

Estudios en honor de  
Francisco Javier Domínguez  
AUCH, 5ª Serie, Nº 8 (1985): 551-587

## UN DIAGNOSTICO DE COMPORTAMIENTO HIDRAULICO EN LOS CANALES DEL SUR

SALVADOR TARODO ELÍAS

Donde los efectos del escurrimiento son el resultado de la conjugación de fenómenos propios de las hidráulicas marítimas y general, de la hidrología y nevología, además de una acción meteorológica directa: el viento.

### 1. INTRODUCCIÓN

El hecho de que las autoridades de Gobierno, el año 1979, se vieran enfrentadas a definir un programa de transporte entre Puerto Montt y Punta Arenas, teniendo presente; por una parte, la utilización sólo del territorio nacional y, por otra, incrementar el movimiento de la provincia de Ultima Esperanza; hizo surgir como punto crítico, el de utilizar en forma habitual el paso de la Angostura de Kirke, para la navegación de un transbordador y otras embarcaciones. Este paso es uno de los dos que permite el acceso a Puerto Natales, desde las rutas usuales de navegación.

Hubo opiniones encontradas, en cuanto a las garantías de seguridad que daba esa solución, para el cumplimiento de programas de itinerario permanentes en todo evento.

### 2. METODOLOGÍA EMPLEADA Y RESULTADOS OBTENIDOS DURANTE LA RECOPIACIÓN DE ANTECEDENTES NATURALES

Se conoció las características geométricas y físicas del Canal Kirke y, en particular, del Paso del mismo nombre, sito entre la Isla Merino y la Punta

Restinga. Así, como los comportamientos del fluido en cuanto a medición y ocurrencia de direcciones, trayectorias y velocidades de escurrimientos y de niveles en la superficie.

Del análisis de las mediciones y demás antecedentes obtenidos, se pudo concluir que los pronósticos oficiales de ocurrencia de direcciones y valores de velocidad del escurrimiento, en el tiempo para el Paso, no correspondían fielmente a lo comprobado in situ.

Ello daba, pues, base para aceptar el que muchas opiniones tuvieran razón en parte, a recelar de la medida, por los riesgos que en forma histórica habrán corrido los navegantes en el pasado; y muchas experiencias marineras, además, avalaran ese recelo.

### 2.1. Registro de las condiciones de niveles y de marea

Se observó y registró los niveles de la superficie del agua durante tres días —17, 18 y 19 de junio— en las horas y circunstancias indicados en los gráficos que se adjuntan. Se advirtió la forma que presentaban las curvas, fenómeno que acusa el comportamiento del escurrimiento frente a la singularidad física, materializada por un angostamiento excesivamente brusco en planta y un azud muy pronunciado en elevación, cuya cresta representa una forma de vertedero semitriangular ahogado, en la parte más estrecha de la angostura.

Estas formas de las curvas, son el resultado de la variación de niveles en la superficie, causados por las revasas y turbulencias que presenta el escurrimiento, tanto en su acción de flujo, como en la de reflujó.

Una característica muy importante que mostraron las observaciones, es el tiempo transcurrido entre dos estoas. Ellas tuvieron valores fuertemente variables, aproximadamente de 3 h 15 min; 2 h 45 min; 3 h 45 min y 5 h 15 min.

Otra característica, es la rapidez con que se invierte el sentido del escurrimiento en las condiciones de estoa, resultando singularmente acentuado este fenómeno en las estoas de pleamar.

La amplitud máxima de marea controlada fue de 22 cms el día 18 de junio, un día después de ocurrido el cuarto menguante y en situación de reflujó.

### 2.2 Medición de las velocidades en estados de flujo y reflujó

Con el objeto de conocer en parte las velocidades en flujo y reflujó en la Angostura de Kirke se efectuó mediciones con un molinete OTT que permite, en estos casos de medianas o grandes velocidades, obtener datos bastante fieles.

Es necesario sí, hacer notar que los valores obtenidos no muestran realmente situaciones extremas y ni siquiera cercanas a estos límites, debido a que, por una parte, las mareas observadas no fueron de mayor importancia —cuadratura, o de aguas muertas— como se estableció anteriormente; y por otra, la situación climática tampoco fue de excepción.

Para obtener los valores más altos de velocidad en la zona, ya sea en flujo o reflujo, se ubicó la embarcación lo más cercanamente posible —en vertical— al umbral o azud. Y con la ayuda del motor y ancla, se la pudo fijar durante el tiempo que se indica.

El día 17 de junio, con marea en estado de flujo, fue posible verificar una ubicación, en 20 m de profundidad, lográndose así mediciones a 1 m, 6 m y 8 m de profundidad, siendo imposible por la “correntada”, llevar más al fondo el instrumento.

El día 18, las mediciones fueron hechas tanto en flujo o llenante, como en reflujo o vaciante, en profundidades de 14 m y 20,50 m y de 11,70 m respectivamente.

Como se expone en el cuadro siguiente, en cada punto y profundidad observada, se hizo tres o más mediciones, las cuales se promediaron para obtener un valor final de la velocidad medida.

Además, se pudo observar que, debido a la complejidad topográfica de fondos y riberas, el flujo y reflujo producen innumerables turbulencias, como también desniveles en la superficie en todo el sector, por lo que las velocidades dadas son propias de los puntos observados, ya que superficialmente se distinguen trayectorias en diversos sentidos.

### *2.3. Particularidades de las observaciones registradas*

En relación al puerto patrón Puerto Montt, que figura en las Tablas de Marea, el valor de 22 cms para la amplitud de marea observada el día 18 de junio, debería corresponder a uno del orden del 50% del máximo —53% calculado— para el año 1979, y a uno del orden del 300% —291% calculado— del mínimo, para el mismo año.

Sin embargo, según las mismas tablas, para Angostura Kirke da un valor de 1,07 m como amplitud de marea en sicigias, lo cual hace diferir en forma ostensible el valor relativo de las amplitudes controladas, respecto a los valores extremos anuales.

Además, de los gráficos registrados con las mediciones de nivel ejecutadas cada 5 minutos los días 17, 18 y 19 de junio en la Angostura, se desprende que los niveles de los máximos y mínimos valores consecutivos medidos —o sea, las situaciones cercanas a los cambios de escurrimiento de

flujo a reflujo o viceversa, registrados en el tiempo—, se sucedieron a intervalos de tiempo bastante variables, como se anotó anteriormente.

Por otra parte, también se pudo comprobar la no concordancia de las horas en que se registró las estoas, con las dadas en forma de pronóstico por las Tablas de Marea de las Costas de Chile del Instituto Hidrográfico de la Armada, de 1979, en su pág. 195, sobre la Información de Corrientes en Angostura de Kirke.

En los gráficos se puede comprobar la cuantía de estas diferencias.

La tabla da los siguientes retardos de la estoa en la Angostura de Kirke, respecto a la hora de la pleamar en Puerto Montt:

Para el día 17 de junio: 6 horas 0 min  
Para el día 18 de junio: 5 horas 54 min  
Para el día 19 de junio: 5 horas 48 min

Haciendo el cálculo:

*P. Montt 17 de junio:* Pleamar a las 7 h 29 min.

Sumado el retardo, daría las 13 h 29 m, para su ocurrencia en la Angostura. El registro dio en el hecho 11 h 45 min. Diferencia: 1 h 44 min, con lo cual el retardo fue 5 h 16 min, en vez de 6 h 0 min indicado por la tabla.

*P. Montt 18 de junio:* Pleamar a las 8 h 40 min.

Sumado el retardo, daría las 14 h 34 min para su ocurrencia en la Angostura. El registro dio en el hecho 12 h 30 min. Diferencia: 2 h 04 min, con lo cual el retardo fue de 3 h 50 min, en vez de 5 h 54 min indicado por la tabla.

*P. Montt 19 de junio:* Pleamar a las 9 h 48 min.

Sumado el retardo, daría 15 h 36 min para su ocurrencia en la Angostura. El registro dio en el hecho 14 h 00 min. Diferencia: 1 h 36 min, con un retardo de 4 h 12 min, en lugar de lo indicado por la tabla.

Otra singularidad se pudo constatar el día 19, en que al controlarse las corrientes de flujo y reflujo la estoa se produjo entre las 13 h 40 min y las 13 h 43 min. Sin embargo, la lectura del nivel en el limnómetro se mantuvo en 1 metro, a partir desde las 13 h 40 min durante 35 minutos, como puede apreciarse en el gráfico correspondiente.

Las restantes situaciones de pleamar registradas —dos durante el día 17 y una durante el 18—, mostraron también condiciones muy particulares, como ya se explicó anteriormente, manteniendo el nivel máximo durante 10 a 15 minutos, siendo éstos de 0,97 m. y 0,93 m. para las dos primeras; y de 0,97 m, para la del día 18.

3. APRECIACIÓN GENERAL DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE LA ÉPOCA Y LAS NECESARIAS PARA LA UTILIZACIÓN DE LA VÍA  
—RECOMENDACIONES

En las condiciones geométricas constatadas, el paso Kirke puede ser utilizado para la navegación e incluso por barcos de mediano tonelaje —12.000, 15.000 toneladas de desplazamiento y más—, tomando las medidas necesarias de atravesar la Angostura a las horas más apropiadas, y debiendo en esto adoptarse mayor estrictez, cuanto mayor sea la carena expuesta.

Se recomendó como necesario, materializar un balizamiento adecuado en el canal, determinando el track y las señales de enfiladuras correspondientes en las orillas para hacer más fácil y segura las maniobras de acceso y salida a través del paso.

Además se recomendó para mejorar el grado de conocimiento del comportamiento de los flujos y reflujos, en la Angostura, ejecutar un estudio —contando con la suficiente cantidad de datos— que defina de modo más preciso los valores y los tiempos de ocurrencia de los fenómenos físicos que intervienen, así como también, las medidas que sería necesario tomar para poder utilizar la vía, prácticamente en la mayoría de las circunstancias, con la total seguridad.

El estudio propuesto debía considerar todos los factores que intervienen en el acontecimiento, como son los astronómicos —de precisión absoluta en su acción—, y los climáticos, que resultan como tal, accidentales.

Entre los primeros:

—Acción de los astros sobre las aguas del océano, transmitida hacia el lugar a través de las condiciones de borde impuesta por los canales de acceso (marea oceánica);

—Acción de los astros sobre las aguas interiores y los efectos transmitidos al lugar (marea interior sobre las aguas del Golfo Almirante Montt y Senos Ultima Esperanza, Worsley, Obstrucción, Poca Esperanza, etc.).

Los segundos son:

—Condiciones hidrológicas impuestas por lluvias, deshielos, derretimiento de nieves y flujos más permanentes, propios de la hoya que, en forma aproximada, cuenta con una superficie de 16.500 km<sup>2</sup> y cuya mecánica varía entre el día y la noche, en forma estacional. A este respecto se hace necesario conocer desde el punto de vista hidráulico, tanto la evacuación por el canal Kirke, como la del canal White, por ser ambas salidas las que, en su conjunto, evacúan y reciben las aguas que salen de la

hoya y las que penetran al sistema por la acción del flujo de marea, la que entra por el canal Morla Vicuña y se bifurca entre los canales Santa María y White, por un lado, y Kirke, por el otro.

—Vientos locales, que según la dirección proveniente, alteran las condiciones de escurrimiento del agua en los canales que interesan al funcionamiento del sistema.

Los datos que se hace necesario conocer para este estudio deben ser recopilados durante un cierto espacio de tiempo, que reúna las condiciones de contener situaciones medianas y extremas de cada uno de los factores que intervienen, para que resulte lo suficientemente representativo con el grado de conocimiento requerido.

Debe también complementarse la recopilación de mediciones de los fenómenos ocurridos, con un estudio hidrológico y climático de la hoya, para precisar el orden de magnitud del valor de los fenómenos accidentales en el conjunto resultante, que es el que da valores recopilados; y con ello poder corregir los pronósticos, si es posible, en cuanto a su distribución en el tiempo horario.

### 3.1 Conclusiones a que se llegó

La conclusión a que se llegó, una vez analizados los resultados obtenidos en la misión de junio de 1979, no varió en lo sustancial con aquella que se pudo entrever una vez cumplida la misión preliminar de reconocimiento.

El paso de embarcaciones, cuya carena es compatible con la navegación sobre la geometría impuesta por la Angostura, no ofrece dificultad si se realiza en condiciones de buen conocimiento del estado de niveles y velocidades de las corrientes en ella.

Para mejorar la eficiencia en la utilización del paso, se debe profundizar en ese conocimiento y, al mismo tiempo, debía dotarse al lugar de las señalizaciones y balizas necesarias; así como también se podría complementar todo ello con un sistema de información e, incluso, con otro de asistencia técnica en el lugar.

El mejoramiento del comportamiento hidráulico a través de la singularidad que presenta el Paso Kirke con el estrechamiento en planta y el azud sumergido en elevación, podría acometerse luego de valorados los efectos de disminución de velocidades y turbulencias, diseñando una geometría compatible con las necesidades justificables de utilización de la vía.

Sin embargo, por lo expuesto anteriormente, pareciera que la única justificación que podría conducir a mejorar físicamente el paso sería la necesidad de permitir la utilización del canal por barcos de gran envergadura.

dura, cuyas carenas obligan a contar con galibos no compatibles con la geometría actual.

### *3.2. Situación actual*

A la fecha el paso ha sido utilizado en forma habitual por el transbordador, desde el inicio de sus operaciones, en 1979, así como también por las demás embarcaciones que han debido tener acceso a Puerto Natales.

Se ha llevado a cabo por parte del Instituto Hidrográfico de la Armada, durante el tiempo transcurrido, misiones de recopilación de antecedentes en el terreno mismo y estudios conducentes a profundizar en el conocimiento de las condiciones imperantes en el lugar.

Resultados de estos estudios han sido las modificaciones introducidas en las Tablas de Marea de las Costas de Chile en cuanto a las intrucciones para calcular la predicción diaria de horas de estoa.

Las tablas, hasta el año 1979, daban una pauta sobre la relación entre el régimen de mareas y las estoas de la corriente en la zona, tomando como referencia las Pleas del puerto patrón de Puerto Montt y calculando su retardo, considerando como causa primordial las fases de la Luna. Para facilitar la relación, daban un gráfico con la Curva de Retardos de la Estoa respecto de la Plea de Puerto Montt. En el año 1980, manteniendo la referencia del puerto patrón: Puerto Montt eliminó el gráfico y admitió que la hora de la estoa podía discrepar hasta 60 min respecto a las predicciones y hasta 90 min en circunstancias especiales. Sin embargo, se consideraba que alrededor del 60 % de las estoas ocurrieran con una discrepancia menor de 60 min.

En el año 1983, ya con datos de observación en terreno debidamente procesados y sobre la base del análisis armónico y no de la relación del puerto patrón de Puerto Montt; daba como posible que la hora real de la estoa discrepara ocasionalmente hasta 60 min respecto de la predicción y hasta 90 min en circunstancias especiales. Sin embargo, consideraba como posible que alrededor del 90% de las estoas ocurrieran con una discrepancia menor de 60 min. Esta misma situación de conocimiento se mantiene.

### *3.3 Estimación al presente*

Hasta aquí se ha actuado constatando el efecto resultante con niveles de superficie y aplicando el análisis armónico para predicción.

Sin embargo, el aspecto astronómico —base del análisis armónico— sólo constituye uno de los fenómenos componentes, por lo tanto aún quedan los otros componentes sin participar del cálculo de la predicción: condiciones hidráulicas, hidrológicas y meteorológicas.

No cabe duda de que desde el punto de vista de aproximarse a un conocimiento más exacto de las condiciones, para predecir con mejor precisión las circunstancias que las embarcaciones tendrán en el paso, lleva a la necesidad de ahondar los estudios abordando los campos hidráulico e hidrológico y correlacionándolos con los conjugados astronómicos representados por las mareas, dejando sólo como corrección, o posible discrepancia, el efecto que los vientos pudieran introducir en el fenómeno.



ANEXO I  
MEDICIONES DE VELOCIDADES  
ANGOSTURA KIRKE

*Mediciones de velocidades en la Angostura*

<i>Fecha y hora medición</i>	<i>Punto</i>	<i>Prof. (m)</i>	<i>Vueltas en 10 seg.</i>	<i>Valores observados</i>	<i>Promedio</i>	<i>Veloc. observ. (m/seg)</i>	<i>(*)</i>
17-Junio-1979	1	1,0	13-12-10-12		11,75	1,26	
16,15 horas	2	6,0	13-12-12		12,33	1,30	
Marea en flujo							
Prof.: en 20,0 m	3	8,0	12-11-12		11,67	1,22	
18-Junio-1979	1	1,0	17-17-17		17,00	1,78	
10,00 horas	2	6,0	17-18-18		17,67	1,86	
Marea en flujo							
Prof.: en 14,0 m							
10,25 horas	1	1,0	18-18-18-19-18-17		18,00	1,88	
Prof.: en 20,5 m	2	6,0	18-18-18		18,00	1,88	
	3	11,0	17-16-18		17,00	1,74	
	4	16,0	13-13-14		13,33	1,40	
18-Junio-1979	1	1,0	20-20-20-20		20,00	2,08	
16,20 horas	2	3,0	20-20-19-20-20-20		19,83	2,08	
Marea en reflujo							
Prof.: en 11,70 m							

\*Valor absoluto

ANEXO II  
PREDICCIÓN DIARIA DE HORAS  
DE ESTOA

*ANGOSTURA KIRKE, CANAL KIRKE*

— Predicción	I	hasta 1979
— Predicción	II	1980, 81, 82
— Predicción	III	1983, 84, 85

*(Predicción I, hasta 1979)*

ANGOSTURA KIRKE - INFORMACIÓN DE CORRIENTES

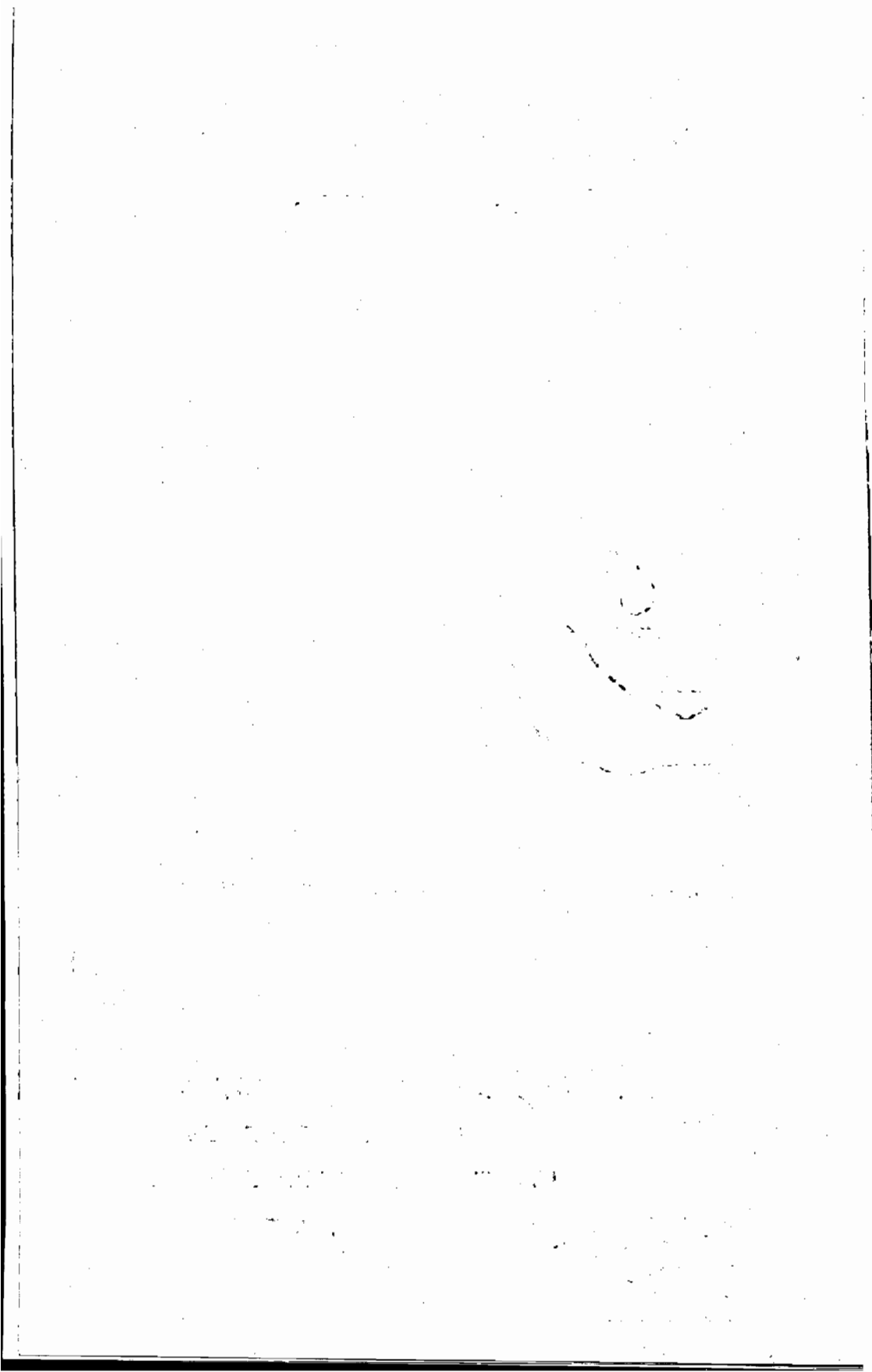
Después de numerosas observaciones efectuadas en la Angostura Kirke destinadas a dar una pauta sobre la relación existente entre el régimen de mareas y las estoas de la corriente en esa zona, se ha podido establecer que la estoa correspondiente a la Pleamar de Puerto Montt experimenta retardos que fluctúan aproximadamente entre 3 horas y 6 horas, llegándose a establecer que la causa primordial de este retardo es la fase de la Luna.

En general, los mayores retardos de la estoa se producen en las cuadraturas, especialmente en el Cuarto Menguante, donde el valor puede alcanzar hasta 6 horas de retardo con respecto a la hora de la pleamar en Pto. Montt. Los menores retardos se producen en las sicigias, especialmente en Luna Llena, donde el valor del retardo puede alcanzar un mínimo de 3 horas aproximadamente.

Con el objeto de relacionar en forma práctica lo descrito anteriormente, se ha confeccionado el gráfico adjunto que contiene la Curva de Retardos de la Estoa en Angostura Kirke respecto a la Hora de la Pleamar en Pto. Montt, y cuya forma de utilización se detalla a continuación:

**DESCRIPCIÓN:** En el eje horizontal se han planteado las fases de la Luna y a contar de cada fase hacia la derecha e izquierda, los días del 1 al 4 y del 4 al 1. En el eje vertical se han planteado los retardos desde 0 a 6 horas.

**EXPLICACIÓN DEL PRIMER CASO:** Si el día en que se va a cruzar la Angostura Kirke está antes que una fase, por ejemplo, dos días antes de la Luna Llena, se procede como sigue: desde la línea vertical que coincide con la Luna Llena, se dirige hacia la izquierda hasta encontrar el espacio 2. Subiendo verticalmente, el punto donde corte a la curva de retardos será 3 h. 40 m. que debe leerse en el margen derecho.



(Predicción III, 1983-84-85)

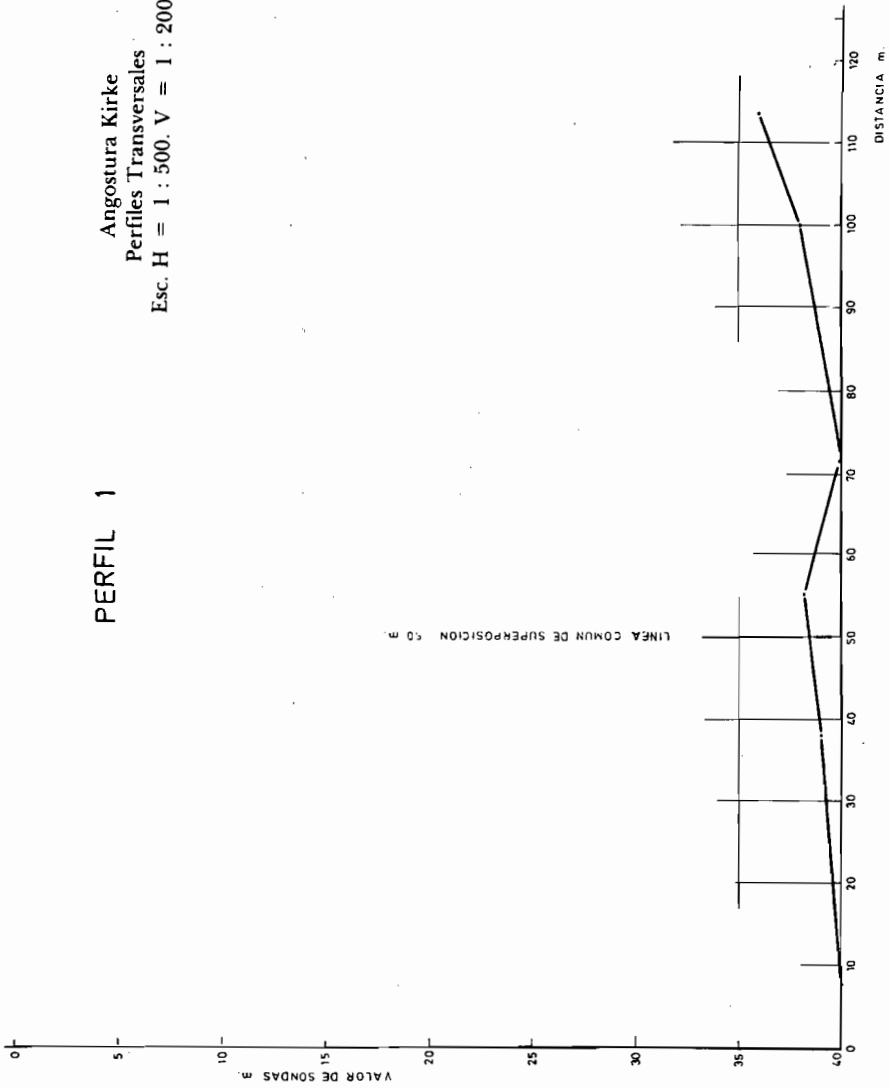
**PREDICCIÓN DIARIA DE HORAS DE ESTOA  
ANGOSTURA KIRKE, CANAL KIRKE, CHILE\*\***

1. **INFORMACIÓN GENERAL.** Esta tabla permite obtener aproximadamente la hora de la estoa en la Angostura Kirke, Lat. 52° 05' S., Long. 74° 24' W., en circunstancias meteorológicas normales.
2. **HORAS DE ESTOA.** Las horas de estoa han sido calculadas por medio del método de análisis armónico, en base a 30 días de observación en terreno.
3. **EXACTITUD DE LA PREDICCIÓN.** Al usar la tabla el navegante deberá tener presente que la hora real de la estoa puede ocasionalmente discrepar hasta en 60 minutos respecto de las predicciones, y hasta en 90 minutos en circunstancias especiales. Se espera, sin embargo, que alrededor del 90% de las estoas ocurran con una discrepancia menor de 60 minutos.

\*\*Las tablas que se mencionan en el texto son las *Tablas de Mareas de la Costa de Chile. Horas de Estoa*, y se encuentran en las siguientes páginas: año 1983, págs. 253 a 256; año 1984, págs. 253 a 256, y año 1985, págs. 222 a 225.

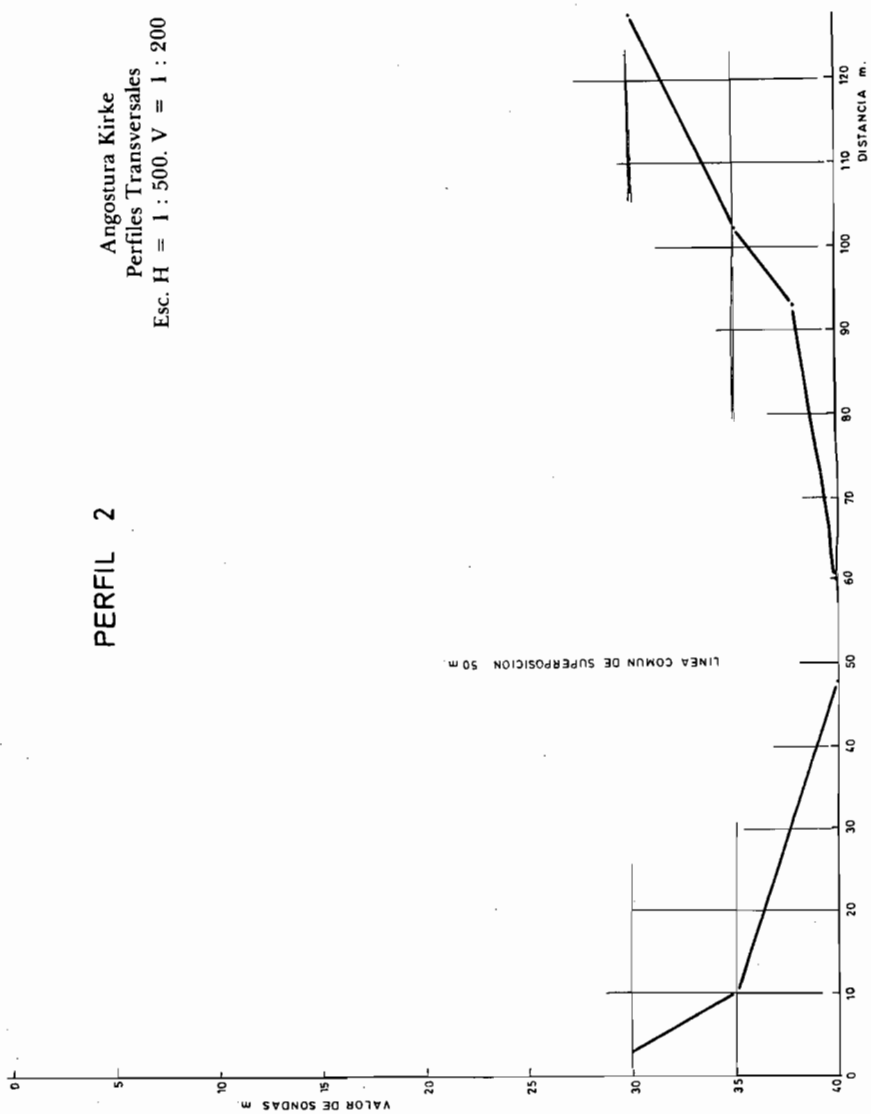
# PERFIL 1

Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200



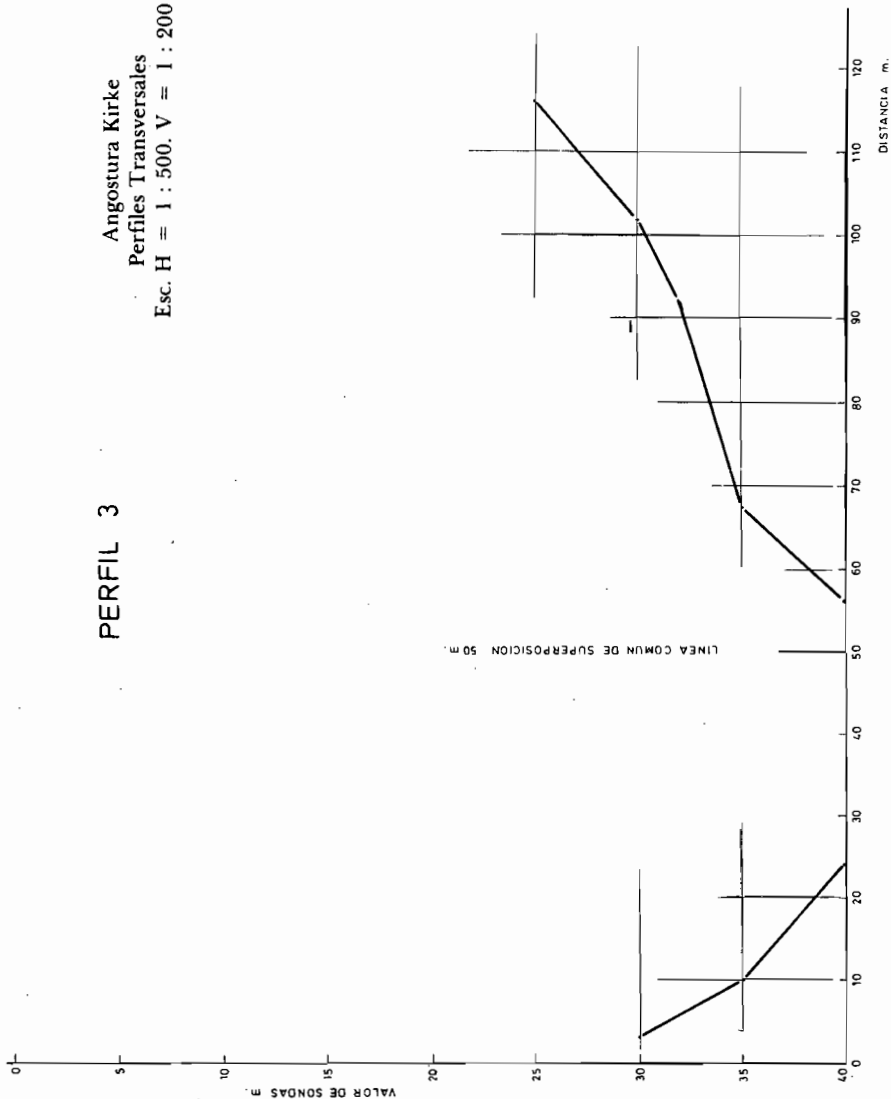
## PERFIL 2

Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200



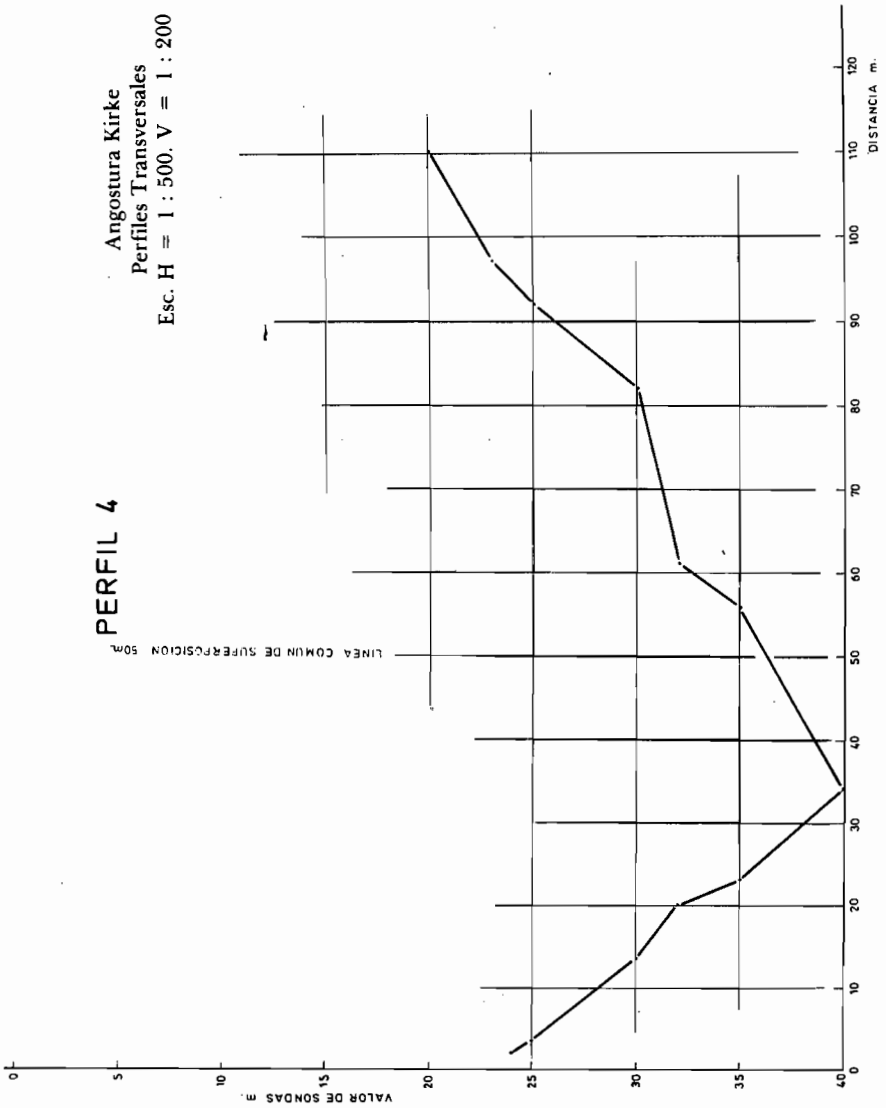
### PERFIL 3

Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200



### PERFIL 4

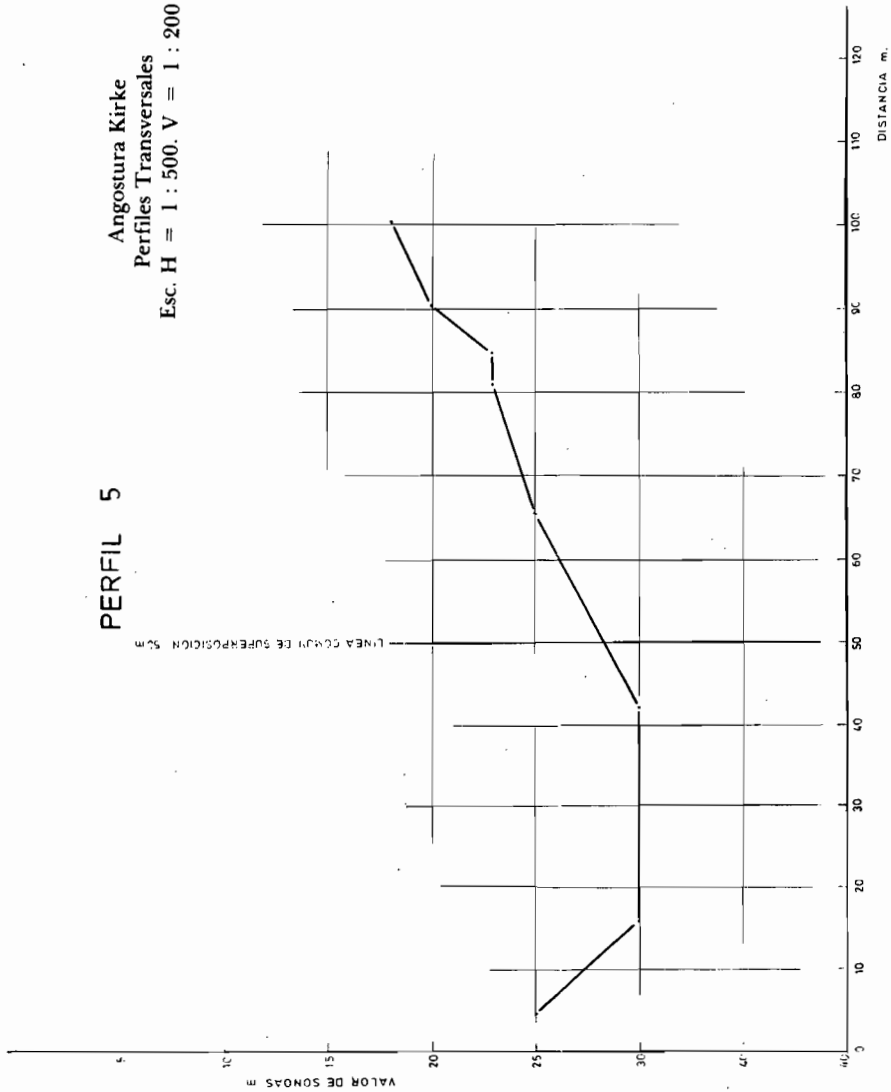
Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500, V = 1 : 200

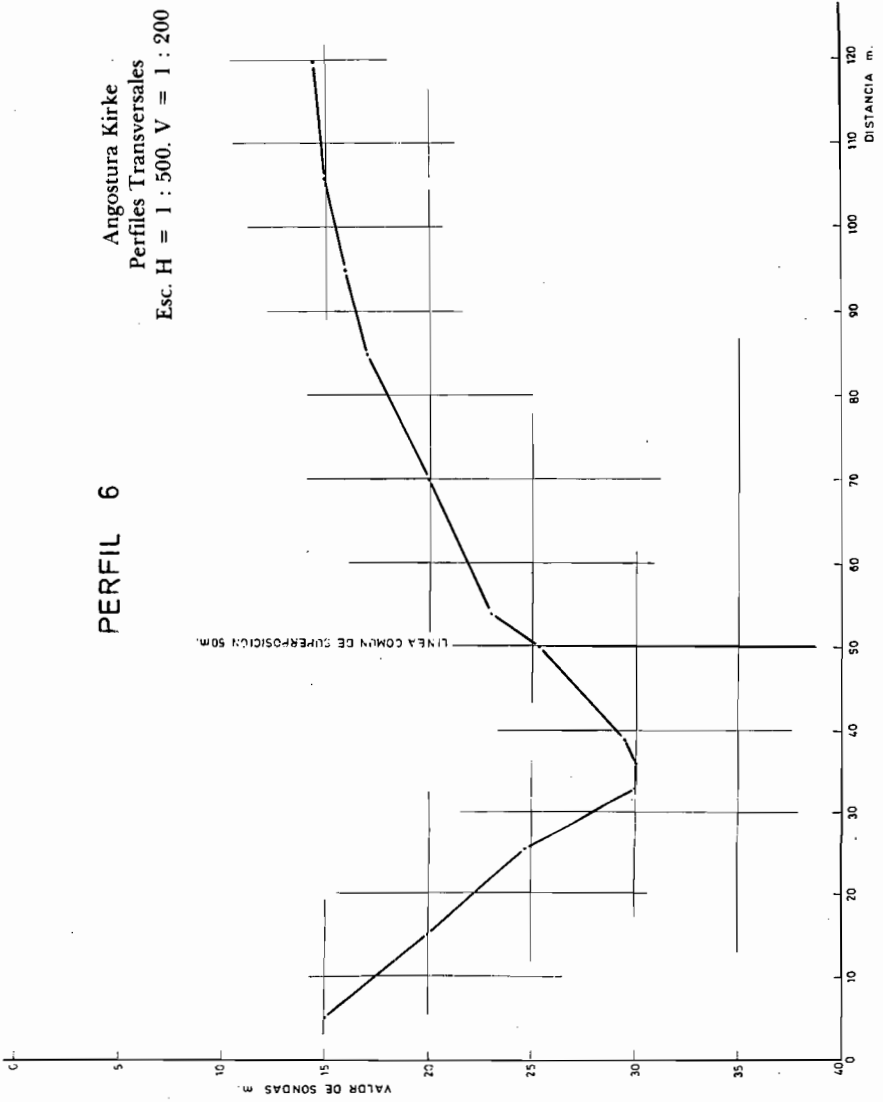


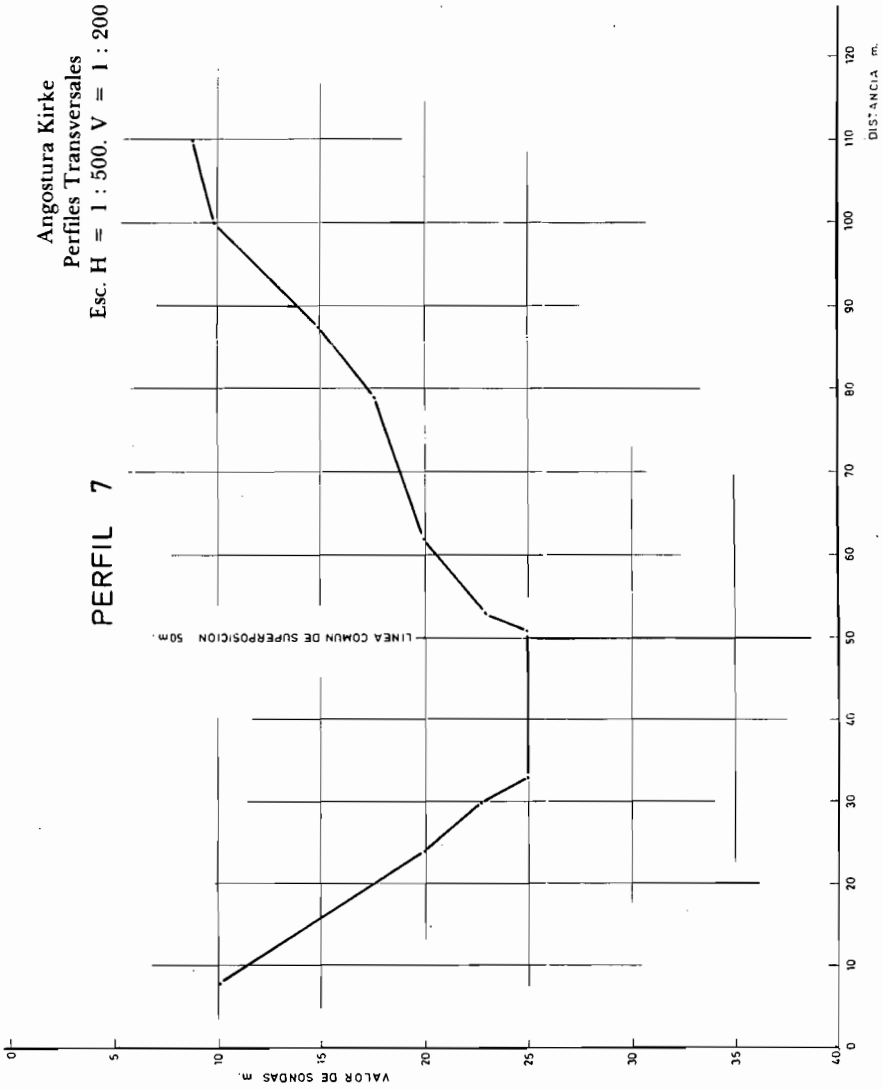


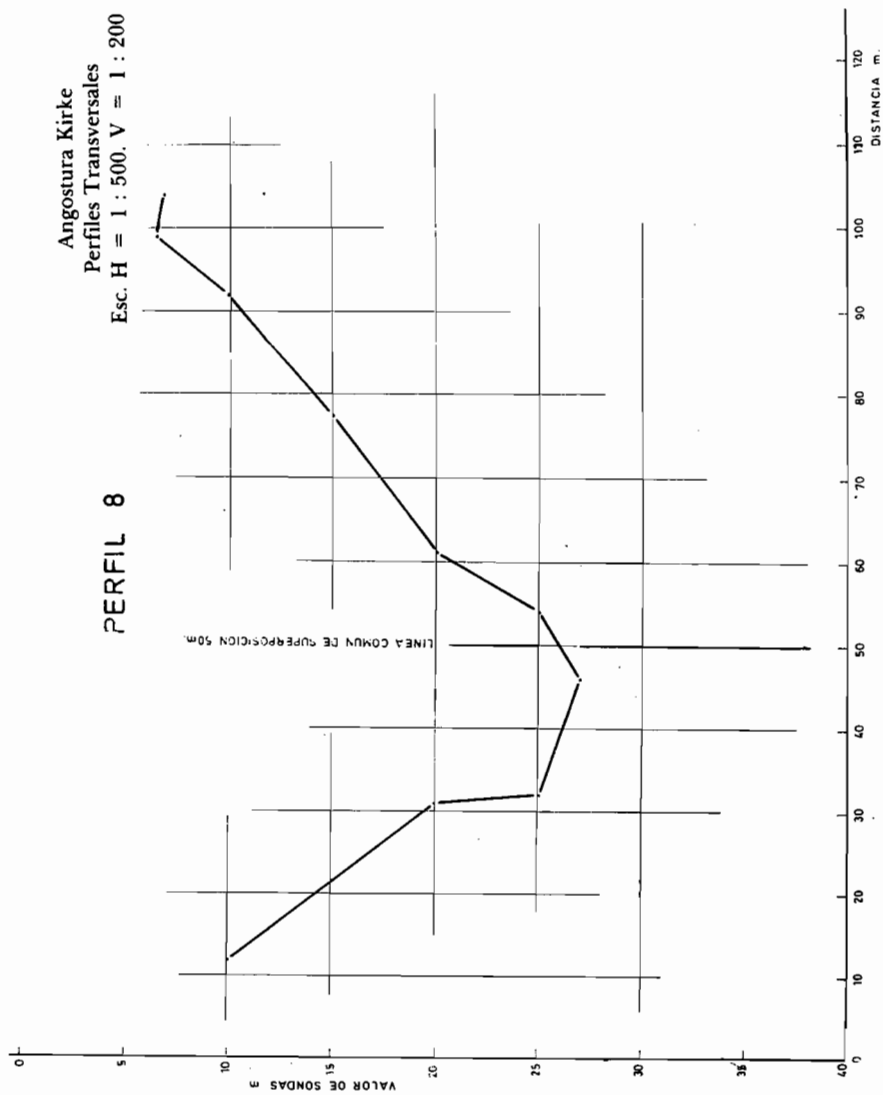
### PERFIL 5

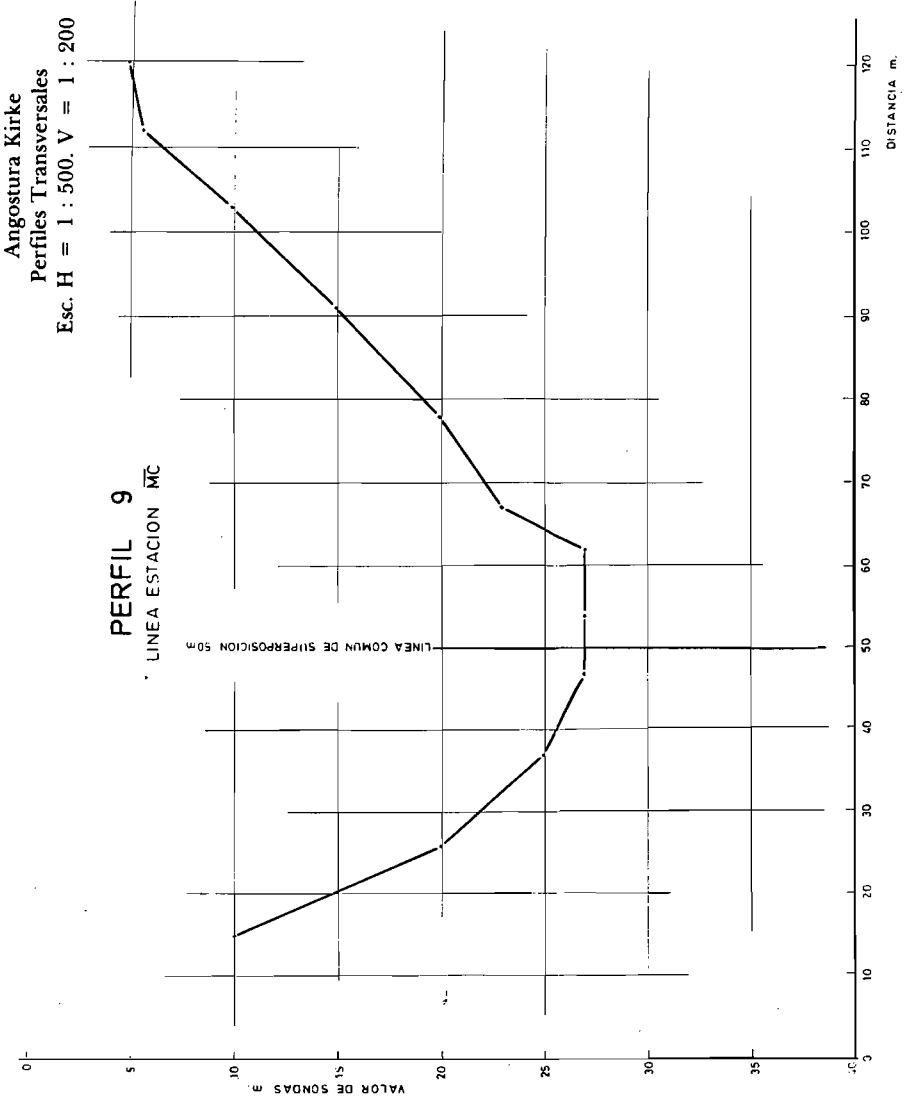
Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200

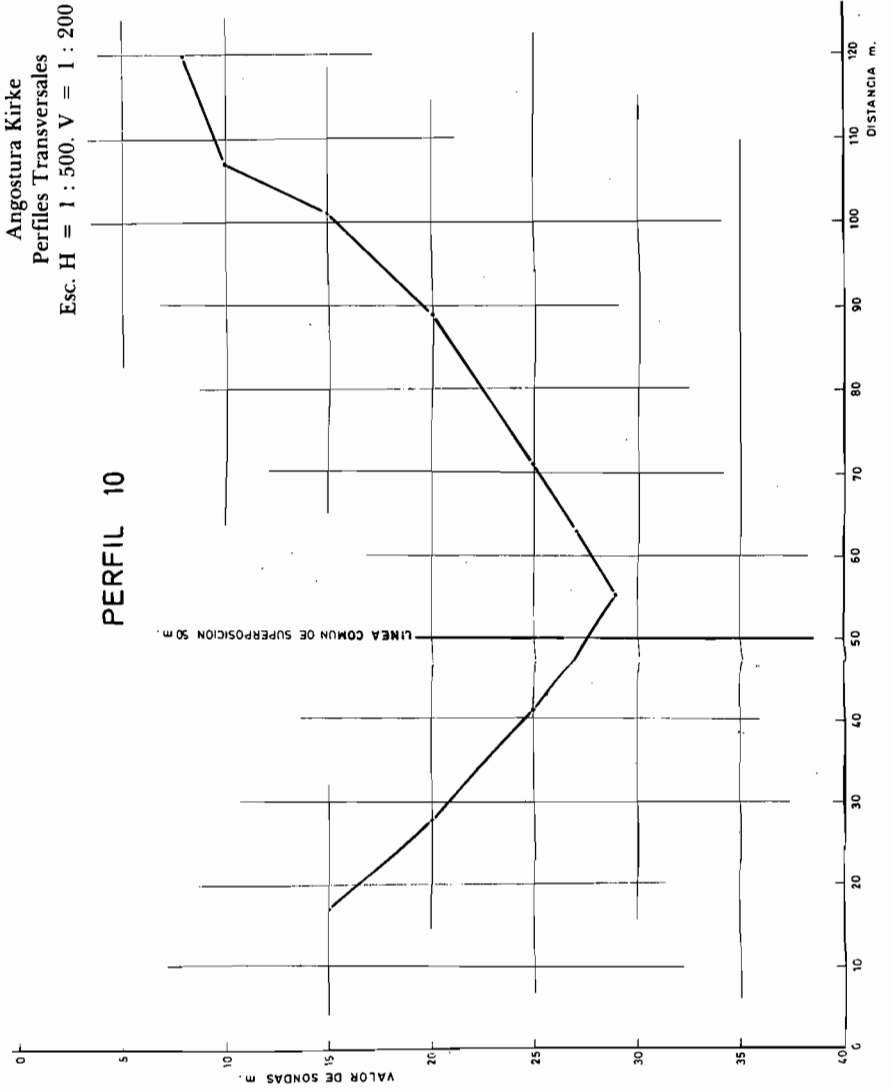






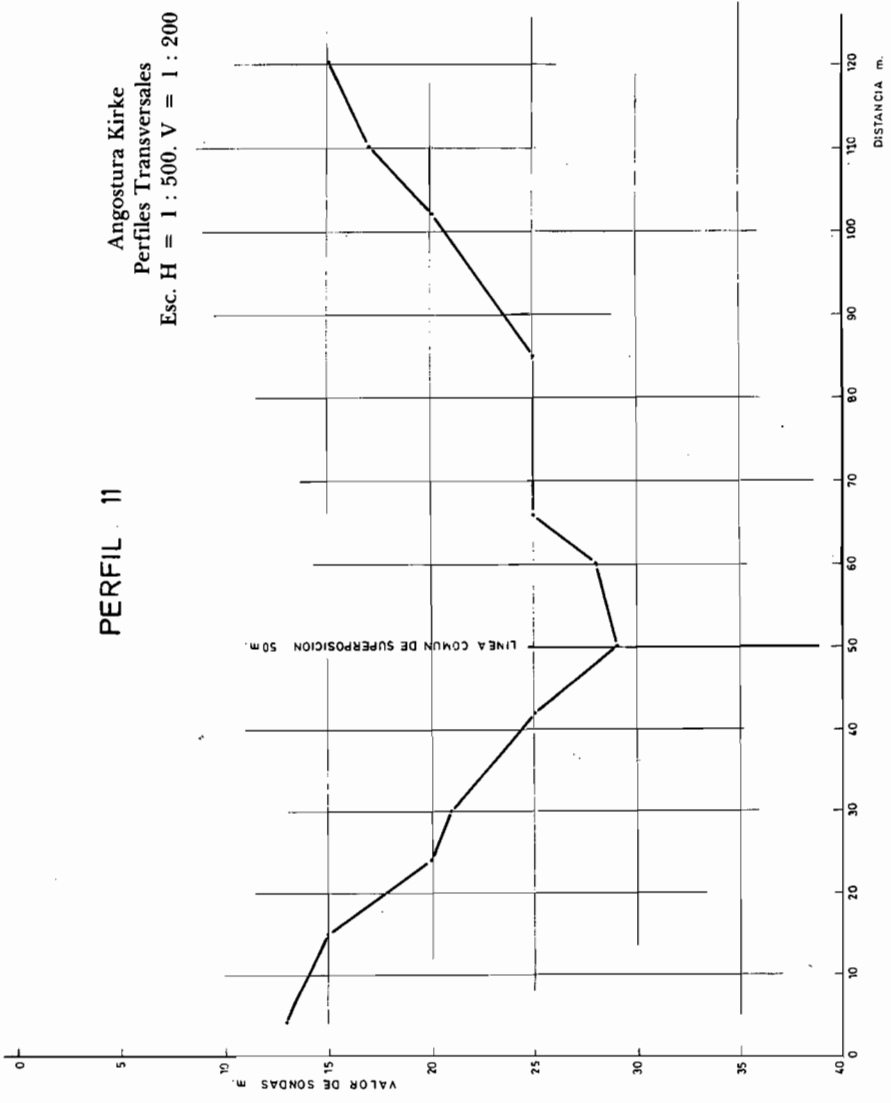


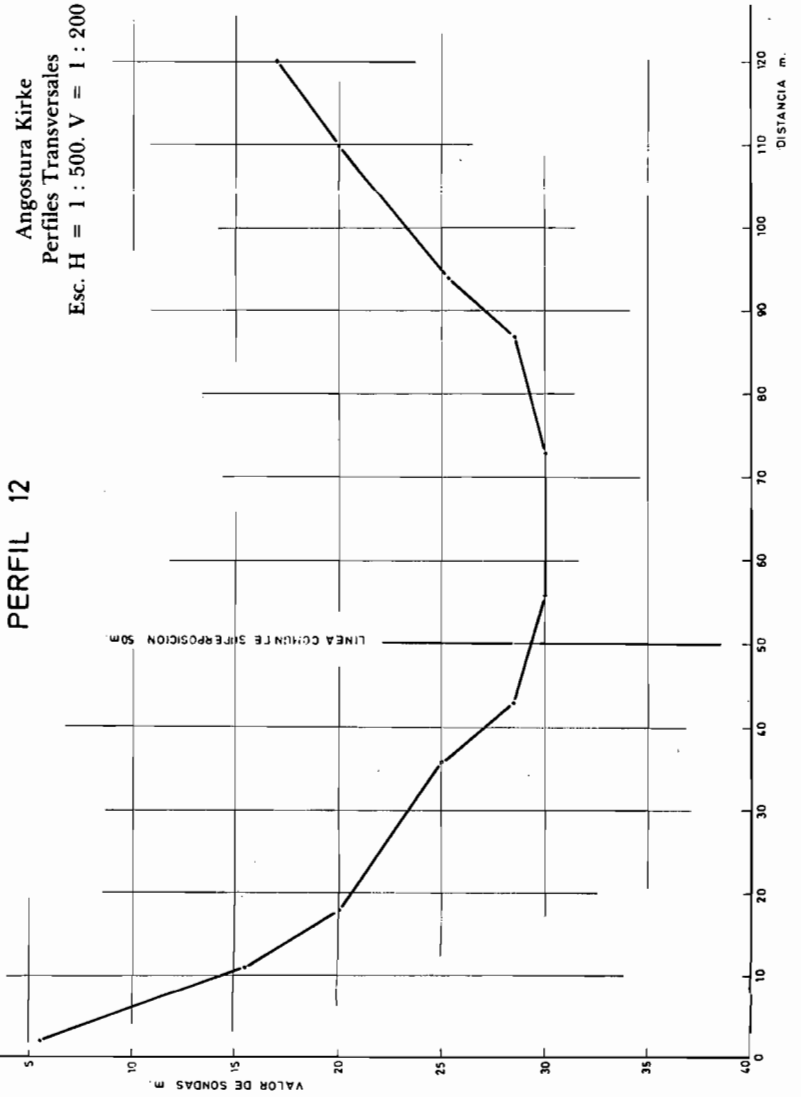




PERFIL 11

Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200

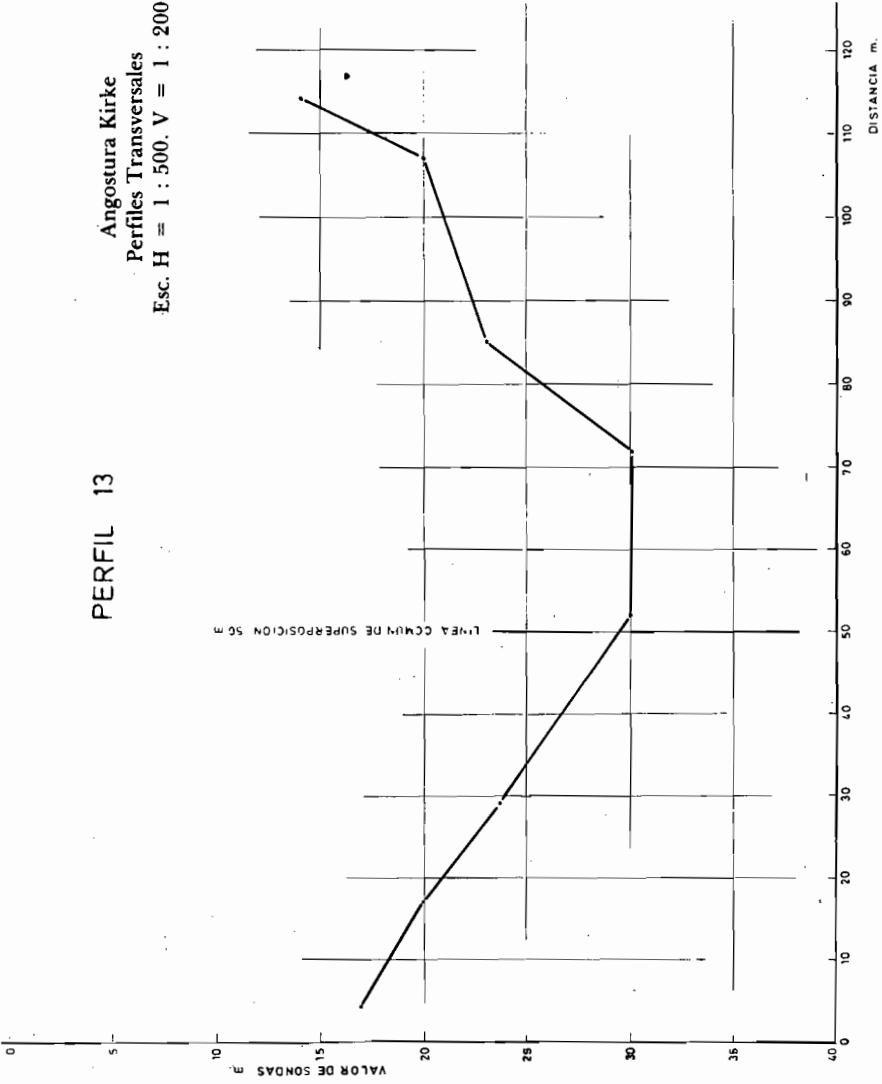


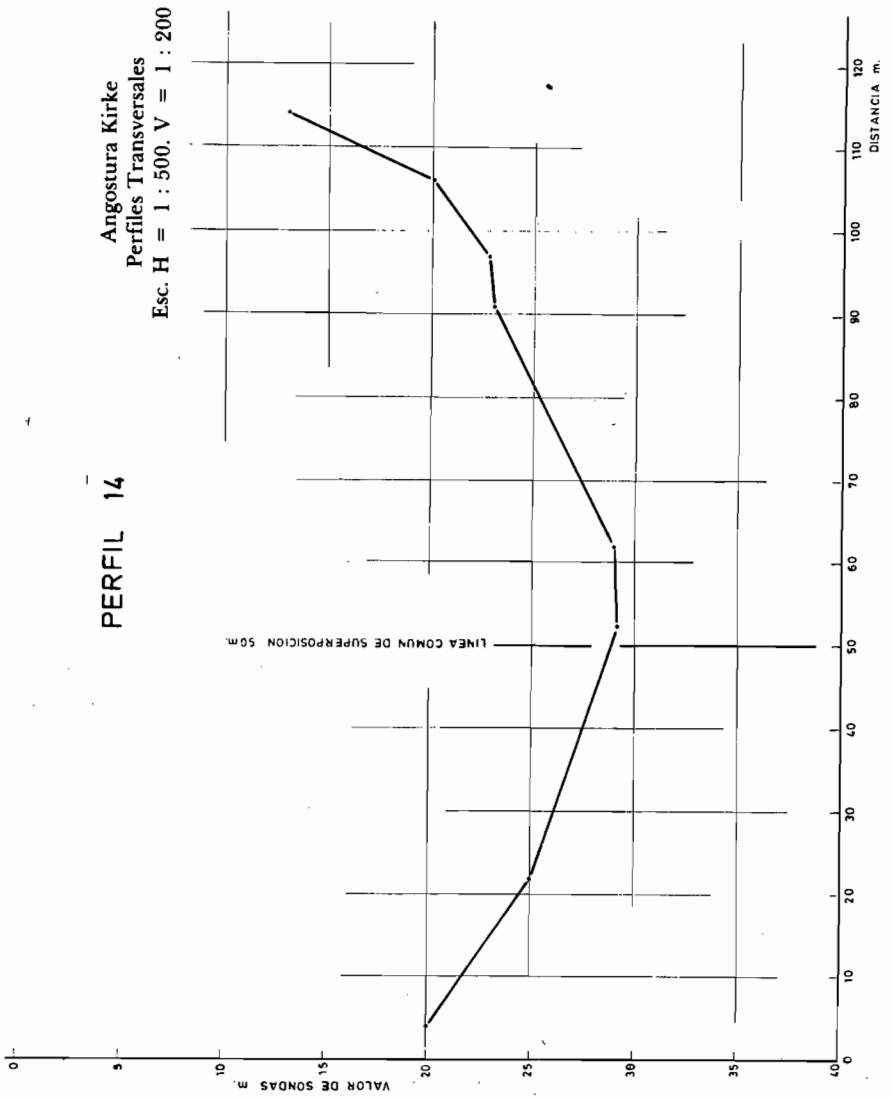




# PERFIL 13

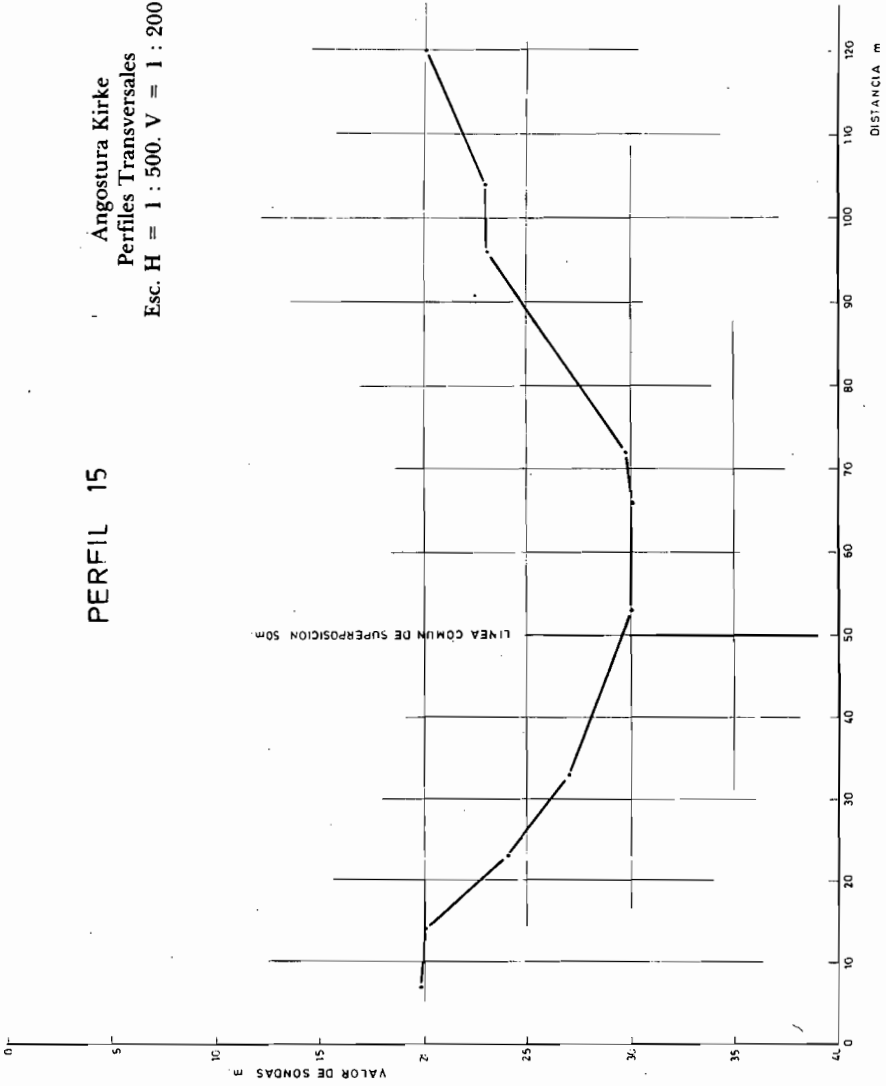
Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200





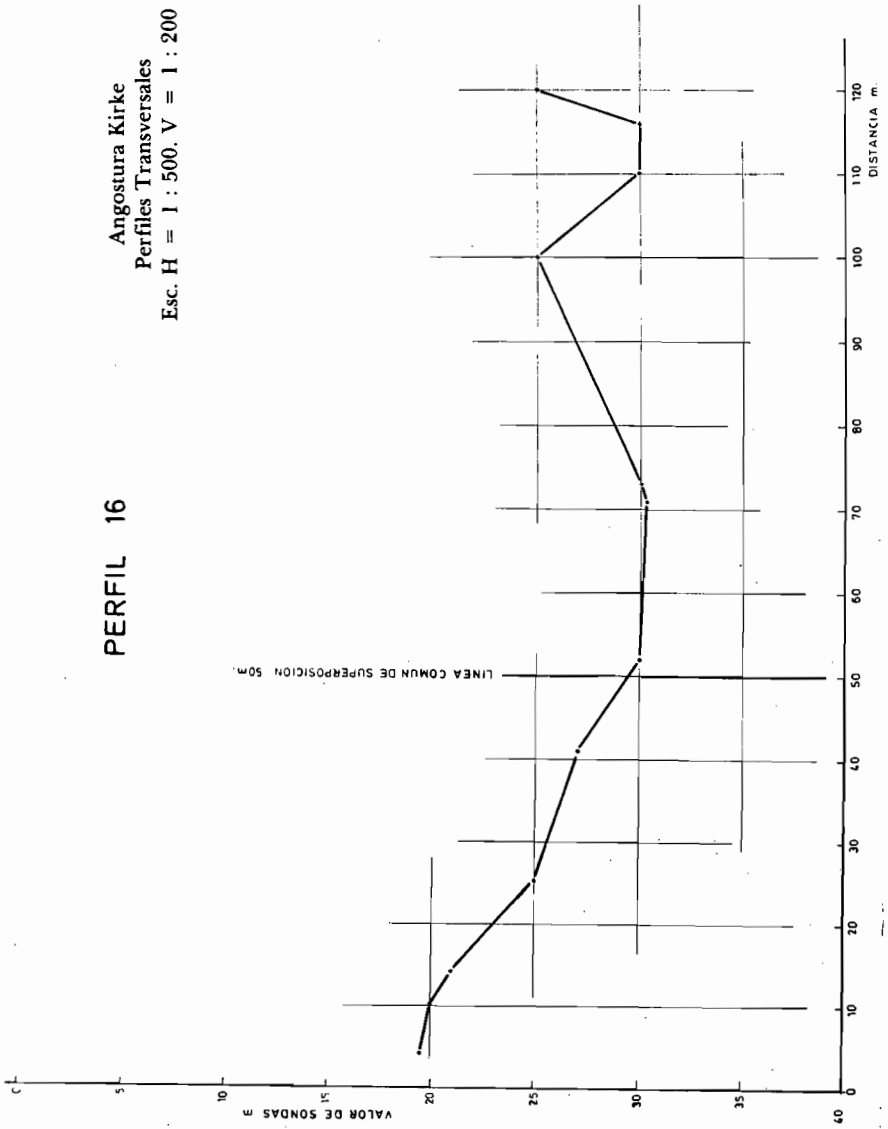
Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200

PERFIL 15



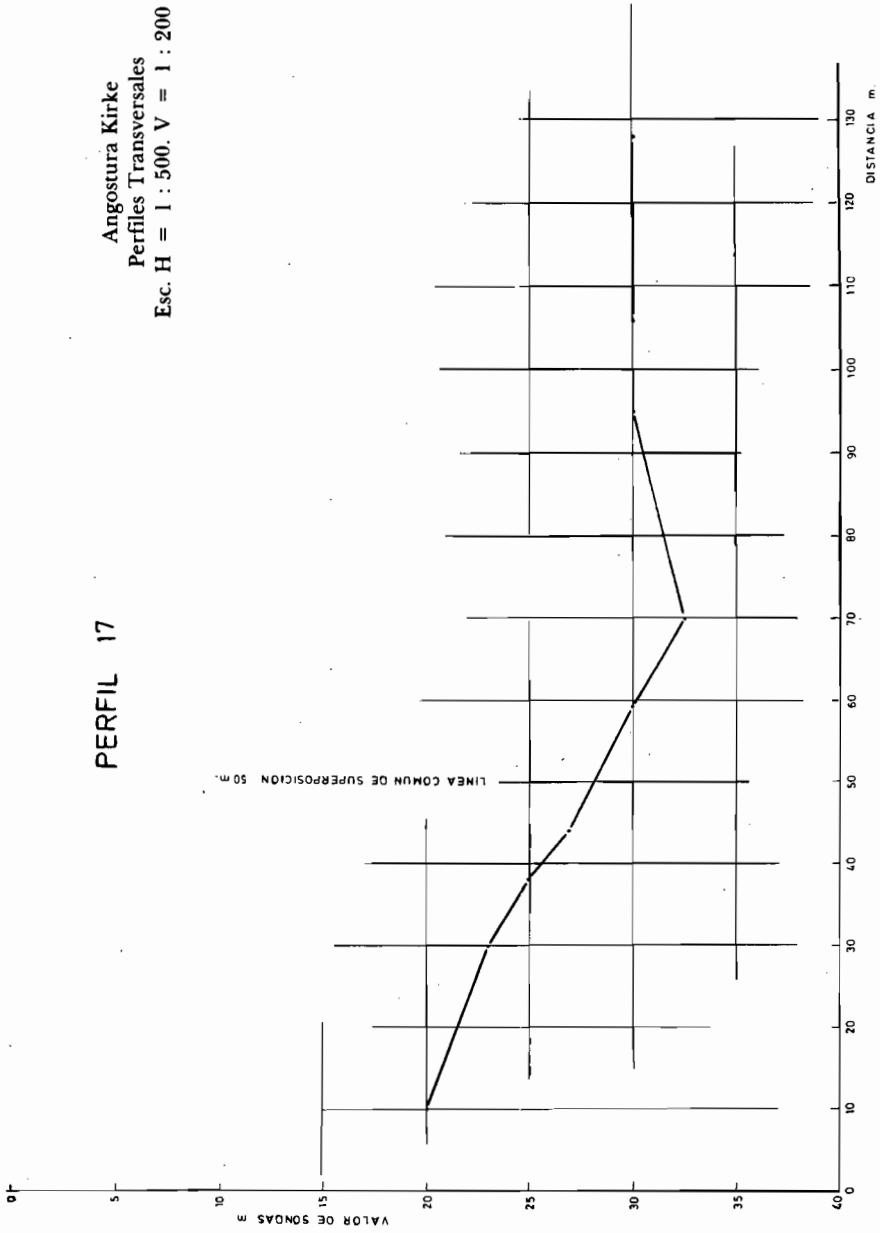
## PERFIL 16

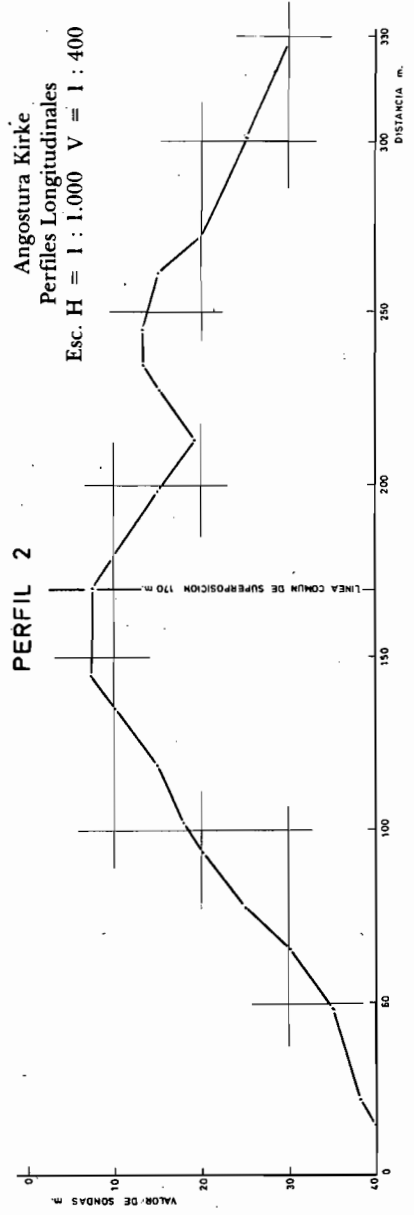
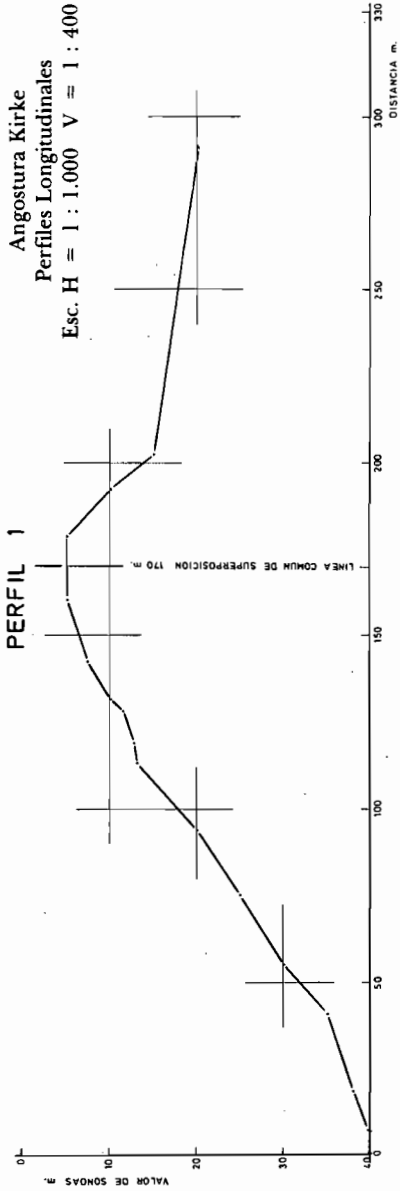
Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200

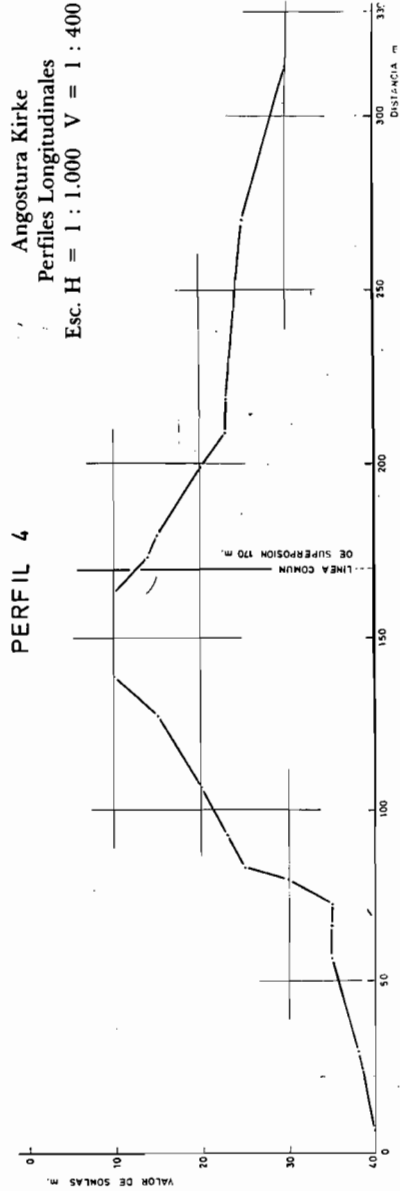
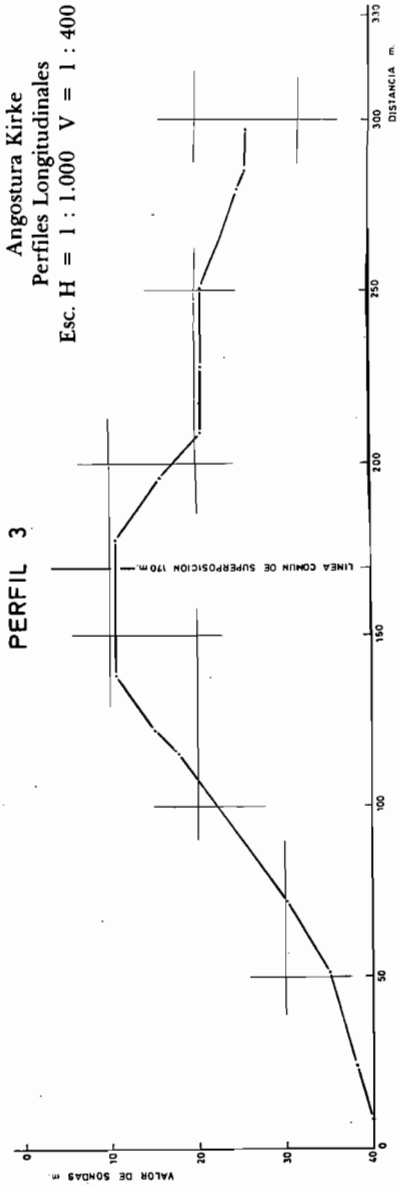


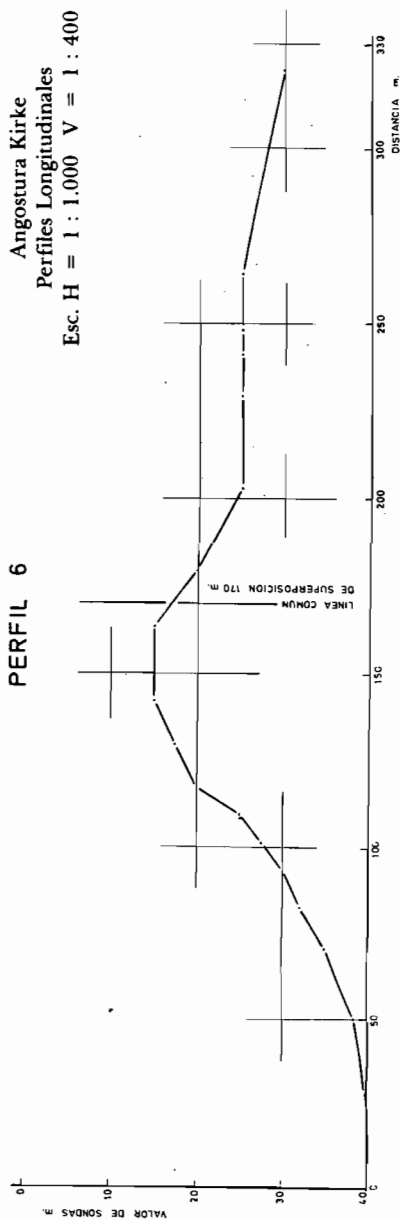
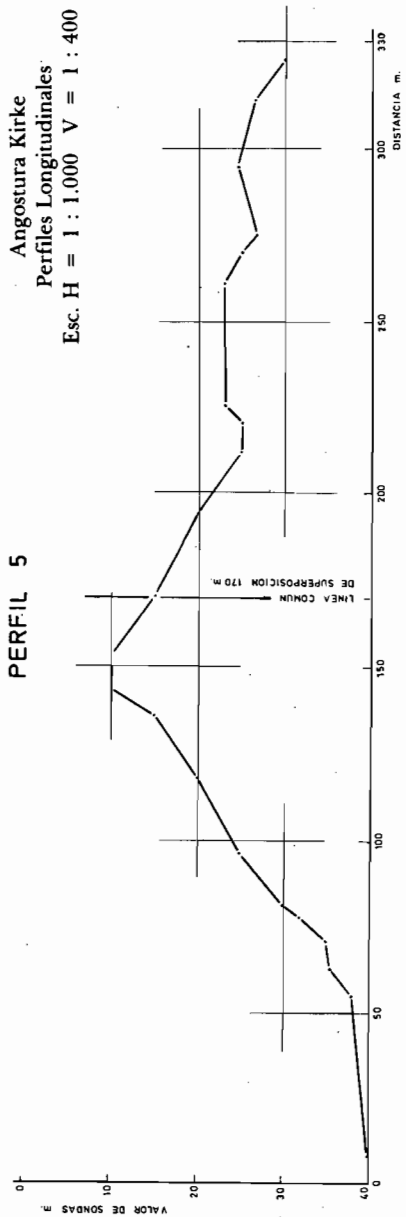
# PERFIL 17

Angostura Kirke  
Perfiles Transversales  
Esc. H = 1 : 500. V = 1 : 200

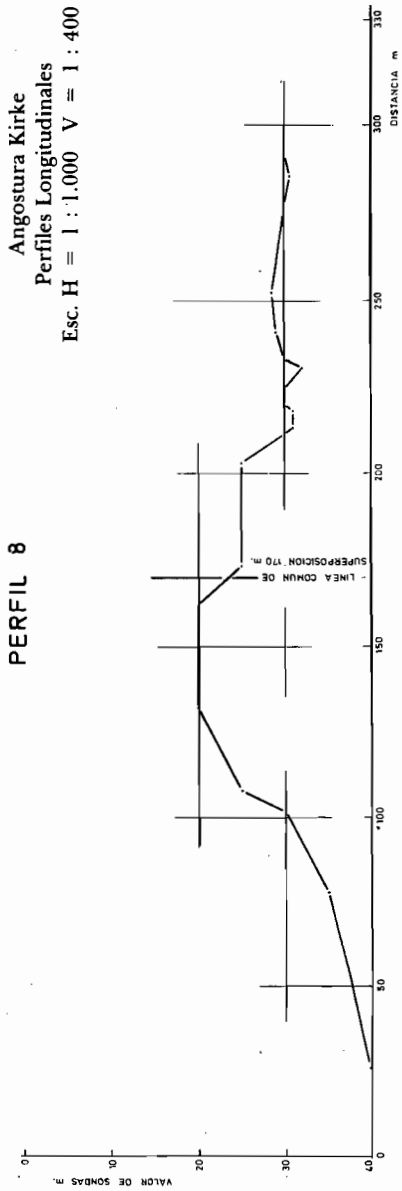
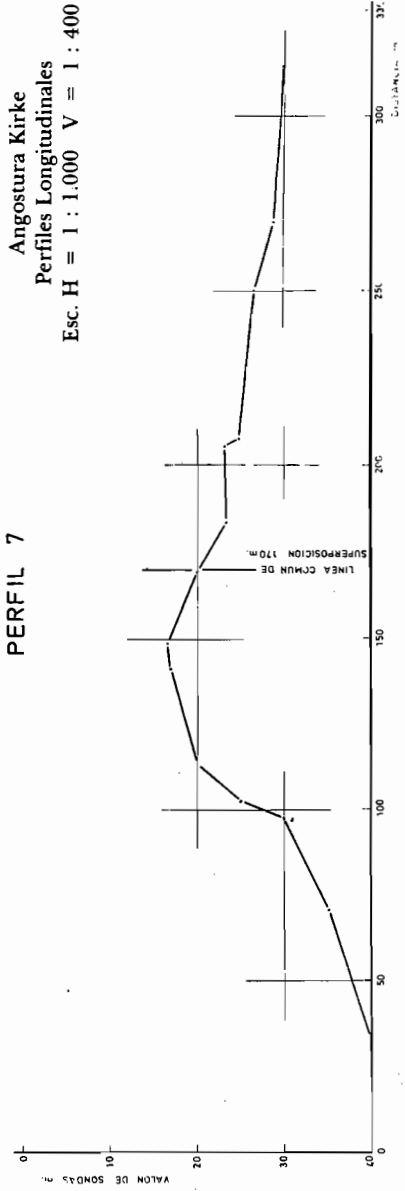


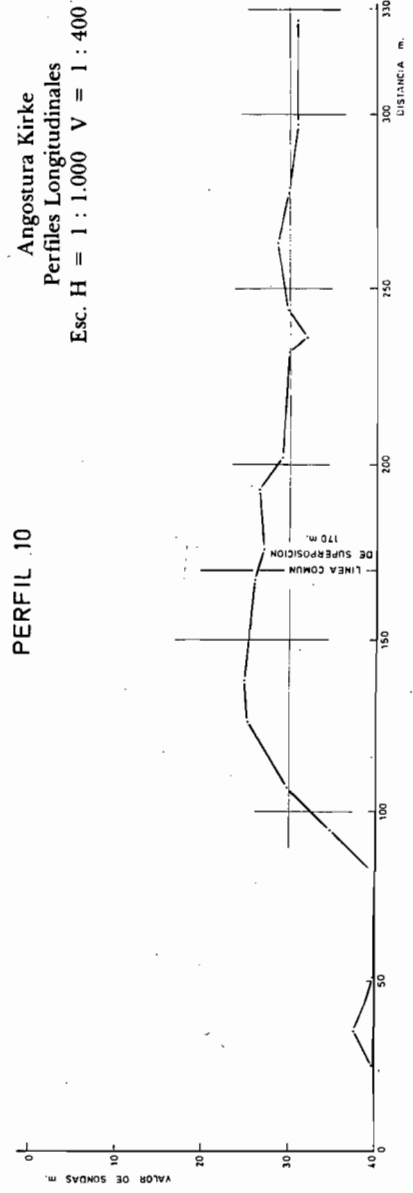
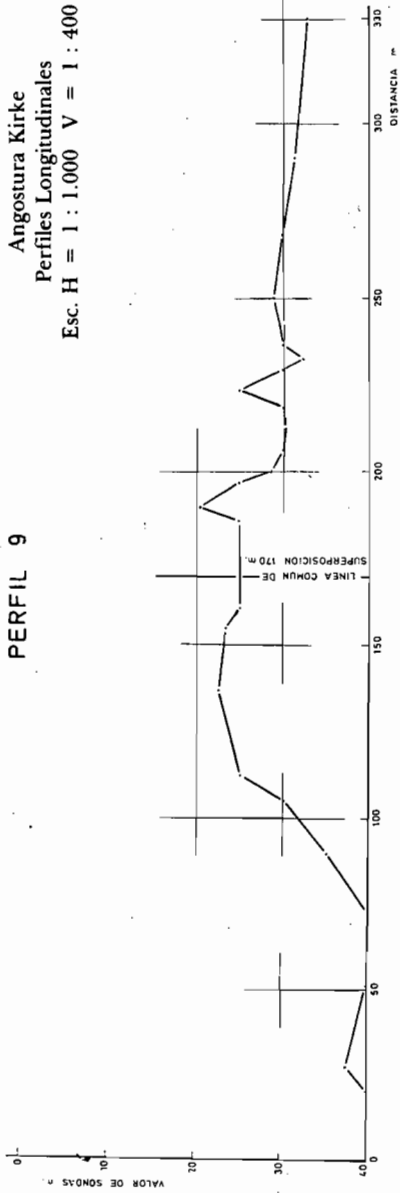


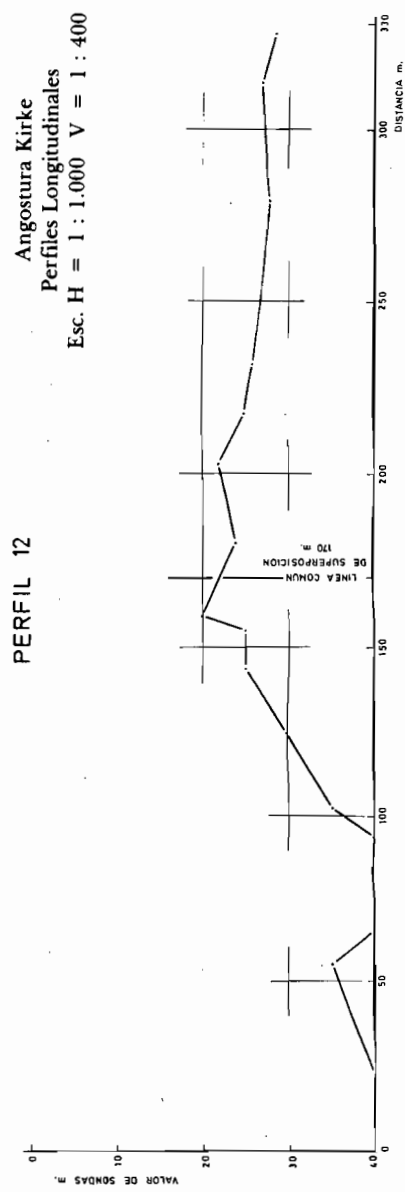
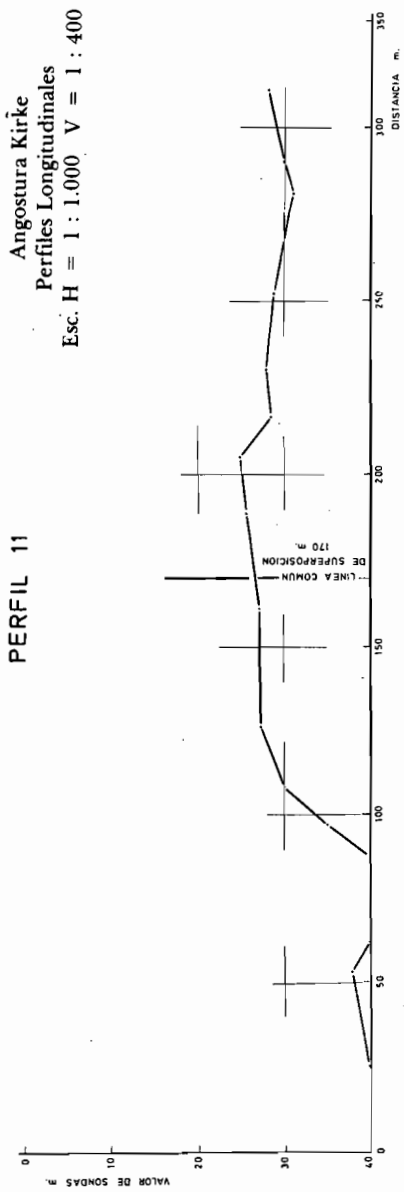






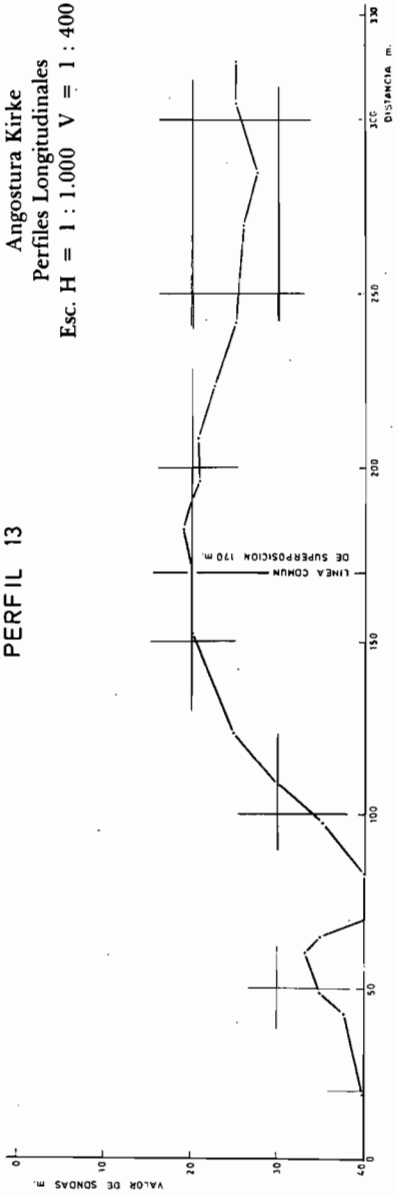






PERFIL 13

Angostura Kirke  
Perfiles Longitudinales  
Esc. H = 1 : 1.000 V = 1 : 400



PERFIL 14

Angostura Kirke  
Perfiles Longitudinales  
Esc. H = 1 : 1.000 V = 1 : 400

