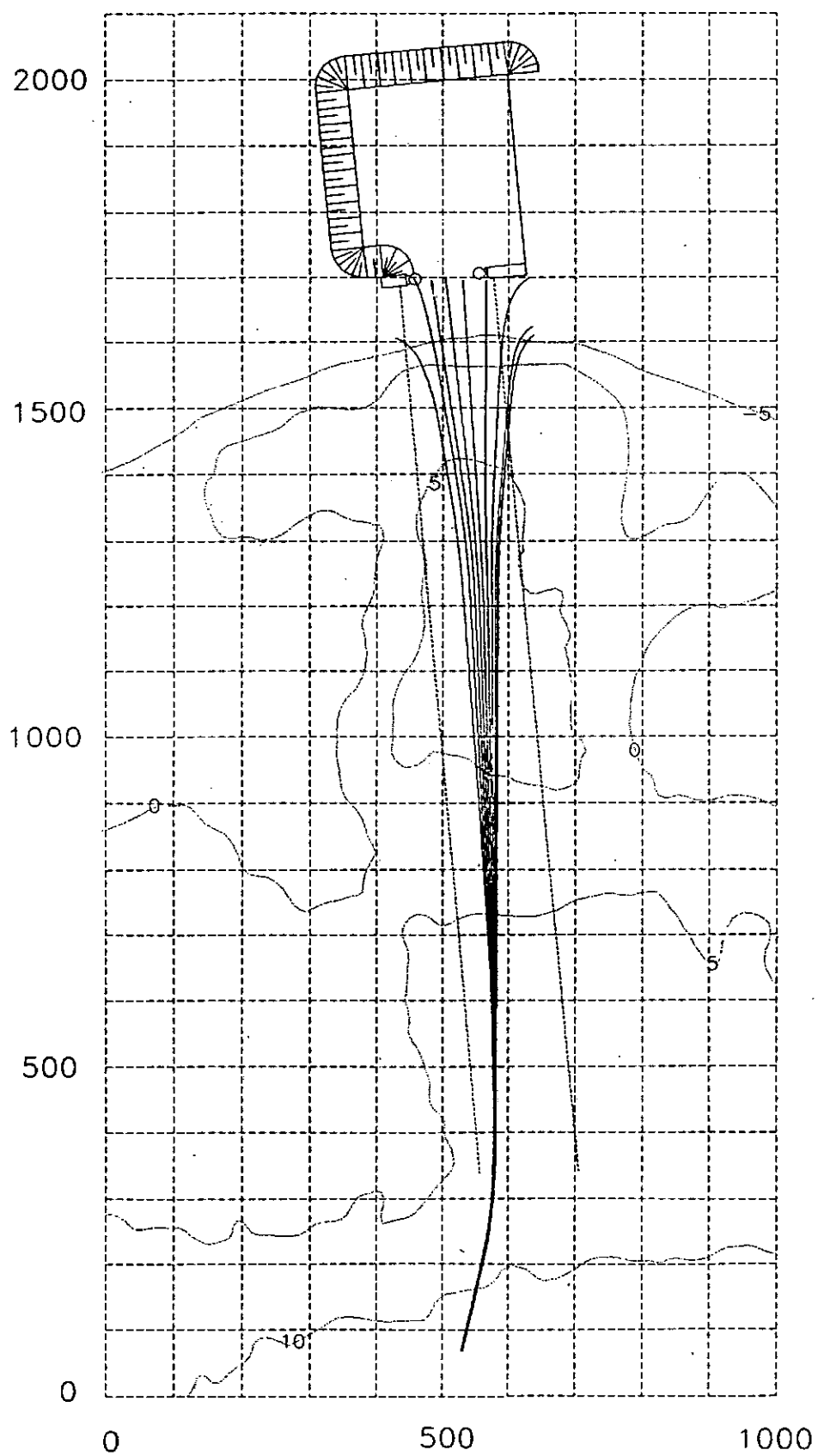
Direccion 101.25 grados, Periodo 15 s, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 84



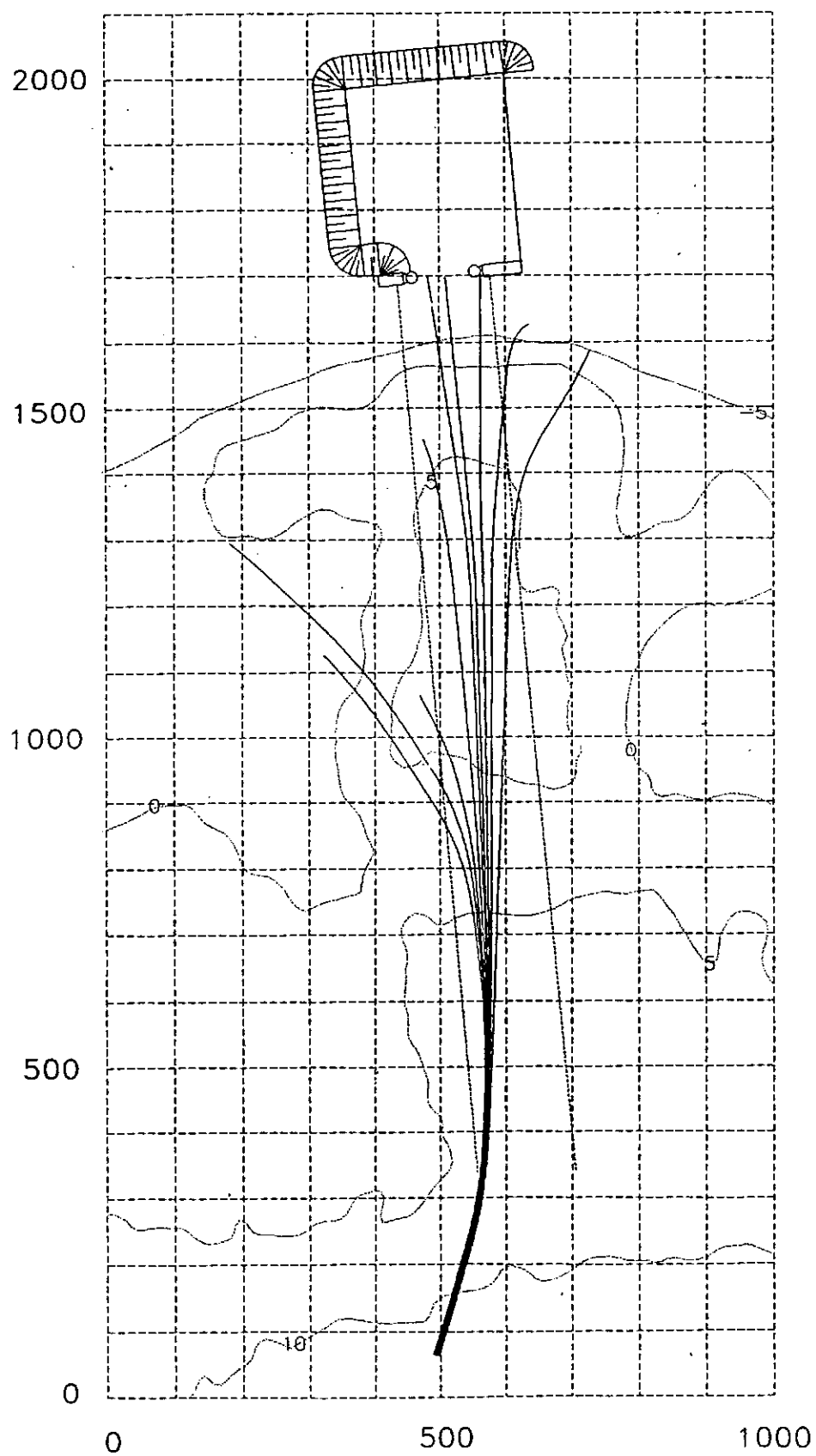
Direccion E, Periodo 15 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 85



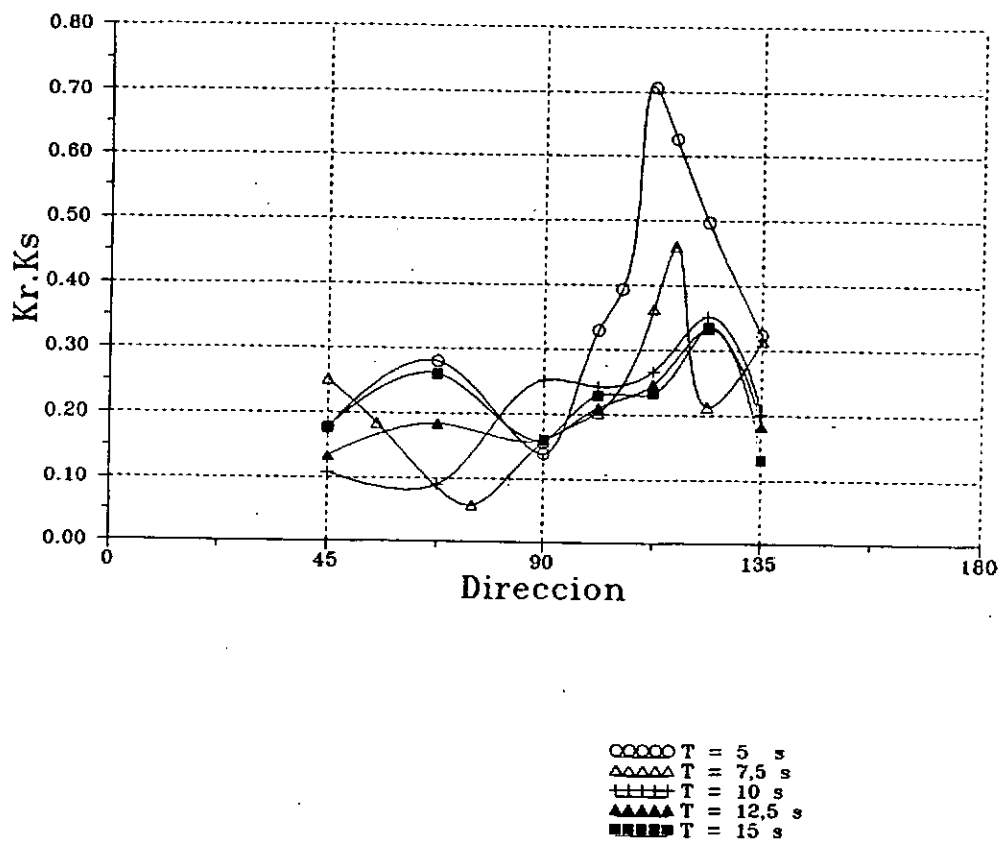
Direccion ESE, Periodo 15 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro.86



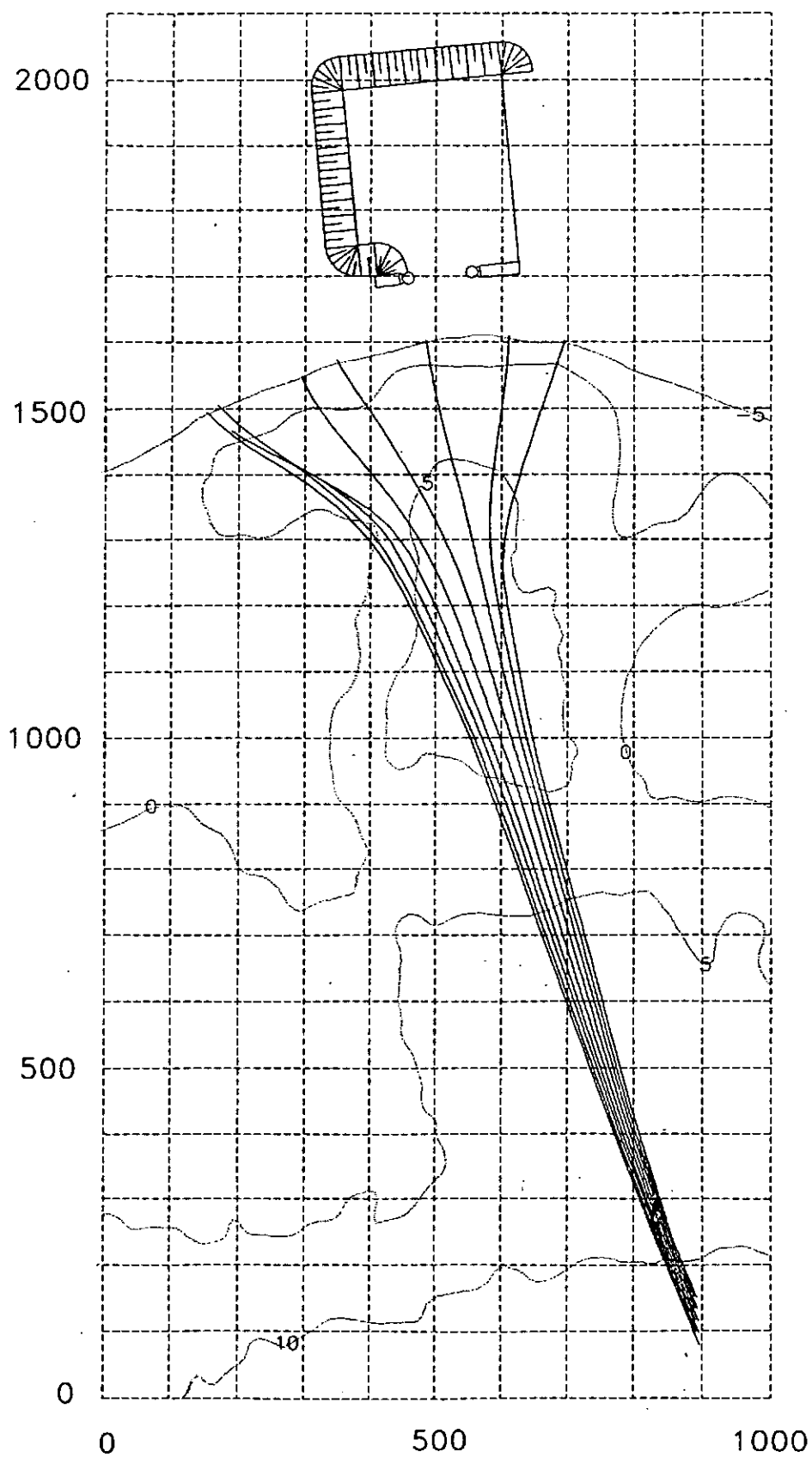
Direccion SE, Periodo 15 seg, N.M. 6.64 m.

Figura Nro. 87



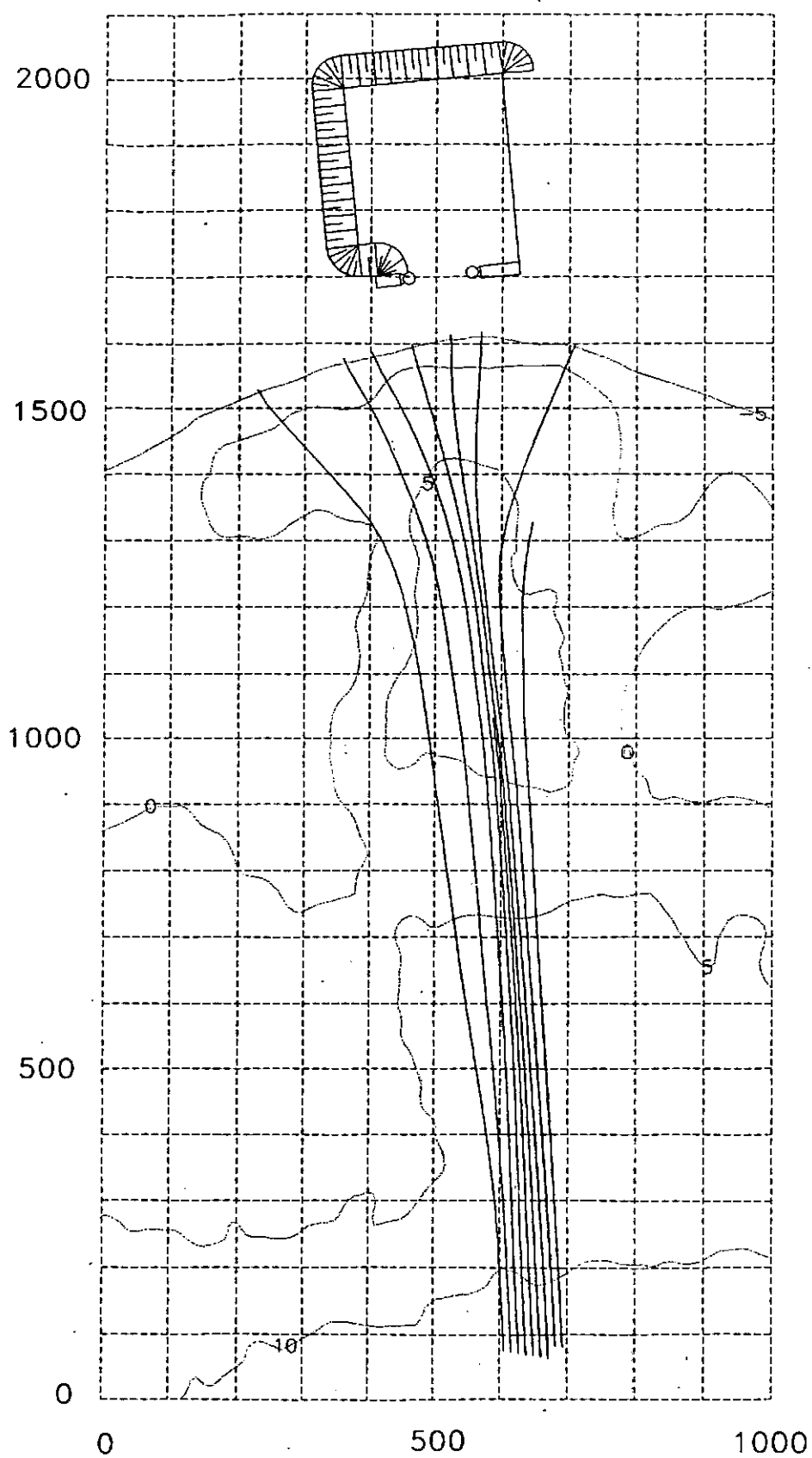
Coefficiente de refraccion y bajío
en funcion de la direccion

Figura Nro. 88



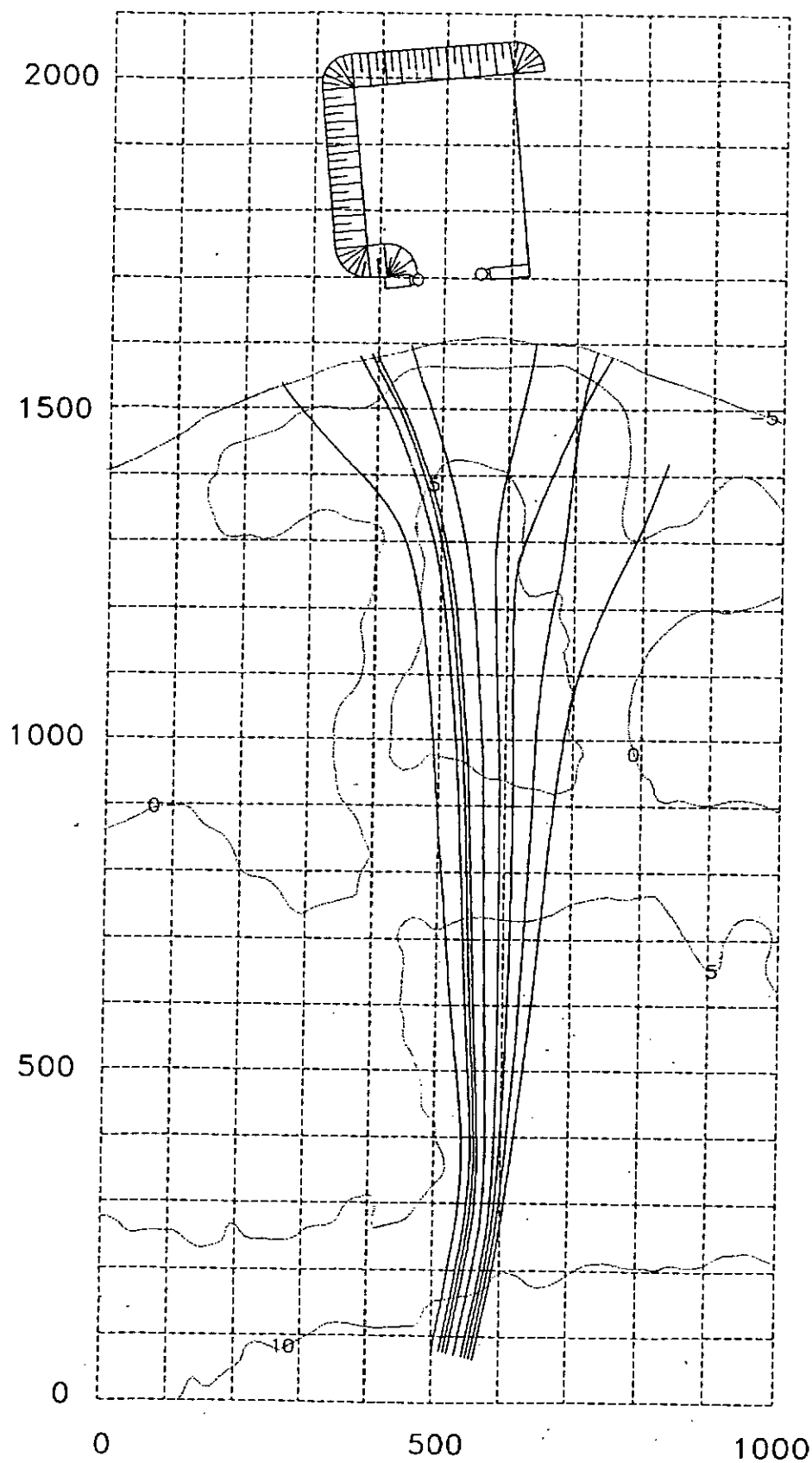
Direccion NE, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m, Sin Canal.

Figura Nro. 89



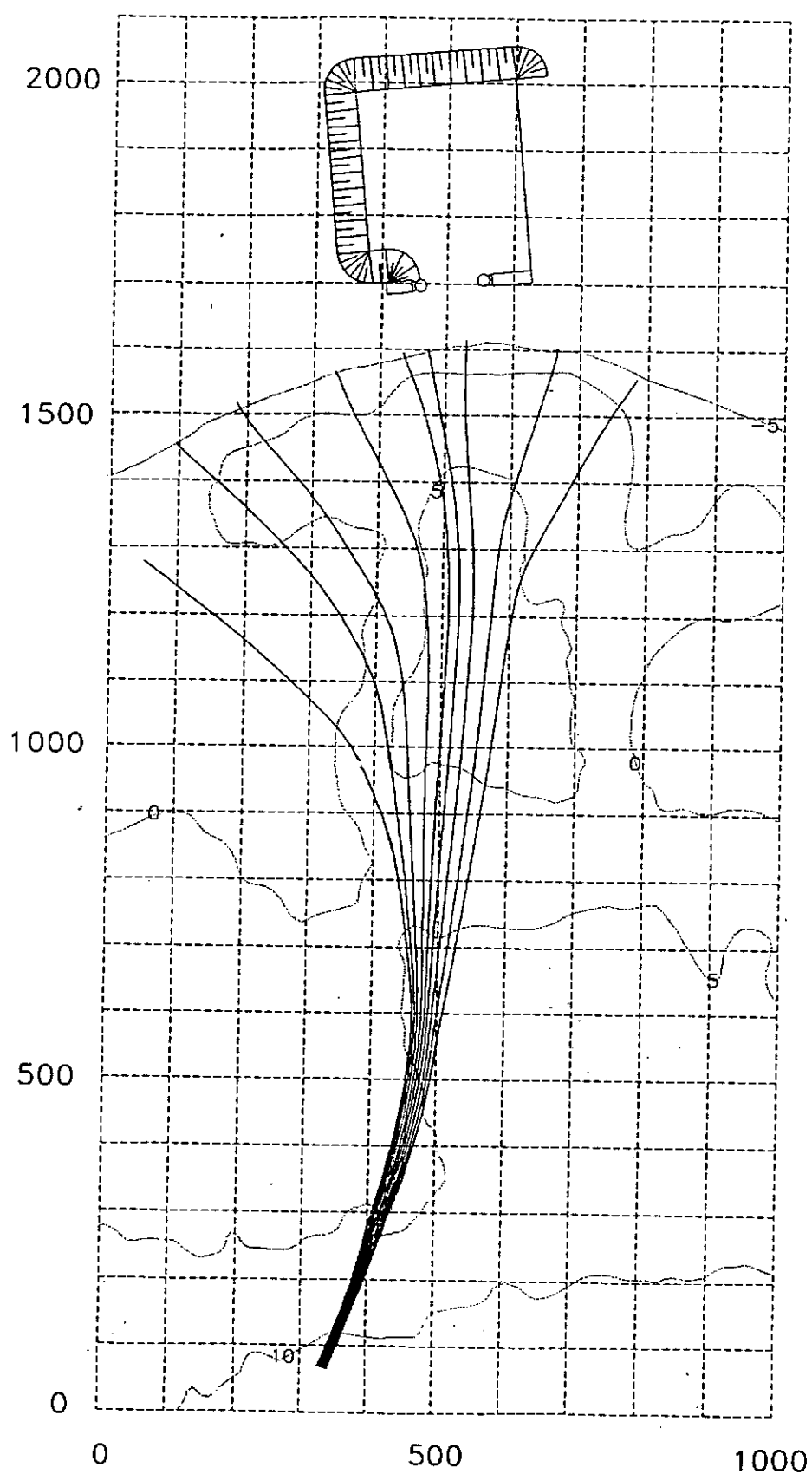
Direccion ENE,Periodo 10 seg,N.M. 6.64 m,Sin Canal.

Figura Nro.90'



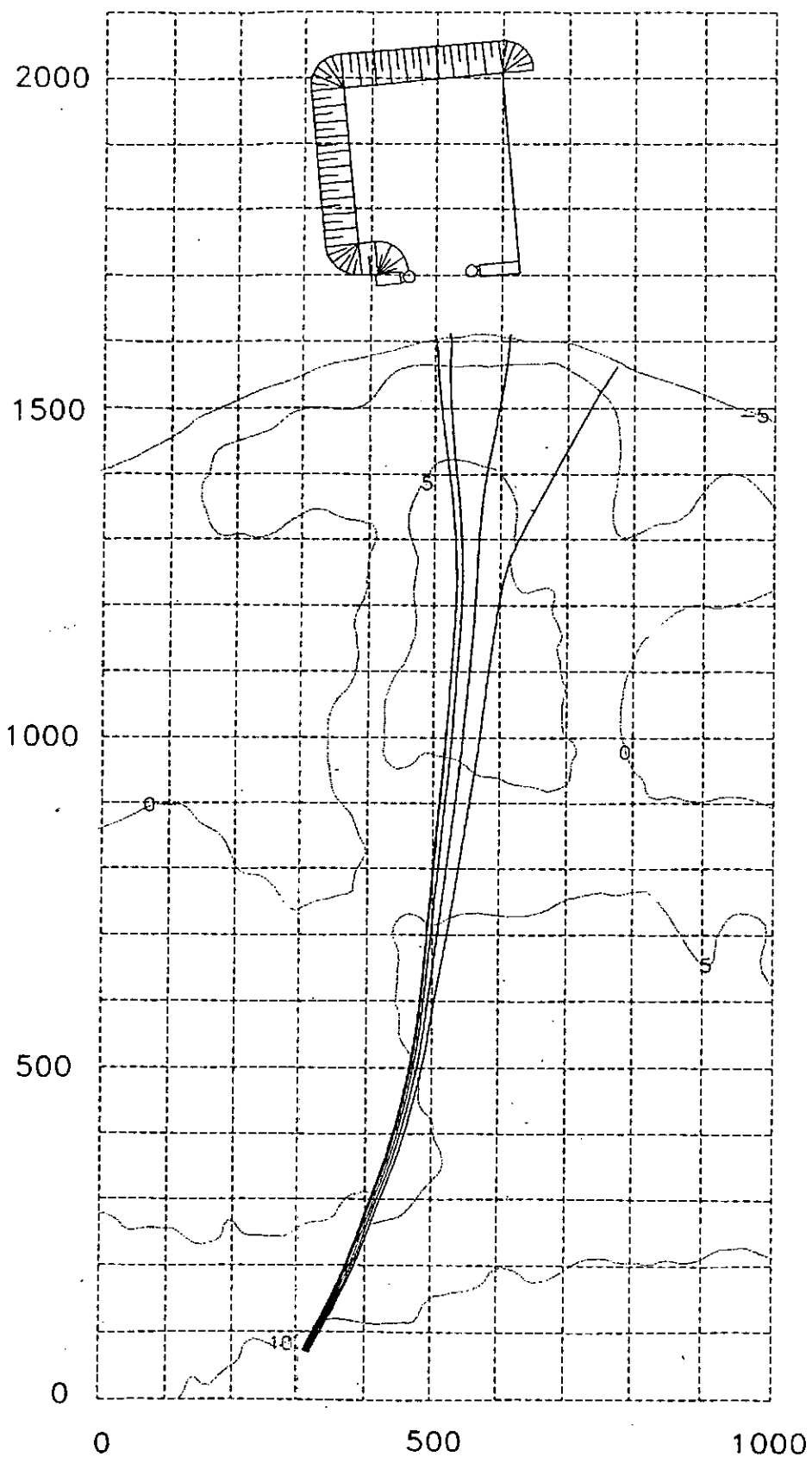
Direccion E, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m, Sin Canal.

Figura Nro. 91



Direccion ESE, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m, Sin Canal.

Figura Nro.92



Direccion SE, Periodo 10 seg, N.M. 6.64 m, Sin Canal.

Figura Nro. 93