

SECRETARIA DE RECURSOS NATURALES Y DESARROLLO SUSTENTABLE



Instituto Nacional del Agua y del Ambiente



**MODELO HIDRODINÁMICO
"RÍO DE LA PLATA 2000"**

*Informe LHA 01-183-99
Ezeiza, Septiembre de 1999*

LABORATORIO DE HIDRÁULICA Y DEL AMBIENTE

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE:

Dr. Mario R. DE MARCO NAÓN

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS:

Dr. Raúl A. LOPARDO

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRAULICA Y DEL AMBIENTE:

Ing. Julio C. DE LIO

JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRAULICA COMPUTACIONAL:

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

EQUIPO DE TRABAJO

PROFESIONALES:

Ing. Patricia R. JAIME

INFORME PRODUCIDO POR:

Ing. Patricia R. JAIME

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Modelo hidrodinámico RÍO DE LA PLATA 2000

Informe

Patricia R. Jaime y Ángel N. Menéndez

RESUMEN

Se describe una versión actualizada del modelo hidrodinámico bidimensional del Río de la Plata. Se efectúa una validación detallada del modelo tanto para escenarios de calma como de tormenta. Se analizan y discuten los efectos producidos por la acción del viento. El presente modelo matemático constituye una herramienta eficaz, factible de ser utilizada en el futuro para estudiar situaciones particulares.

Descriptores temáticos: simulación numérica, modelación matemática, modelo hidrodinámico, ondas de marea, apilamiento.

Descriptores geográficos e institucionales: Río de la Plata, República Argentina, República Oriental del Uruguay.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	BREVE DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL RÍO DE LA PLATA	2
2.1	MORFOLOGÍA	2
2.2	HIDRODINÁMICA	3
2.3	AFLUENTES	4
2.4	FACTORES ATMOSFÉRICOS	5
3	INFORMACION DE BASE Y PROCESAMIENTO	7
3.1	BATIMETRÍA Y MALLA DE DISCRETIZACIÓN	7
3.2	ESCENARIOS DE MODELACIÓN Y ESTACIONES DE REGISTRO	8
3.3	CONDICIONES DE BORDE	11
3.4	REGISTROS DE VIENTO Y ZONIFICACIÓN	12
4	VALIDACION DEL MODELO	13
4.1	CRITERIOS DE VALIDACIÓN	13
4.2	COMPARACIÓN DE NIVELES	13
4.2.1	<i>Escenario de marea astronómica</i>	<i>13</i>
4.2.2	<i>Escenario de onda de tormenta</i>	<i>15</i>
4.3	COMPARACIÓN DE CORRIENTES	16
4.3.1	<i>Corrientes de marea astronómica</i>	<i>16</i>
4.3.2	<i>Corrientes registradas</i>	<i>16</i>
5	EFFECTOS DEL VIENTO SOBRE EL NIVEL DEL AGUA	18
6	CONCLUSIONES	22
	REFERENCIAS	23
	FIGURAS	24

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Morfología del Río de la Plata

Figura 2.2 Mareas en el estuario del Plata. Cotidales e isoamplitudes para la componente M2

Figura 2.3 Velocidad de corrientes en El Codillo. Origen de tiempo: 20/11/68 0.30 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.4a) Velocidad de corrientes en Canal Emilio Mitre. Origen de tiempo: 15/04/84 0 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.4c) Velocidad de corrientes en Canal Emilio Mitre. Origen de tiempo: 15/06/84 0 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.4c) Velocidad de corrientes en Canal Emilio Mitre. Origen de tiempo: 15/06/84 0 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5a) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 16/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5b) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 19/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5c) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 22/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5d) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 25/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5e) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 28/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5f) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 01/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5g) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 04/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5h) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 07/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.5i) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 10/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

Figura 2.6 Velocidad de corrientes en Bernal. Origen de tiempo: 04/04/87 0 HS. Fuente: INA

Figura 3.1 Río de la Plata - Curvas de nivel

Figura 3.2 Batimetría del Río de la Plata

Figura 3.3 Estaciones de predicción de niveles y corrientes de marea

Figura 3.4a) Niveles registrados en el período 5-18 de marzo de 1987

Figura 3.4b) Niveles registrados en el período 5-18 de marzo de 1987

Figura 3.5a) Niveles registrados en el período 12-25 de agosto de 1986

Figura 3.5b) Niveles registrados en el período 12-25 de agosto de 1986

Figura 3.6a) Niveles de marea en La Paloma para el período 5-18 de marzo de 1987

Figura 3.6b) Niveles de marea en Punta del Este para el período 5-18 de marzo de 1987

Figura 3.6c) Niveles de marea en La Paloma para el período 12-25 de agosto de 1986

Figura 3.6d) Niveles de marea en Punta del Este para el período 12-25 de agosto de 1986

Figura 3.7 Modulación de caudales de los ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. Factor de modulación $\beta=0,5$

Figura 3.8 Modulación de caudales de los ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. Factor de modulación $\beta=0,8$

Figura 3.9 Modulación de caudales de los ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. Factor de modulación $\beta=2$

Figura 3.10 Zonificación longitudinal de vientos

Figura 3.11 Zonificación transversal de vientos

Figura 4.1 Onda de marea en el borde oceánico. Período 08-12/02/97

Figura 4.2a) Comparación de niveles en Martín García para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.2b) Comparación de niveles en San Fernando para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.2c) Comparación de niveles en Torre Colonia para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.2d) Comparación de niveles en Buenos Aires para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.2e) Comparación de niveles en La Plata para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.2f) Comparación de niveles en Torre Oyarvide para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.2g) Comparación de niveles en Montevideo para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.3a) Comparación de niveles en Martín García con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.3b) Comparación de niveles en San Fernando con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.3c) Comparación de niveles en Colonia con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.3d) Comparación de niveles en Buenos Aires con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.3e) Comparación de niveles en La Plata con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.3f) Comparación de niveles en Torre Oyarvide con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.3g) Comparación de niveles en Montevideo con la rugosidad calibrada. Origen del tiempo: 08/20/97 0 HS.

Figura 4.4a) Niveles en Martín García. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.4b) Niveles en San Fernando. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.4c) Niveles en Colonia. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

Figura 4.4d) Niveles en Buenos Aires. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

- Figura 4.4e) Niveles en La Plata. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.*
- Figura 4.4f) Niveles en Torre Oyarvide. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.*
- Figura 4.4g) Niveles en Montevideo. Origen del tiempo: 08/20/97 0 HS.*
- Figura 4.5a) Isoaltura de marea para $T1=70,3$ hs*
- Figura 4.5b) Isoaltura de marea para $T2=72,3$ hs*
- Figura 4.5c) Isoaltura de marea para $T3=74,3$ hs*
- Figura 4.5d) Isoaltura de marea para $T4=76,3$ hs*
- Figura 4.5e) Isoaltura de marea para $T5=78,3$ hs*
- Figura 4.5f) Isoaltura de marea para $T6=80,3$ hs*
- Figura 4.5g) Isoaltura de marea para $T7=82,3$ hs*
- Figura 4.5h) Isoaltura de marea para $T8=84,3$ hs*
- Figura 4.5i) Isoaltura de marea para $T9=86,3$ hs*
- Figura 4.5j) Isoaltura de marea para $T10=88,3$ hs*
- Figura 4.5k) Identificación de instantes de graficación sobre la onda de marea en San Clemente. Período 08-12/02/97*
- Figura 4.6a) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Martín García*
- Figura 4.6b) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en San Fernando*
- Figura 4.6c) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Colonia*
- Figura 4.6d) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Buenos Aires*
- Figura 4.6e) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en La Plata*
- Figura 4.6f) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Torre Oyarvide*
- Figura 4.6g) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Montevideo*
- Figura 4.7 Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.8 Registro de viento en Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.9 Registro de viento en Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.10a) Contraste de niveles en Buenos Aires para zonificación longitudinal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.10b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para zonificación longitudinal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.10c) Contraste de niveles en Montevideo para zonificación longitudinal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.11a) Contraste de niveles en Buenos Aires para zonificación transversal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.11b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para zonificación transversal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.11c) Contraste de niveles en Montevideo para zonificación transversal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*
- Figura 4.12a) Contraste de niveles en Buenos Aires para viento uniforme e igual al de Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)*

Figura 4.12b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para viento uniforme e igual al de Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.12c) Contraste de niveles en Montevideo para viento uniforme e igual al de Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.13a) Contraste de niveles en Buenos Aires para viento uniforme e igual al de Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.13b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para viento uniforme e igual al de Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.13c) Contraste de niveles en Montevideo para viento uniforme e igual al de Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.14a) Contraste de niveles en Buenos Aires para viento nulo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.14b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para viento nulo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.14c) Contraste de niveles en Montevideo para viento nulo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

Figura 4.15) Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

Figura 4.16) Registro de viento en Montevideo. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

Figura 4.17a) Contraste de niveles en Colonia. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

Figura 4.17b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

Figura 4.17c) Contraste de niveles en Montevideo. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

Figura 4.18a) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Canal Intermedio

Figura 4.18b) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Canal de Magdalena

Figura 4.18c) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Canal del Norte

Figura 4.18d) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Quebrada del Banco Ortíz

Figura 4.18e) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Paso del Farallón

Figura 4.19a) Campo de velocidades para 70,3 hs

Figura 4.19b) Campo de velocidades para 72,3 hs

Figura 4.19c) Campo de velocidades para 74,3 hs

Figura 4.19d) Campo de velocidades para 76,3 hs

Figura 4.19e) Campo de velocidades para 78,3 hs

Figura 4.19f) Campo de velocidades para 80,3 hs

Figura 4.19g) Campo de velocidades para 82,3 hs

Figura 4.19h) Campo de velocidades para 84,3 hs

Figura 4.19i) Campo de velocidades para 86,3 hs

Figura 4.19j) Campo de velocidades para 88,3 hs

Figura 4.20) Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 2 al 9 de abril de 1987

Figura 4.21) Contraste de niveles en Torre Oyarvide. Período 2 al 9 de abril de 1987

Figura 4.22) Contraste de velocidades en Bernal. Orígen de tiempo 2/4/87 0 HS

Figura 4.23 Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 13 al 20 de noviembre de 1989

Figura 4.24 Contraste de niveles en Torre Oyarvide. Período 13 al 20 de noviembre de 1989

Figura 4.25a) Contraste de velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo 13/11/1989 0 HS

Figura 4.25b) Contraste de velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo 13/11/1989 0 HS.

Figura 5.1) Condición de borde en el contorno oceánico

Figura 5.2 Estaciones de cálculo de apilamiento

Figura 5.3a) Apilamiento generado por viento de 2 hs. de duración procedente del sector SSE

Figura 5.3b) Apilamiento generado por viento de 4 hs. de duración procedente del sector SSE

Figura 5.3c) Apilamiento generado por viento de 8 hs. de duración procedente del sector SSE

Figura 5.3d) Apilamiento generado por viento de 12 hs. de duración procedente del sector SSE

Figura 5.3e) Apilamiento generado por viento de 16 hs. de duración procedente del sector SSE

Figura 5.3f) Apilamiento generado por viento de 24 hs. de duración procedente del sector SSE

Figura 5.3g) Apilamiento generado por viento de 48 hs. de duración procedente del sector SSE

Figura 5.4a) Apilamiento generado por viento de 2 hs. de duración procedente del sector Norte

Figura 5.4b) Apilamiento generado por viento de 4 hs. de duración procedente del sector norte

Figura 5.4c) Apilamiento generado por viento de 8 hs. de duración procedente del sector norte

Figura 5.4d) Apilamiento generado por viento de 12 hs. de duración procedente del sector Norte

Figura 5.4e) Apilamiento generado por viento de 16 hs. de duración procedente del sector Norte

Figura 5.4f) Apilamiento generado por viento de 24 hs. de duración procedente del sector Norte

Figura 5.4g) Apilamiento generado por viento de 48hs. de duración procedente del sector Norte

Figura 5.5 Contraste de apilamientos generados por vientos de distintas duraciones procedentes del sector SSE

Figura 5.6 Contraste de apilamientos generados por vientos de distintas duraciones procedentes del sector Norte

Figura 5.7 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A1

Figura 5.8 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A2

Figura 5.9 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A3

Figura 5.10 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A4

1 INTRODUCCIÓN

El Río de la Plata es un ecosistema de vital importancia económica y humana. Al igual que la mayoría de las regiones costeras, es una zona densamente poblada e industrializada, ya que constituye una vía natural de comunicación entre regiones continentales interiores y el océano.

El Río de la Plata penetra en el litoral atlántico de la República Argentina y de la República Oriental del Uruguay. En él se producen importantes fenómenos, como el transporte y la mezcla de aguas, de sedimentos y de los productos de las actividades humanas. El conocimiento y comprensión de estos procesos son fundamentales para preservarlo como recurso y propender a una compatibilización de los diferentes usos. Por ejemplo, la navegación requiere tareas permanentes de dragado; los efluentes domiciliarios e industriales de las amplias zonas urbanizadas, sobre la margen argentina, son eventualmente descargados en el río; el agua para consumo humano en esas urbes proviene en su mayor parte del río; éste, además, se usa para recreación, etc.

Una herramienta ingenieril que cada día adquiere mayor importancia para estudiar los fenómenos citados y analizar soluciones alternativas a los problemas derivados de la acción y uso de las aguas es la simulación numérica. El LHA del INA dispone de un modelo matemático hidrodinámico de la totalidad del Río de la Plata basado en el software HIDROBID II, de desarrollo propio (Menéndez, 1985 y Menéndez, 1990). Su primera versión, incluyendo corrientes de marea y de derrame por aporte de los tributarios, fue implementada por Molinari (1986). Posteriormente, Albarracín (1988) interpretó y explicó el movimiento resultante sobre la base de un estudio teórico sobre los tipos de ondas de marea que se propagan en un estuario. Olalde (1988) incorporó la influencia de los fenómenos meteorológicos. Marazzi y Menéndez (1991) ajustaron el modelo con el objetivo de determinar las condiciones hidrodinámicas medias en las adyacencias de los canales de navegación, necesarias para el cálculo de la sedimentación en los mismos.

El objetivo del presente estudio es reformular ese modelo, para adaptarlo a las nuevas posibilidades computacionales (que permiten mayor resolución), y calibrarlo tanto para condiciones de calma como de tormenta.

2 BREVE DESCRIPCIÓN FÍSICA DEL RÍO DE LA PLATA

2.1 MORFOLOGÍA

El Río de la Plata está localizado en la costa este de América de Sur, aproximadamente entre los 34° y 36° de latitud Sur y los 54° 50' y 58° 30' de longitud Oeste, determinando el límite entre la República Oriental del Uruguay y la República Argentina. Descarga las aguas de los ríos Paraná y Uruguay (sus mayores afluentes) al Océano Atlántico y se desarrolla en dirección NW-SE en una longitud de aproximadamente 290 Km, si se considera como inicio al paralelo de Punta Gorda y como límite exterior a la isobata de 18 m que une Punta del Este con Cabo San Antonio (Figura 2.1). Su ancho varía desde 40 Km en la región más estrecha, próxima al delta del río Paraná, hasta 220 Km en la desembocadura.

Es común dividirlo en tres zonas: la zona superior o interior, que se extiende desde su nacimiento hasta una línea imaginaria que une las ciudades de Buenos Aires y Colonia; la zona media o intermedia, que finaliza en la línea Montevideo-Punta Piedras y la zona inferior o exterior. En las dos primeras zonas las aguas del Río de la Plata son de un tinte amarillento opaco y se mantienen dulces, mientras que en la tercera tiene lugar la interacción entre las aguas dulces y saladas, típica de los estuarios. La salinidad y, consecuentemente, la densidad de las aguas aumenta de manera más o menos regular en dirección al mar y, además, crece con la profundidad.

El lecho del Río de la Plata está obstruido por numerosos bancos, entre los que se destacan Playa Honda, Ortiz, Chico, Alemán, Inglés y Arquímedes. A éstos se suman barras, siendo la más importante la Barra del Indio, que se desarrolla en la extensión entre el Río de la Plata medio y el exterior. También en su curso se insertan algunas islas de pequeña magnitud, entre las que se destaca la de Martín García.

La profundidad media frente a Buenos Aires es de 2,5 m. En la zona superior la profundidad media no supera los 5 m, mientras que en la zona media se mantiene relativamente uniforme en el rango de 5 a 7 m. En la zona exterior la profundidad aumenta, llegando hasta los 18 m en lo que convencionalmente se considera su límite exterior. El volumen total medio del sistema es del orden de 300 Km³ y el área media del espejo de agua es de alrededor de 35.000 Km².

La fisonomía de las costas opuestas es completamente diferente: la costa argentina es baja y fangosa, con playas formadas por limos y cienos y con abundancia de juncos; la costa uruguaya, en cambio, es alta y peñascosa.

Topográficamente se distingue claramente una serie de depresiones naturales que bordean zonas de extensos bancos. Desplazándose desde la cabecera hacia la boca, el canal más importante está constituido por la continuación de las desembocaduras de los ríos Uruguay y Paraná Guazú, que sigue la costa norte con un canal profundo y un sistema de barras (canales de Martín García). Cerca de Colonia éste se bifurca en un canal pequeño con profundidades de entre 3 y 6 m, que pasa entre la costa uruguaya y el banco Ortiz, y un canal principal que cruza el estuario hacia la rada La Plata (canal Farallón) y luego continúa paralelo a la costa argentina con una profundidad promedio de 8 m, donde

se concentra la mayor descarga líquida. En la frontera con la zona exterior del Río de la Plata, el canal es deflelado nuevamente hacia la costa uruguaya por los bancos Arquímedes e Inglés. En su tramo posterior paralelo a esa costa, el canal tiene profundidades de alrededor de 40 m, es decir, puede ser caracterizado como un valle submarino.

Esta ruta navegable natural fue complementada mediante la construcción del canal Ing. Emilio Mitre que desemboca en el Km 12 del canal de acceso al puerto de Buenos Aires, y comunica ese puerto con la Rada La Plata. También existe el Canal Costanero, de bajo calado, que, partiendo del Puerto de Buenos Aires, corre muy cercano a la costa argentina hacia el norte de la ciudad de Buenos Aires y penetra en el río Luján.

En el Río de la Plata descargan sus aguas los ríos Uruguay y Paraná. El Delta del Río Paraná abarca la mayor parte del extremo superior. Sus mayores vías de agua son los ríos Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. Entre ambos descargan la mayor parte del caudal correspondiente al río Paraná.

2.2 HIDRODINÁMICA

La singularidad del Río de la Plata se basa en su régimen astronómico micro-mareal, con pocas decenas de centímetros de amplitud, y en la alta relevancia de las componentes meteorológicas. Este particular comportamiento del Río de la Plata puede explicarse por la proximidad de dos puntos anfídromicos en la región atlántica sur. Por lo tanto, los efectos de la marea meteorológica tienen importancia fundamental en la región.

En el Río de la Plata penetran las ondas de marea provenientes del Océano Atlántico. Durante su propagación, estas ondas se ven alteradas por diversos factores, siendo los más relevantes el desagüe fluvial, la fricción, la forma del río y su topografía. La onda de marea oceánica llega al Río de la Plata con una velocidad próxima a 200 Km/h, y se propaga en su interior con una velocidad media de 30 Km/h (Balay, 1961), demorando aproximadamente 12 horas en recorrerlo. Esto permite registrar simultáneamente prácticamente toda la gama de estados de marea sobre su extensión.

La figura 2.2 presenta las líneas cotidales (lugar geométrico de los puntos para los cuales la pleamar se produce simultáneamente) para a componente astronómica lunar principal M2, expresadas en hora lunar de Greenwich, es decir, en horas lunares después del pasaje de la Luna por el meridiano de Greenwich. En la misma figura se muestran las curvas de isoamplitudes, obtenidas sobre la base de un gran número de observaciones mareográficas en distintos lugares del estuario (Balay, 1961).

Se advierte que la onda de marea ingresa al estuario sobre la línea que une el cabo San Antonio con el cabo Santa María, pero con amplitudes que varían entre 0,90 m sobre la costa argentina hasta 0,15 m sobre la uruguaya.

Las líneas de isoamplitud ponen en evidencia las diferencias mareográficas entre ambas orillas del Río de la Plata. Las mayores amplitudes se registran en San Clemente (1,10 m) y en la zona Norte de Buenos Aires comprendida entre Palermo y el Tigre (0,90 m). Las menores amplitudes corresponden al tramo Punta del Este – Montevideo (0,20 m). También se observa que por el Río de la Plata se propagan, separadas por los bancos Arquímedes e Inglés y con celeridades propias, dos ondas derivadas de la proveniente del Océano Atlántico: la del Norte (NE) y la del Sur (SE). Más allá de la línea Buenos Aires –

Colonia, las dos ondas se unifican en amplitud y en régimen, preponderando la que proviene del SE.

Las corrientes que se manifiestan en el Río de la Plata resultan de la asociación de las ondas de marea y de las descargas de los ríos afluentes. Si bien las primeras son preponderantes, las descargas de los tributarios imponen una deriva neta hacia el océano. Por la misma razón, el intervalo de creciente resulta más corto que el de bajante (Balay, 1961). La onda de marea remonta el río Paraná y se considera que su efecto es totalmente despreciable recién a la altura de la ciudad de Rosario.

Dado que en el Río de la Plata se manifiestan al mismo tiempo distintos estados de marea, se registran corrientes en todas las direcciones y de intensidades variables. Debido al régimen semidiurno asociado, las corrientes invierten su dirección aproximadamente cada 6 horas.

El Servicio de Hidrografía Naval (SIHN) cuenta con datos de intensidad y dirección de corrientes en El Codillo y en Pontón Recalada, con máximos de 0,8 m/s en El Codillo y de 0,7 m/s (tanto en creciente como en bajante) en Pontón Recalada. En Bernal, el INA registró intensidades máximas de 0,40 m/s (LHA-INA, 1987) y se conocen datos en el canal Emilio Mitre registrados por la consultora EIH (Estudios de Ingeniería Hidráulica) con máximos de 0,9 m/s. Las figuras 2.3 a 2.6 presentan los valores de intensidad de corriente y dirección obtenidos en los puntos mencionados.

2.3 AFLUENTES

Los mayores afluentes al Río de la Plata son los ríos Paraná y Uruguay.

El río Paraná descarga sus aguas en el Río de la Plata principalmente a través de dos brazos: el río Paraná de las Palmas (23% del caudal total) y el río Paraná Guazú (77% del caudal total (Bombardelli et al, 1994). La tabla 2.1 presenta los caudales medios de dichos cursos.

Tabla 2.1
Caudales medios

Afluente	Caudal (m³/s)
Uruguay	5.200
Paraná Guazú	13.500
Paraná de las Palmas	4.500

2.4 FACTORES ATMOSFÉRICOS

Los factores atmosféricos principales que afectan al Río de la Plata son el viento y las variaciones de la presión atmosférica.

El viento modifica la velocidad de propagación de la onda de marea, la posición media de la superficie libre, el grado de mezcla vertical y genera olas. Su acción se da a través del esfuerzo de corte en superficie, logrando desplazar apreciables volúmenes de agua.

Se ha comprobado una estrecha vinculación entre los vientos y las alteraciones que sufre el nivel de las aguas en su parte superior. Balay (Balay, 1961) presentó la variación de nivel de agua por unidad de variación de la velocidad de viento, obtenida vinculando las diferencias entre la marea registrada y pronosticada en Palermo (ciudad de Buenos Aires) con las intensidades de viento en Punta del Este para cada uno de los 16 sectores geográficos. Estos valores, que se reproducen en la tabla 2.2, sólo representan un efecto medio y son válidos para velocidades de viento comprendidas entre 5 y 24 m/s (18 y 120 Km/h). Se observa que los vientos provenientes de los sectores ENE y SSW producen creciente, siendo máximo el efecto de los vientos provenientes del SSE, que coincide con la disposición relativa del eje del Río de la Plata. El resto de las direcciones producen bajantes, siendo máximo, en este caso, el efecto de la dirección Norte.

Respecto de la presión atmosférica, estáticamente considerada, ésta actúa sobre el nivel de las aguas, pero su efecto es pequeño. En cambio, los centros de presión que se desplazan actúan como una "fuerza de arrastre", generando una ondulación cuyo período y elevación dependen de las dimensiones de la zona perturbada, su profundidad y su configuración.

Tabla 2.2

Variación media del nivel del Río de la Plata superior por unidad de velocidad de viento (válido para velocidades entre 5 y 24 m/s, Balay 1961)

<i>Dirección del viento</i>	<i>Variación de nivel (cm por m/seg.)</i>
N	-4.3
NNE	-3.6
NE	-3.2
ENE	2.5
E	3.6
ESE	4.6
SE	5.4

<i>Dirección del viento</i>	<i>Variación de nivel (cm por m/seg.)</i>
SSE	6.4
S	5.4
SSO	3.6
SO	-2.8
OSO	-3.2
O	-3.2
ONO	-3.6
NO	-3.6
NNO	-3.9

3 INFORMACION DE BASE Y PROCESAMIENTO

3.1 BATIMETRÍA Y MALLA DE DISCRETIZACIÓN

El modelo implementado abarca el área comprendida desde la desembocadura de los ríos Paraná (a través de sus distintos brazos) y Uruguay hasta la línea que une las ciudades de San Clemente del Tuyú (República Argentina), y Punta del Este (República Oriental del Uruguay), cuyas coordenadas geográficas se presentan en la tabla 3.1 (ver figura 2.1).

Tabla 3.1
Coordenadas Geográficas

Estación	Latitud	Longitud	Nivel medio (m)
San Clemente	34° 28' S	58° 15' W	0.91
Punta del Este	34° 57' S	54° 57' W	0.92

La batimetría de la zona de interés se obtuvo a partir de la digitalización de las líneas de nivel de las siguientes cartas náuticas del SIHN, referidas al sistema de coordenadas ortogonales de Gauss-Kruger:

H118 - Río de la Plata superior

H117 - Río de la Plata medio

H113 - Río de la Plata exterior

Para la aplicación del sistema computacional HIDROBID II fue necesario discretizar el dominio espacial de cálculo. Esto significa definir una malla o grilla de cálculo compuesta por nodos equiespaciados en cada dirección, en donde se especifican los datos y se evalúan los resultados del modelo. De hecho, el paso de cálculo espacial representa el grado de resolución que se adopta para la representación de los datos y de la solución del problema. Se tomó un paso de discretización de 1,000 m en ambas direcciones, definiendo una malla de 256 X 303 nodos. Esto significa una resolución 4 veces más densa que la del modelo anterior (Bombardelli et al, 1995). Como en el planteo del modelo resulta

conveniente que la malla de diferencias sea paralela a las direcciones de los bordes entrantes y salientes, la misma se orientó conforme a este criterio. Así, el recinto de cálculo fue rotado un ángulo de 46° alrededor de San Clemente y en sentido antihorario, de forma que la desembocadura del Río de la Plata coincidiese con el eje de abscisas del modelo.

En la figura 3.1 se presenta la batimetría que surge de la grilla batimétrica de cálculo, mediante curvas de nivel separadas cada 2 m. Las profundidades están dadas en metros con respecto al plano de reducción (límite inferior de la media de todas las bajamares). Se observa que la representación de las principales unidades morfológicas (Playa Honda, Banco Grande de Ortiz, Gran Olla del Canal Intermedio, Frente Marítimo, Banco Inglés y Banco Arquímedes) resulta adecuada. En la figura 3.2 se muestra el recinto de cálculo conforme a la grilla.

3.2 ESCENARIOS DE MODELACIÓN Y ESTACIONES DE REGISTRO

Para validar y calibrar el modelo se consideraron dos tipos de escenarios de modelación, a saber, situación de calma y situación de tormenta.

Para caracterizar el escenario de calma se utilizaron las tablas de mareas elaboradas por el SIHN (SIHN, 1997). Las tablas de marea predicen, a partir de análisis armónicos, los niveles de agua referidos al plano de reducción, a lo largo del año, en las siguientes estaciones del área de estudio: San Fernando, Puerto de Buenos Aires, La Plata, Torre Oyarvide, San Clemente del Tuyú, Colonia, Martín García y Montevideo.

Esta predicción no considera los efectos perturbadores de la marea astronómica ocasionados por la acción meteorológica y corresponde a los extremos relativos diarios (pleamares y bajamares) con sus correspondientes tiempos de ocurrencia. Para construir la serie temporal completa se supone que la variación de la marea, en el intervalo comprendido entre una pleamar y bajamar consecutivas (o viceversa), puede representarse por una senoide.

Así, la altura de marea en un instante prefijado puede calcularse mediante las siguientes expresiones:

Bajante:

$$h(t) = P - (1 - \cos \varphi) \frac{r}{2}$$

Creciente:

$$h(t) = B + (1 - \cos \varphi) \frac{r}{2}$$

donde:

$$\varphi = \pi \frac{t - t_0}{t_f - t_0}$$

$h(t)$ = altura de marea en el instante t referida al cero local

B = altura de la bajamar más cercana al instante considerado

P = altura de la pleamar más cercana al instante considerado

r = amplitud de la creciente o bajante (diferencia entre pleamar y bajamar sucesivas)

t_0 y t_f = tiempos correspondientes a los extremos relativos inicial y final del intervalo

La tabla 3.2 presenta la localización de las estaciones de predicción de mareas en el área en estudio y el nivel medio del agua respecto al plano de reducción.

Tabla 3.2
Estaciones de predicción de mareas

Estación	Latitud	Longitud	Nivel medio (m)
Colonia	34° 28' S	57° 51' W	0.64
Martín García	34° 11' S	58° 15' W	0.64
Montevideo	34° 55' S	56° 13' W	0.91
Puerto de Buenos Aires (Dársena F)	34° 34' S	58° 23' W	0.79
Puerto La Plata	34° 50' S	57° 53' W	0.79
Punta Indio	35° 06' S	57° 08' W	0.85
San Fernando	34° 26' S	58° 32' W	0.79

Las tablas de marea también proporcionan información correspondiente a instantes predichos de ocurrencias de estoa y máxima corriente. Para este último caso se da la intensidad en nudos y la dirección en grados respecto al norte geográfico y con sentido al Este. La predicción incluye la corriente permanente pero no el efecto meteorológico sobre la corriente de marea. La tabla 3.3 presenta la localización de las estaciones de predicción de corrientes en el área de interés.

Tabla 3.3
Estaciones de predicción de corrientes

Estación	Latitud	Longitud
Canal Intermedio	34° 59' S	58° 20' W
Canal de Magdalena	34° 53' S	57° 34' W
Canal del Norte	34° 45' S	56° 52' W
Paso del Farallón	34° 32' S	57° 51' W
Quebrada del Banco Ortiz	34° 49' S	57° 19' W

La figura 3.3 muestra la ubicación de las estaciones de predicción de niveles y de corrientes de marea, utilizadas más adelante para contraste de resultados.

Para simular la acción del viento sobre el campo de velocidades y niveles en escenarios de tormenta, se tomaron los períodos 5-18 de marzo de 1987 y 12-25 de agosto de 1986. El primer período es referenciado como *tormenta 1* y el segundo como *tormenta 2*. Para el caso de la tormenta 1 se cuenta con los registros de intensidad y dirección del viento en los aeropuertos de Buenos Aires y de Montevideo (Carrasco), mientras que para la tormenta 2 sólo se cuenta con datos de viento en el aeropuerto de Carrasco. Asimismo, se conocen las alturas de marea registradas en las estaciones San Clemente, Buenos Aires, Torre Oyarvide, Montevideo, Colonia y La Paloma. Estos datos fueron suministrados por Elías Kaplan, de la Universidad de la República, Montevideo (Kaplan, 1998) y se presentan en las figuras 3.4 y 3.5 respectivamente.

3.3 CONDICIONES DE BORDE

Las condiciones de borde del modelo se materializaron a través de cuatro contornos abiertos y límites laterales impermeables. Se implementaron tres contornos abiertos en la cabecera, en los que se especificó el caudal en las desembocaduras de los ríos Uruguay, Paraná de las Palmas y Paraná Guazú, y un contorno abierto sobre el límite oceánico, en el que se proveyó el nivel de agua.

- *Condiciones de borde en el contorno oceánico*

En la línea San Clemente – Punta del Este se especificó como condición de borde la onda de marea. Conocida la serie temporal de niveles en ambos extremos del límite exterior del Río de la Plata, se supuso una variación lineal a lo largo de todo el borde.

Debido a que no se cuenta con registros de niveles de marea en situaciones de tormenta en el extremo oriental del borde oceánico, la onda de marea en Punta del Este fue sintetizada a partir de los datos registrados en la estación La Paloma. Considerando que la altura de marea es el producto de la superposición de dos componentes, a saber, la onda de marea astronómica y la onda de marea meteorológica, se construyó una onda con desfase discriminado: la onda de marea astronómica correspondiente a La Paloma fue atrasada en 3 horas, en tanto que la onda de marea meteorológica de La Paloma (obtenida como diferencia entre la marea registrada y la marea astronómica predicha) fue adelantada en 3 horas para obtener la onda de tormenta en Punta del Este. Luego estas 2 ondas fueron sumadas para obtener la altura de marea en Punta del Este (Figura 3.6).

- *Condiciones de borde en el contorno fluvial*

Dada la escala del modelo, se representaron únicamente las dos salidas principales del Río Paraná: Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. En ambos bordes, y en el correspondiente al Río Uruguay, se impusieron valores de caudal.

Ahora bien, estos caudales están modulados por la marea, de modo que no se dispone de registros instantáneos asociados a los períodos de análisis. Entonces, las series temporales de caudal se construyeron en función de la altura de marea registrada en estaciones de medición de niveles próximas a la desembocadura y del valor del caudal medio de cada afluente, de acuerdo a la siguiente expresión:

$$Q_i^t = Q_i^m \left[1 + \beta_i \left(\frac{h_i^t - \bar{h}_i}{H_i} \right) \right]$$

donde: Q_i^t = caudal del afluente i en el tiempo t

Q_i^m = caudal medio (sobre un período de marea) del afluente i

β_i = coeficiente de modulación del caudal del afluente i

h_i^t = nivel registrado en la estación asociada al afluente i en el tiempo t

\bar{h} = nivel medio en la estación asociada al afluente i

H_i = profundidad total del cauce en la estación asociada al afluente i

Para los ríos Uruguay y Paraná Guazú se adoptó como representativa la estación Martín García, mientras que para el río Paraná de las Palmas los caudales fueron modulados en función de los niveles registrados en la estación San Fernando. Ante la falta de datos, se utilizaron tres valores del coeficiente de modulación: $\beta_i=0,5$, $\beta_i=0,8$ y $\beta_i=2$.

Se tomaron como valores de caudales medio los que fueron presentados en la tabla 2.1. Conforme a lo expresado en el capítulo 2, los caudales de los ríos Paraná Guazú y Paraná de las Palmas se obtienen de aplicar el porcentaje de repartición de caudales al módulo del Paraná, estimado en 18.000 m³/s.

En las figuras 3.7 a 3.9 se presentan las series temporales de caudales obtenidas mediante la metodología descrita, para cada uno de los afluentes.

3.4 REGISTROS DE VIENTO Y ZONIFICACIÓN

Los efectos meteorológicos sobre el campo de niveles y velocidades del Río de la Plata dependen de los estados atmosféricos que se observan en zonas adyacentes, tanto continentales como marítimas, y del desplazamiento y rotación de los centros de presión, juntamente con la variable dirección y velocidad del viento. Sin embargo, en la práctica no se cuenta con observaciones meteorológicas que expresen la variabilidad regional del viento en el dominio de cálculo, sino apenas registros en las estaciones meteorológicas Aeroparque Jorge Newbery de la ciudad de Buenos Aires, tomados por el Servicio meteorológico Nacional (SMN) de la Argentina, y en el Aeropuerto de Carrasco de la ciudad de Montevideo.

Debido a esta causa, las simulaciones se efectuaron suponiendo una zonificación del recinto de cálculo en dos regiones, y atribuyendo las mediciones registradas en las estaciones mencionadas a cada una de las dos zonas. Las figuras 3.10 y 3.11 muestran las dos zonificaciones planteadas, que se denominan zonificaciones longitudinal y transversal, respectivamente. En el primer caso se asigna a la zona SW los datos registrados en Buenos Aires y a la zona NE el registro del aeropuerto de Carrasco. En la segunda alternativa, se asigna a la zona NW el registro de Buenos Aires y a la zona SE el de Carrasco.

4 VALIDACION DEL MODELO

4.1 CRITERIOS DE VALIDACIÓN

El criterio básico de validación consistió en comparar las series temporales de niveles calculados con las series de los niveles "reales" en las estaciones interiores donde se dispone de esa información. Se estudiaron dos escenarios:

- a) Marea astronómica: en este caso se tomó como serie de niveles "reales" a los provistos en la Tabla de Mareas.
- b) Onda de tormenta: la serie de niveles "reales" corresponde, en esta situación, a los registrados.

Utilizando el escenario de marea astronómica, el modelo fue calibrado ajustando los valores de la rugosidad del cauce. Luego se efectuó una verificación comparando las predicciones del modelo con los registros de niveles para los escenarios de tormenta. Posteriormente, se efectuaron comparaciones entre las velocidades de corriente predichas por el modelo y las velocidades "reales".

4.2 COMPARACIÓN DE NIVELES

4.2.1 *Escenario de marea astronómica*

Se eligió arbitrariamente como condición de borde un período de 5 días que se extiende desde el 8/2/97 al 12/2/97. La onda de marea en San Clemente fue construída a partir de las predicciones de la Tabla de Mareas 1997 (SIHN, 1997), conforme la metodología mencionada en la sección 2.2, mientras que en Punta del Este se construyó la onda de marea a partir de las predicciones del SOHMA (SOHMA, 1997).

En las estaciones de control se obtuvo la evolución de niveles con igual método. La figura 4.1 presenta las ondas de marea obtenidas para los extremos del borde oceánico del Río de la Plata.

Se adoptaron 2 esquemas simples de zonificación de la rugosidad del cauce:

- i) una distribución uniforme sobre todo el río,
- ii) una división entre la zona exterior y una zona "interna" compuesta por los ríos medio y superior.

En la tabla 4.1 se identifican los ensayos efectuados para la calibración.

En las figuras 4.2a) a 4.2g) se muestran las comparaciones entre los niveles en las estaciones de seguimiento para distintos ensayos, tomando como nulo el valor del

coeficiente de modulación del caudal ingresante ($\beta=0$). El acuerdo global más satisfactorio lo provee el ensayo C2, es decir, una rugosidad uniforme de 0,015.

Tabla 4.1
Coeficiente de rugosidad n de Manning

Ensayo	Distribución	n
C1	Uniforme	0,025
C2	Uniforme	0,015
C3	Uniforme	0,012
C4	Zona exterior Zona interna	0,013 0,015

Las figuras 4.3a) a 4.3g) muestran los niveles de marea sólo para este ensayo, contrastados con los valores predichos por la Tabla. Se observa una buena reproducción de la amplitud y la fase de la onda de marea, aunque en algunas secciones se notan desajustes del nivel medio. En la tabla 4.2 se presentan las correcciones que habría que sumar a la Tabla de mareas para que coincidan los valores medios del nivel (éstas podrían interpretarse como un corrimiento hacia abajo del cero de las escalas). Efectuando estas correcciones se obtienen los resultados mostrados en las figuras 4.4a) a 4.4g), que indican un acuerdo muy satisfactorio entre modelo y tabla.

Como ya fue dicho, el Río de la Plata ofrece el caso particular de registrar simultáneamente sobre su área una pleamar y una bajamar o una pleamar y dos bajamares o viceversa, debido a que la onda de marea prácticamente ocupa una extensión igual a la del río. Para evidenciar esta situación se trazaron curvas instantáneas de isonivel de marea para el ensayo de calibración. Estas curvas conforman la topografía instantánea de la superficie de las aguas y dan una idea precisa de la propagación de la onda de marea sobre el estuario, determinando los estados de pleamar y bajamar y sus sucesivos desplazamientos con relación al tiempo. Las figuras 4.5a) a 4.5j) muestran las curvas de isoaltura de marea para los instantes definidos en la figura 4.5k) sobre la onda de marea en San Clemente.

Ensayos efectuados variando el coeficiente de modulación del caudal ingresante mostraron que su influencia sobre los niveles del río en las estaciones de control es débil. Las diferencias de nivel respecto del caso no modulado se presentan en las figuras 4.6a) a 4.6g). Se observa que las diferencias máximas no superan los 4 cm en San Fernando y 7 cm en Martín García, que son las estaciones más cercanas a las desembocaduras, cayendo a un máximo de 3 cm en la zona Buenos Aires - Colonia, y a 0,3 cm en Torre Oyarvide, que representa un 0,3% respecto a la excursión media de marea. Esto muestra que, en la práctica, la simulación puede efectuarse considerando los caudales ingresantes constantes en el tiempo.

Tabla 4.2
Correcciones del nivel medio

Estación	Nivel medio (m)	Corrección (m)
San Fernando	0.79	0.24
Martín García	0.64	0.25
Buenos Aires	0.79	0.18
Colonia	0.85	0.25
La Plata	0.79	-0.07
Torre Oyarvide	0.85	0.06
Montevideo	0.64	-0.13

4.2.2 Escenario de onda de tormenta

Se utilizaron los dos escenarios descriptos en el capítulo 3. Para ambas situaciones, los aportes fluviales de los ríos Uruguay, Paraná de las Palmas y Paraná Guazú fueron supuestos constantes sobre la base de los resultados obtenidos en los ensayos de modulación de caudal. La rugosidad del cauce se fijó como uniforme en el valor de calibración 0,015.

4.2.2.1 Tormenta 1

La figura 4.7 presenta las alturas de marea en San Clemente y Punta del Este utilizadas como condiciones de contorno en el borde oceánico, mientras que las figuras 4.8 y 4.9 muestran los registros de viento correspondientes a Buenos Aires y Montevideo durante esta tormenta.

En las figuras 4.10a) a 4.10c) se presentan los niveles calculados en Buenos Aires, Torre Oyarvide y Montevideo, respectivamente, junto con los valores registrados, considerando la zonificación longitudinal para el viento. Se observa un acuerdo general satisfactorio. La fase calculada de la oscilación de marea está siempre algo adelantada respecto de la registrada. También se observa una subestimación de los picos de marea negativos. Sin embargo, estas diferencias no revisten mucha importancia cuando se simula un evento de tormenta.

Los resultados análogos para zonificación transversal se muestran en las figuras 4.11a) a 4.11c). Comparando con el caso anterior sólo se observan cambios menores.

Tampoco se notan variaciones apreciables si se utiliza un viento uniforme en todo el río, tal como se desprende de las figuras 4.12a) a 4.12c), donde se usó sólo el viento en Buenos Aires, y las figuras 4.13a) a 4.13c), donde el viento en Montevideo se utilizó para todo el dominio.

En virtud de esta baja sensibilidad de los niveles al detalle de la información sobre vientos, se efectuó un ensayo considerando viento nulo. Los resultados se muestran en las figuras 4.14a) a 4.14c). Es notable observar que tampoco ahora se aprecian cambios relevantes, por lo que se concluye que el nivel en el río está básicamente controlado por la onda ingresante por la boca.

4.2.2.2 Tormenta 2

En la figura 4.15 se muestran las alturas de marea en San Clemente y Punta del Este para el período 12-25 de agosto de 1986. En este caso sólo se cuenta con los registros de viento de la estación meteorológica del Aeropuerto de Carrasco (figura 4.16) que entonces fue impuesto sobre todo el río como un forzante espacialmente uniforme. De todos modos, de acuerdo a lo visto en la sección anterior, esto no constituye limitación alguna, dada la baja sensibilidad del nivel a los vientos locales.

Los niveles de marea obtenidos para las estaciones Colonia, Torre Oyarvide y Montevideo se presentan en las figuras 4.17a) a 4.17c). Nuevamente, el acuerdo general se considera satisfactorio aunque en la zona exterior el modelo parece subvalorar los máximos de la onda de tormenta, de menor intensidad que la tormenta 1.

4.3 COMPARACIÓN DE CORRIENTES

4.3.1 Corrientes de marea astronómica

Las figuras 4.18a) a 4.18e) presentan el contraste de módulo y dirección de la corriente para las estaciones de predicción de corrientes para el intervalo 8 al 12 de febrero de 1997. Dadas las limitaciones de la predicción de corrientes de la Tabla de Mareas, el acuerdo general de los valores simulados y tabulados se considera satisfactorio. Las mayores diferencias se observan en Quebrada del Banco Ortiz y en Paso del Farallón, por exceso y por defecto, respectivamente, de los resultados del modelo.

Campos instantáneos de velocidades correspondientes a esta situación se presentan en las figuras 4.19a) a 4.19J). Se observa la existencia simultánea de distintos estados de marea, con corrientes en todas las direcciones y de intensidades variables.

4.3.2 Corrientes registradas

Se simularon dos de los períodos de registro de corrientes mencionados en el capítulo 2: del 4 al 7 de abril de 1987, para el cual se registraron corrientes en Bernal, y del 16 al 20 de noviembre de 1989, para el cual se cuenta con el registro de corrientes en Pontón Recalada. La elección de tales períodos se basó en la posibilidad de obtener los correspondientes registros horarios de marea en la estación San Clemente, que constituye uno de los extremos del borde oceánico del recinto de cálculo.

En ninguno de los dos casos, fue posible contar con datos de marea en el otro extremo del borde oceánico, Punta del Este, de modo que la marea en esta estación fue elaborada sintéticamente sobre la base de la carta de líneas cotidales trazadas de hora en

hora lunar y las curvas de isoamplitudes presentadas en la figura 2.1. Se estimó un atraso de 47 minutos entre la onda de marea que se registra en San Clemente y los niveles en Punta del Este. La diferencia mareográfica existente entre ambas orillas del Plata, debido a las diferencias de amplitud con que llegan las ondas oceánicas al estuario, fue considerada a través de un factor de atenuación α calculado como el cociente entre las mayores amplitudes de marea ordinaria en Punta del Este y San Clemente ($\alpha=0.15/0.90$).

Al no disponerse de registros de viento para esos períodos, éste se consideró nulo. En ambos casos, la simulación se inició con antelación al período de contraste, de forma de permitir la entrada en régimen del modelo y eliminar el período transitorio.

Las figura 4.20 presenta las condiciones de borde en el contorno oceánico San Clemente-Punta del Este para el período 2-7 de abril de 1987. En la figura 4.21 se efectúa el contraste de niveles de marea entre los valores registrados en Torre Oyarvide y los obtenidos por simulación, observándose un acuerdo satisfactorio tanto en la fase como en la amplitud de la onda. El contraste entre los valores de intensidad de corrientes registrados y simulados numéricamente se muestra en la figura 4.22. Se observa que, en general, el modelo subestima los picos de velocidad, especialmente en bajante. Estas diferencias podrían deberse, parcialmente, al efecto del viento.

En la figura 4.23 se muestran las condiciones de borde en San Clemente y Punta del Este para el período 13-20 de noviembre de 1989. La comparación de niveles en Torre Oyarvide (figura 4.24) es nuevamente satisfactoria. Los resultados de la simulación para la intensidad y dirección de corrientes en Pontón Recalada se muestran en las figuras 4.25a) y 4.25b). Se observa que, en términos generales, se reproducen las principales tendencias. Incluso, el acuerdo resulta muy satisfactorio para las primeras 140 horas. Las diferencias cuantitativas, manifestadas luego de 140 horas, pueden deberse, parcialmente, a la acción del viento.

5 EFECTOS DEL VIENTO SOBRE EL NIVEL DEL AGUA

En el capítulo anterior se concluyó que, durante las tormentas, el nivel del Río de la Plata está básicamente controlado por la onda ingresante por su boca. Es decir que la contribución de los vientos locales sobre la superficie del río es secundaria.

Ahora bien, ésto no significa que esa contribución sea despreciable. Según su dirección, el viento puede causar un apilamiento en la cabecera del río (crecida) o un desplazamiento de un volumen considerable hacia el exterior (estiaje). Los vientos que soplan dentro del sector ENE y S producen crecidas, y los que soplan de las restantes direcciones producen estiajes. Los vientos provenientes del SSE y N causan, respectivamente, las crecidas y estiajes máximos.

Con el propósito de cuantificar la acción del viento sobre los niveles en el Río de la Plata se efectuaron numerosos ensayos con el modelo hidrodinámico implementado, para vientos de distintas intensidades y direcciones.

Para tales ensayos se usó una condición de marea armónica en el borde oceánico, sintetizada a partir de la onda en San Clemente que se muestra en la figura 5.1.

El efecto del viento se cuantificó a través de la diferencia de nivel entre los valores obtenidos de la simulación considerando la acción del viento y en ausencia del mismo, manteniendo para ambos casos la misma condición de borde oceánica.

Para el registro de niveles se seleccionaron 4 estaciones en la zona interior e intermedia del Río de la Plata, denotadas por A_1 , A_2 , A_3 y A_4 en la figura 5.2.

Se ensayaron situaciones de vientos procedentes del SSE, S, N y NE de duraciones crecientes de 2, 4, 8, 12, 16, 24 y 48 horas a partir de la hora 20 del tiempo mostrado en la figura 5.1 (para evitar el transitorio hidrodinámico), e intensidad de 30 Km/h. Las tablas 5.1 a 5.4 presentan los desniveles o "apilamientos" obtenidos para las estaciones de contraste.

Con propósitos ilustrativos, las figuras 5.3 y 5.4 presentan los apilamientos en la estación A_1 para los vientos desde el SSE y el N, respectivamente. Se advierte que, para ambas condiciones, la hora de la pleamar en general se mantiene. Por su parte, la hora de la bajamar sufre retardos o adelantos, según la dirección de los vientos actuantes. Para vientos marítimos se registra un adelanto en las horas de las bajamares estimado en 60 minutos, mientras que para vientos de tierra se registra un atraso en la hora de la bajamar de aproximadamente 30 minutos.

Tabla 5.1

 Efectos del viento sobre el nivel del Río de la Plata (en m) - Estación A₁

Dirección Duración (hs)	N	NE	S	SSE
2	-0,052	-0,027	0,042	0,055
4	-0,100	-0,024	0,092	0,119
8	-0,168	-0,055	0,163	0,205
12	-0,263	-0,049	0,270	0,337
16	-0,299	-0,037	0,293	0,378
24	-0,299	-0,054	0,293	0,378
48	-0,303	-0,058	0,301	0,389

Tabla 5.2

 Efectos del viento sobre el nivel del Río de la Plata (en m) - Estación A₂

Dirección Duración (hs)	N	NE	S	SSE
2	-0,048	-0,024	0,046	0,055
4	-0,083	-0,030	0,082	0,102
8	-0,164	-0,049	0,173	0,201
12	-0,229	-0,049	0,238	0,299
16	-0,235	-0,053	0,239	0,300
24	-0,262	-0,056	0,256	0,308
48	-0,271	-0,059	0,257	0,317

Tabla 5.3

 Efectos del viento sobre el nivel del Río de la Plata (en m) - Estación A₃

Dirección Duración (hs)	N	NE	S	SSE
2	-0,054	-0,034	0,048	0,047
4	-0,071	-0,036	0,076	0,083
8	-0,152	-0,053	0,151	0,169
12	-0,199	-0,064	0,193	0,222
16	-0,199	-0,064	0,193	0,222
24	-0,226	-0,078	0,221	0,256
48	-0,236	-0,083	0,223	0,257

Tabla 5.4

 Efectos del viento sobre el nivel del Río de la Plata (en m) - Estación A₄

Dirección Duración (hs)	N	NE	S	SSE
2	-0,042	-0,021	0,045	0,047
4	-0,062	-0,038	0,062	0,060
8	-0,094	-0,060	0,085	0,088
12	-0,094	-0,063	0,085	0,088
16	-0,094	-0,063	0,090	0,090
24	-0,102	-0,063	0,104	0,101
48	-0,108	-0,067	0,105	0,103

Con propósitos ilustrativos, las figuras 5.3 y 5.4 presentan los apilamientos en la estación A_1 para los vientos desde el SSE y el N, respectivamente. Se advierte que, para ambas condiciones, la hora de la pleamar en general se mantiene. Por su parte, la hora de la bajamar sufre retardos o adelantos, según la dirección de los vientos actuantes. Para vientos marítimos se registra un adelanto en las horas de las bajamares estimado en 60 minutos, mientras que para vientos de tierra se registra un atraso en la hora de la bajamar de aproximadamente 30 minutos.

Más importante, se observa que el desnivel se estabiliza a partir de una cierta duración de alrededor de 15 horas. Esto surge más claramente de las figuras 5.5 y 5.6, donde se muestra el apilamiento temporal para las distintas duraciones del viento. Allí también se observa que la perturbación del nivel permanece por varias horas después que cesa la acción del viento, hasta que los niveles normales son restituidos.

Las figuras 5.7 a 5.10 presentan el apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente y direcciones SSE, S, N y NE, respectivamente para las estaciones A_1 a A_4 . Allí se observa claramente que el apilamiento alcanza un máximo y se estabiliza para persistencias de viento del orden de las 20 horas.

La tabla 5.5 resume los valores de apilamiento máximo originado por la acción del viento y la persistencia crítica para la estabilización, para vientos procedentes de las direcciones ensayadas y para las cuatro estaciones utilizadas para contraste.

Tabla 5.5

Apilamiento máximo D (m) y persistencia crítica P (hs) de vientos de 30 Km/h provenientes de distintas direcciones

Estación Dirección	A_1		A_2		A_3		A_4	
	P	D	P	D	P	D	P	D
N	16	-0,299	24	-0,262	24	-0,078	24	-0,102
NE	12	-0,049	12	-0,053	24	-0,226	16	-0,063
S	16	0,293	12	0,238	24	0,221	24	0,104
SSE	16	0,378	12	0,299	24	0,256	24	0,101

Se observa que, si bien los apilamientos positivos y negativos mayores se dan para las direcciones SSE y N, respectivamente, en las estaciones A_1 y A_2 más interiores, esto no es necesariamente así para las estaciones más exteriores A_3 y A_4 .

6 CONCLUSIONES

El modelo hidrodinámico bautizado como "Río de la Plata 2000" ha mostrado una muy buena performance para simular tanto situaciones de calma como de tormenta. Se ha logrado un nivel de acuerdo entre simulación y registros, tanto para niveles como para corrientes, que permite utilizarlo con confianza para estudios ingenieriles. En consecuencia, constituye una herramienta muy valiosa para encarar estudios específicos tendientes a solucionar problemas concretos (contaminación, navegación, etc.) en el Río de la Plata, y para programar sistemáticamente futuras mediciones.

REFERENCIAS

- ALBARRACÍN, J. I.**, "Análisis de la hidrodinámica del Río de la Plata a partir de la simulación numérica" Informe LHA-INCYTH 065-001-88, mayo de 1988.
- BALAY, M. A.**, "El Río de la Plata entre la atmósfera y el mar", Publicación H. 621, SHN, Buenos Aires, 1961.
- BOMBARDELLI, F. A., MENÉNDEZ, A. N., LAPETINA, M. R., MONTALVO, J. L.**, "Estudio del impacto hidráulico del puente Buenos Aires-Colonia. Informe No.1", Informe LHA-INCYTH 141-01-95, enero de 1995.
- BOMBARDELLI, F. A., MENÉNDEZ, A. N., BREA, J. D., MONTALVO, J. L., PORRO, G. O.** "Estudio hidrodinámico del Delta del río Paraná mediante modelación matemática", Informe LHA-INCYTH 137-01-94, noviembre de 1994.
- KAPLAN, E.**, "A shallow water model distributed using Domain Decomposition", Master's Thesis, CeCal, Facultad de Ingeniería, Universidad de la república Oriental del Uruguay, junio de 1998.
- LHA-INCYTH**, "Proyecto de tratamiento y disposición de efluentes domésticos del Gran Buenos Aires", Campañas Hidrográficas, Informe LHA-INCYTH 070-001-87, julio de 1987.
- MARAZZI, M. L., MENÉNDEZ, A. N.**, "Estudio de las corrientes de los canales de navegación del Río de la Plata", Informe LHA-INCYTH 114-003-91, septiembre de 1991.
- MENÉNDEZ, A. N.**, "Simulación numérica de flujos cuasi-bidimensionales a superficie libre", Informe LHA-INCYTH S5-016-85, diciembre de 1985.
- MENÉNDEZ, A. N.**, "Sistema HIDROBID II para simular corrientes en cuencos ", Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en ingeniería, vol. 6, 1, pp. 25-36, 1990.
- MOLINARI, G.**, "Simulación numérica de la circulación en el Río de la Plata", Informe LHA-INCYTH S5-017-86, marzo de 1986.
- OLALDE, A. M.**, "Simulación numérica de corrientes de deriva en el Río de la Plata", Informe LHA-INCYTH 065-002-88, mayo de 1988.
- SIHN**, "Tablas de Marea para el año 1997", Publicación H610, Servicio de Hidrografía Naval, Buenos Aires, 1997.
- SOHMA**, "Tablas de marea 1997", Publicación No 3, Servicio de Oceanografía, Hidrografía y Meteorología de la Armada, República Oriental del Uruguay, Montevideo, 1996.

Figuras

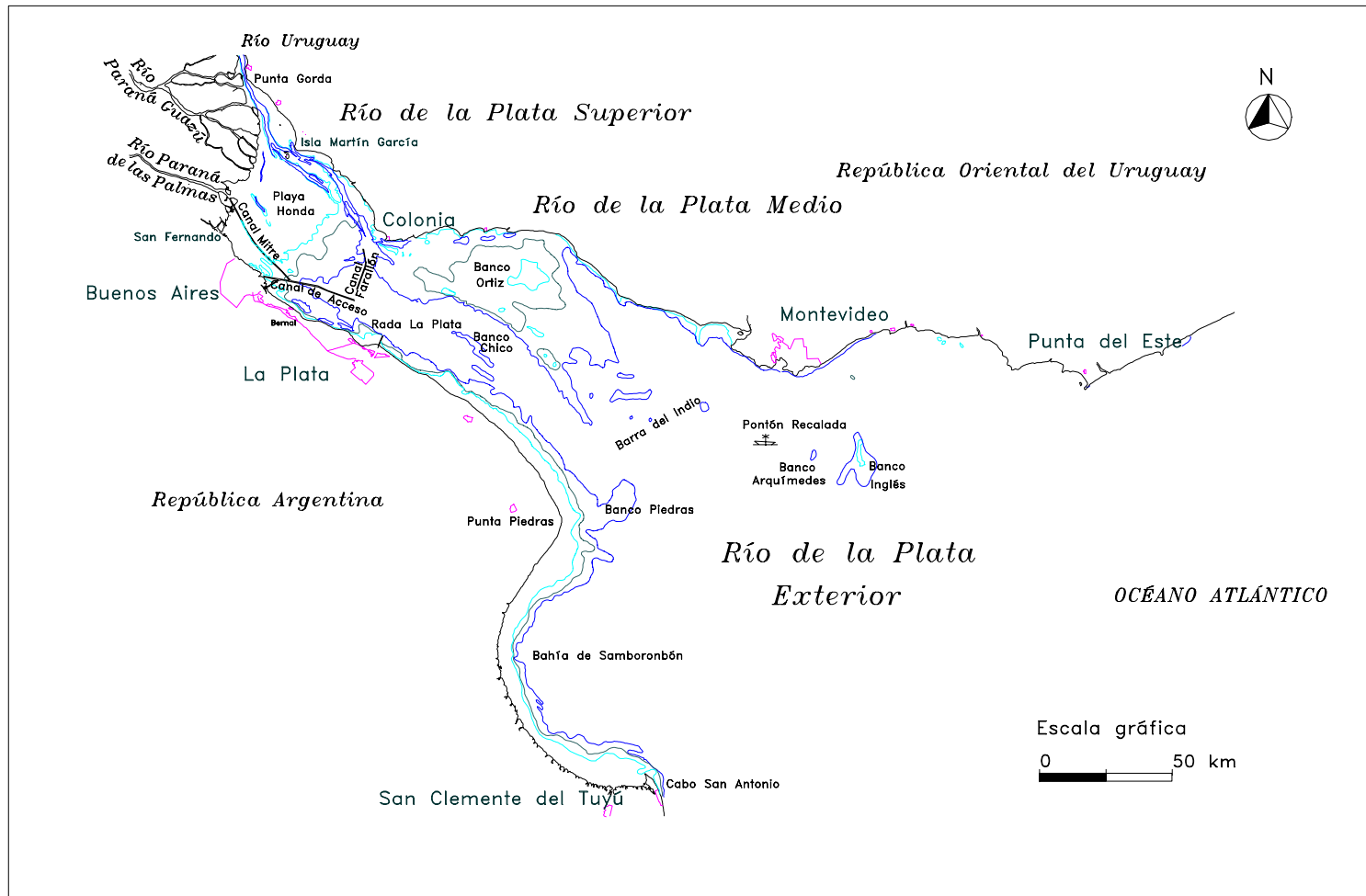


Figura 2.1 Morfología del Río de la Plata

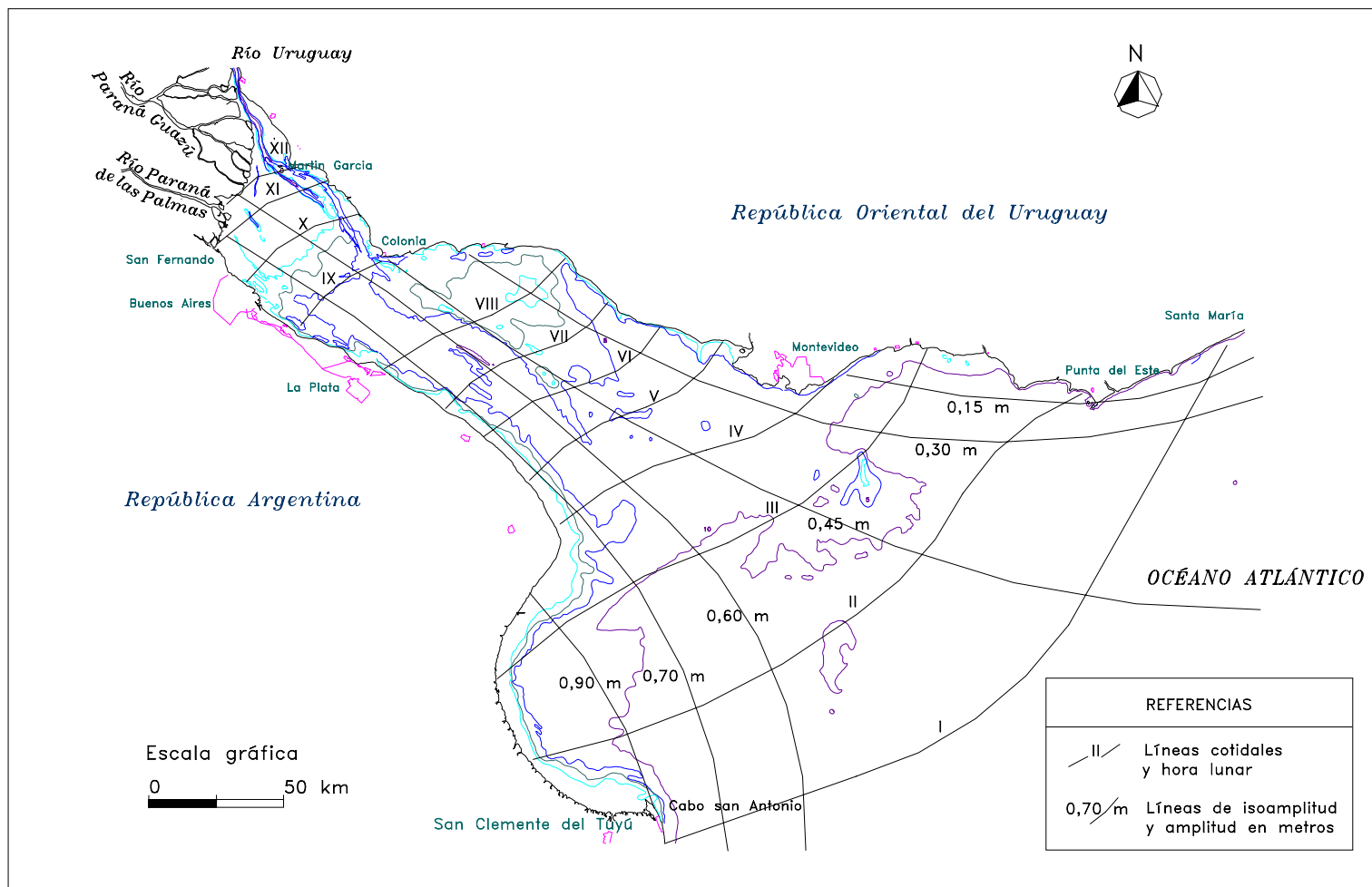


Figura 2.2 Mareas en el estuario del Plata. Cotidales e isoamplitudes para la componente M2

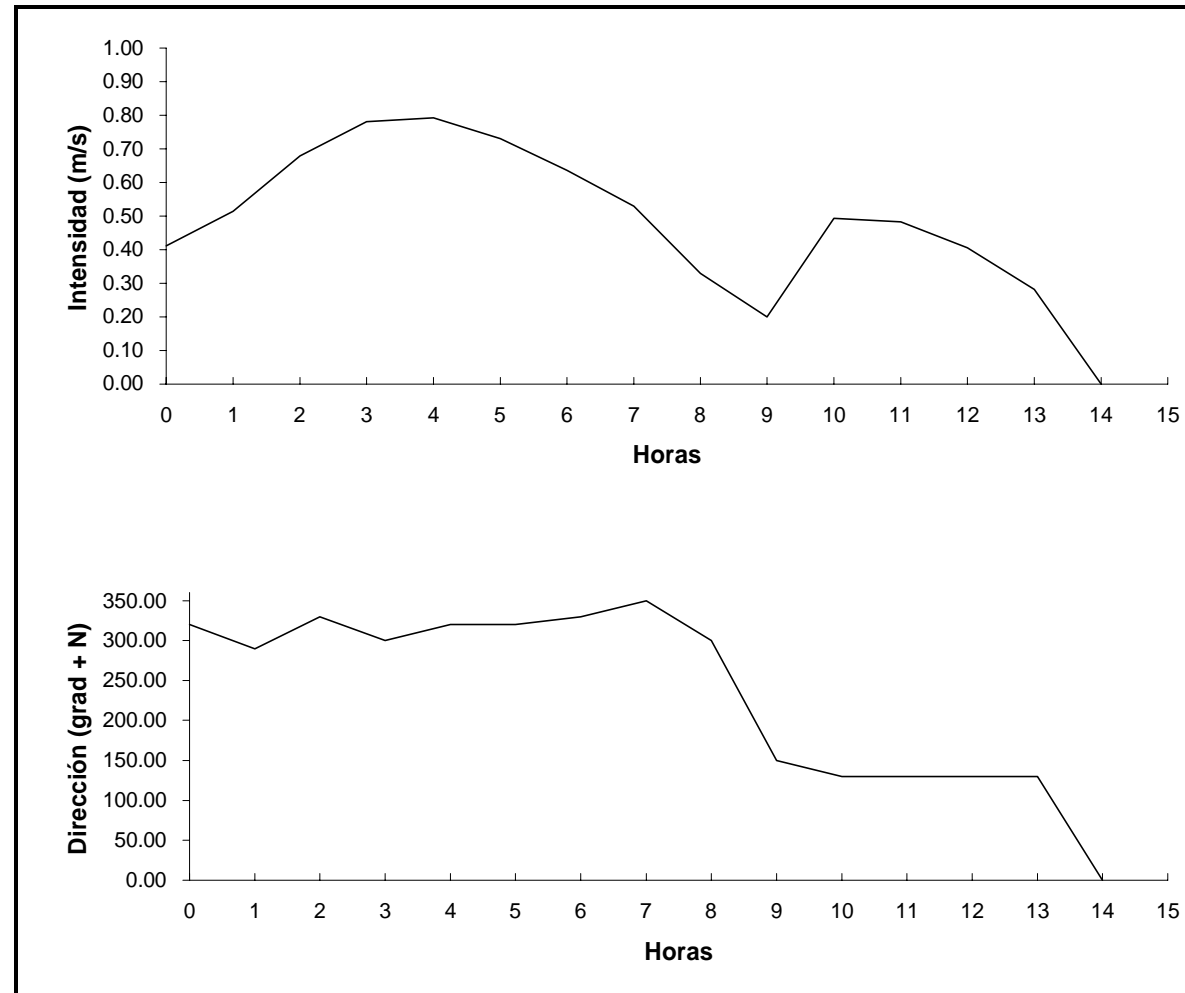


Figura 2.3 Velocidad de corrientes en El Codillo. Origen de tiempo: 20/11/68 0.30 HS. Fuente: SIHN

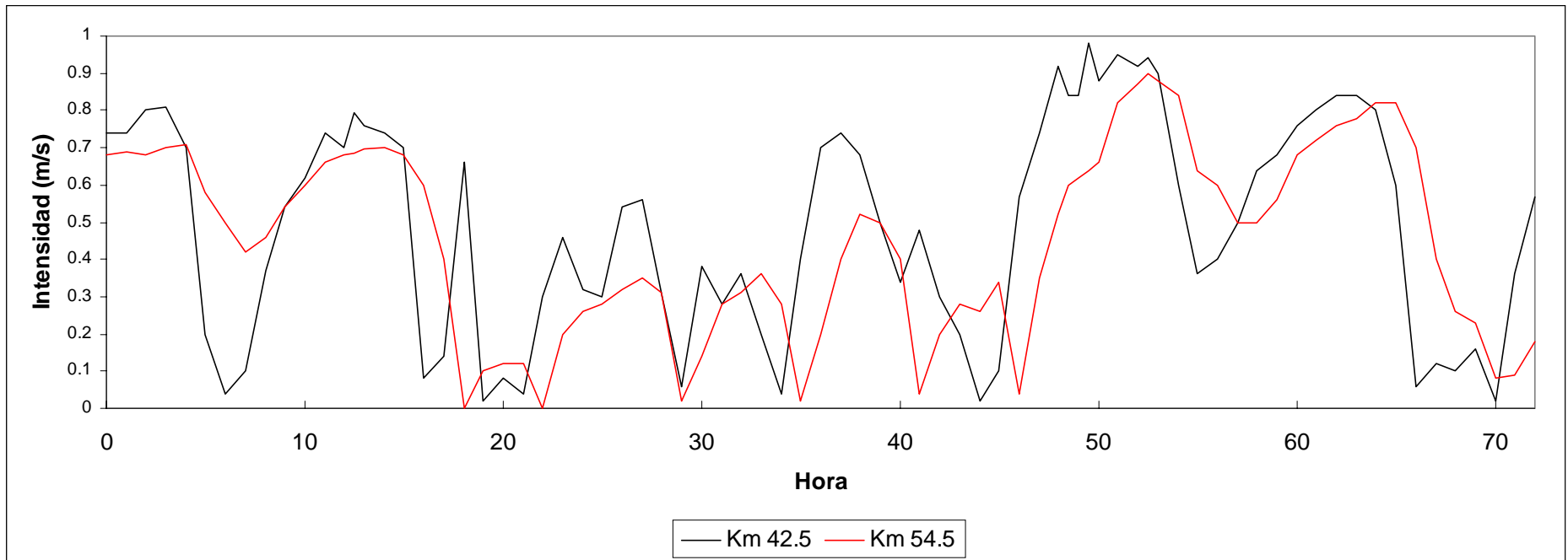


Figura 2.4a) Velocidad de corrientes en Canal Emilio Mitre. Origen de tiempo: 15/04/84 0 HS. Fuente: SIHN

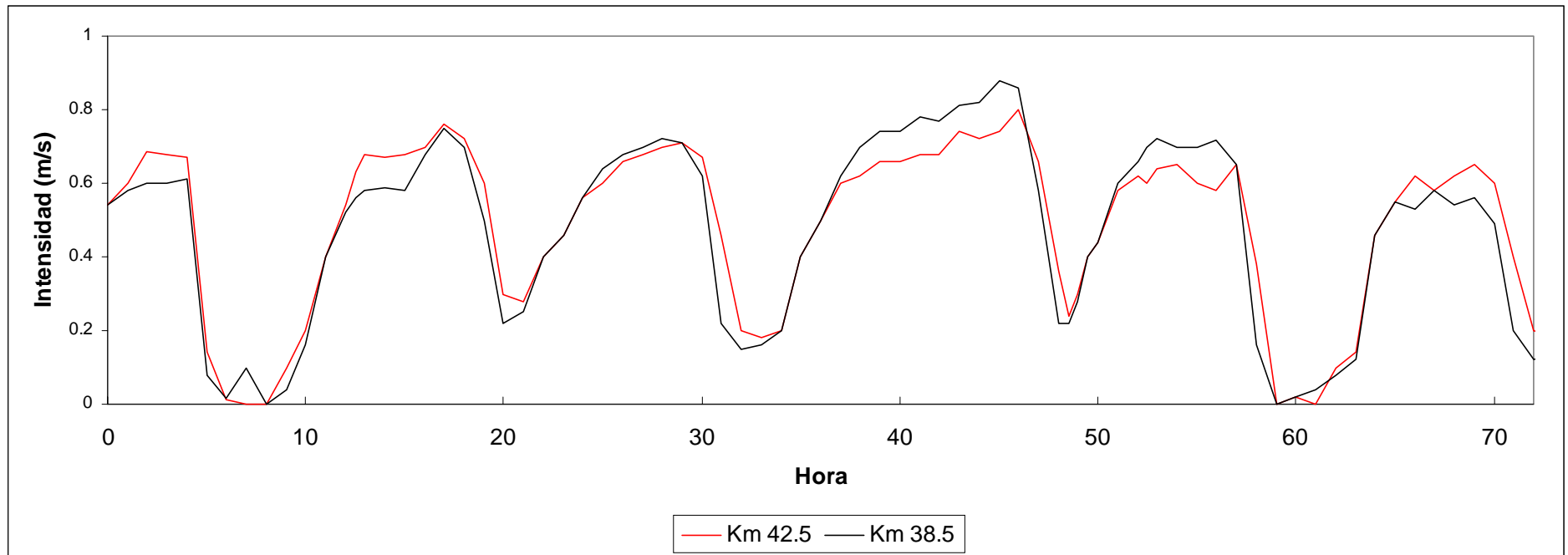


Figura 2.4c) Velocidad de corrientes en Canal Emilio Mitre. Origen de tiempo: 15/06/84 0 HS. Fuente: SIHN

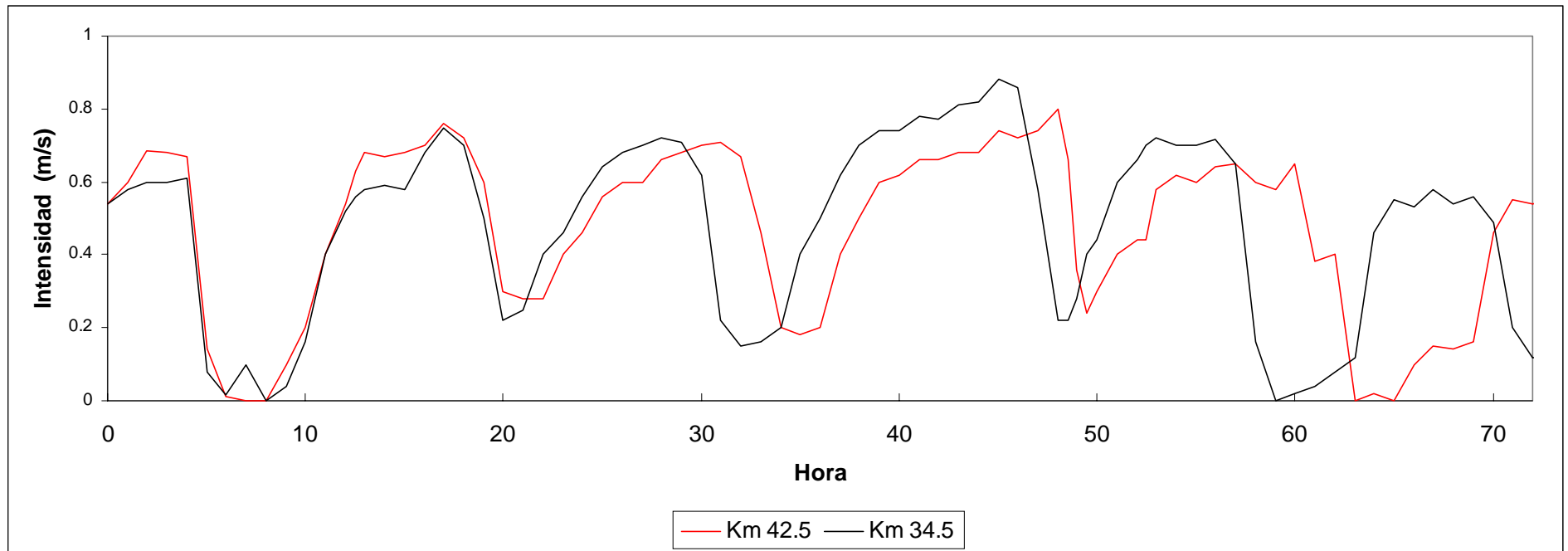


Figura 2.4c) Velocidad de corrientes en Canal Emilio Mitre. Origen de tiempo: 15/06/84 0 HS. Fuente: SIHN

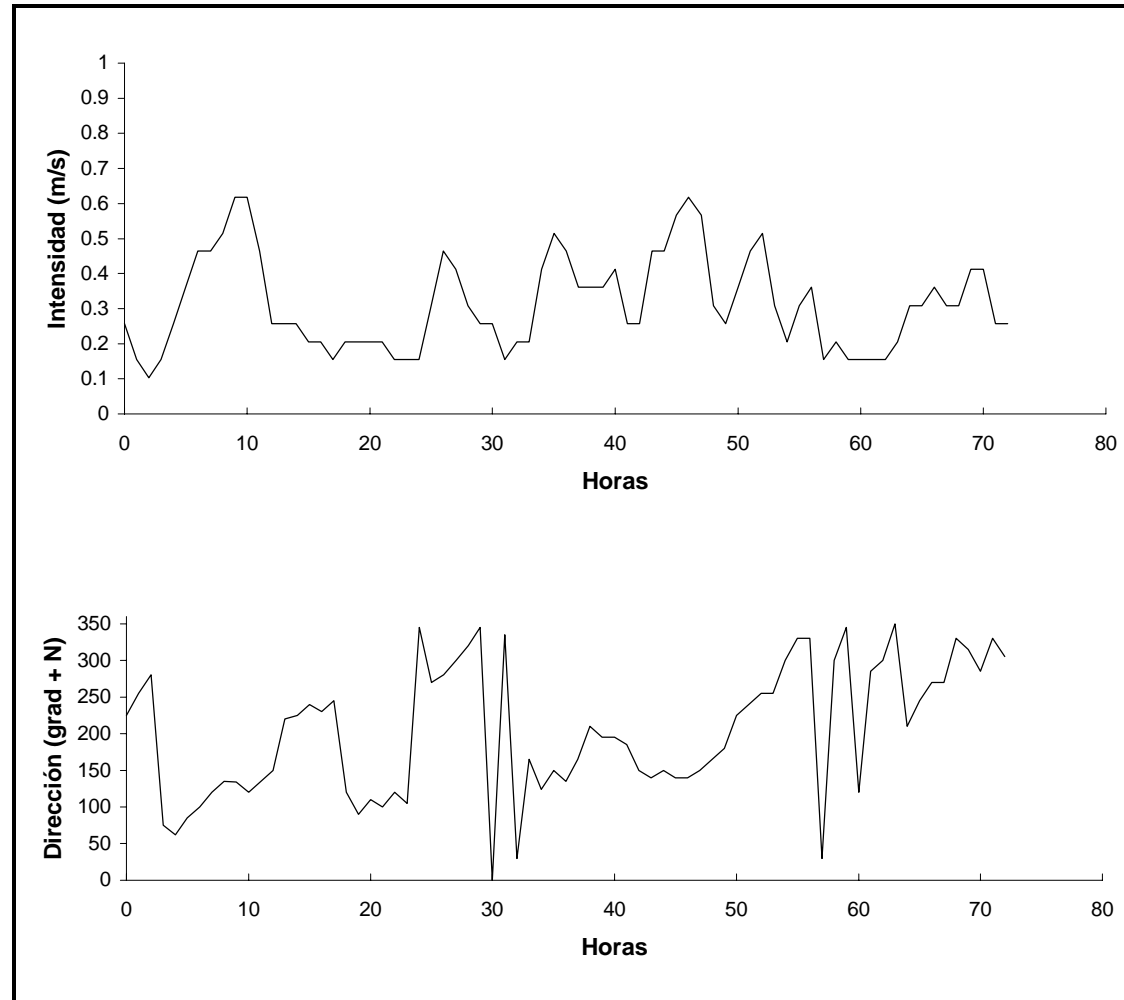


Figura 2.5a) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 16/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

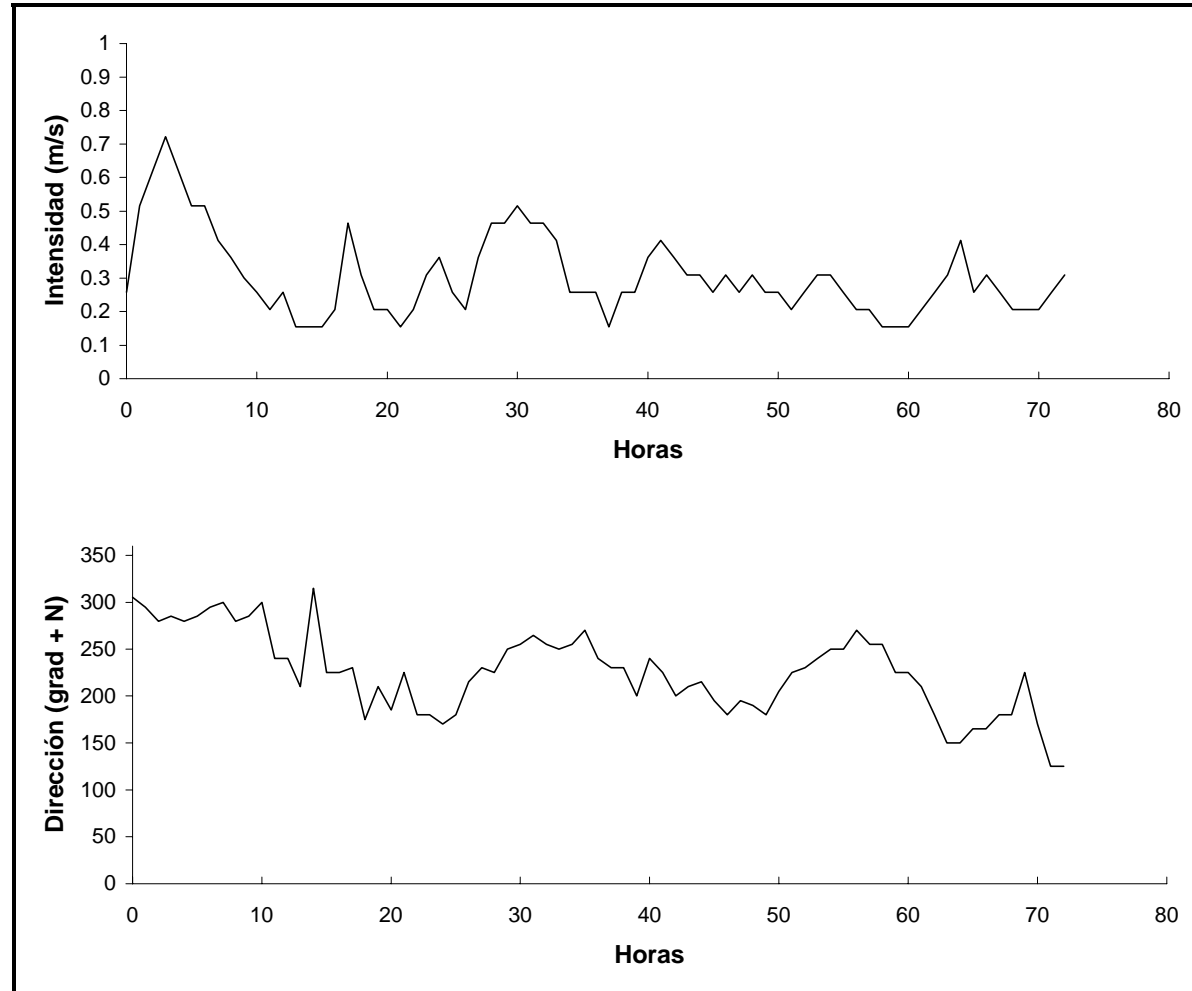


Figura 2.5b) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 19/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

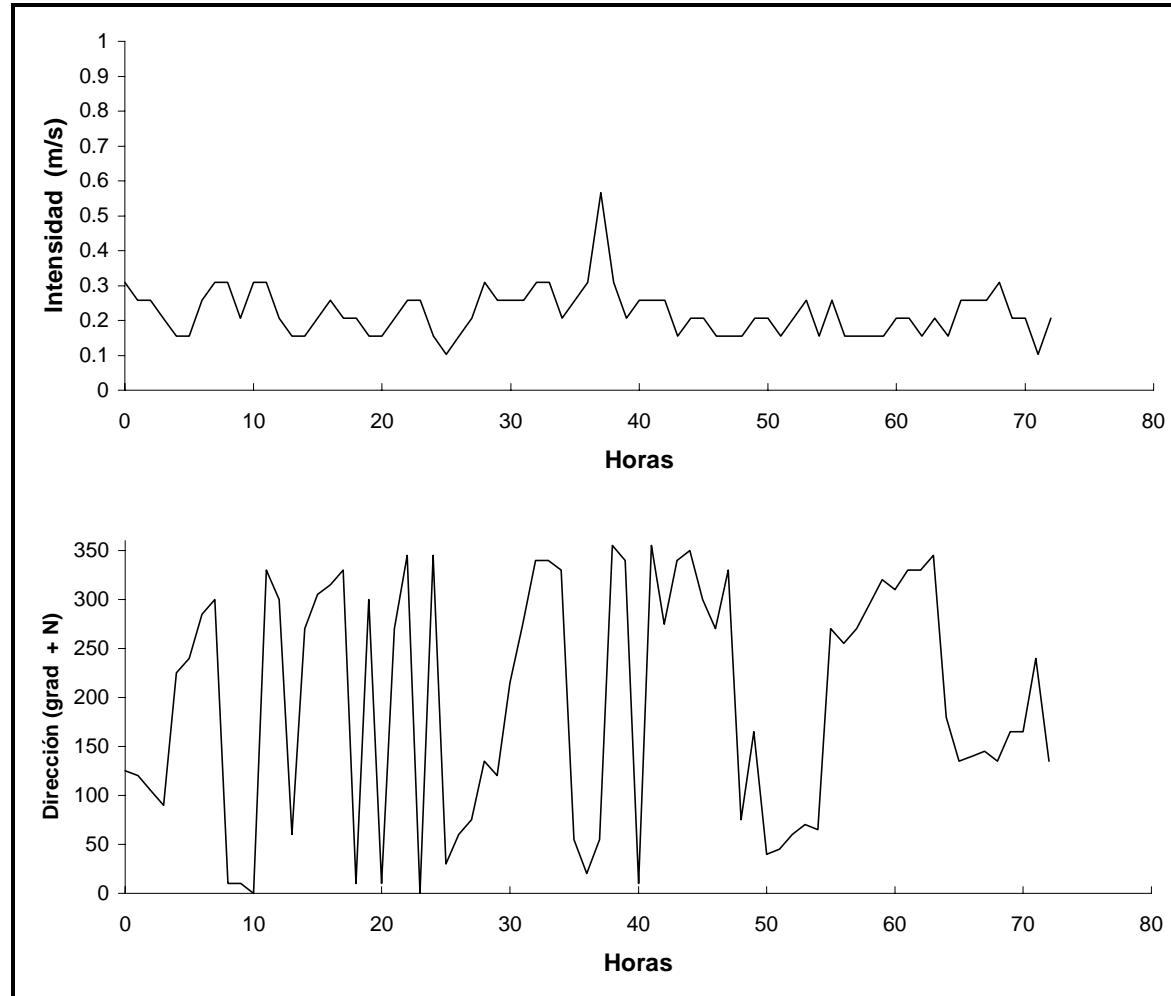


Figura 2.5c) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 22/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

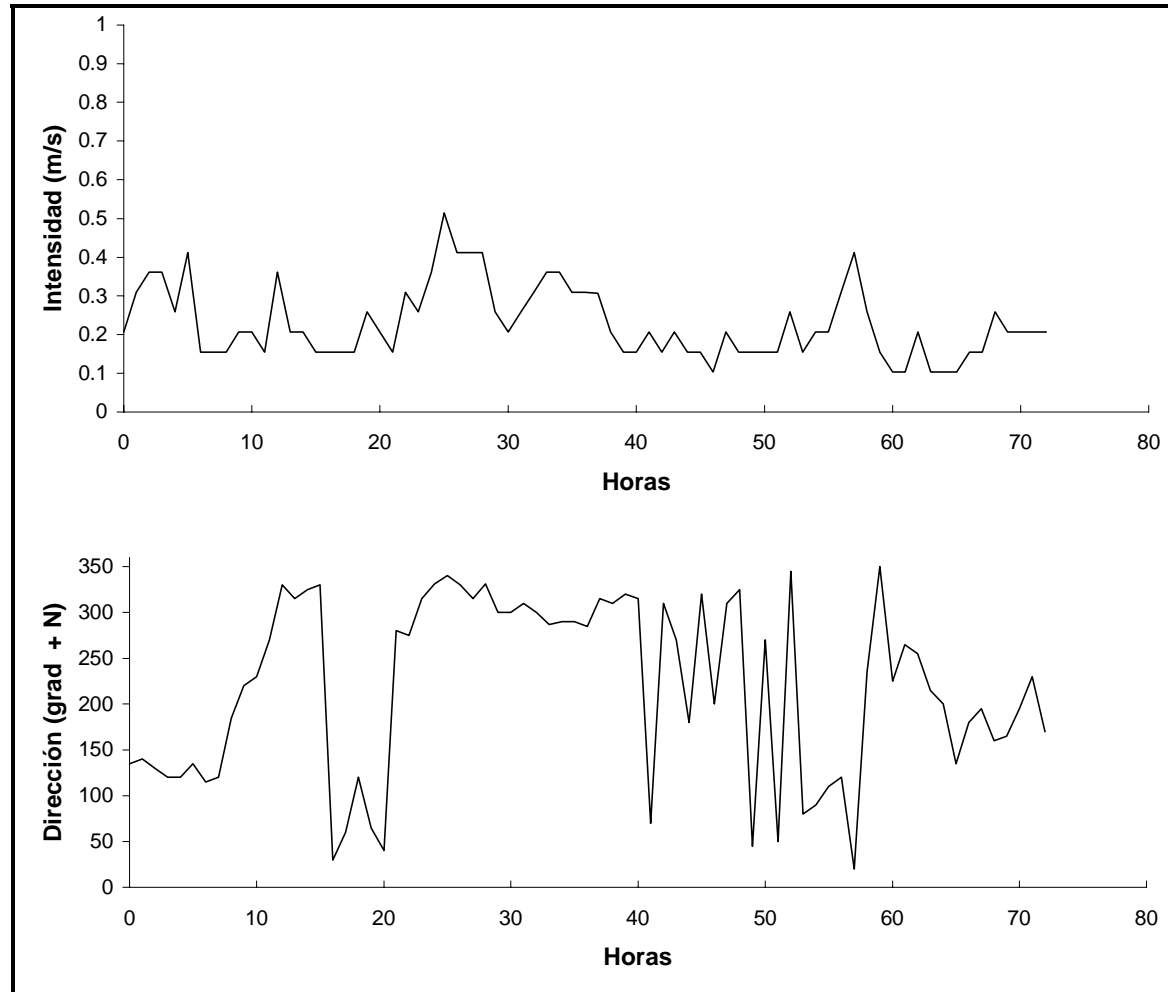


Figura 2.5d) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 25/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

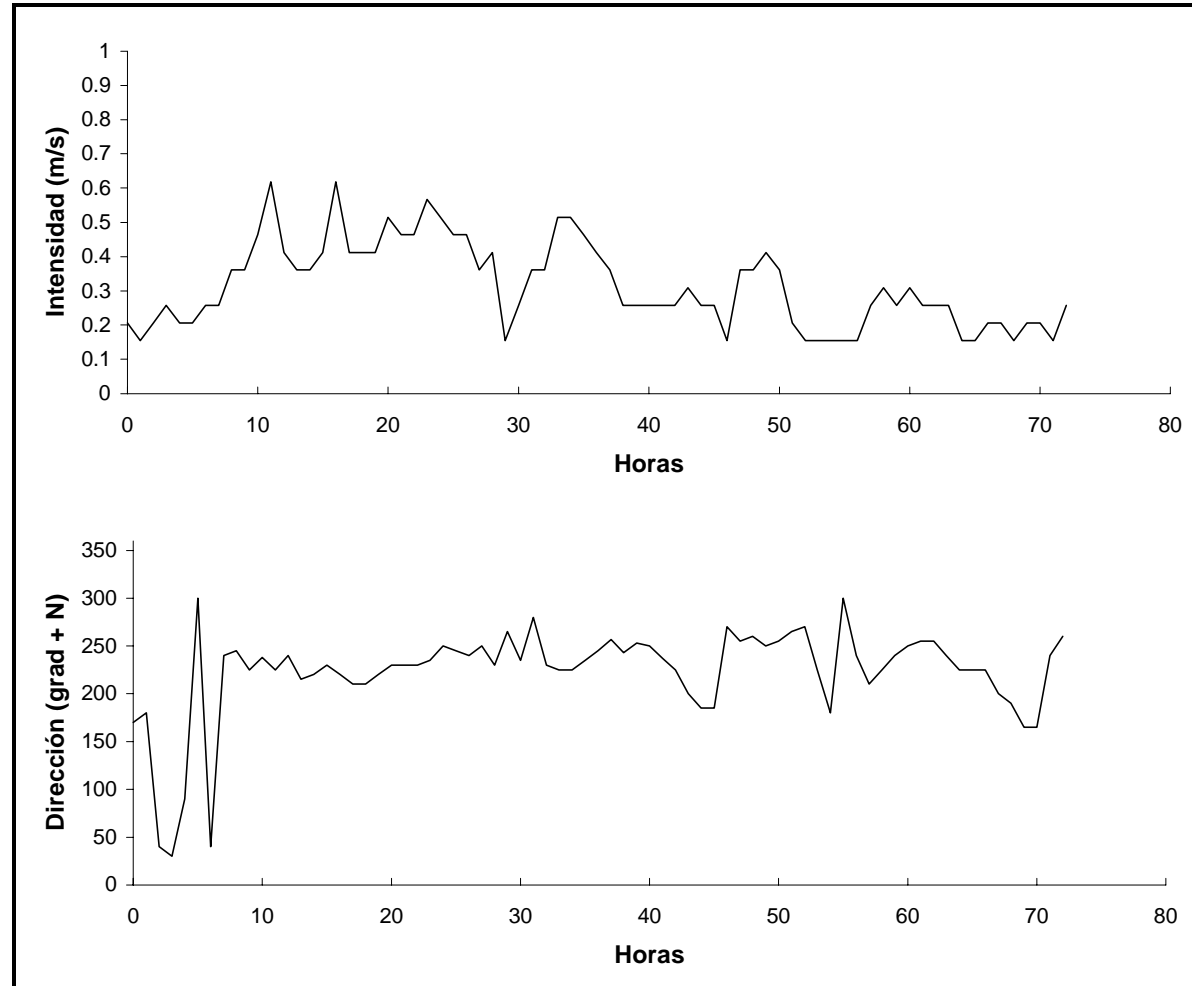


Figura 2.5e) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 28/11/89 12 HS. Fuente: SIHN

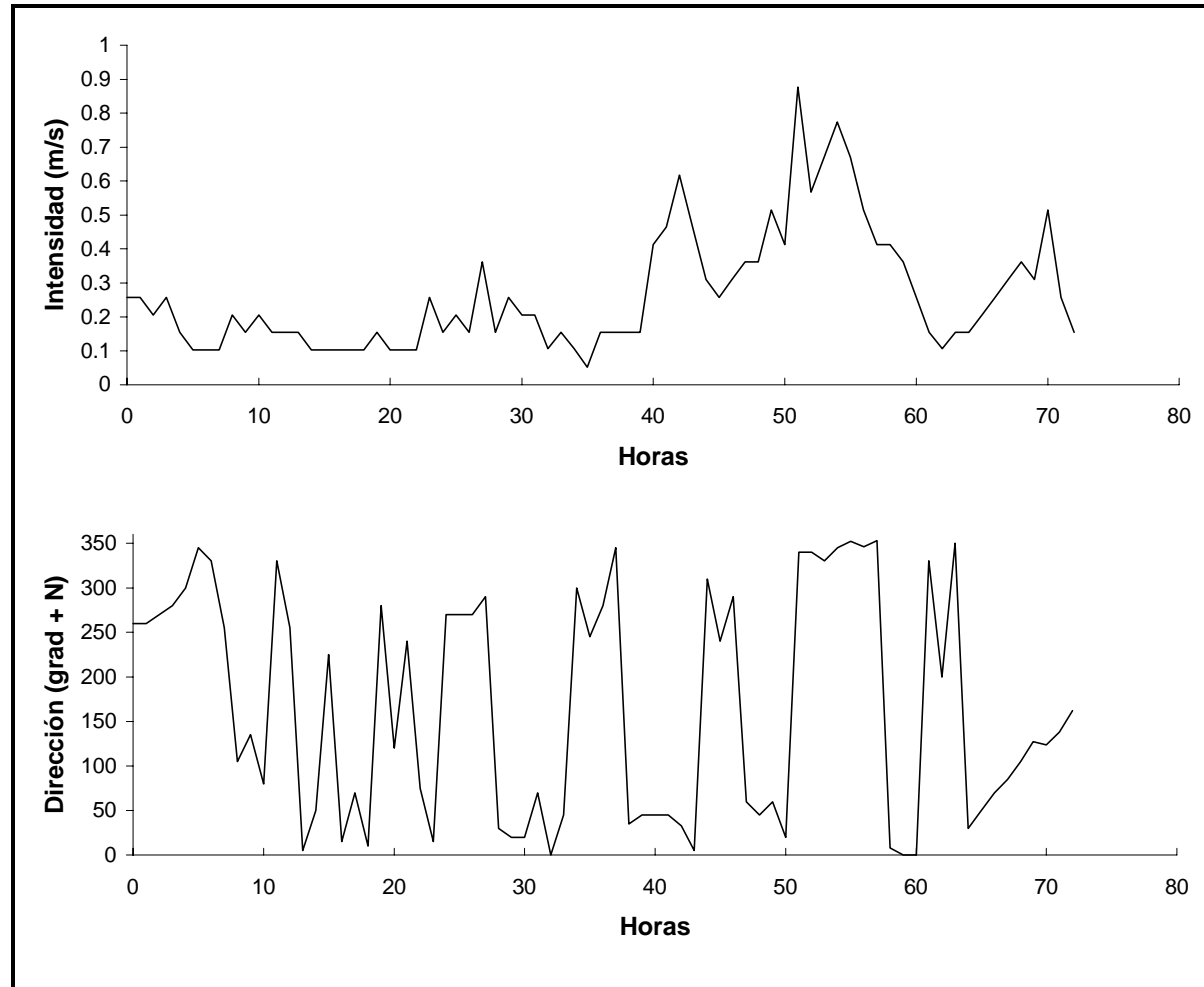


Figura 2.5f) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 01/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

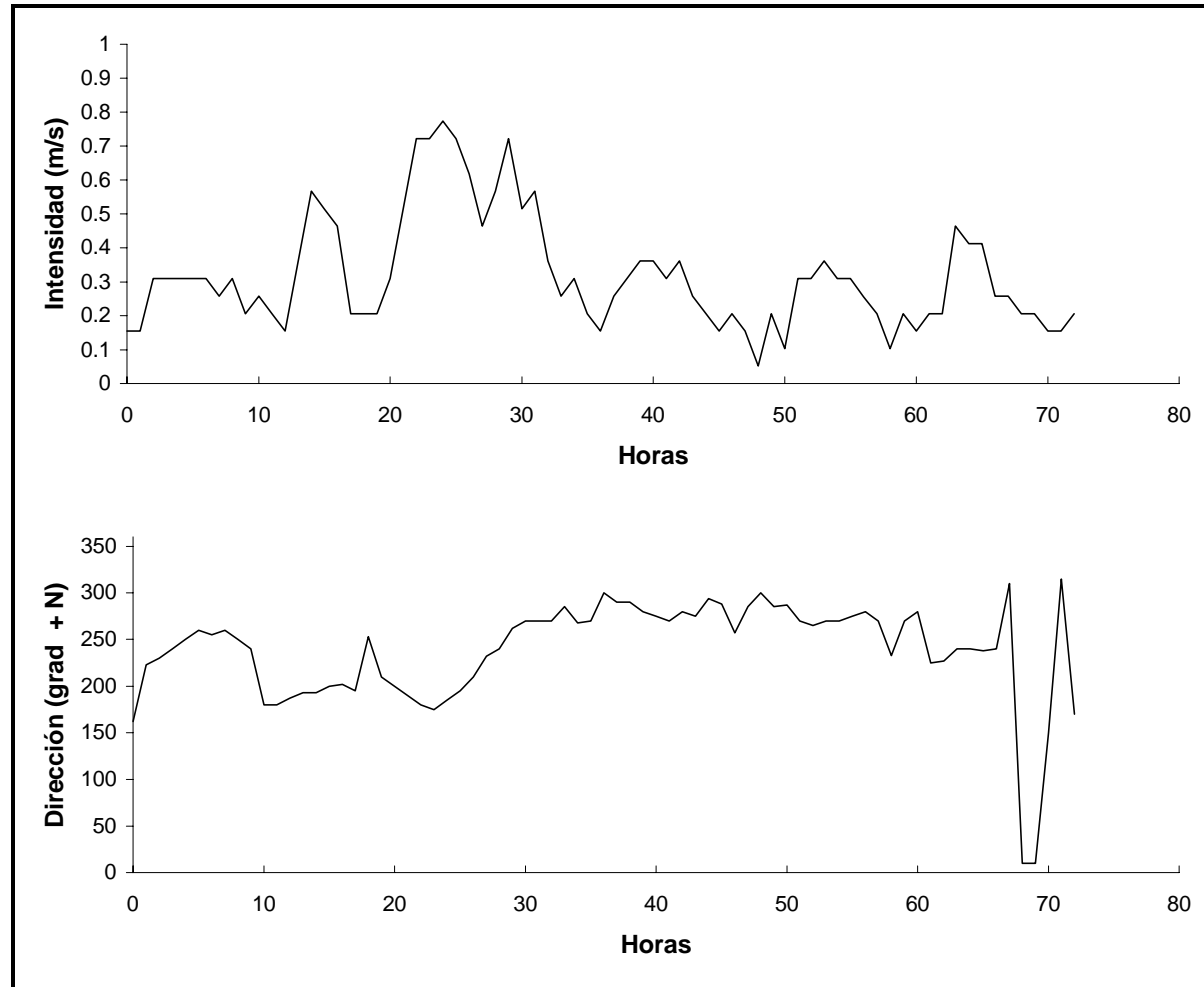


Figura 2.5g) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 04/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

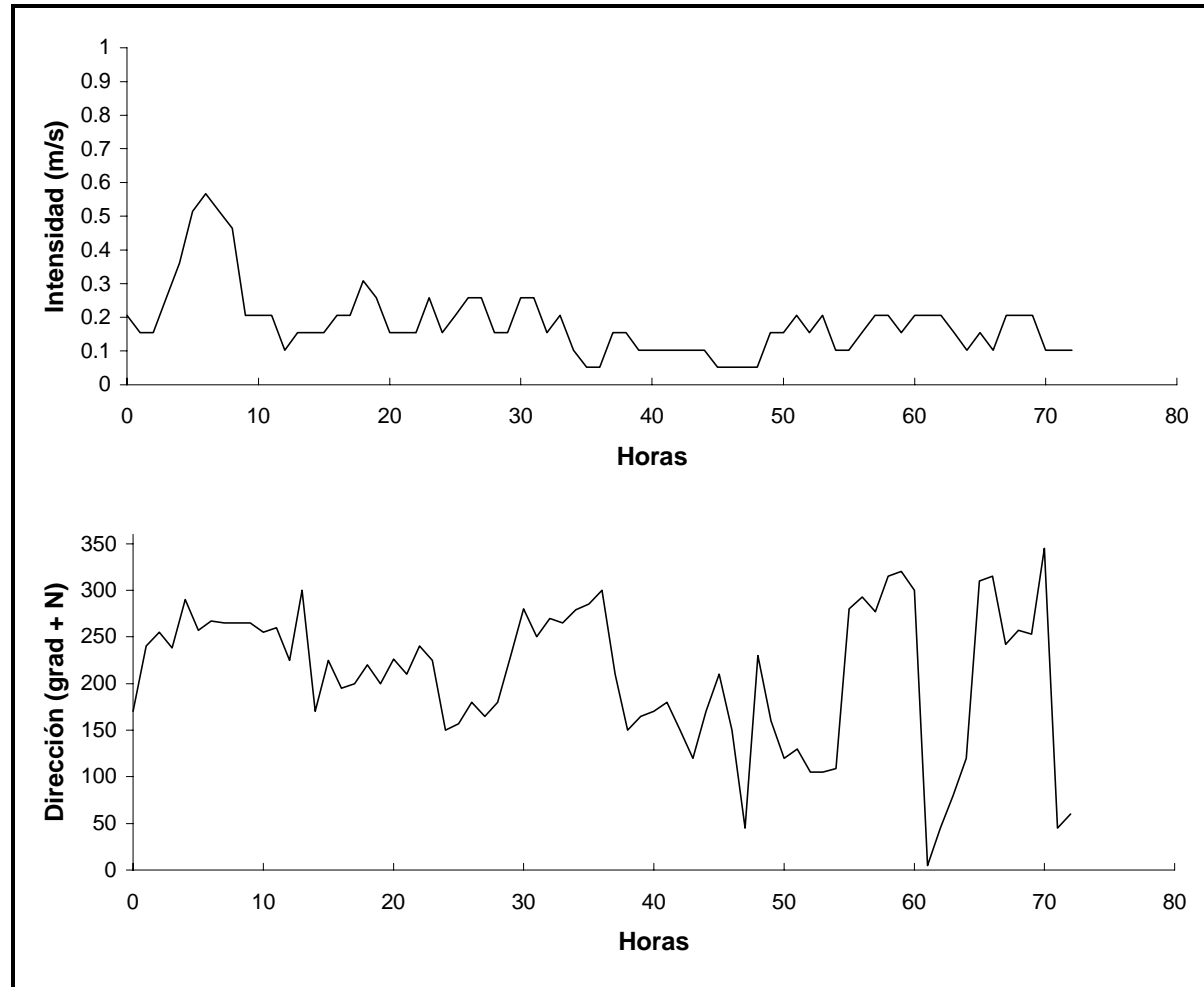


Figura 2.5h) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 07/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

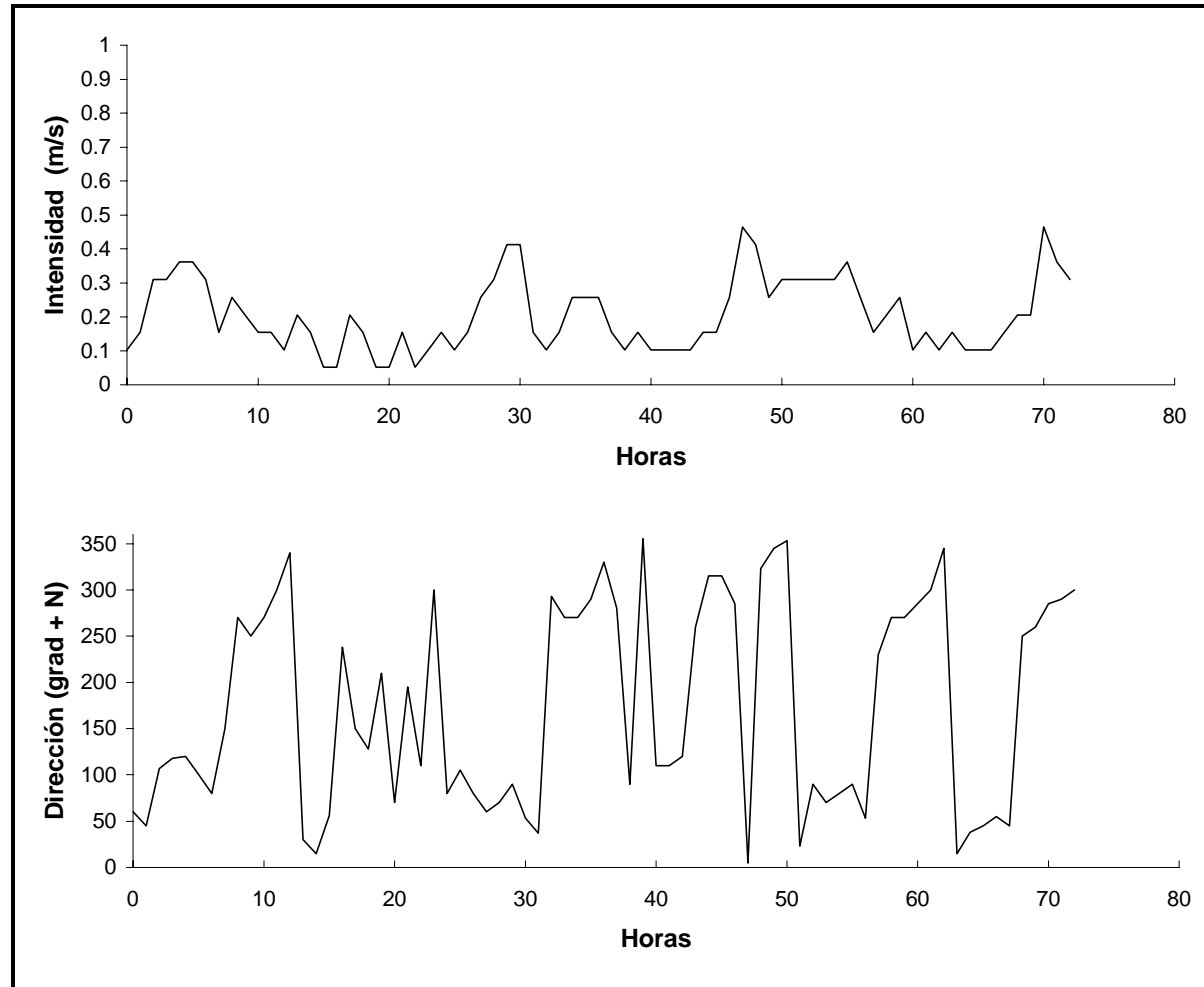


Figura 2.5i) Velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo: 10/12/89 12 HS. Fuente: SIHN

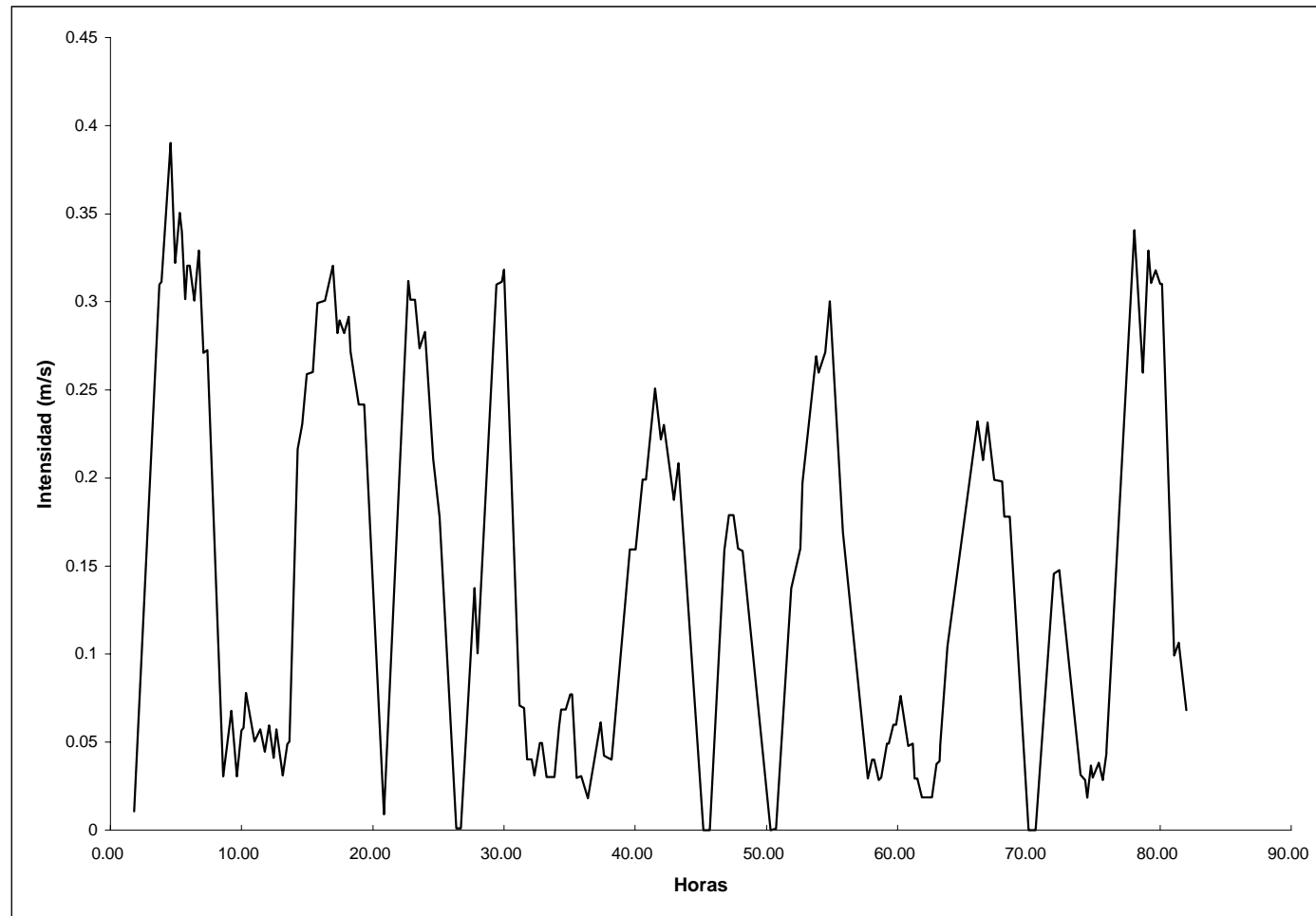


Figura 2.6 Velocidad de corrientes en Bernal. Origen de tiempo: 04/04/87 0 HS. Fuente: INA

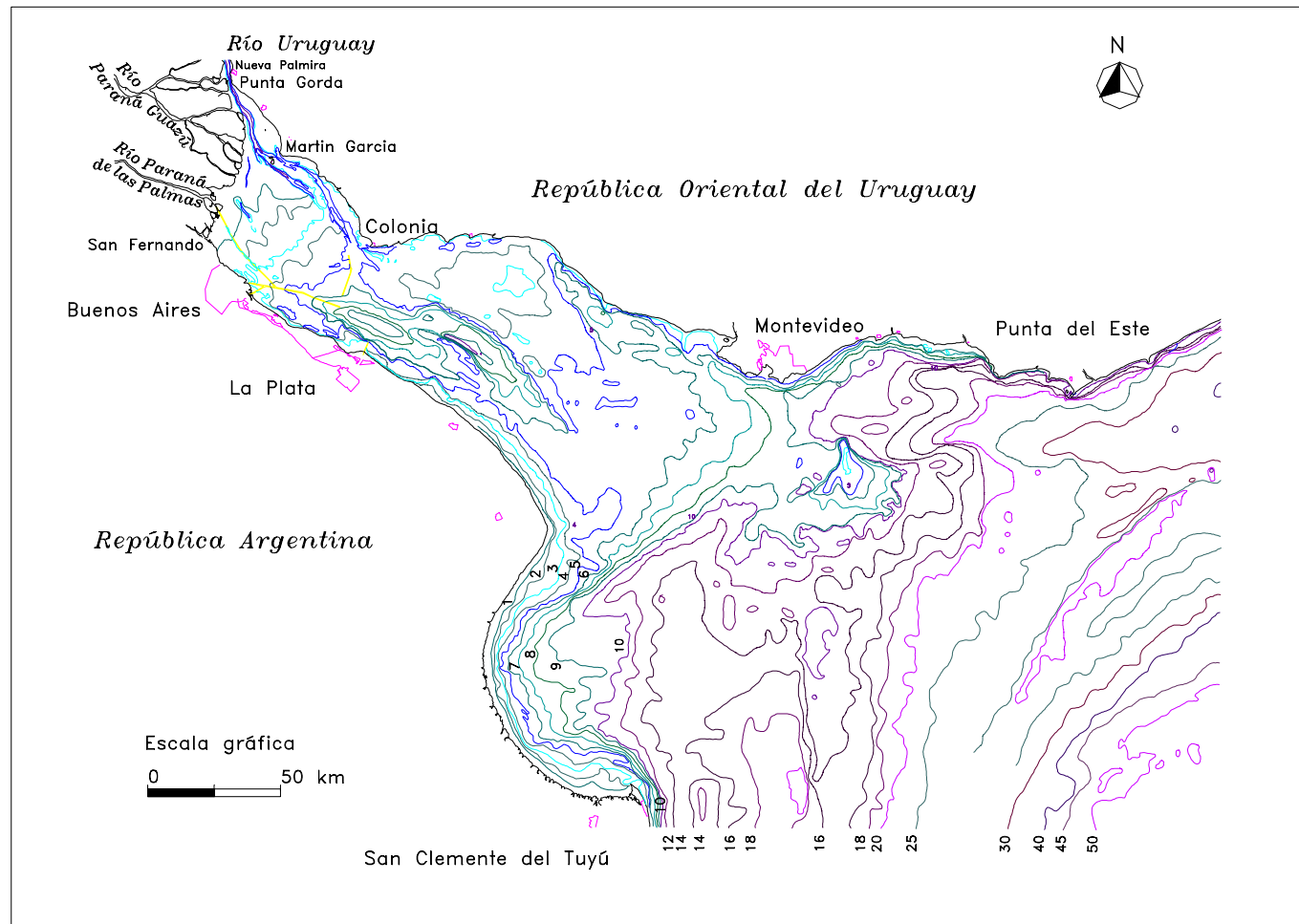


Figura 3.1 Río de la Plata - Curvas de nivel

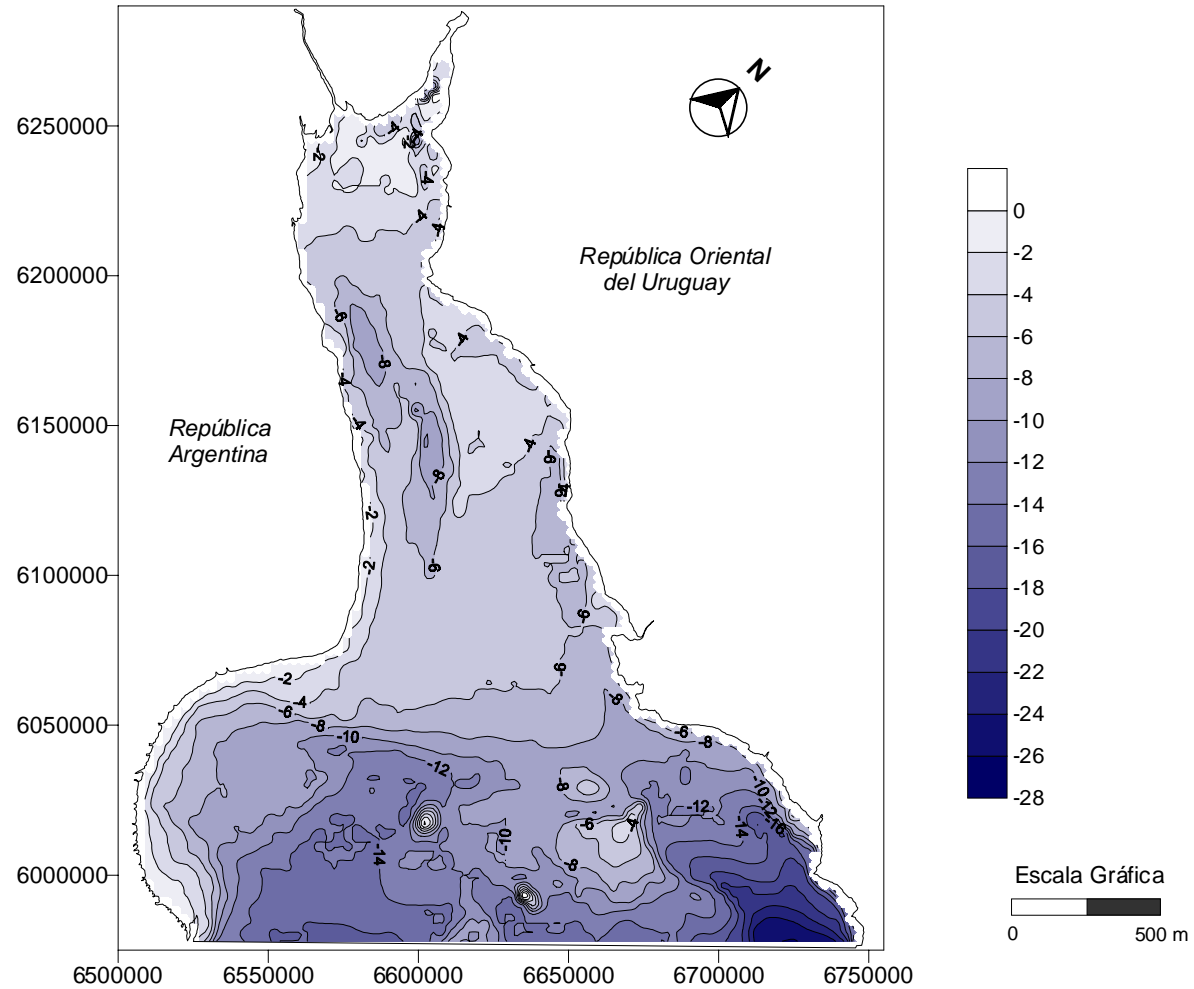


Figura 3.2 Batimetría del Río de la Plata

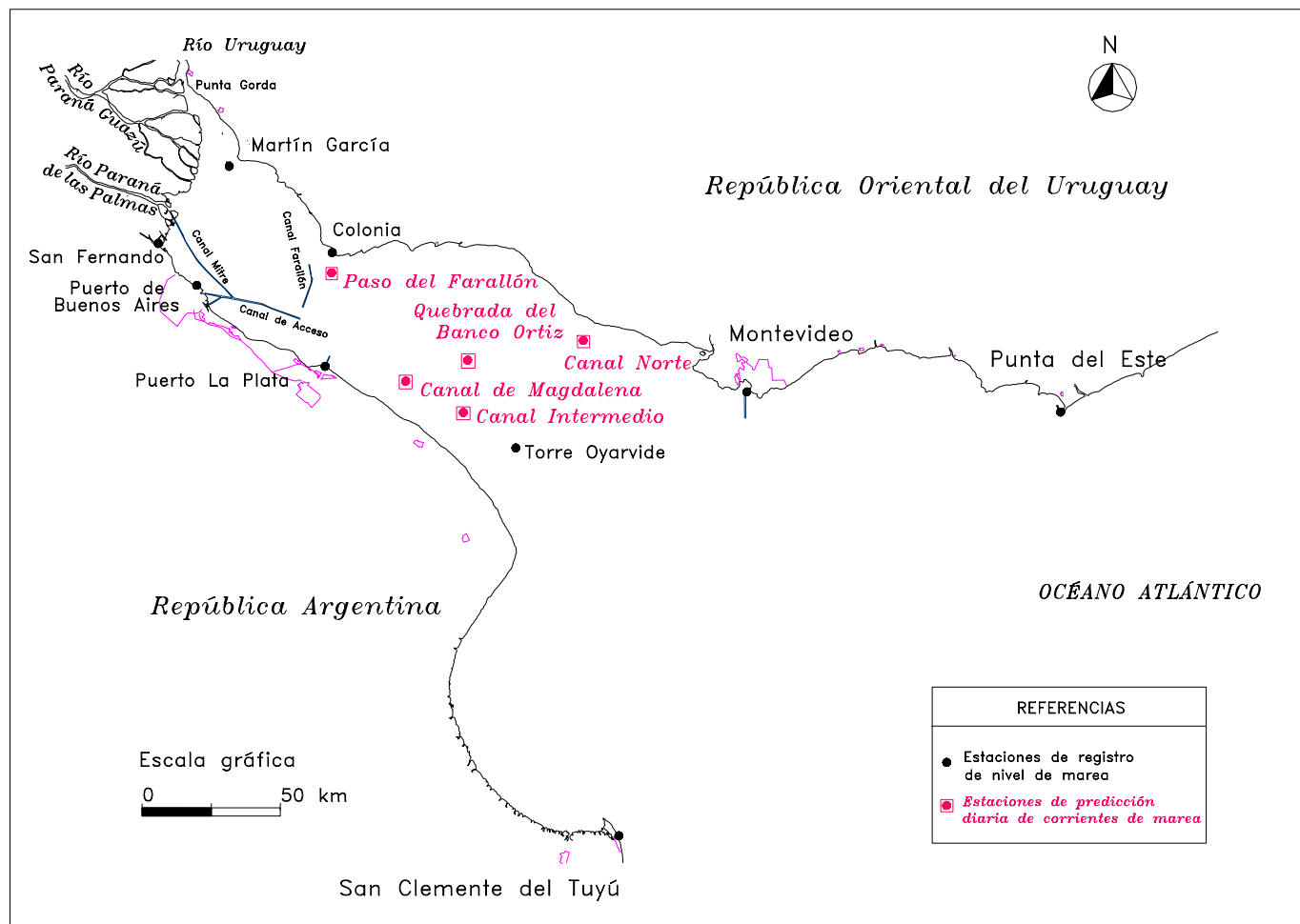


Figura 3.3 Estaciones de predicción de niveles y corrientes de marea

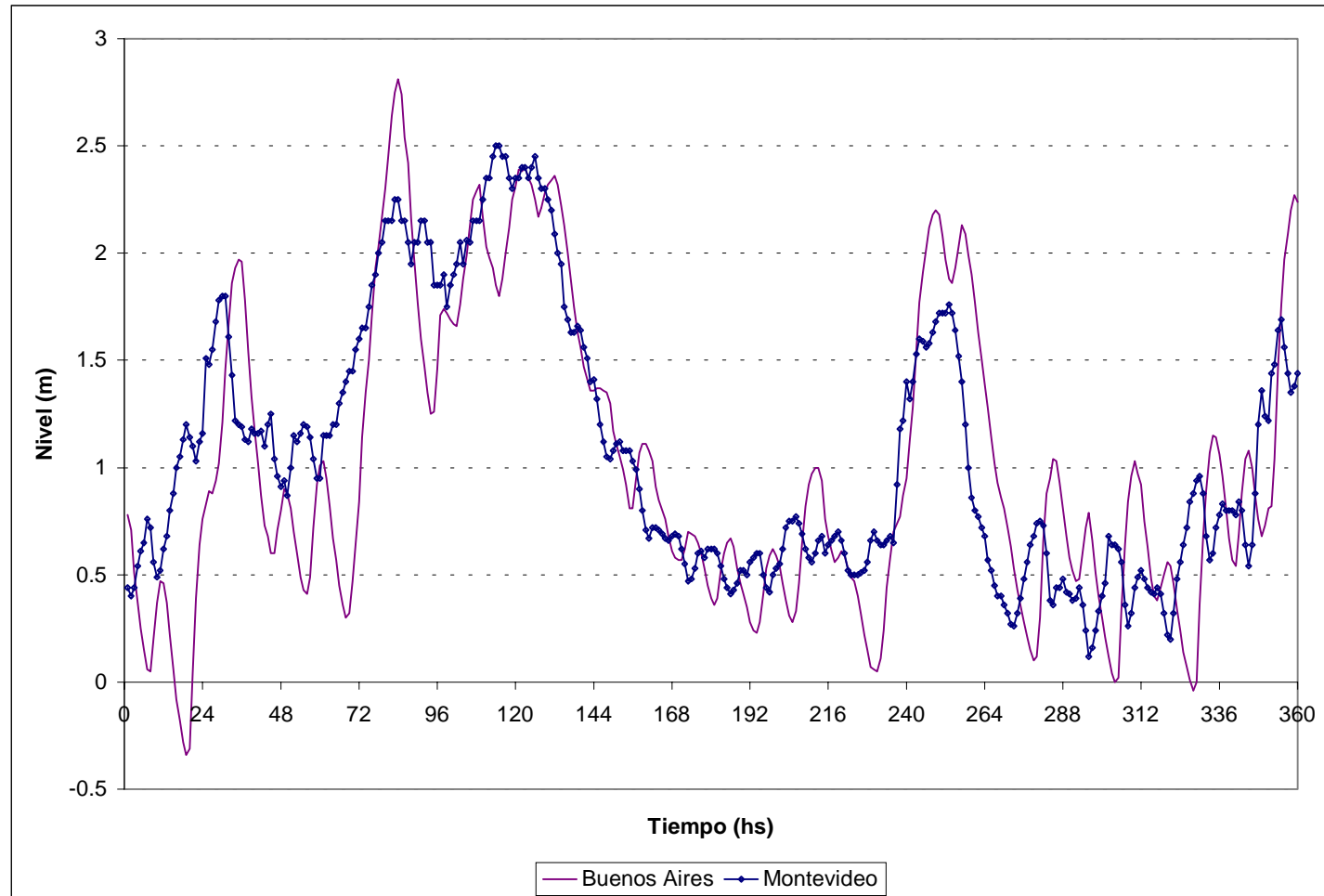


Figura 3.4a) Niveles registrados en el período 5-18 de marzo de 1987

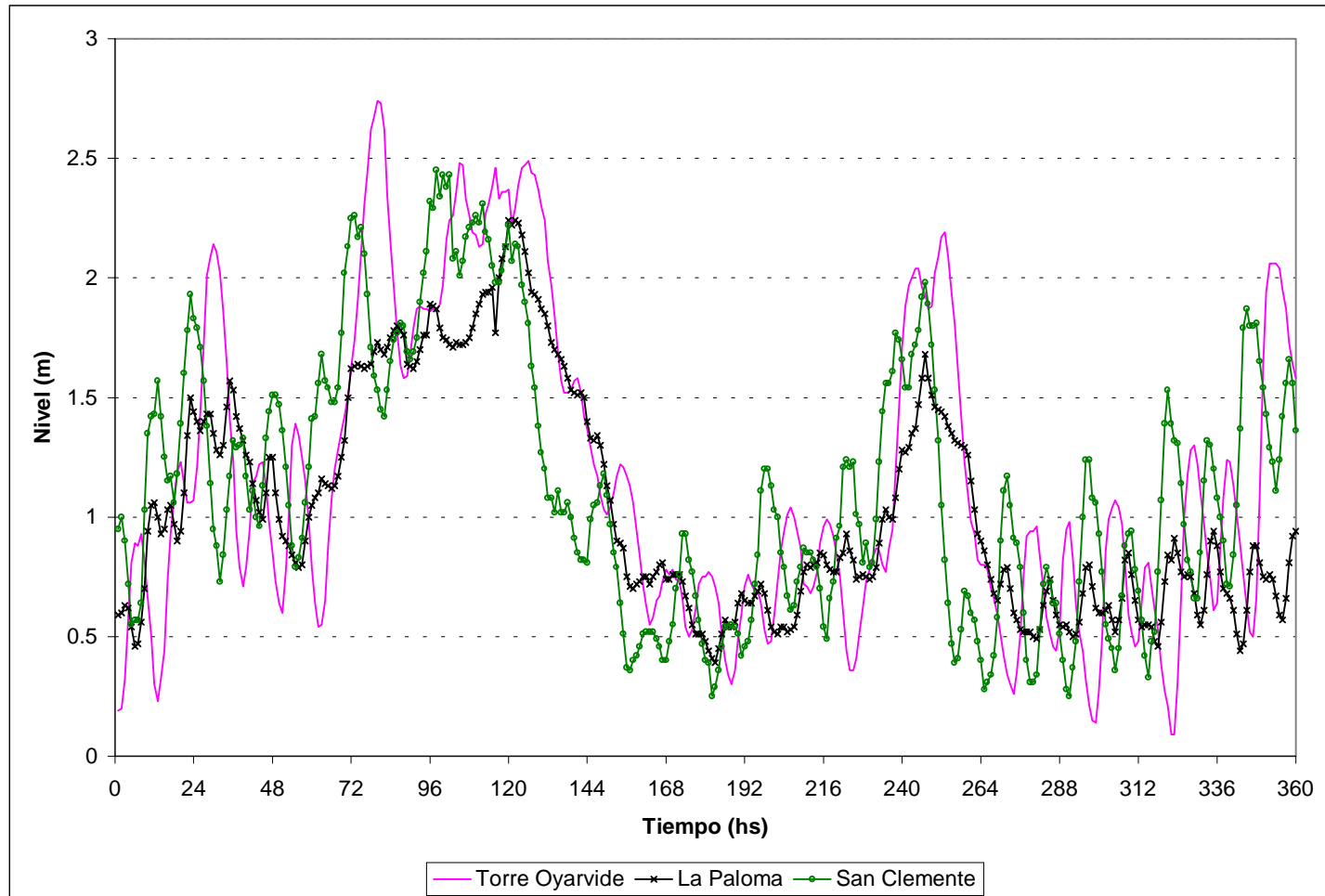


Figura 3.4b) Niveles registrados en el período 5-18 de marzo de 1987

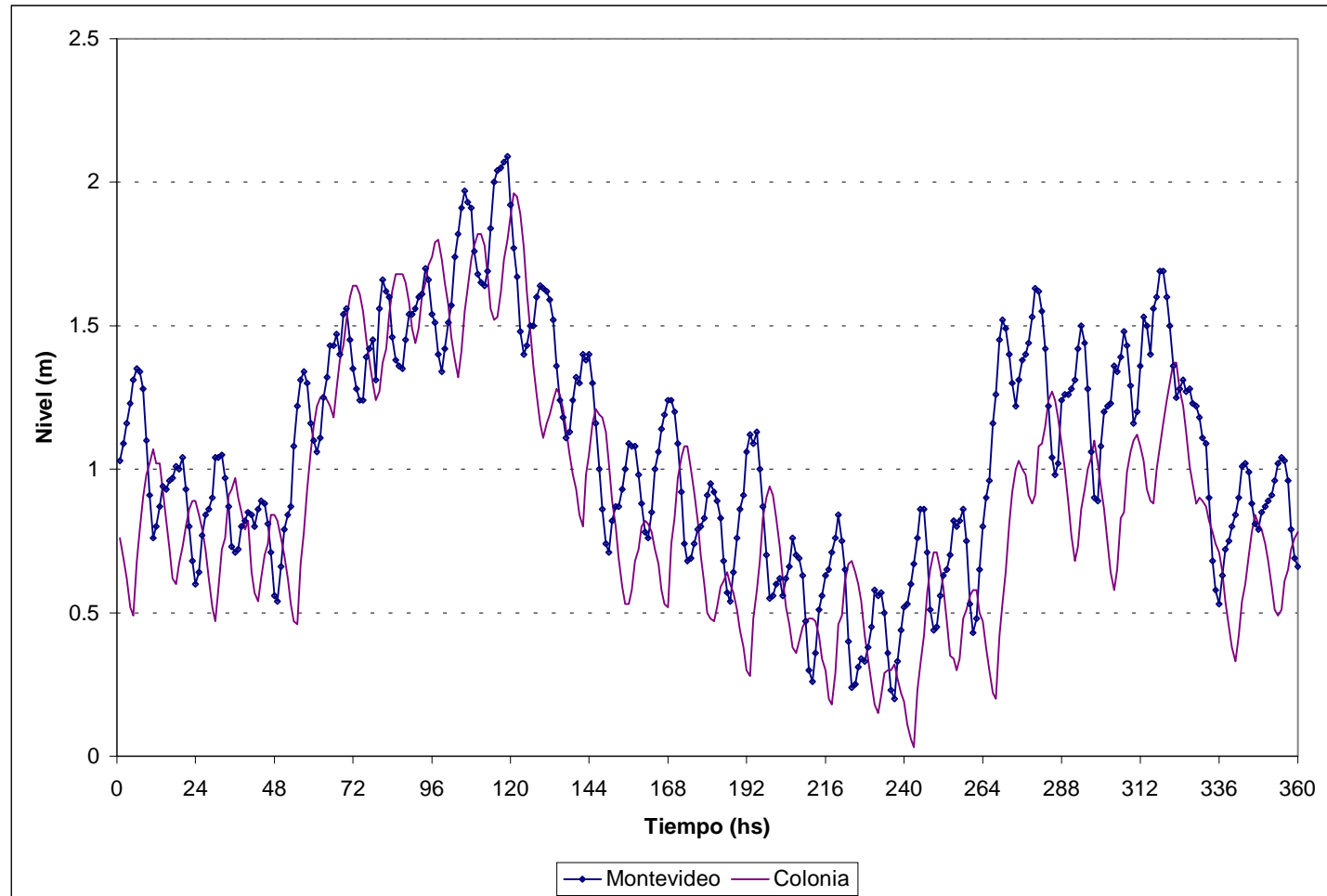


Figura 3.5a) Niveles registrados en el período 12-25 de agosto de 1986

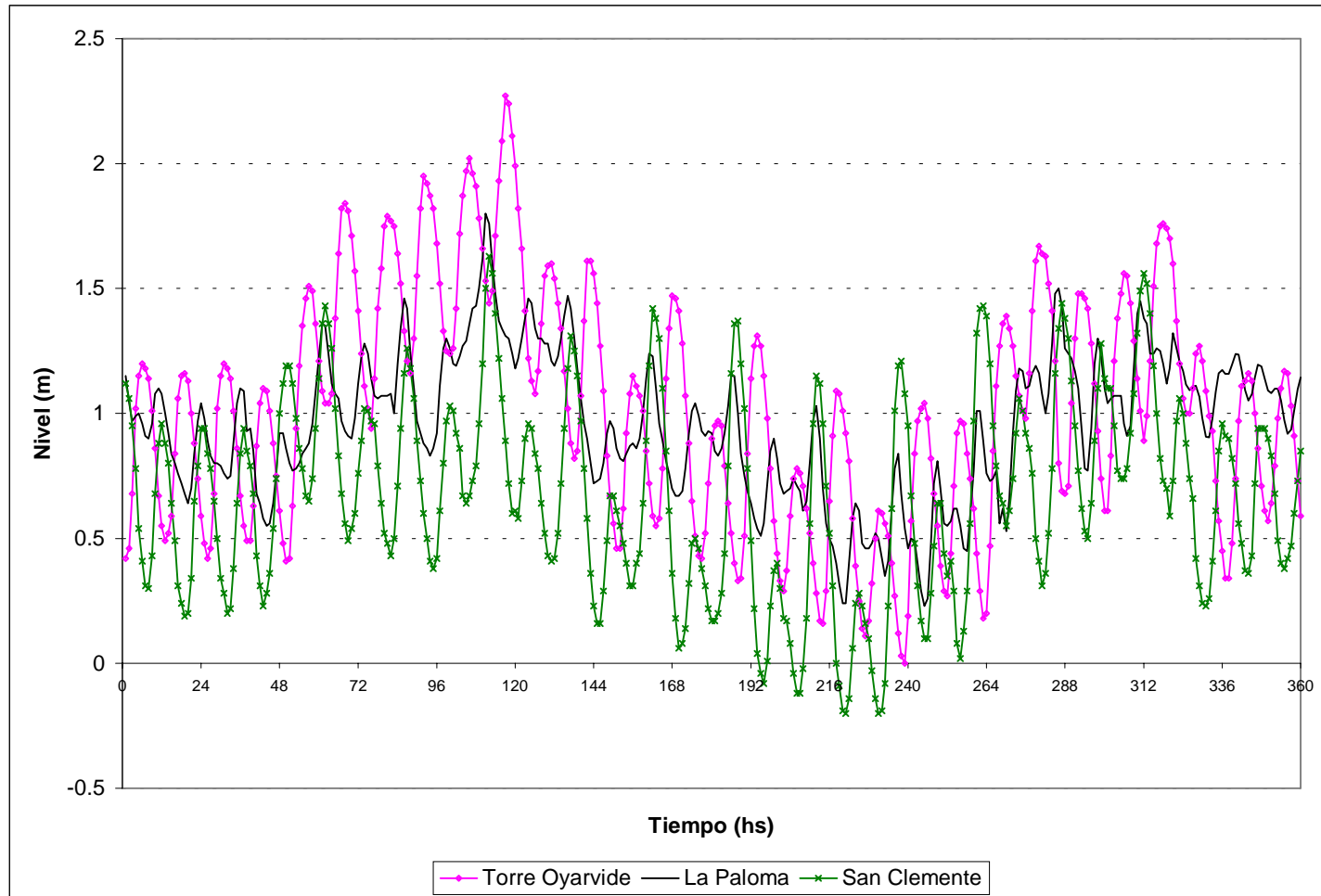


Figura 3.5b) Niveles registrados en el período 12-25 de agosto de 1986

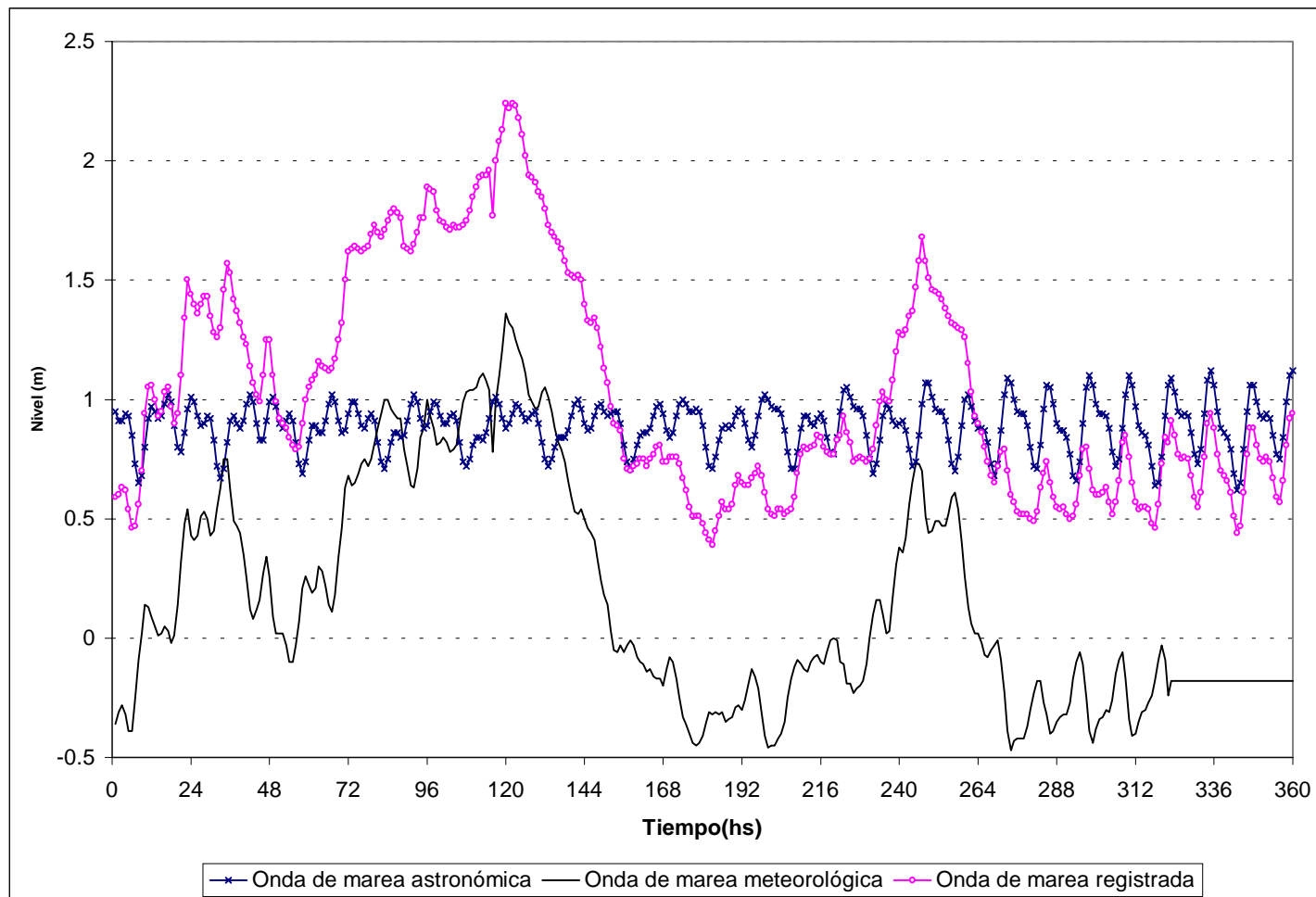


Figura 3.6a) Niveles de marea en La Paloma para el período 5-18 de marzo de 1987

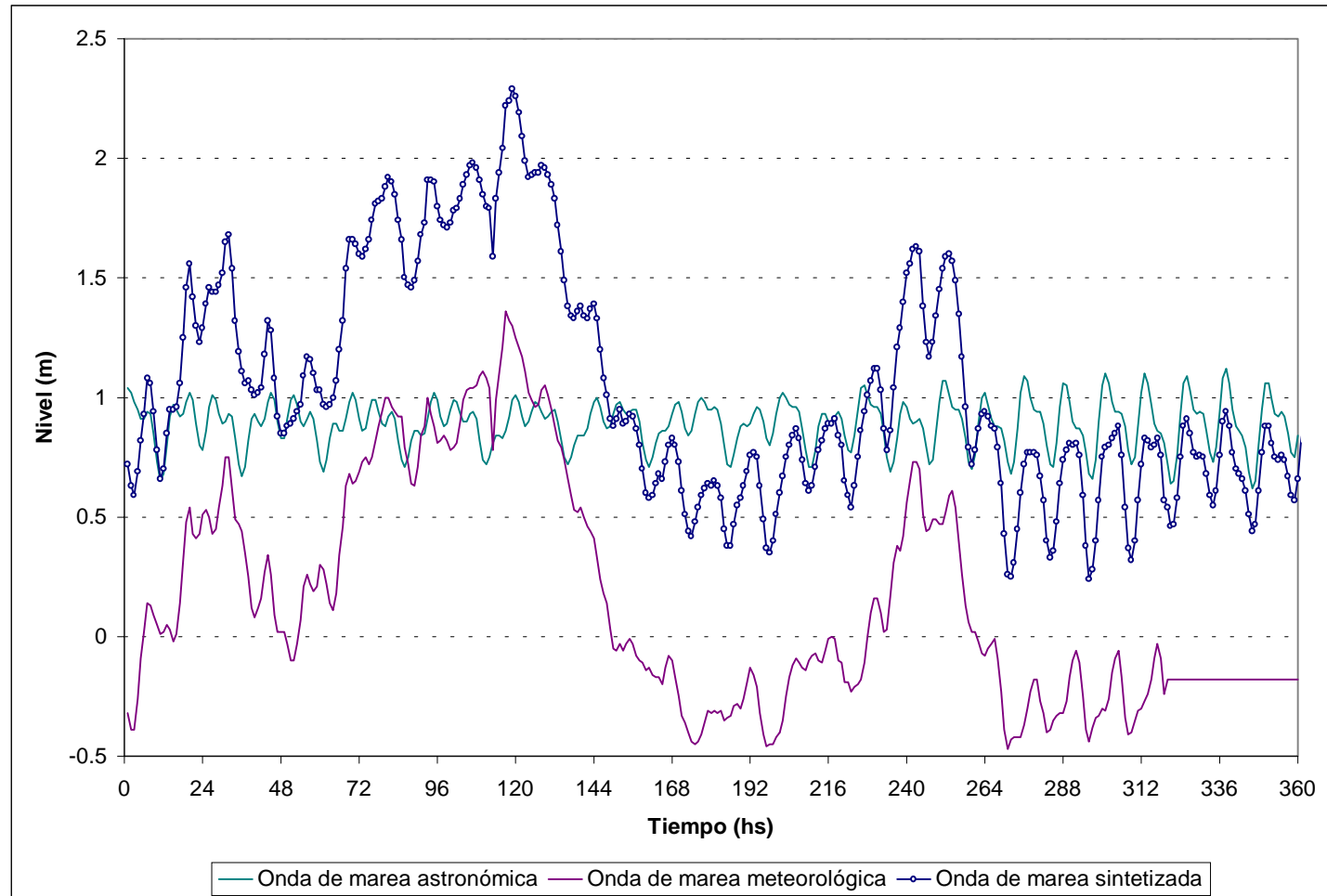


Figura 3.6b) Niveles de marea en Punta del Este para el período 5-18 de marzo de 1987

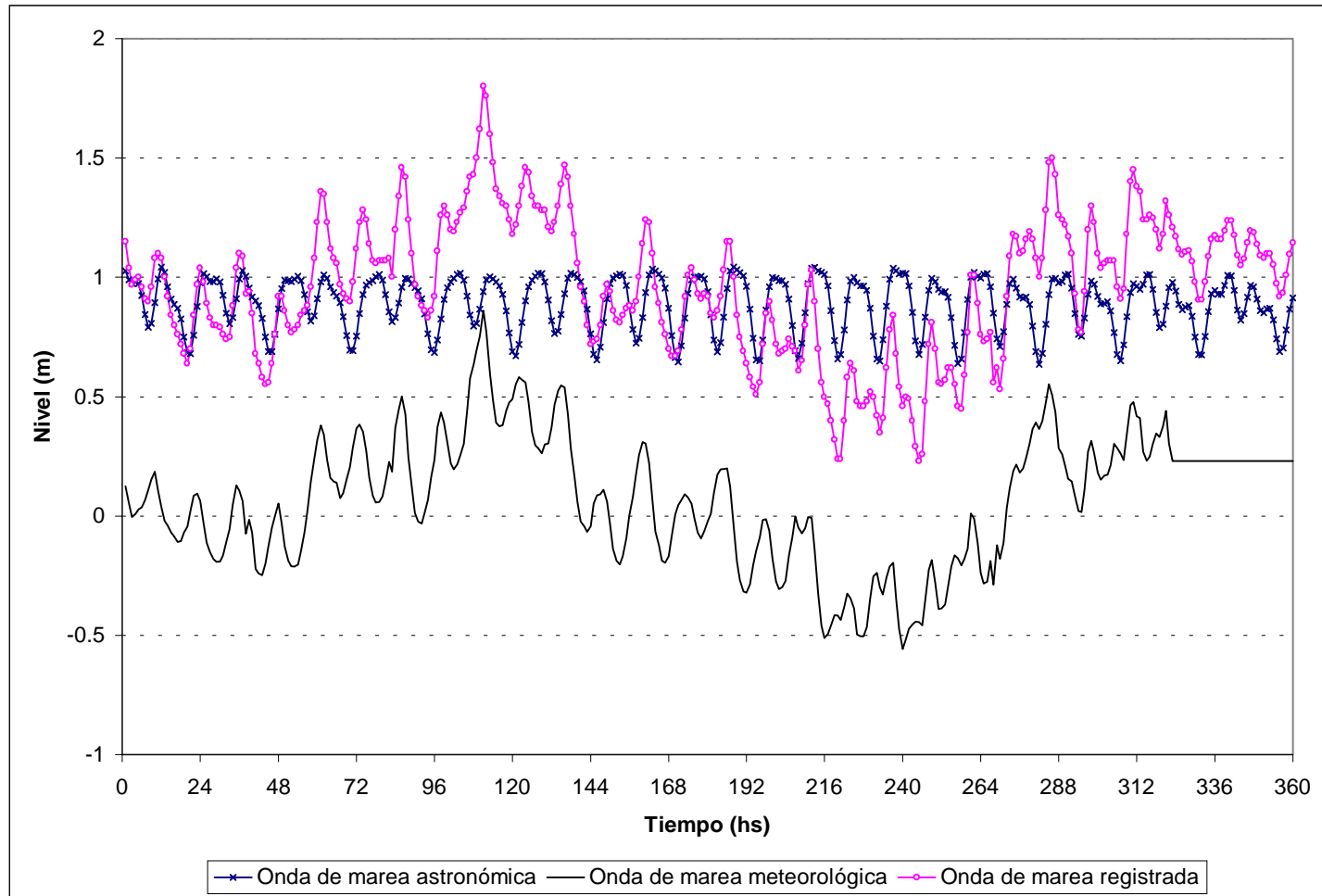


Figura 3.6c) Niveles de marea en La Paloma para el período 12-25 de agosto de 1986

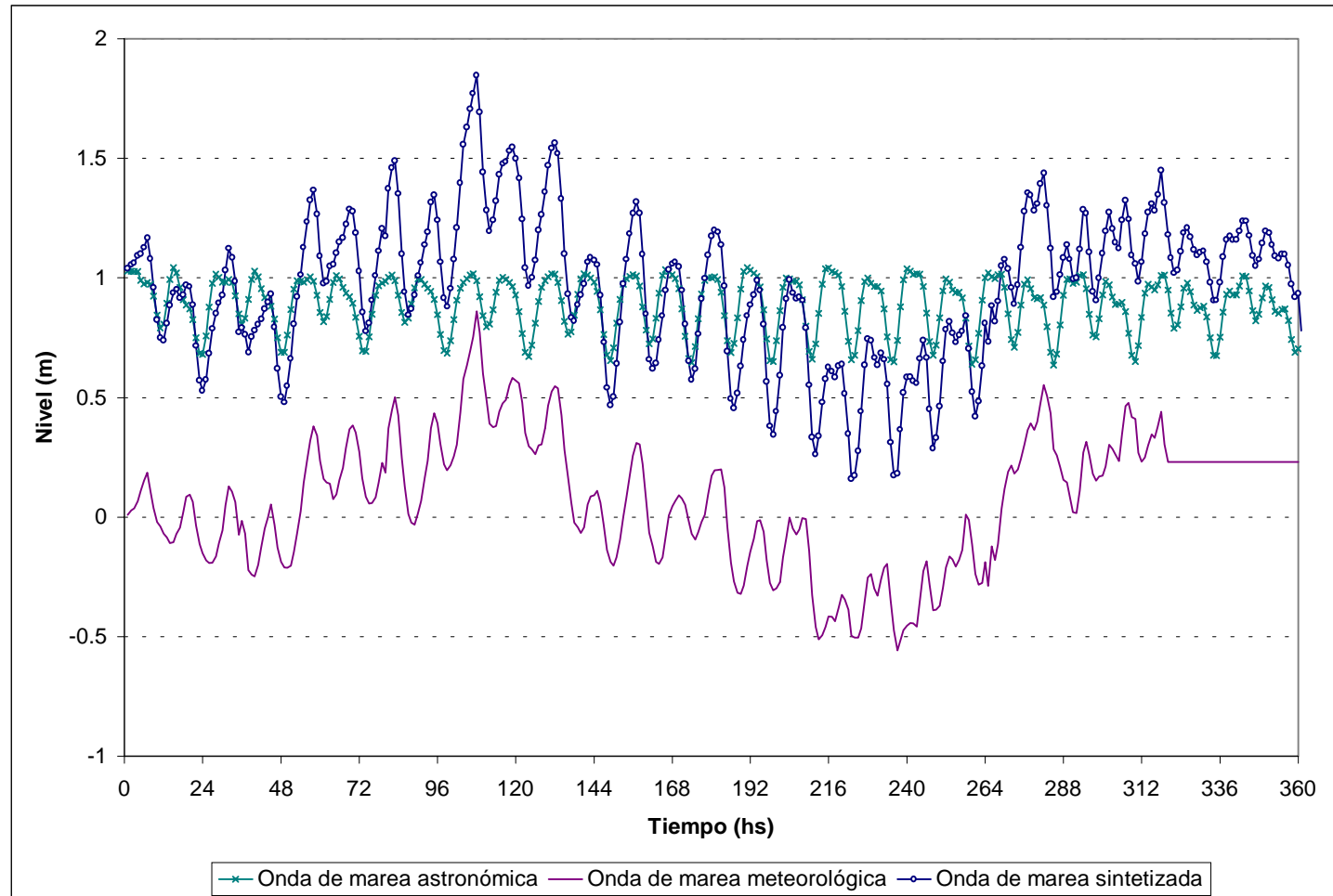


Figura 3.6d) Niveles de marea en Punta del Este para el período 12-25 de agosto de 1986

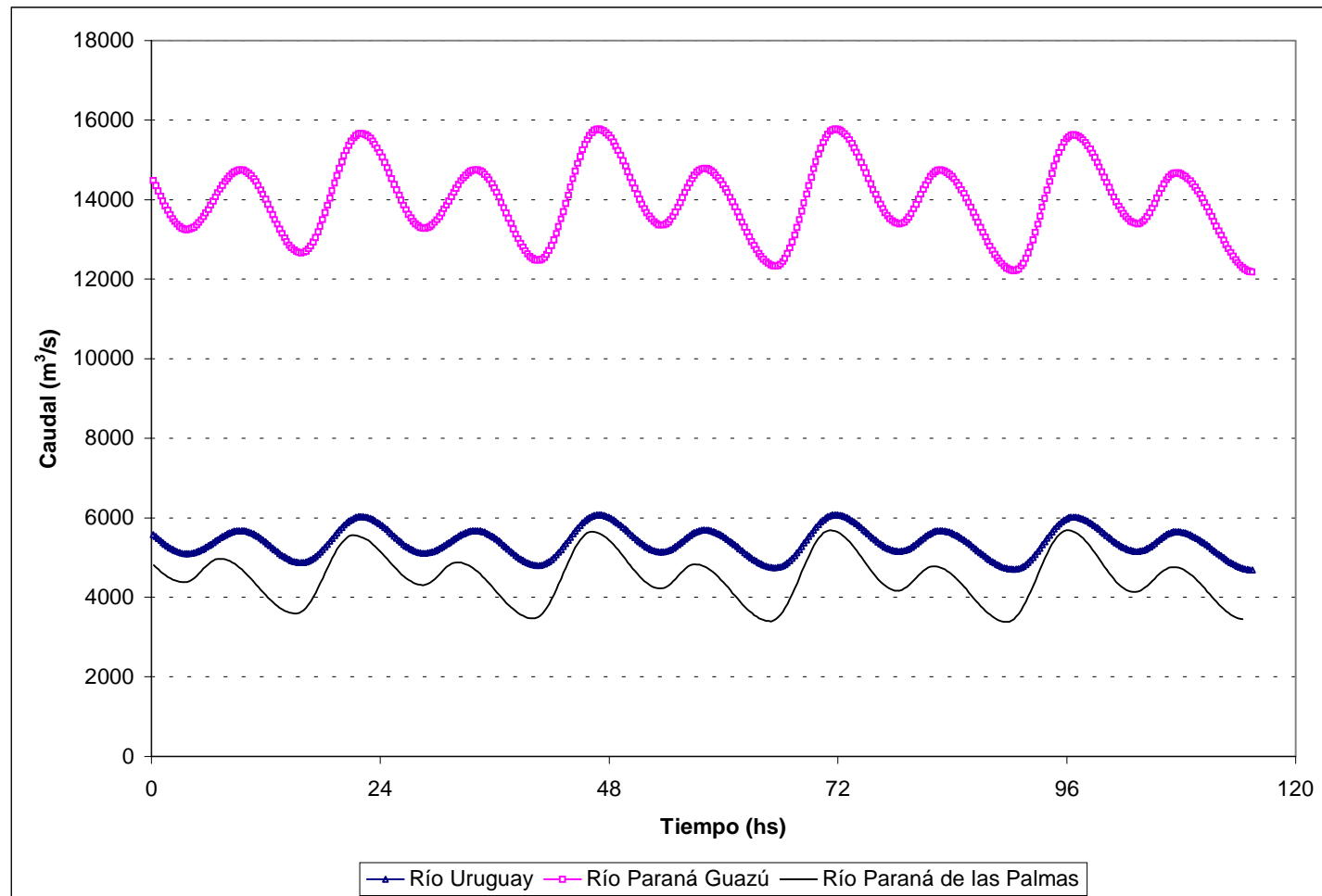


Figura 3.7 Modulación de caudales de los ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. Factor de modulación $\beta=0,5$

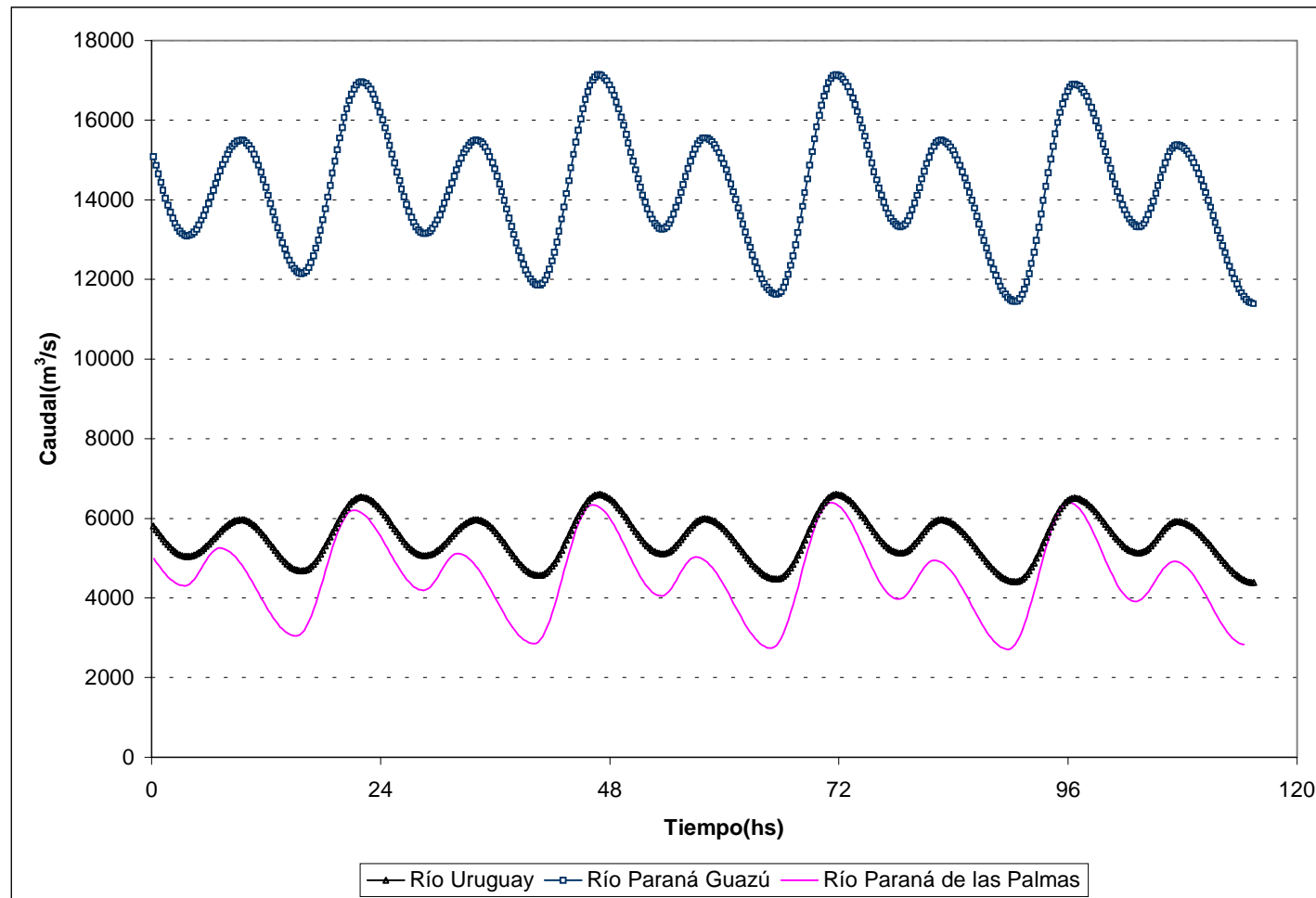


Figura 3.8 Modulación de caudales de los ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. Factor de modulación $\beta=0,8$

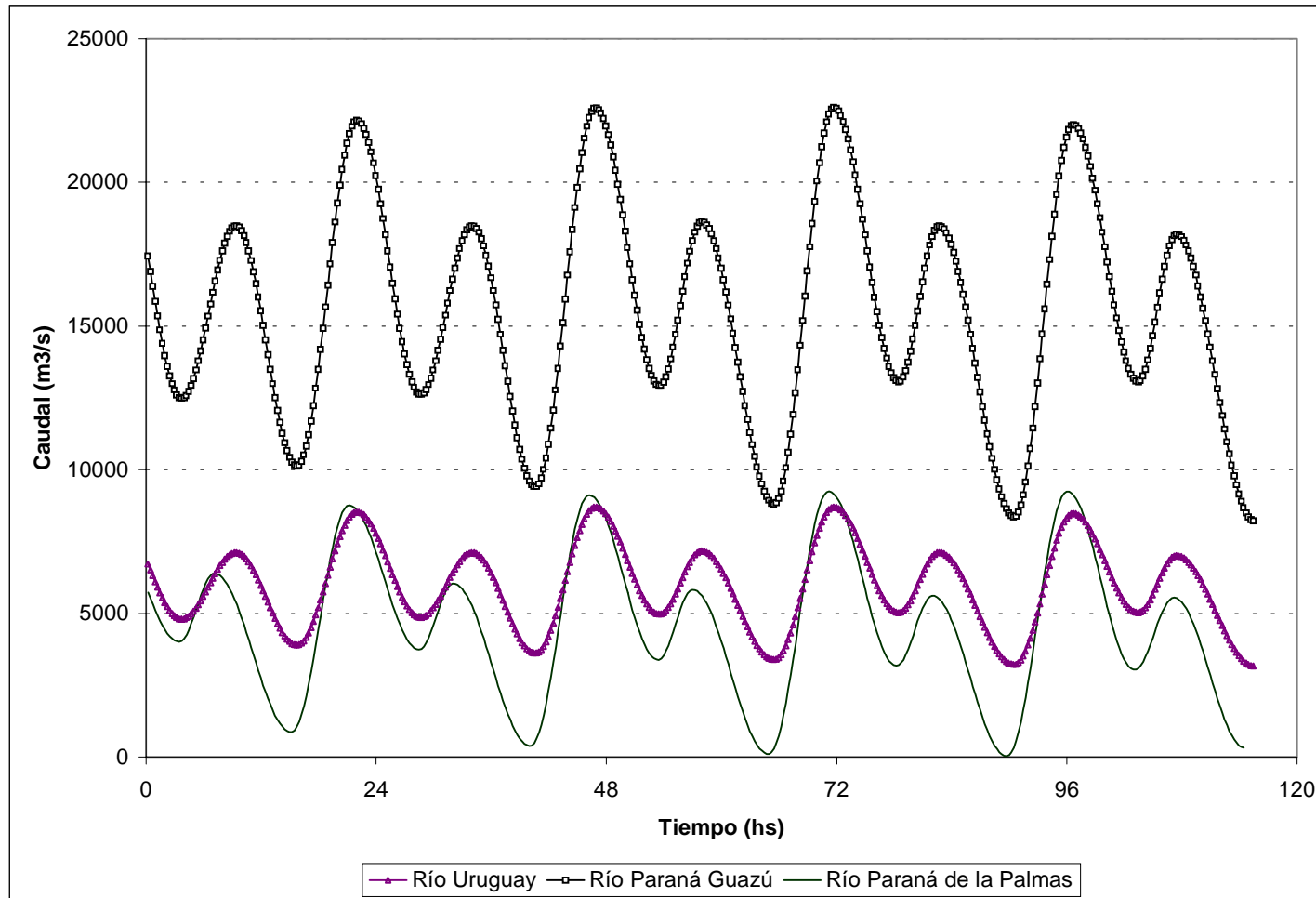


Figura 3.9 Modulación de caudales de los ríos Uruguay, Paraná Guazú y Paraná de las Palmas. Factor de modulación $\beta=2$

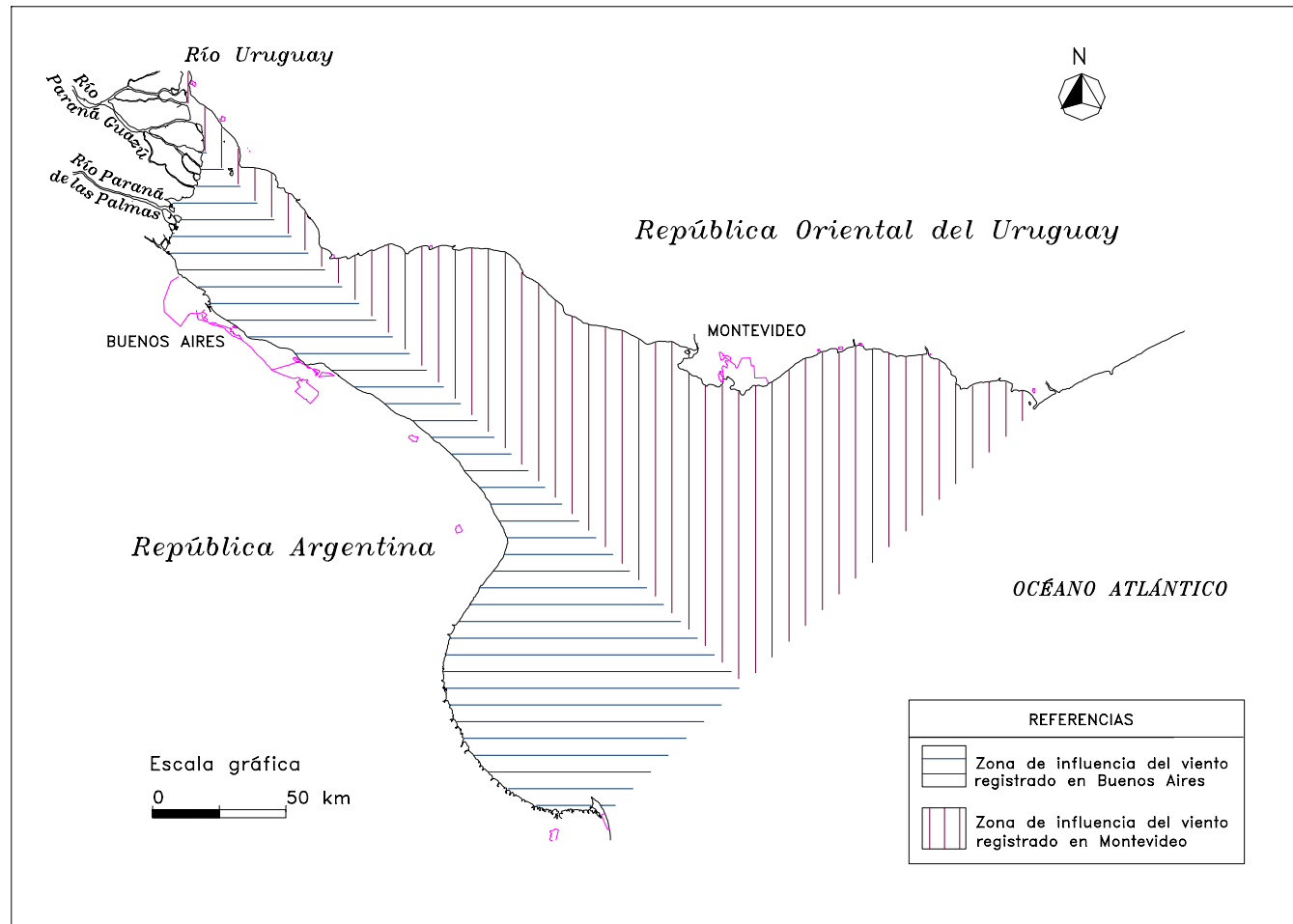


Figura 3.10 Zonificación longitudinal de vientos

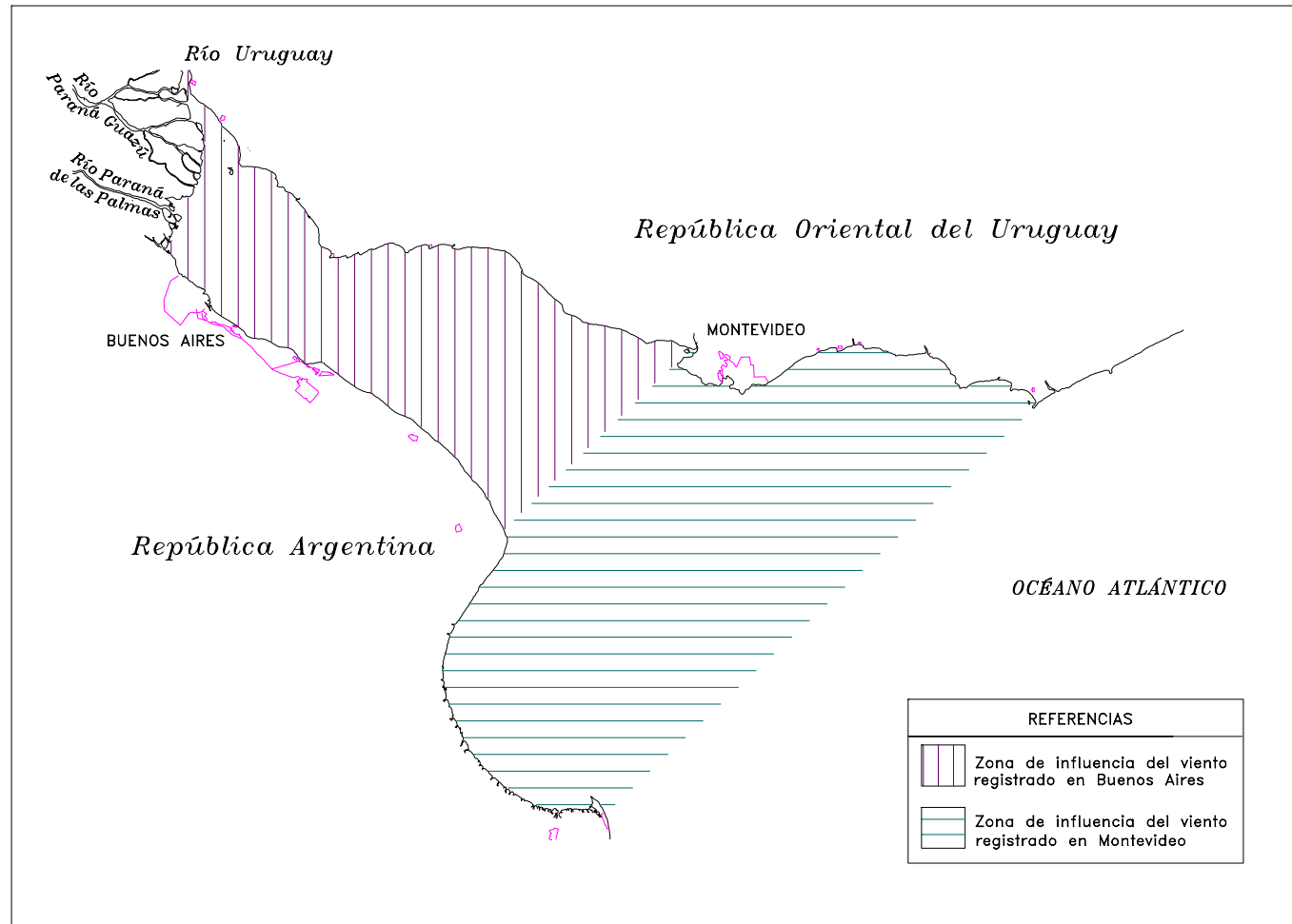


Figura 3.11 Zonificación transversal de vientos

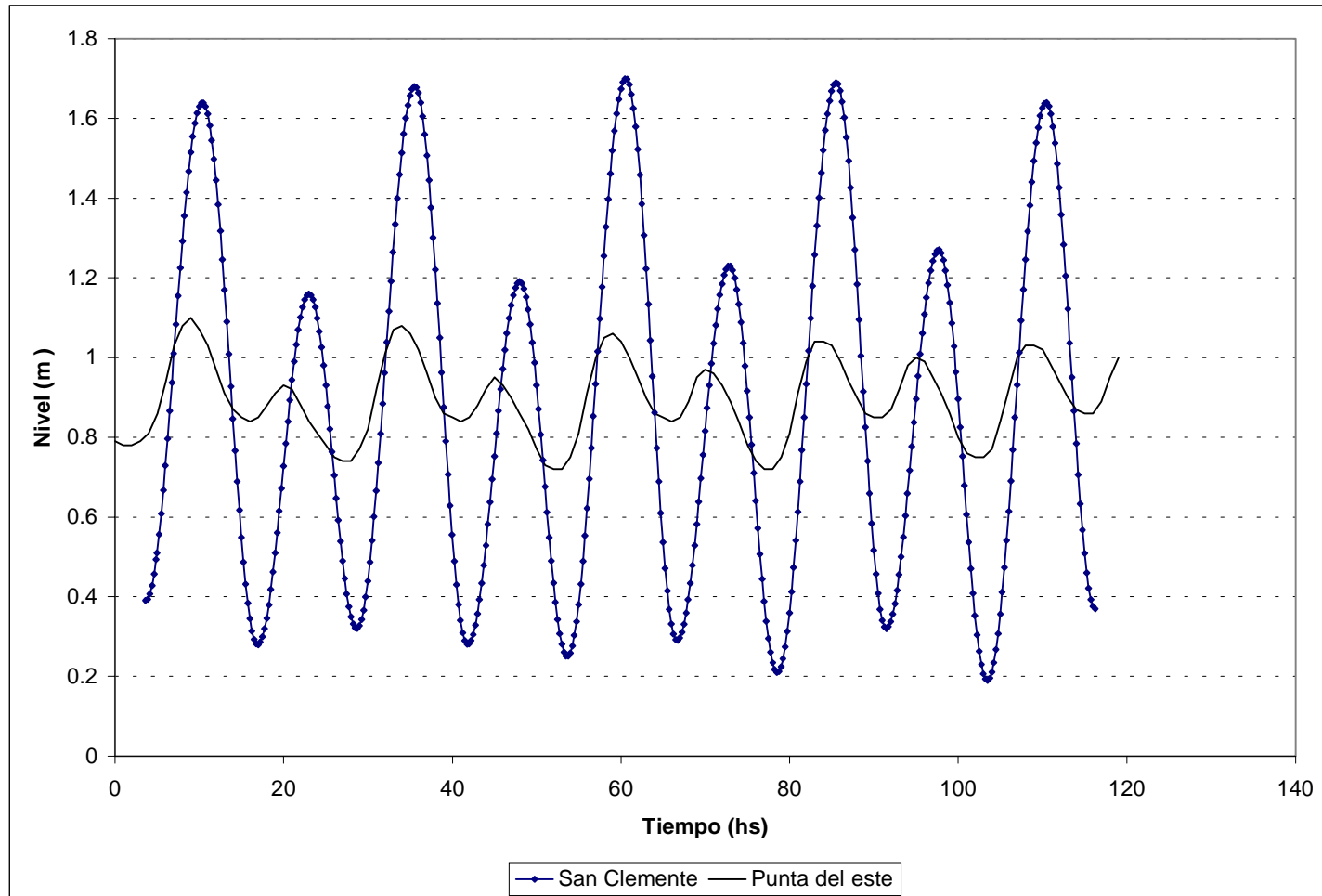


Figura 4.1 Onda de marea en el borde oceánico. Período 08-12/02/97

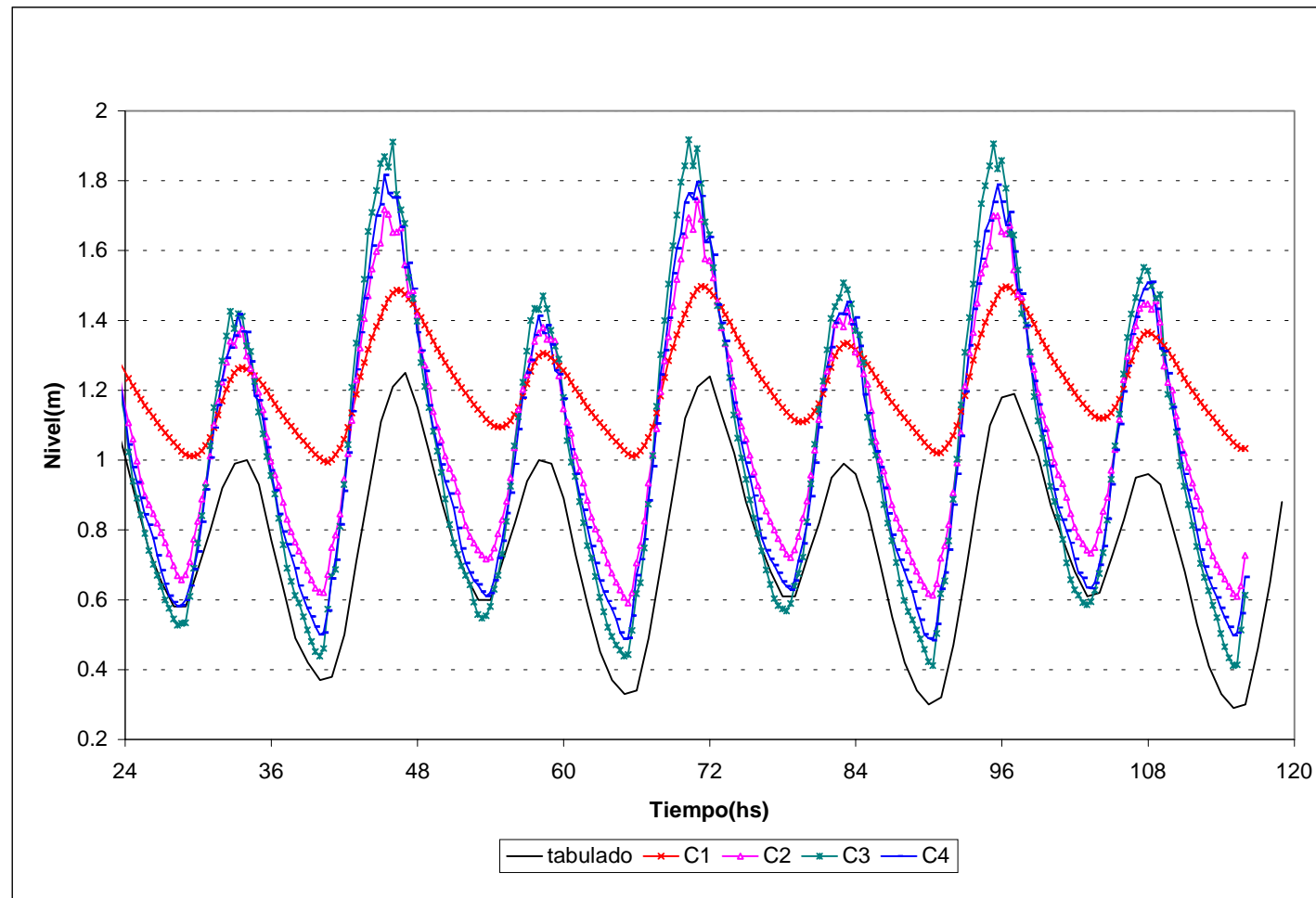


Figura 4.2a) Comparación de niveles en Martín García para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

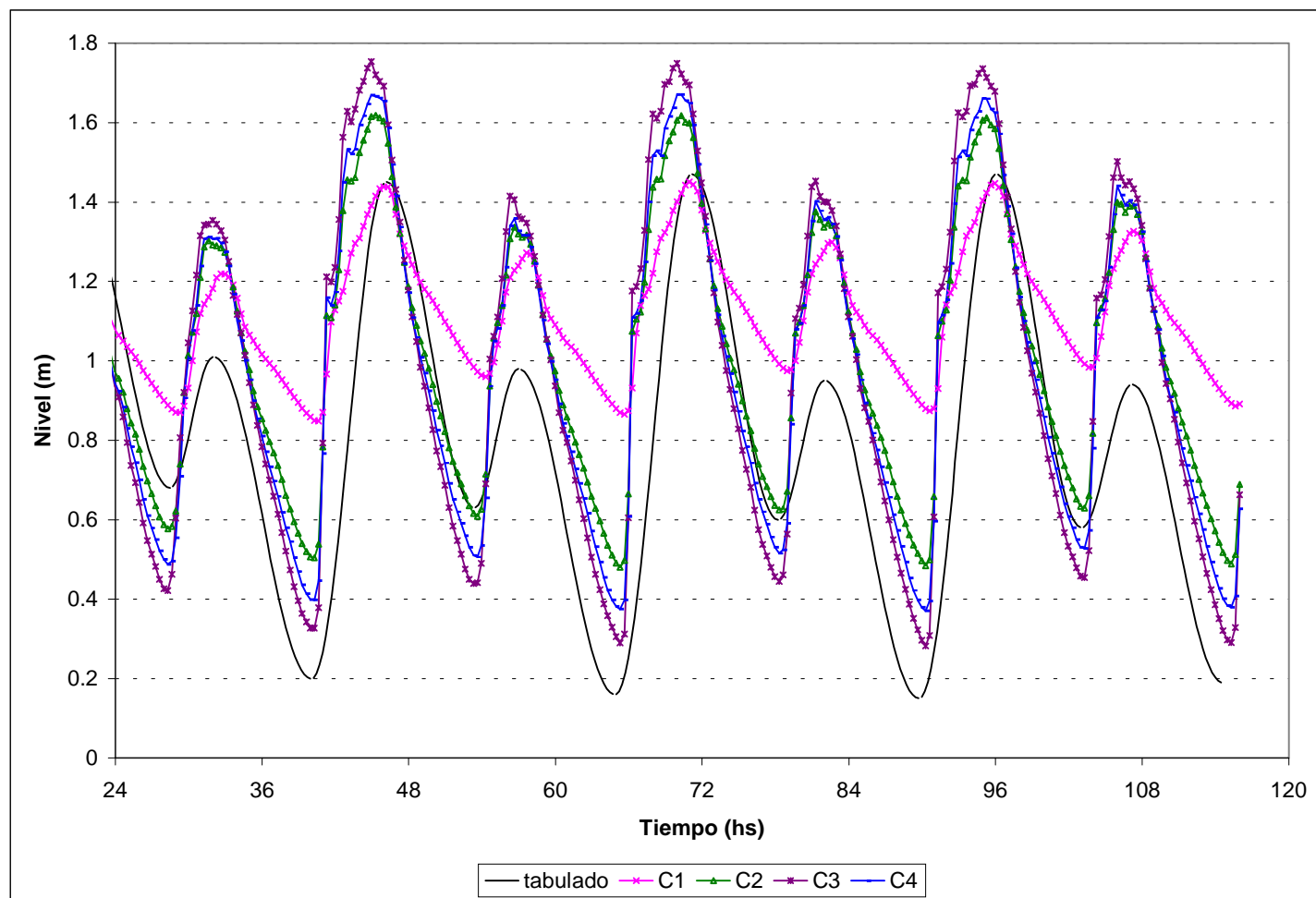


Figura 4.2b) Comparación de niveles en San Fernando para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

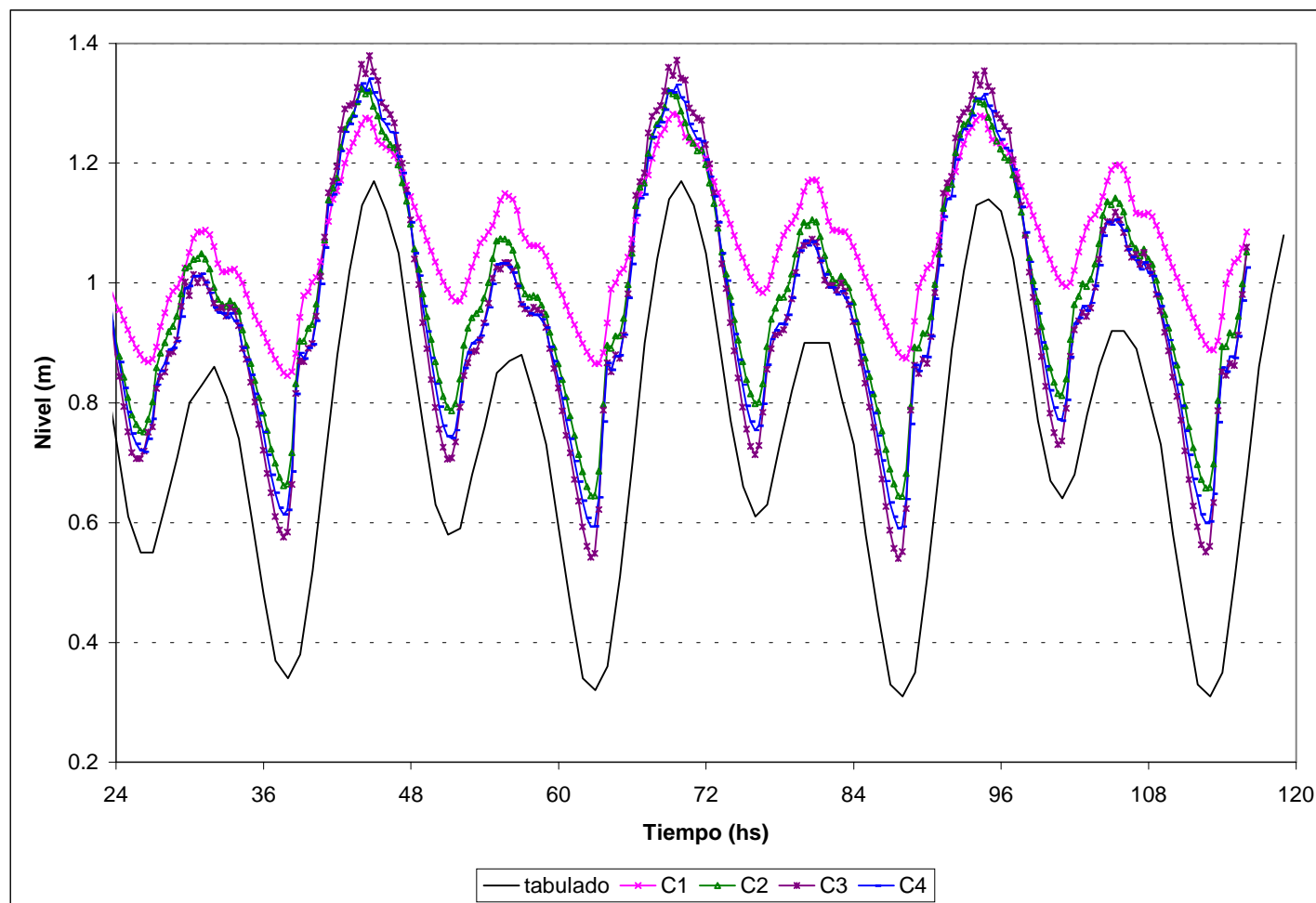


Figura 4.2c) Comparación de niveles en Torre Colonia para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

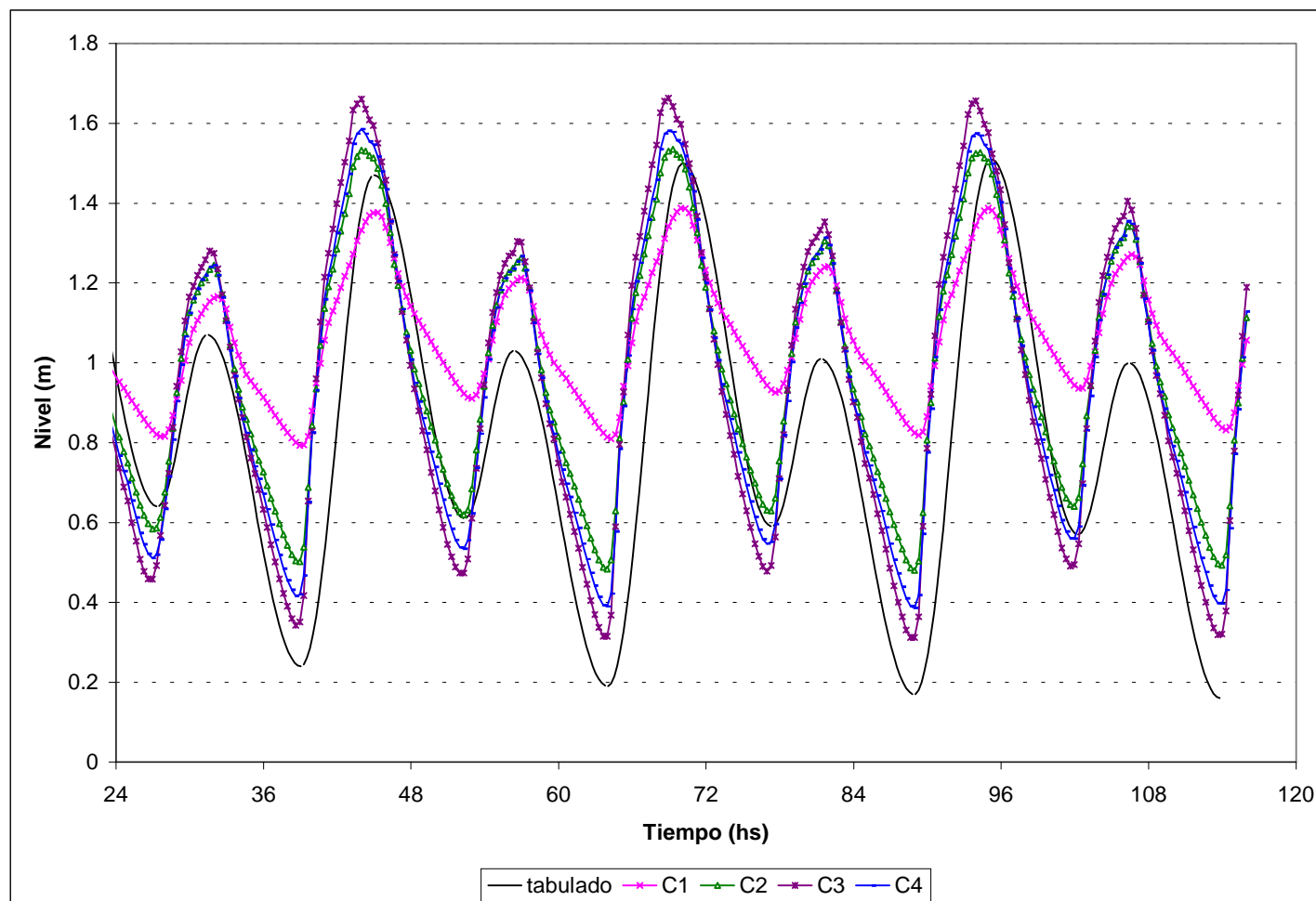


Figura 4.2d) Comparación de niveles en Buenos Aires para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

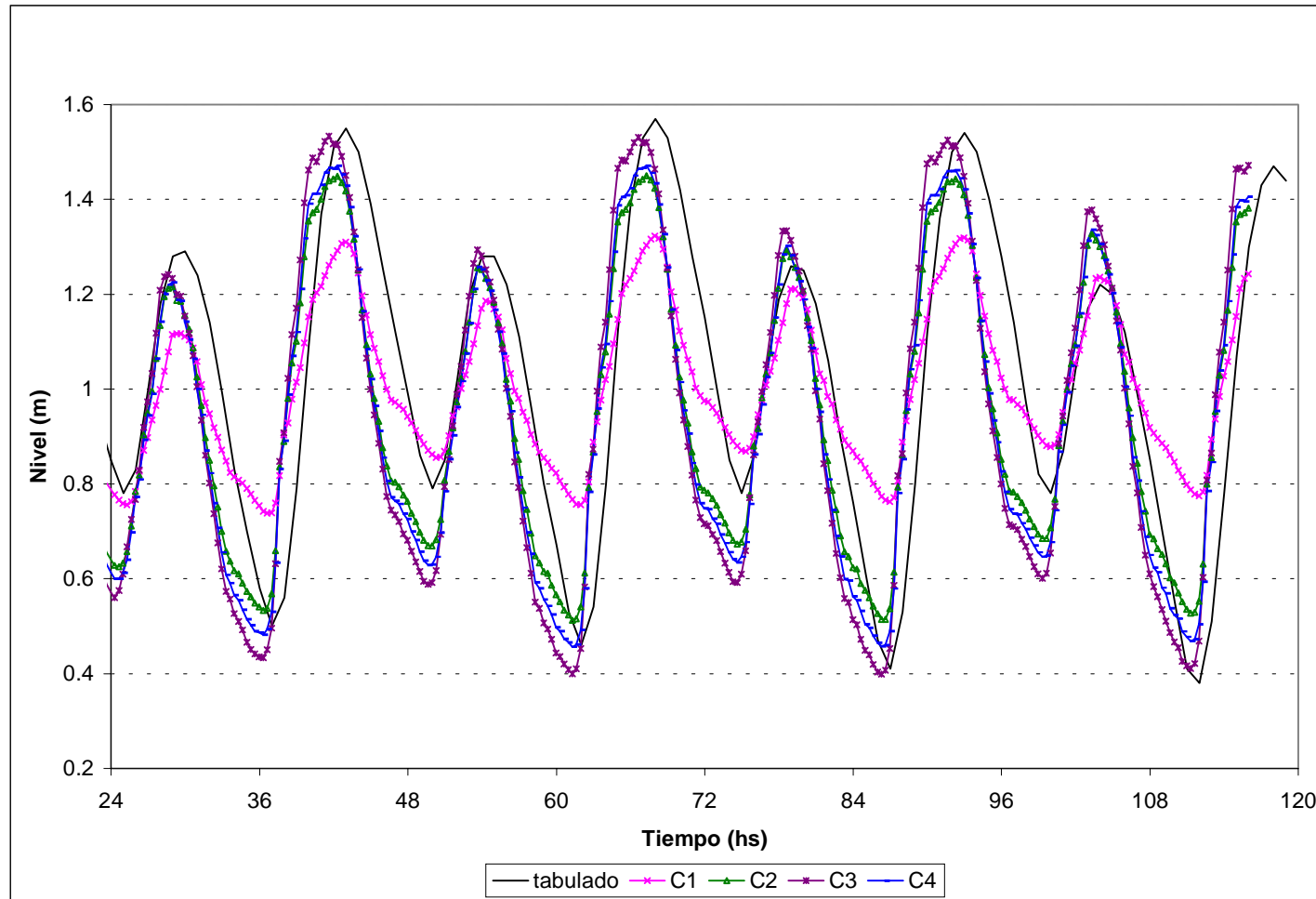


Figura 4.2e) Comparación de niveles en La Plata para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

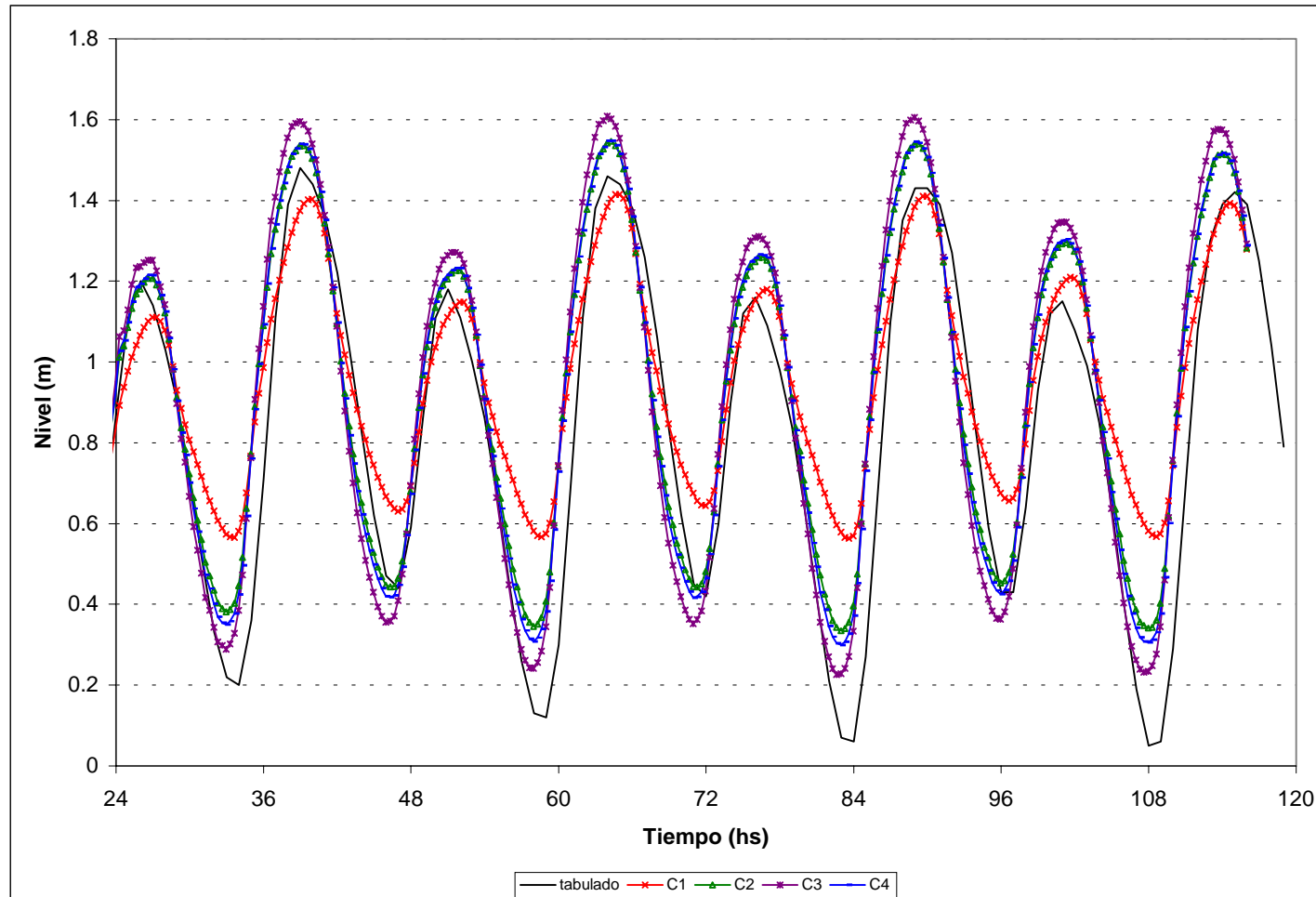


Figura 4.2f) Comparación de niveles en Torre Oyarvide para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

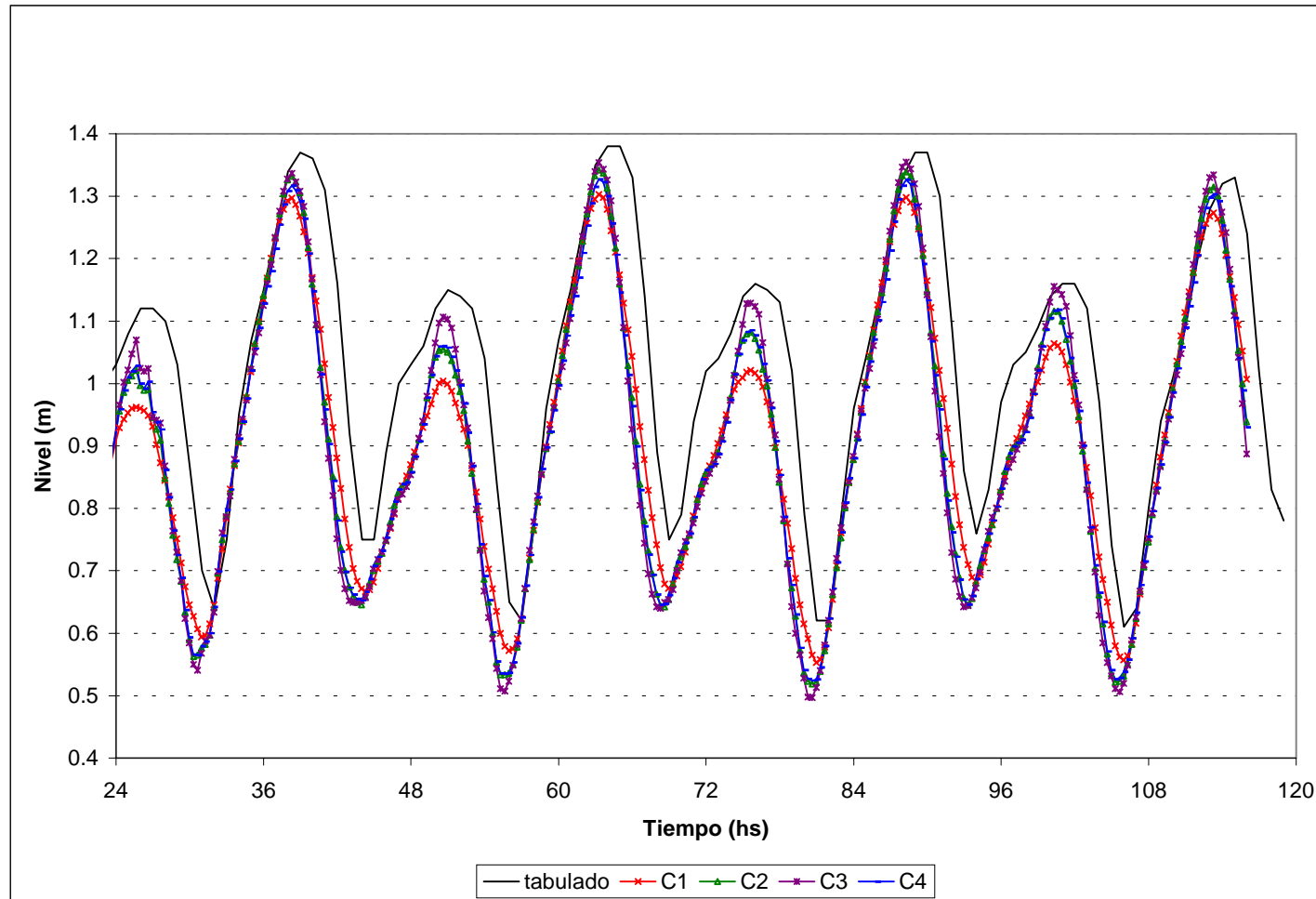


Figura 4.2g) Comparación de niveles en Montevideo para distintos ensayos. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

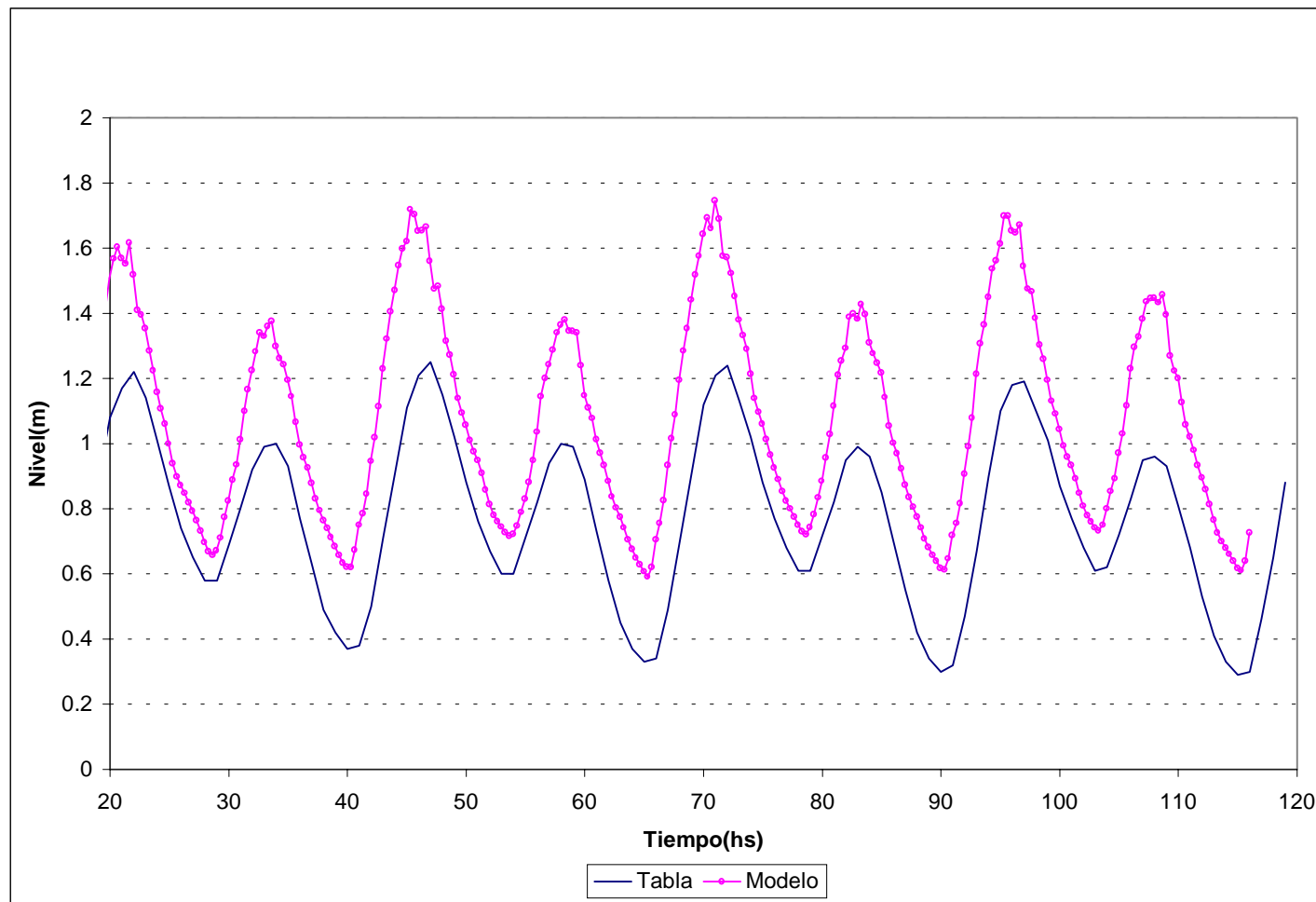


Figura 4.3a) Comparación de niveles en Martín García con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

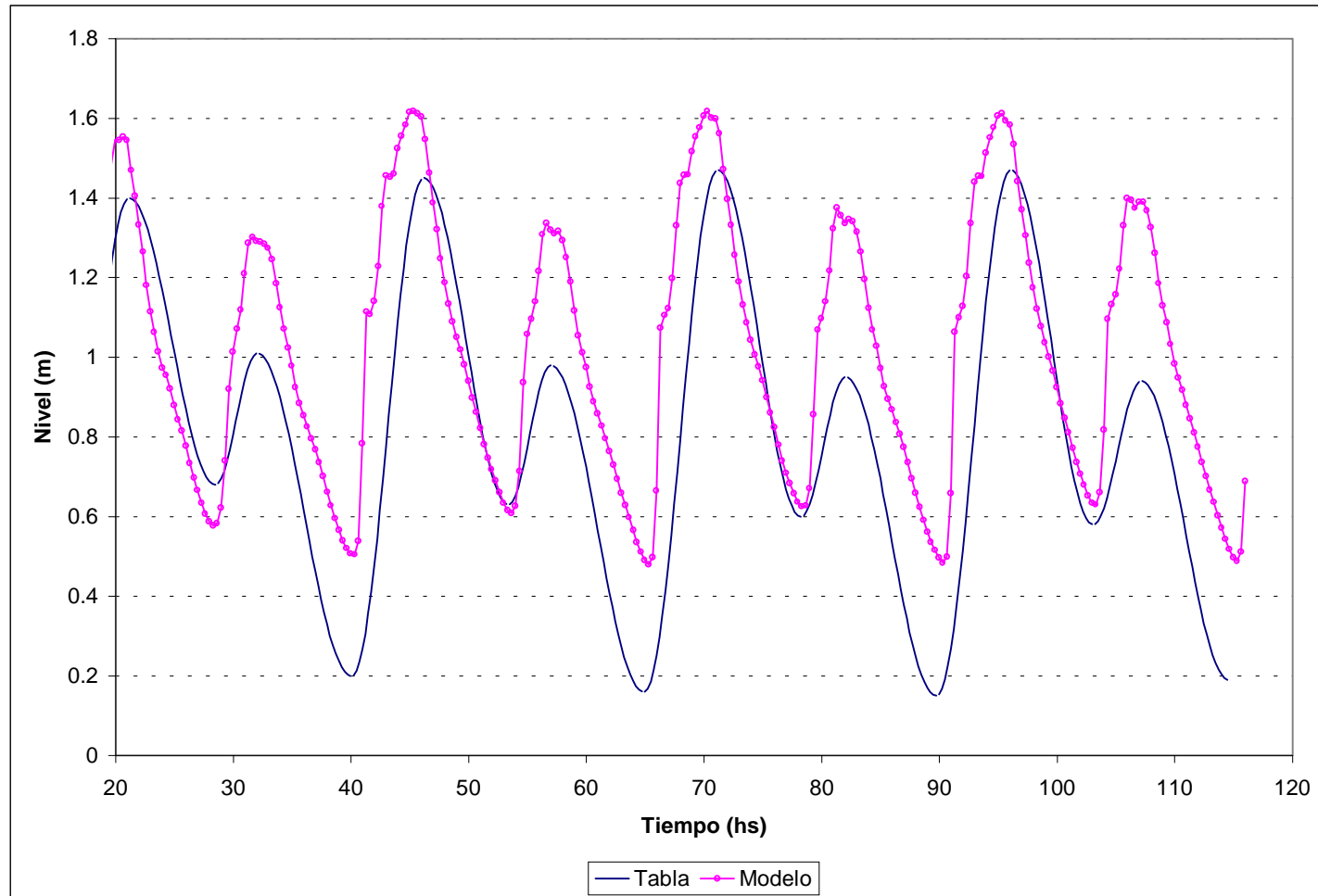


Figura 4.3b) Comparación de niveles en San Fernando con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

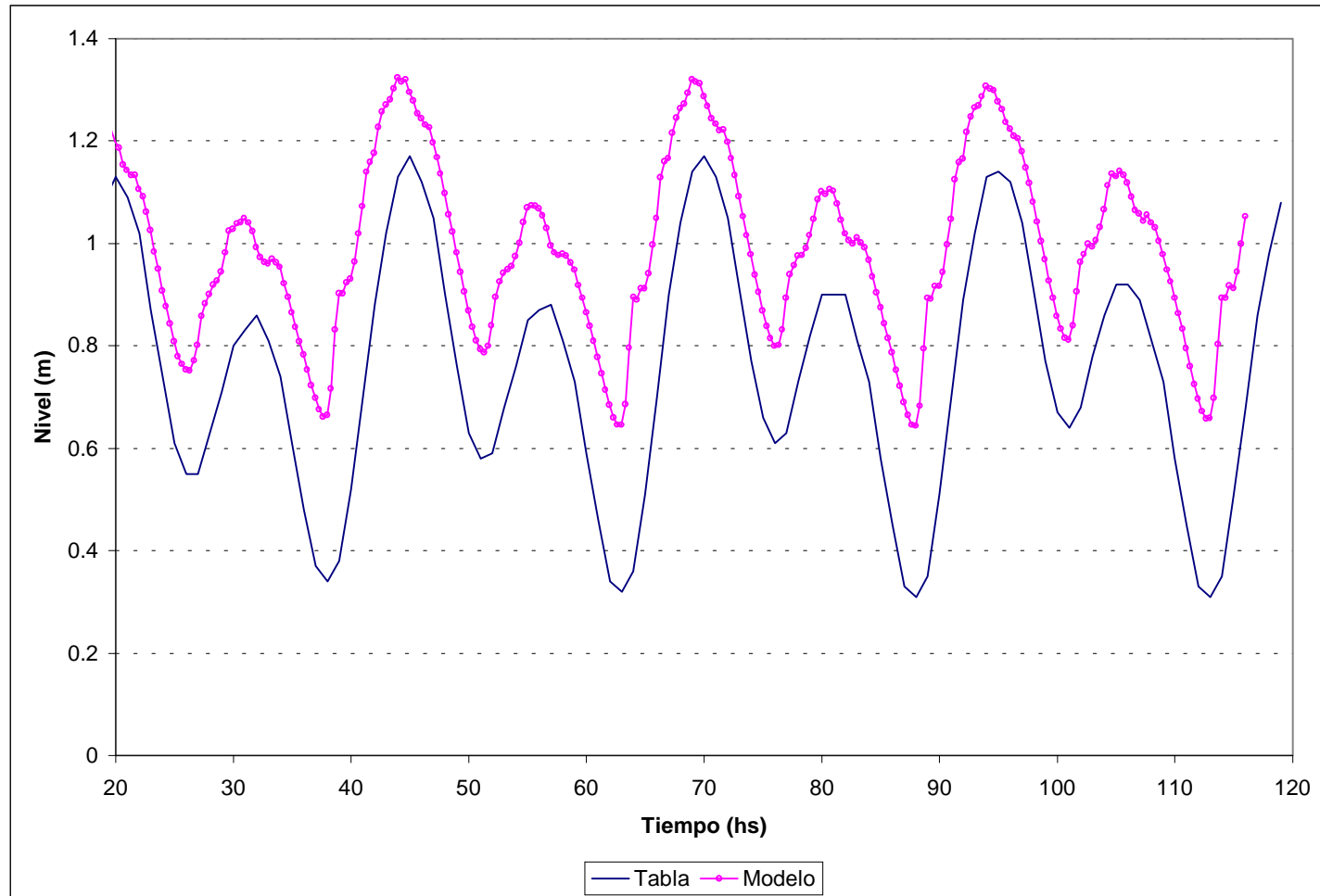


Figura 4.3c) Comparación de niveles en Colonia con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

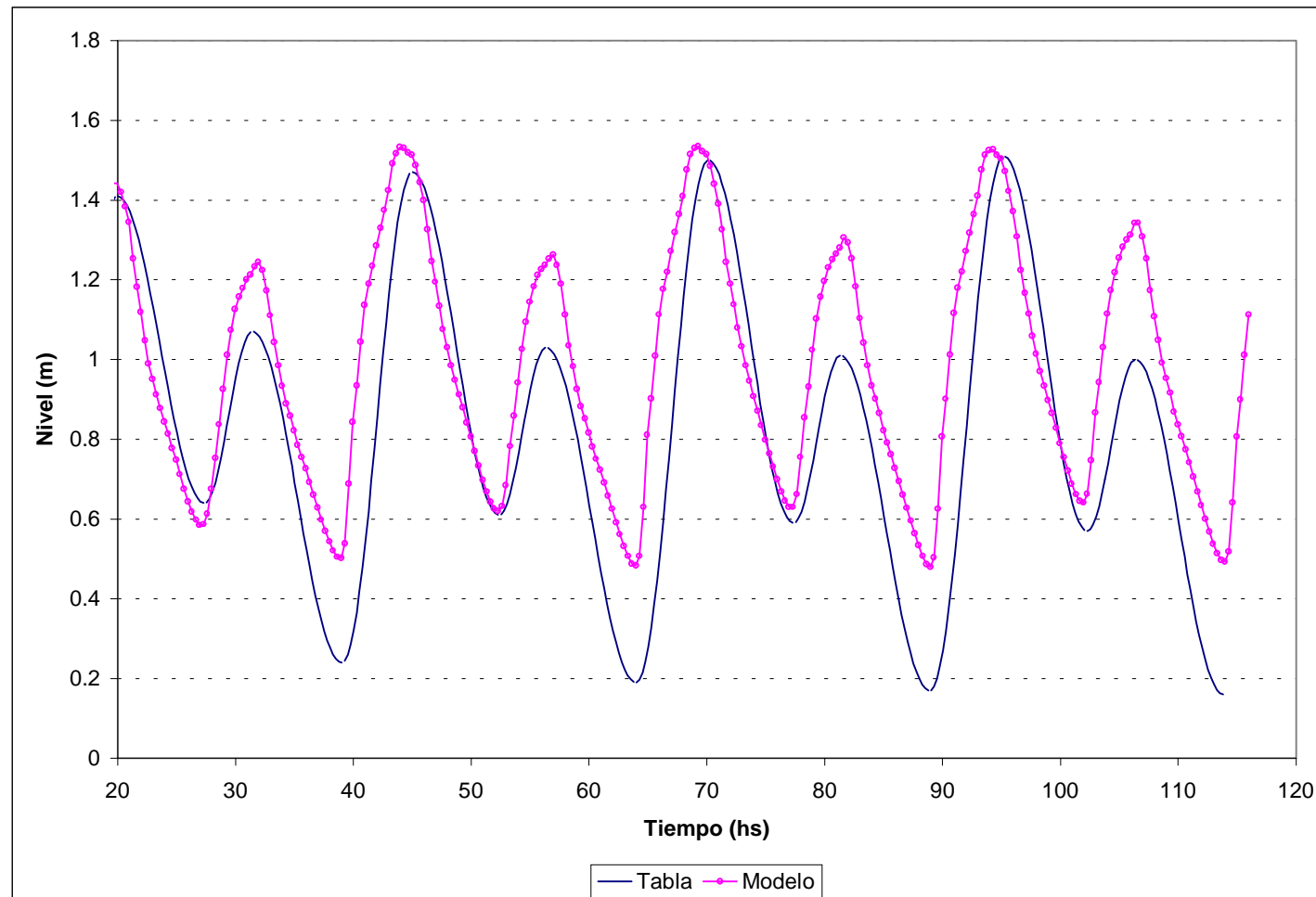


Figura 4.3d) Comparación de niveles en Buenos Aires con la rugosidad calibrada . Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

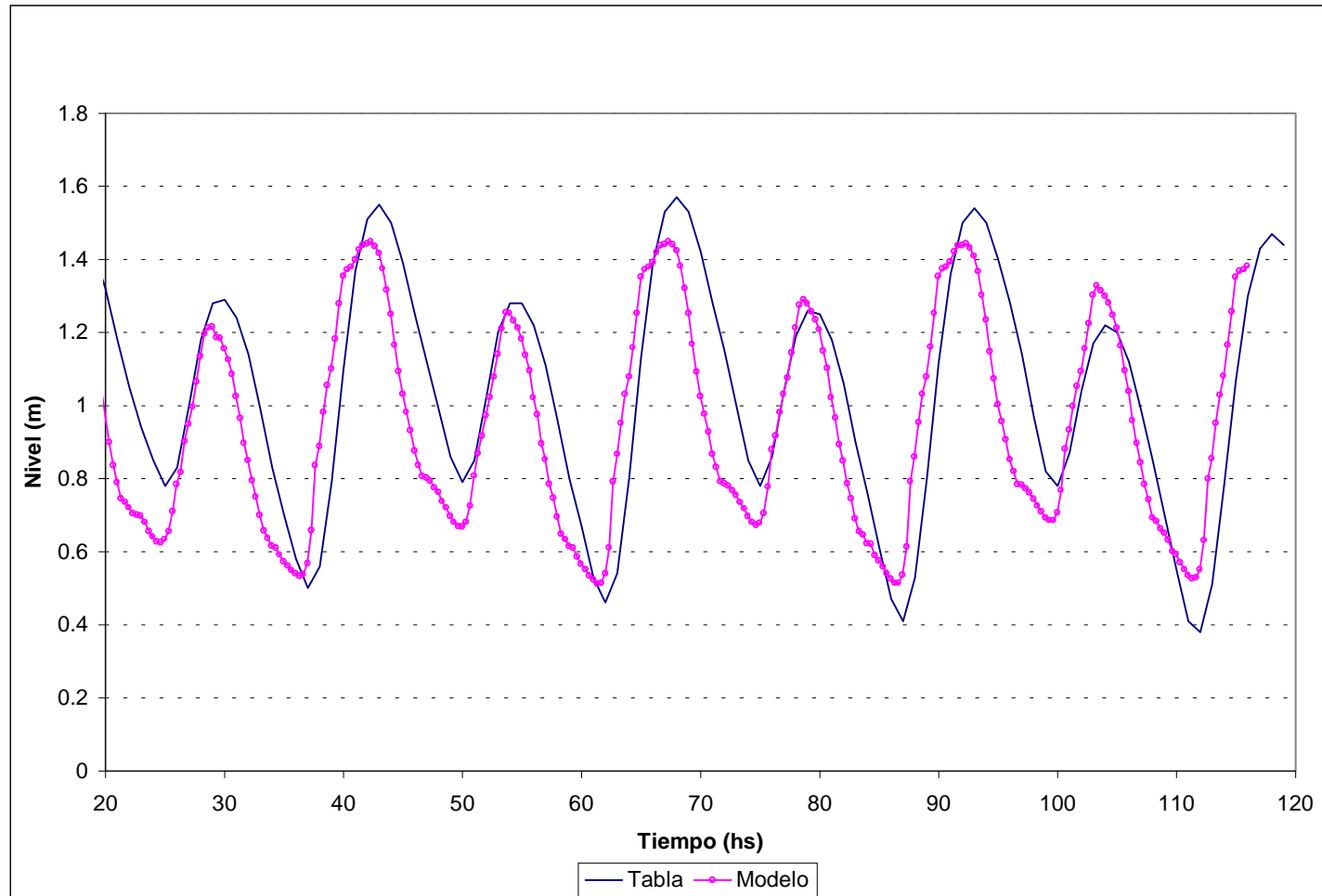


Figura 4.3e) Comparación de niveles en La Plata con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

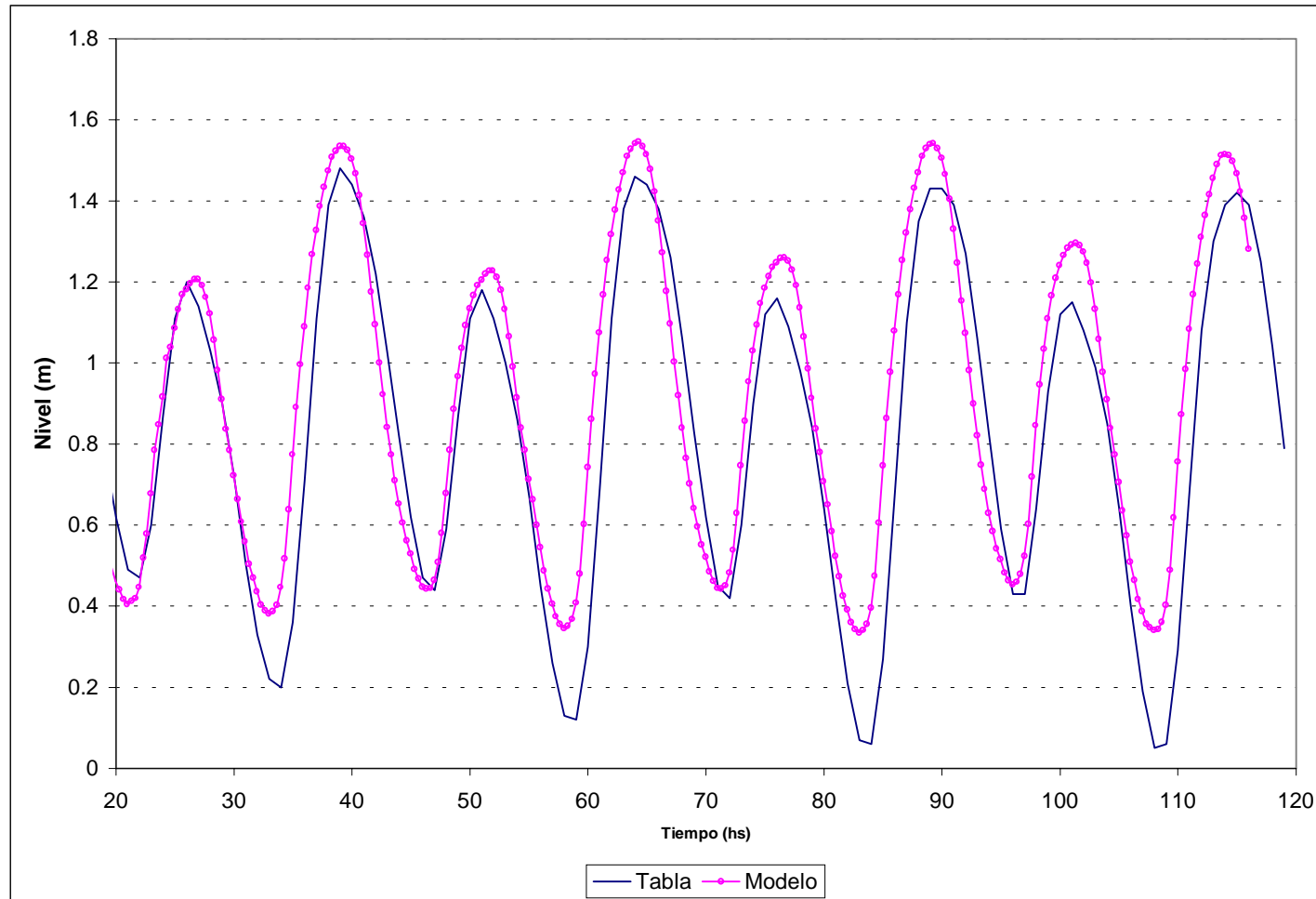


Figura 4.3f) Comparación de niveles en Torre Oyarvide con la rugosidad calibrada. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

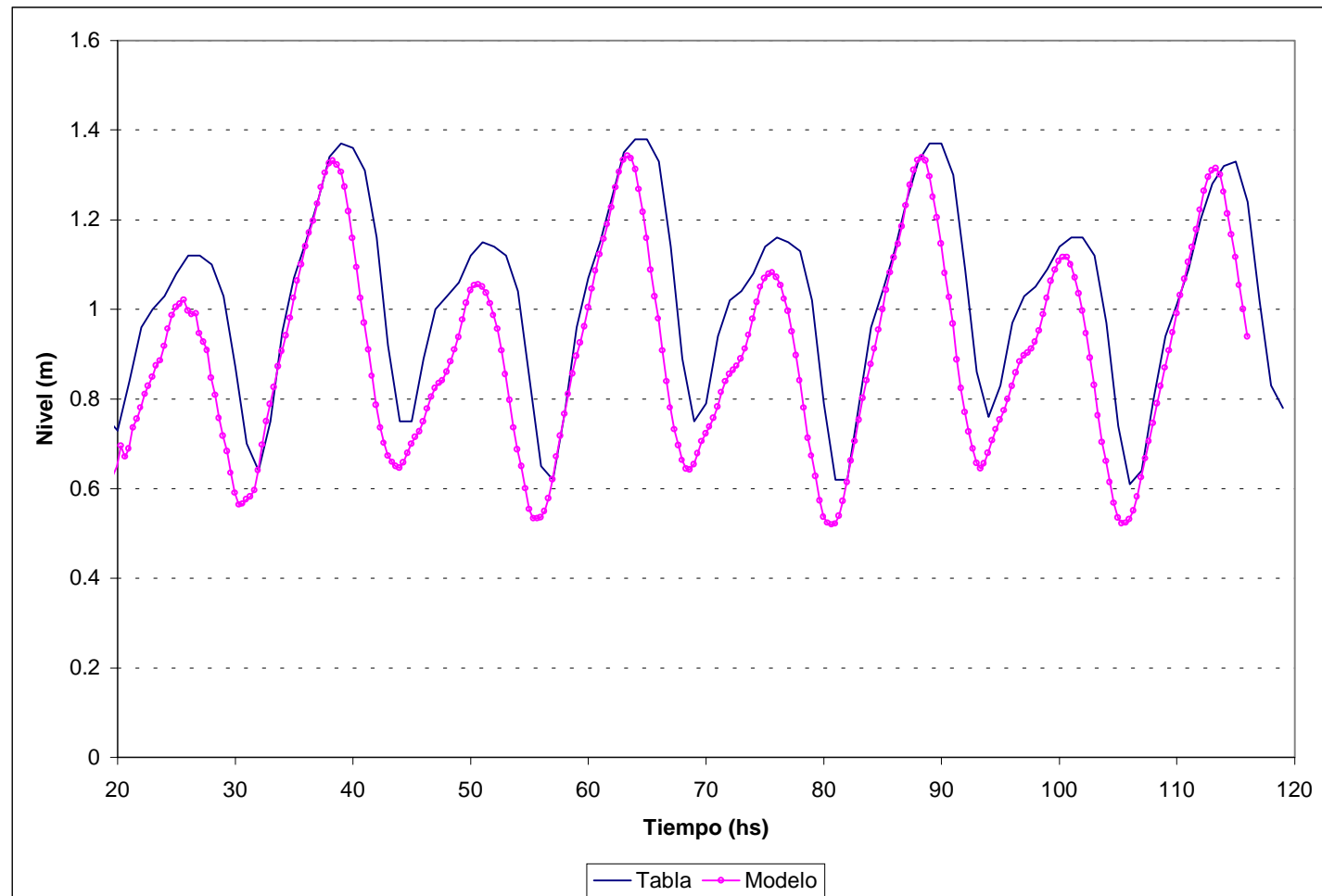


Figura 4.3g) Comparación de niveles en Montevideo con la rugosidad calibrada. Origen del tiempo: 08/20/97 0 HS.

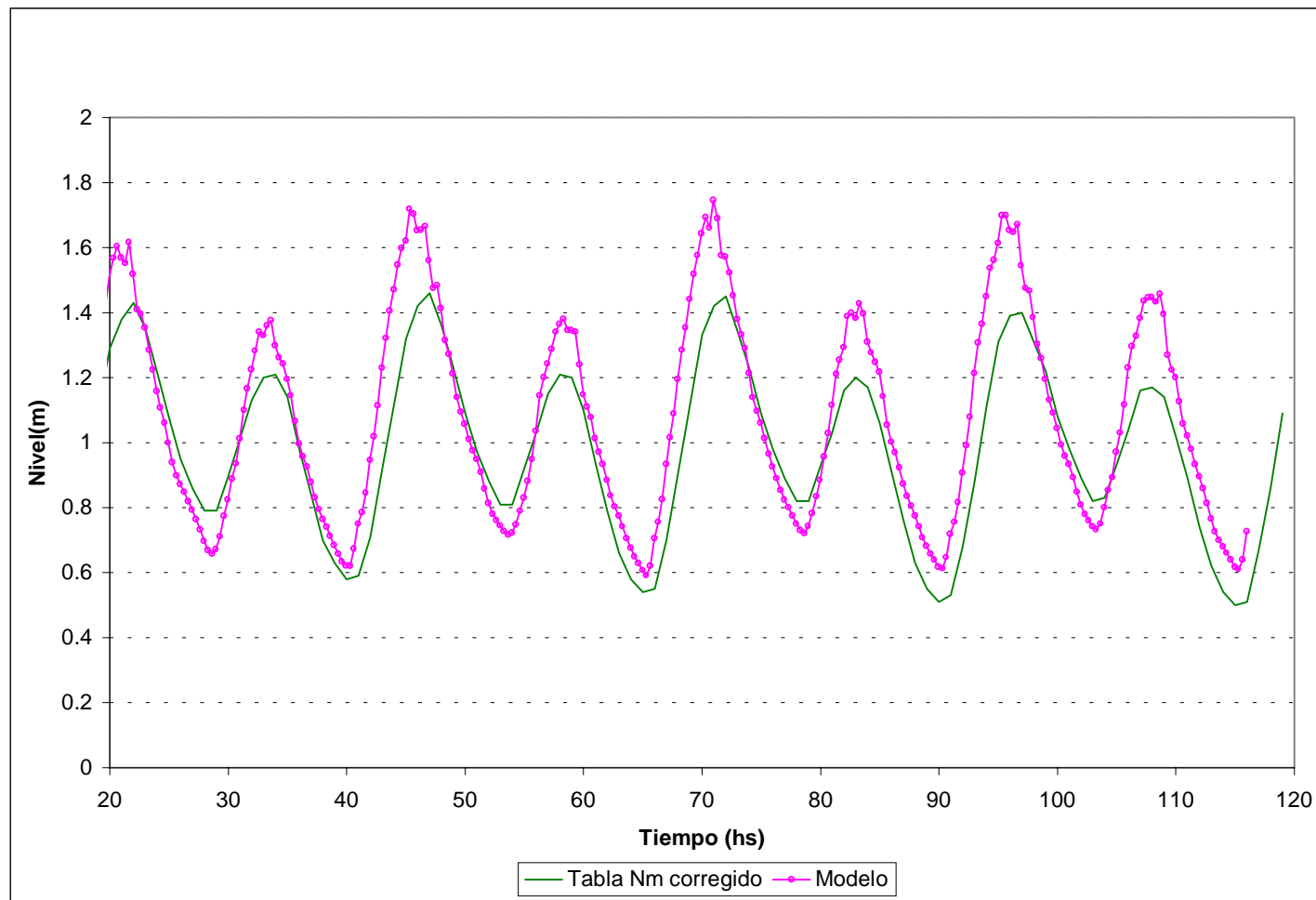


Figura 4.4a) Niveles en Martín García. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

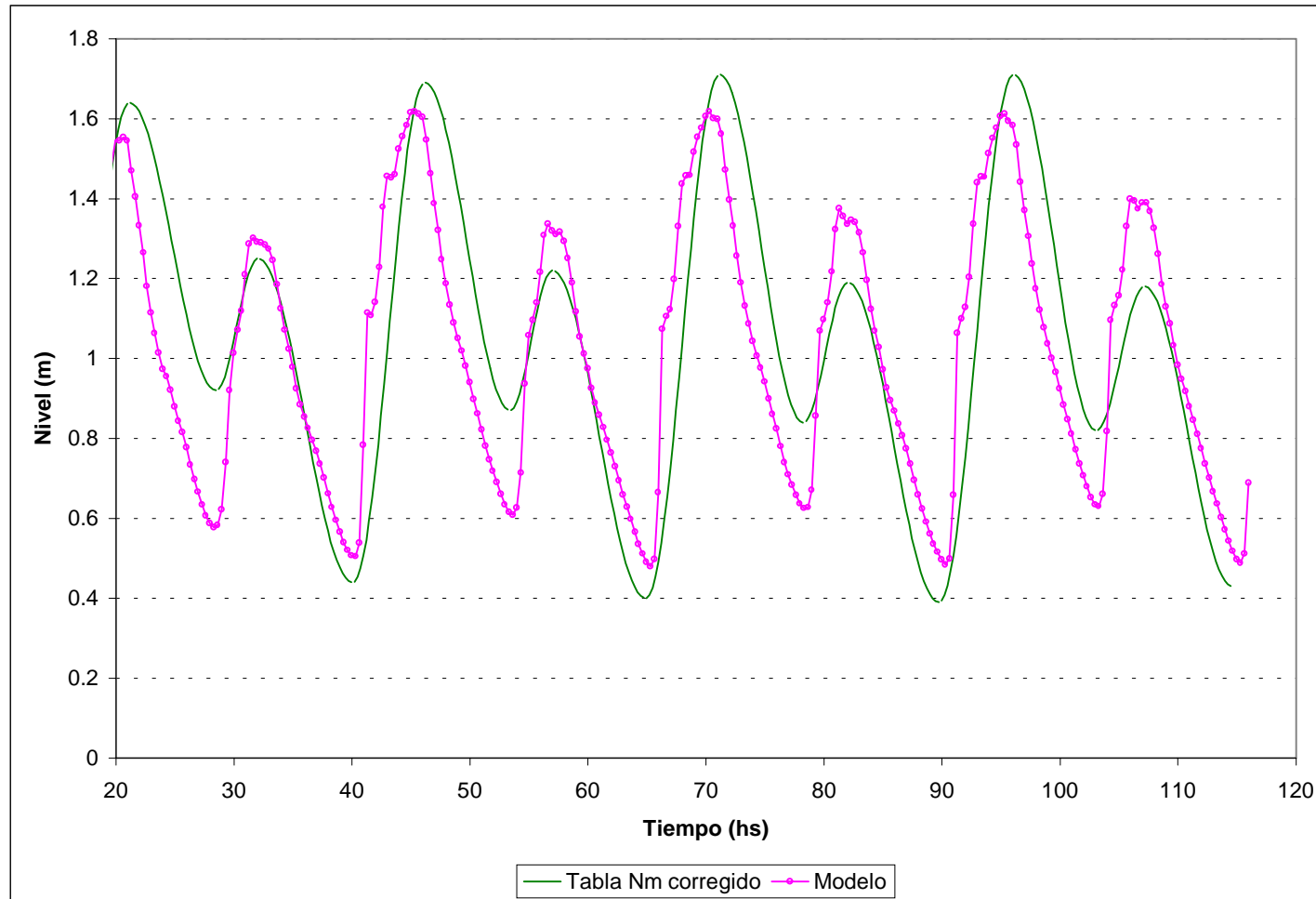


Figura 4.4b) Niveles en San Fernando. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

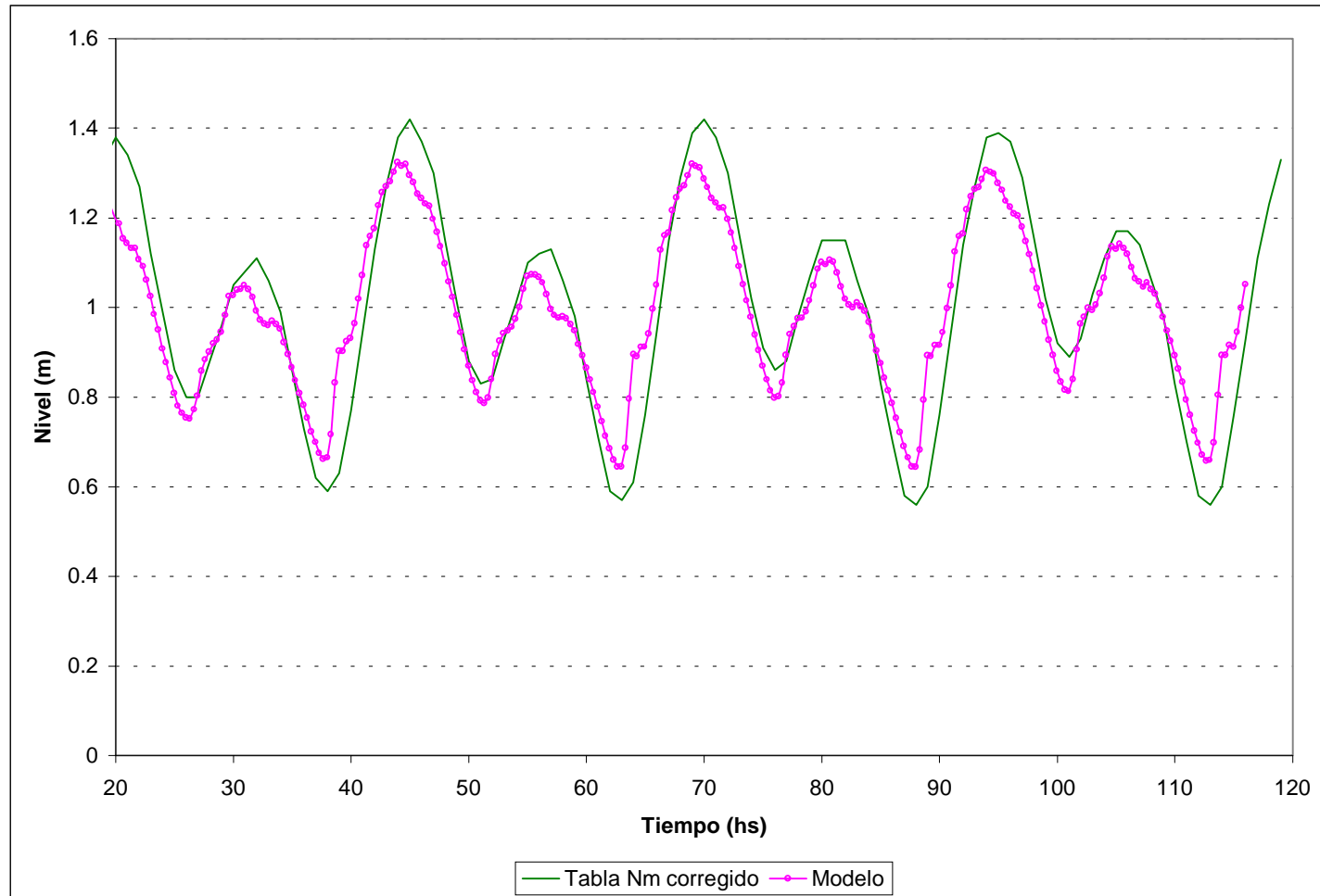


Figura 4.4c) Niveles en Colonia. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

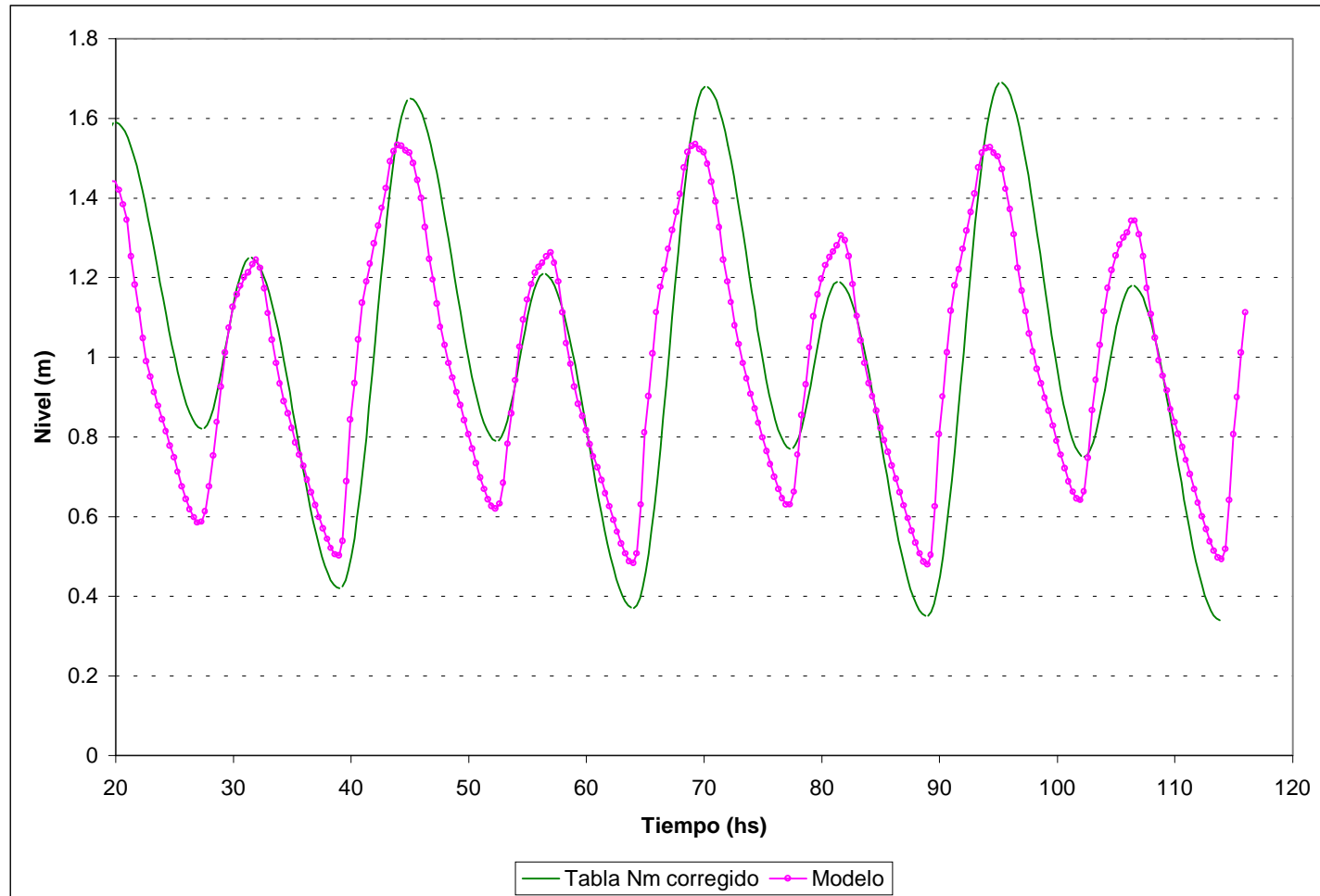


Figura 4.4d) Niveles en Buenos Aires . Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

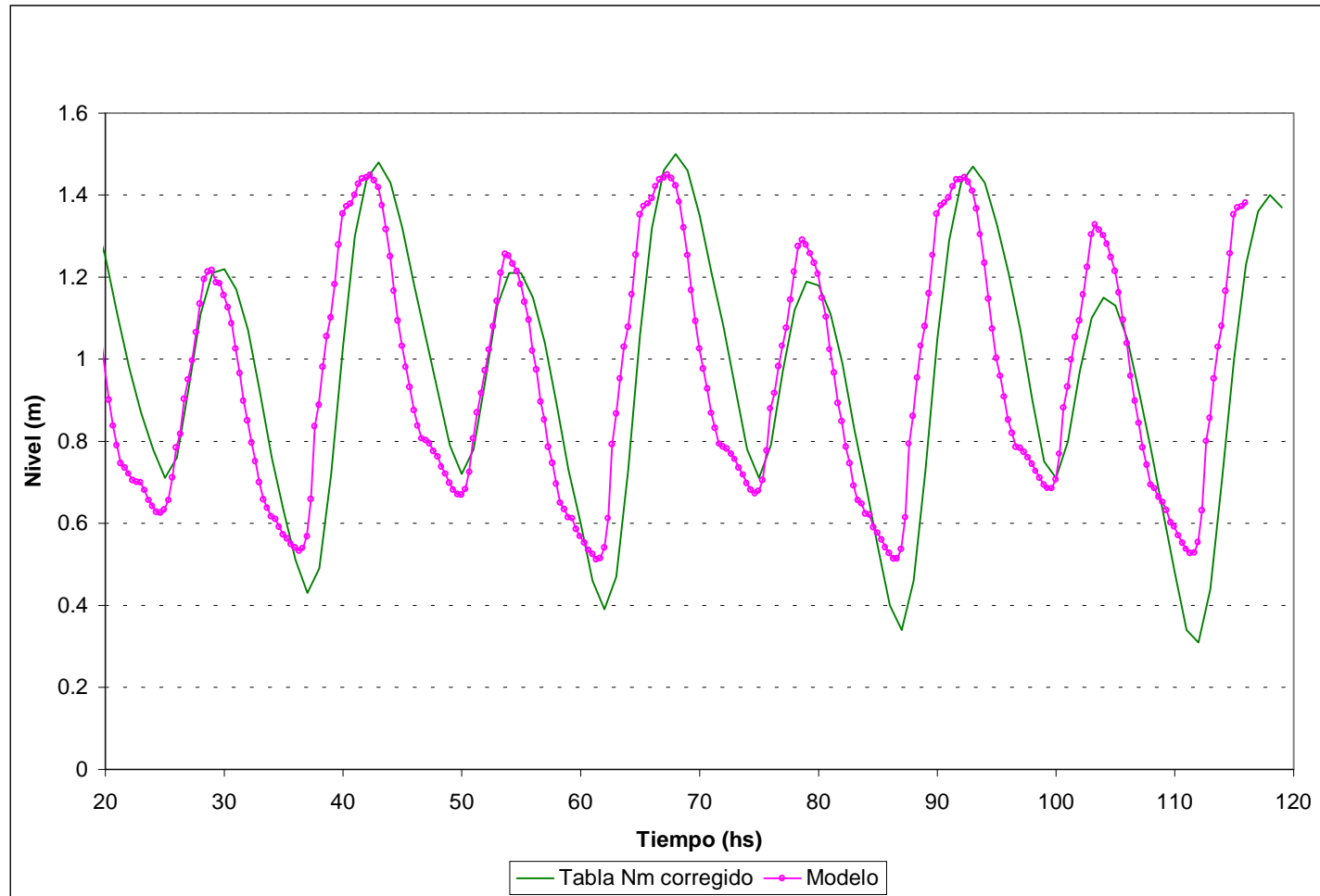


Figura 4.4e) Niveles en La Plata. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

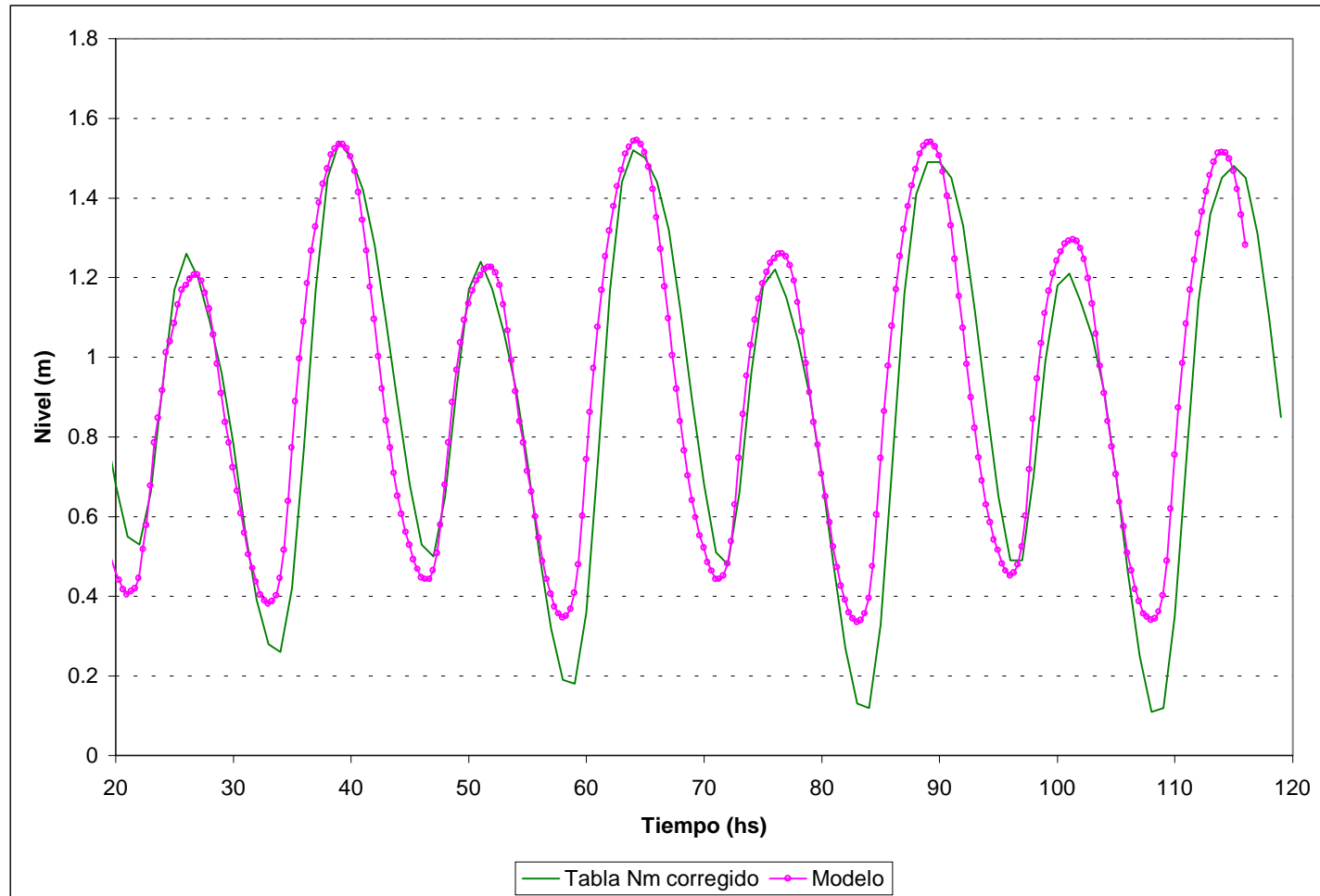


Figura 4.4f) Niveles en Torre Oyarvide. Origen de tiempo: 08/02/97 0 HS.

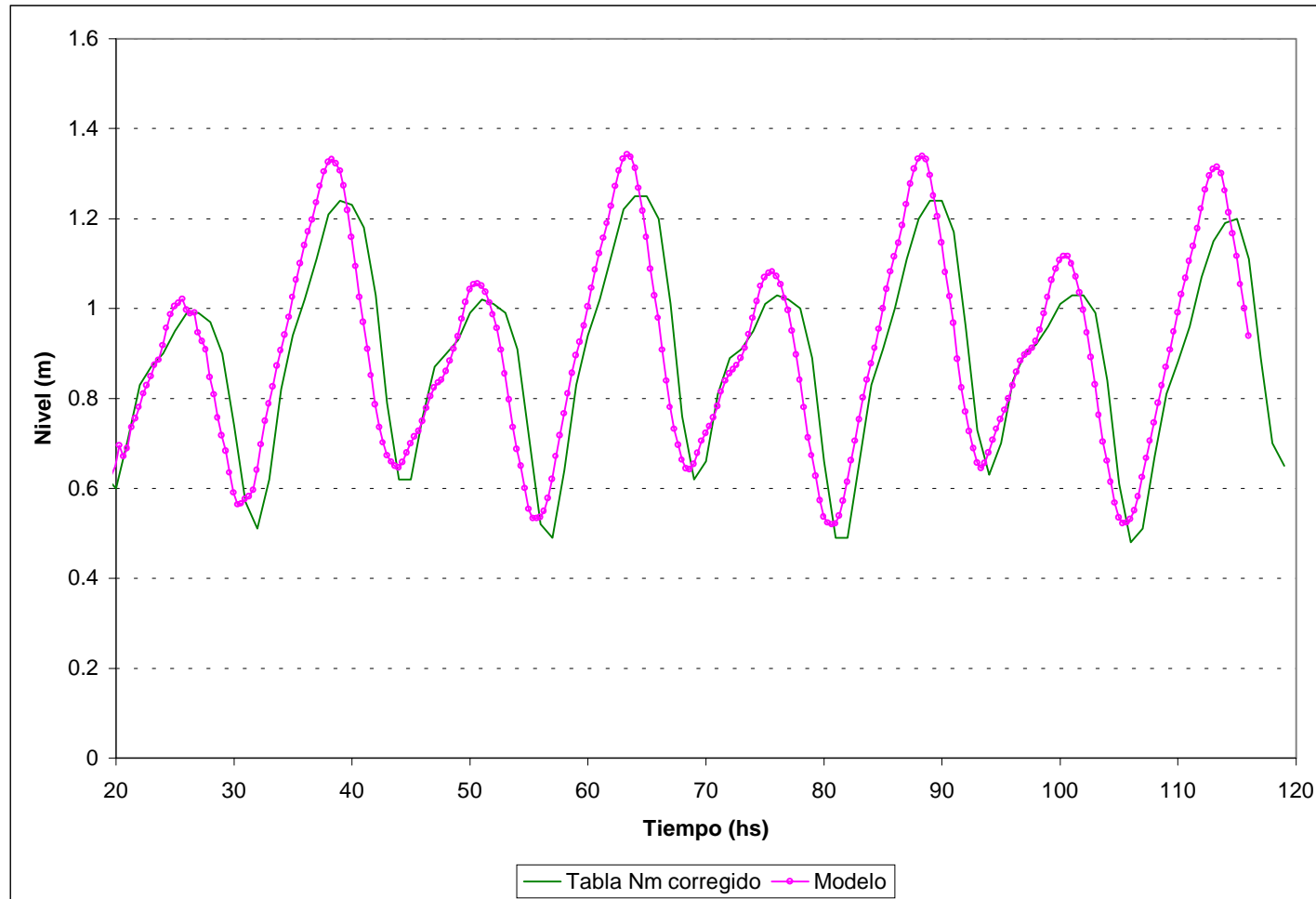


Figura 4.4g) Niveles en Montevideo. Origen del tiempo: 08/20/97 0 HS.

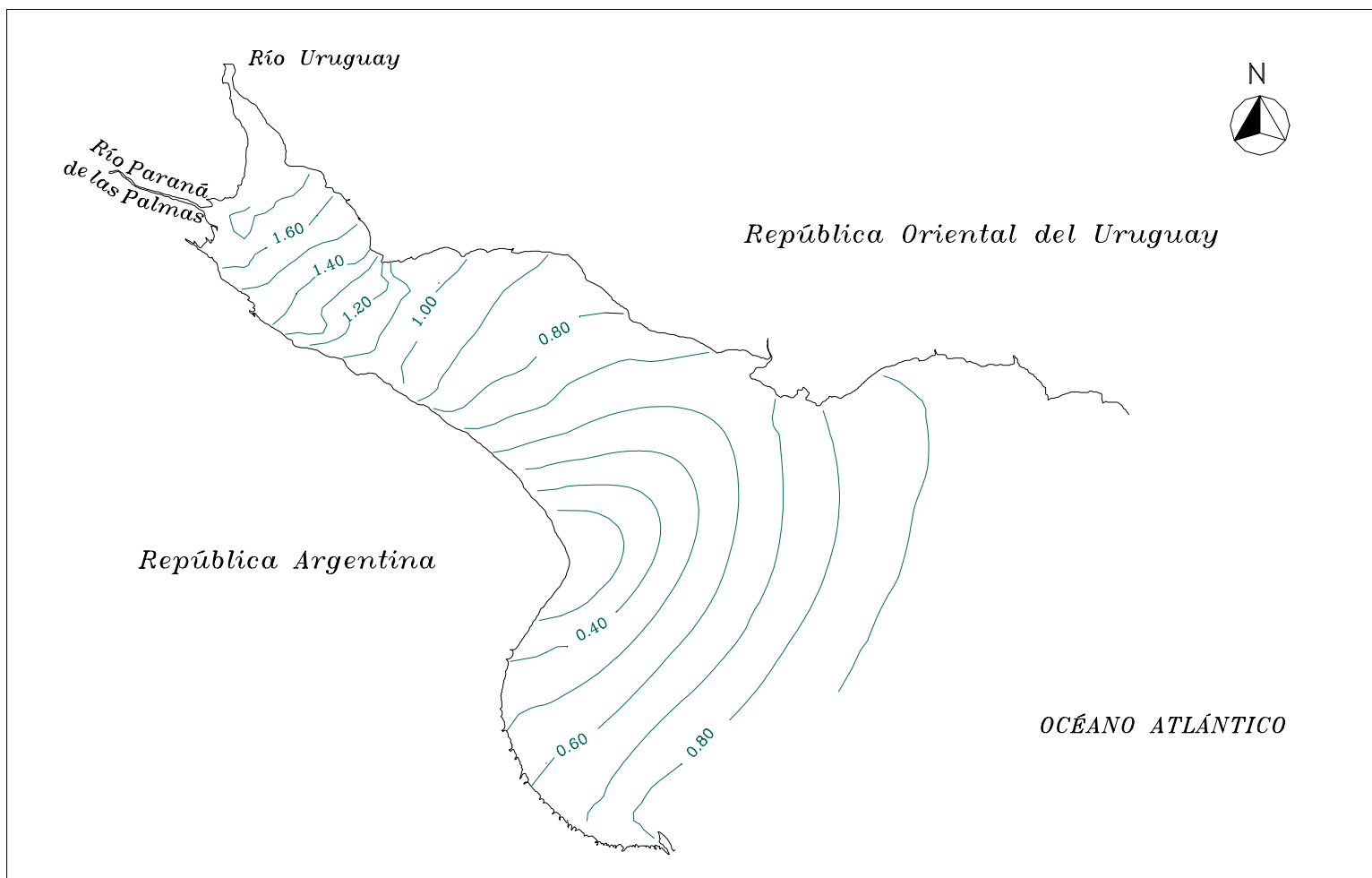


Figura 4.5a) Isoaltura de marea para $T_1=70,3$ hs

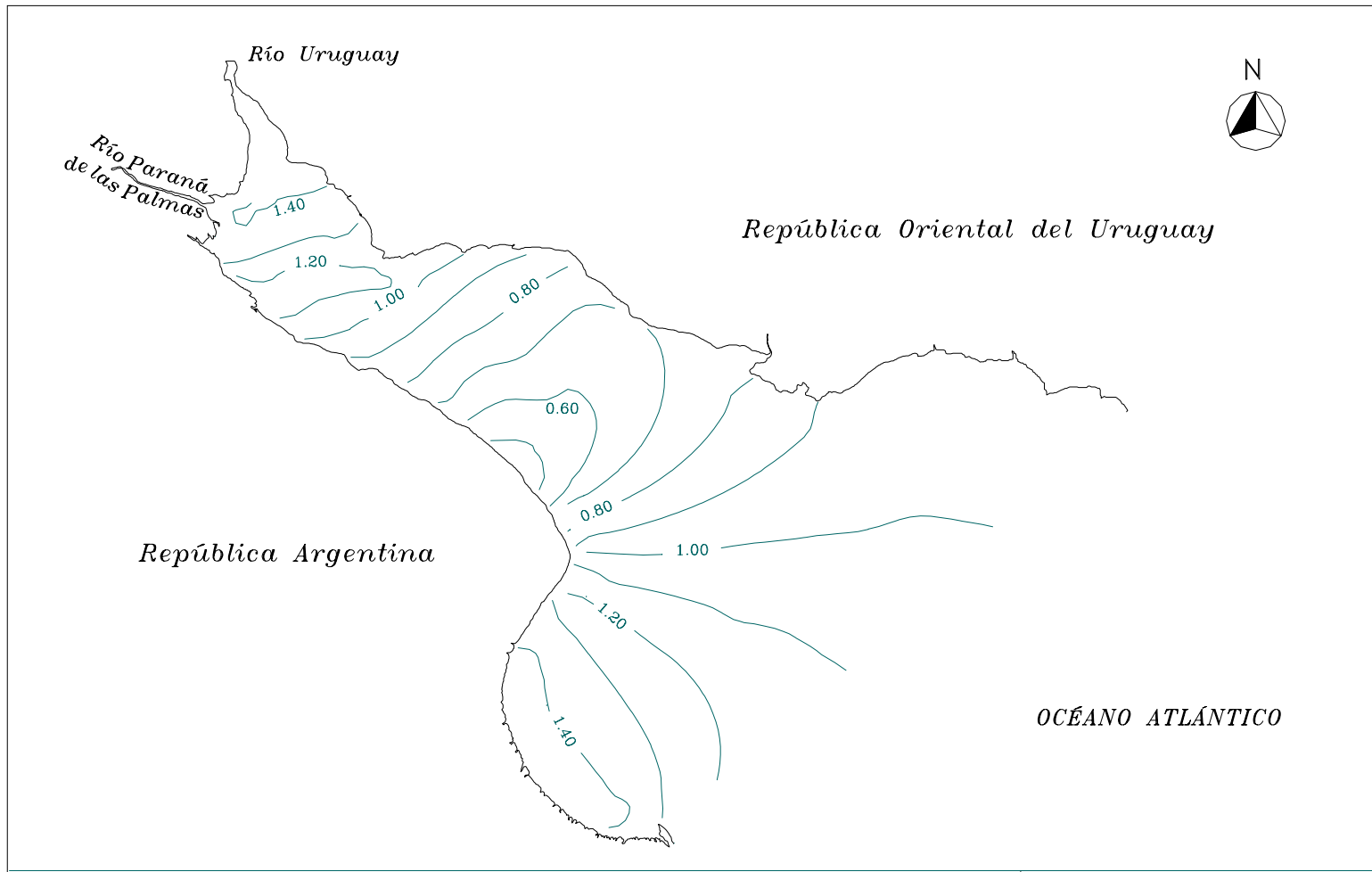


Figura 4.5b) Isoaltura de marea para $T_2=72,3$ hs

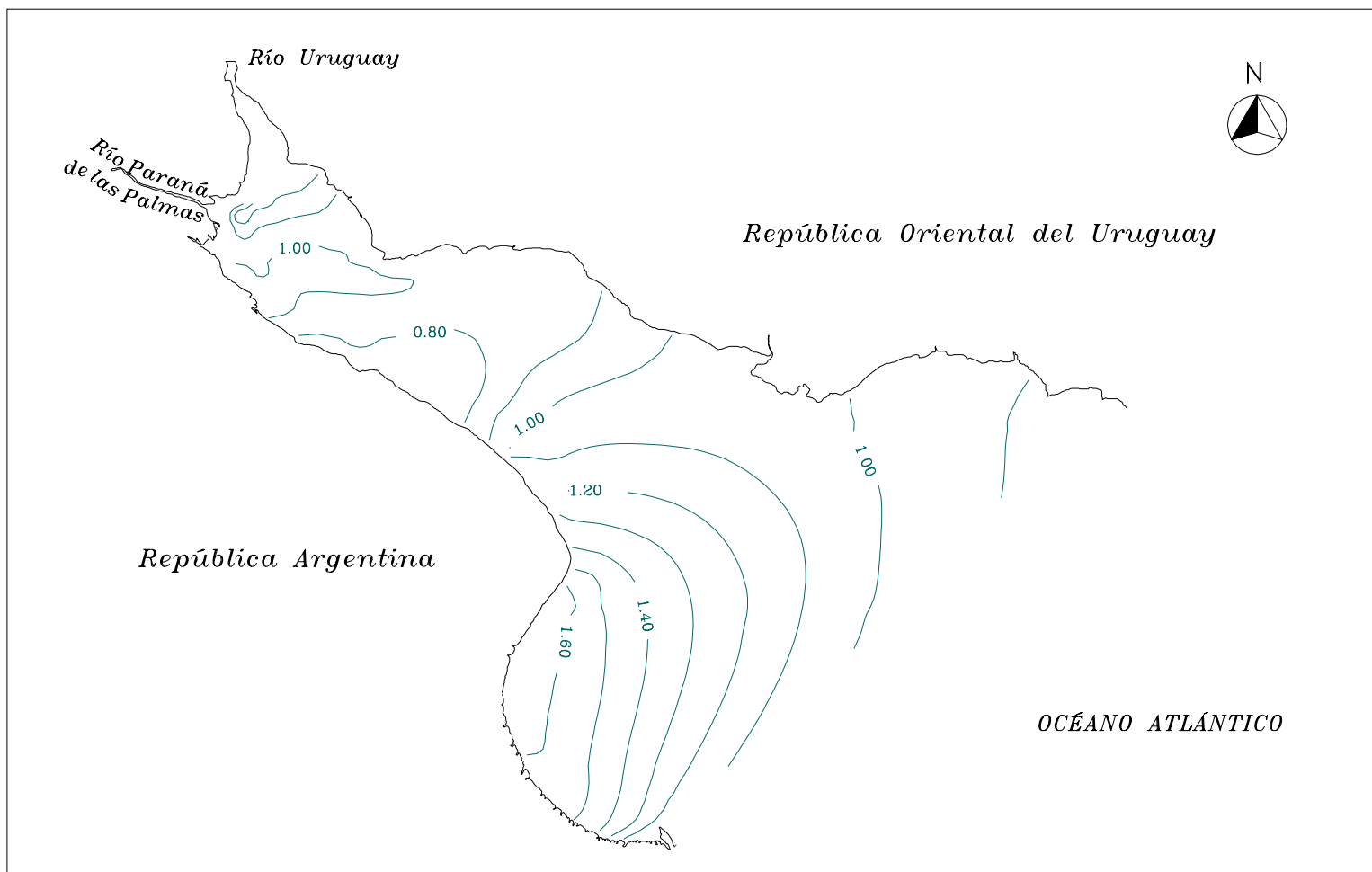


Figura 4.5c) Isoaltura de marea para $T_3=74,3$ hs

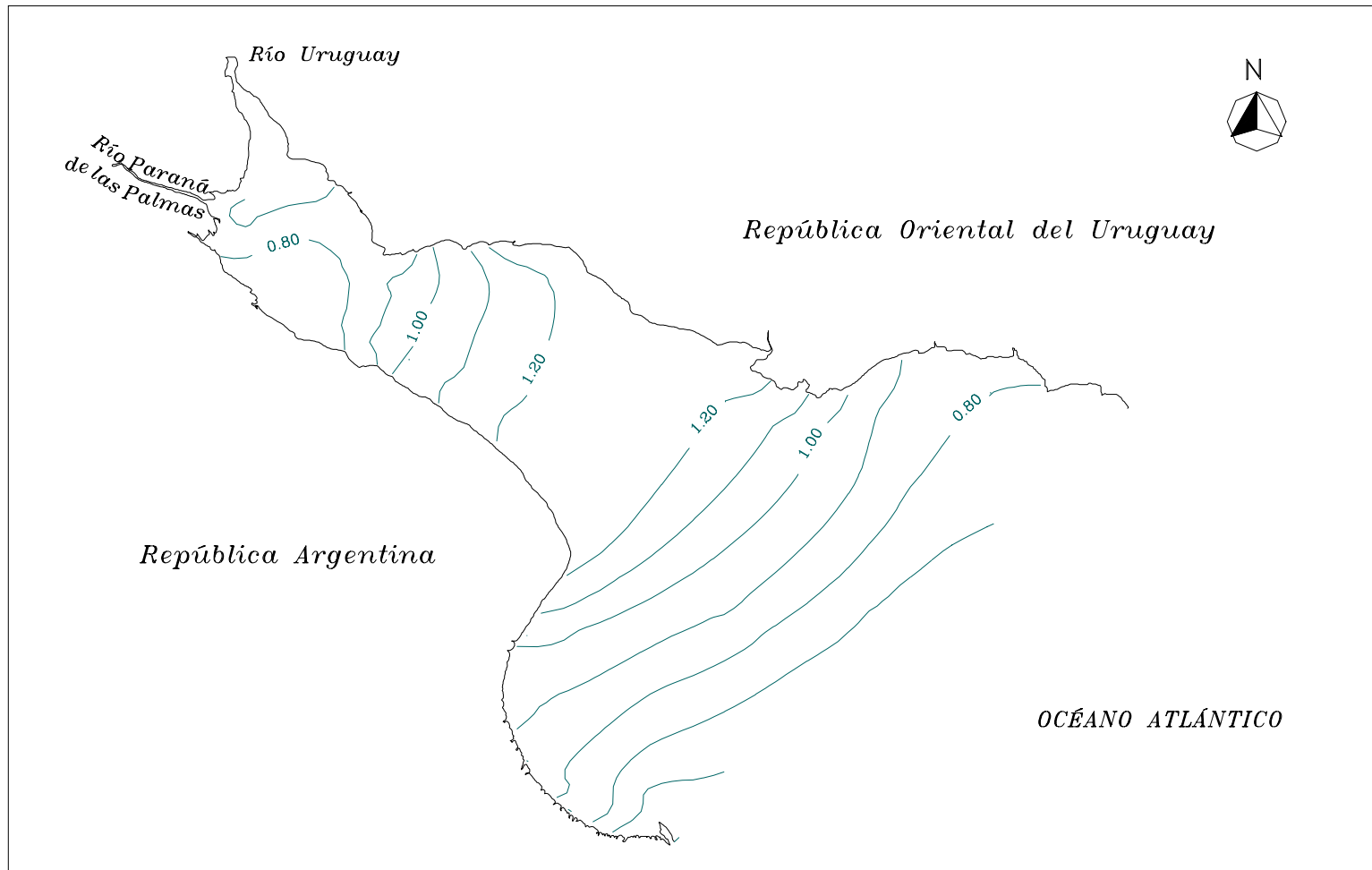


Figura 4.5d) Isoaltura de marea para $T_4=76,3$ hs

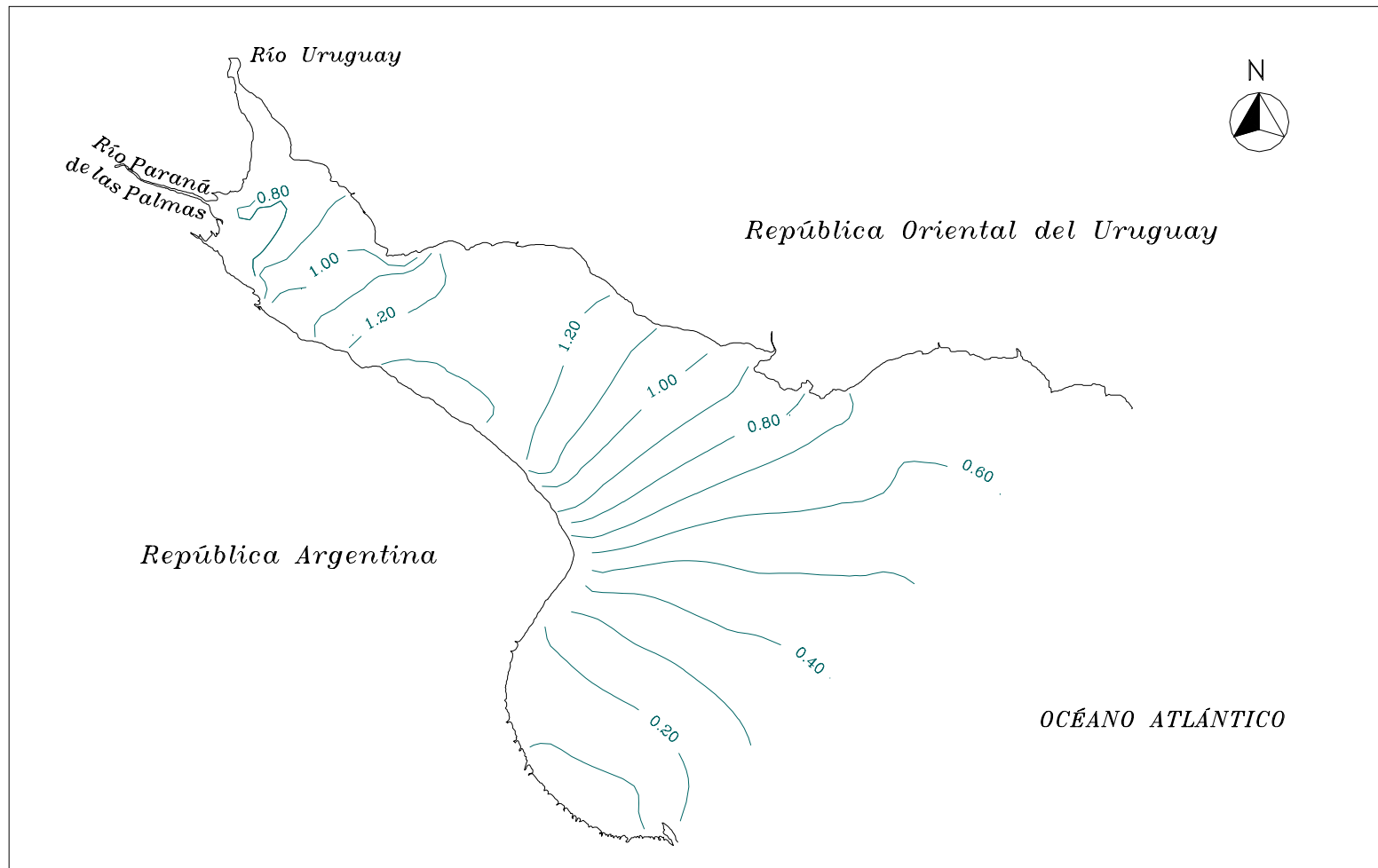


Figura 4.5e) Isoaltura de marea para $T5=78,3$ hs

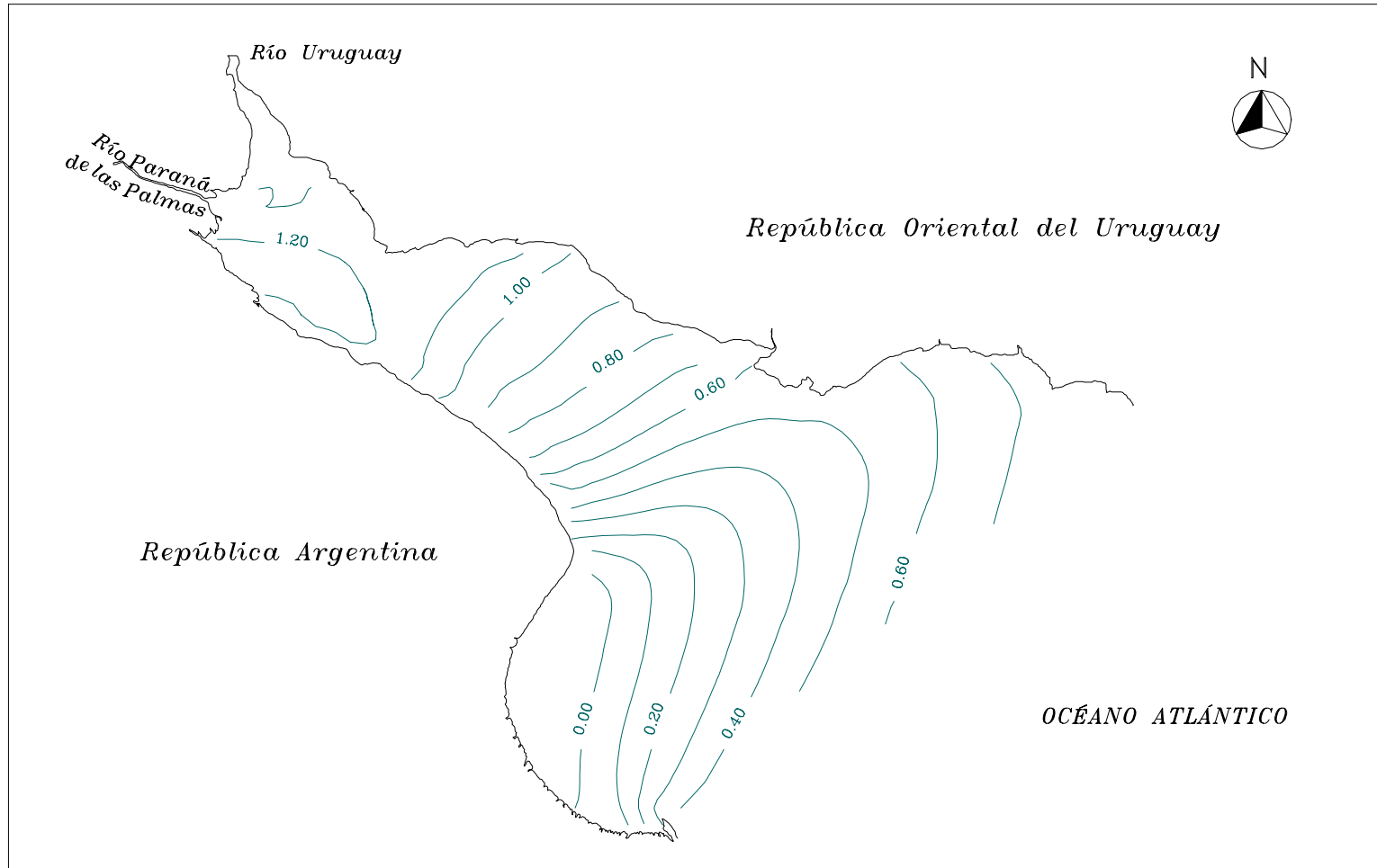


Figura 4.5f) Isoaltura de marea para $T_6=80,3$ hs

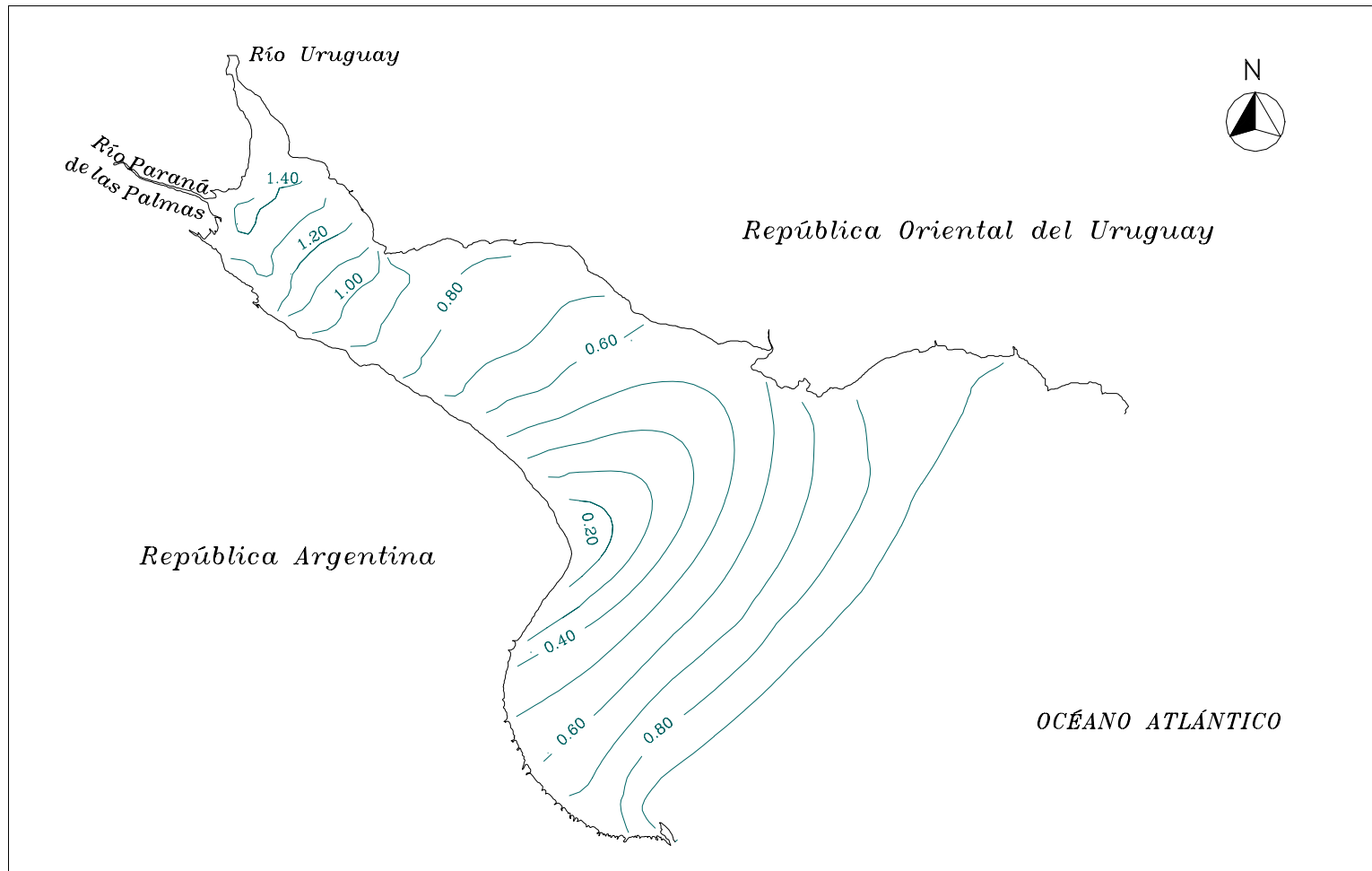


Figura 4.5g) Isoaltura de marea para $T7=82,3$ hs

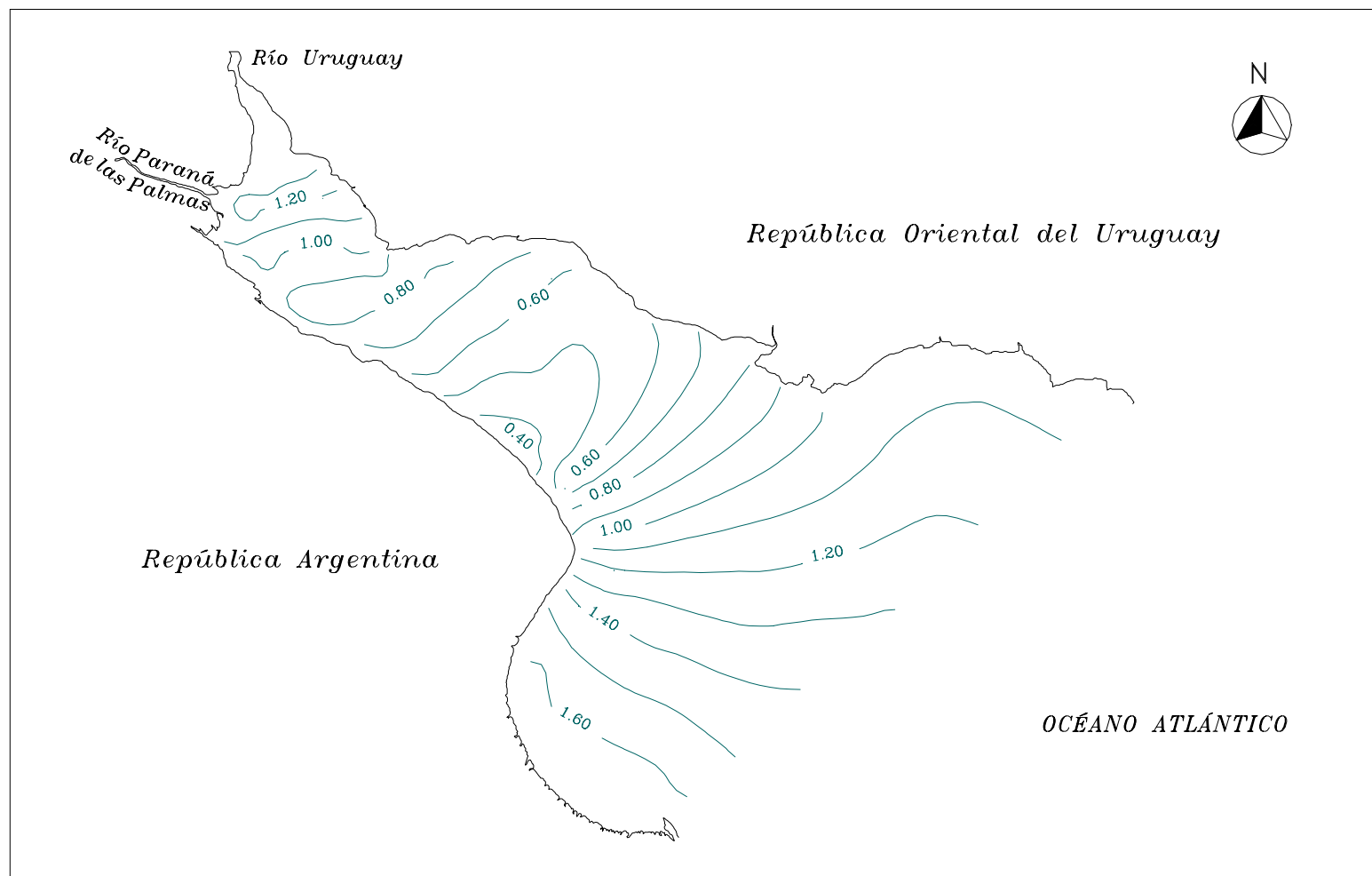


Figura 4.5h) Isoaltura de marea para $T8=84,3$ hs

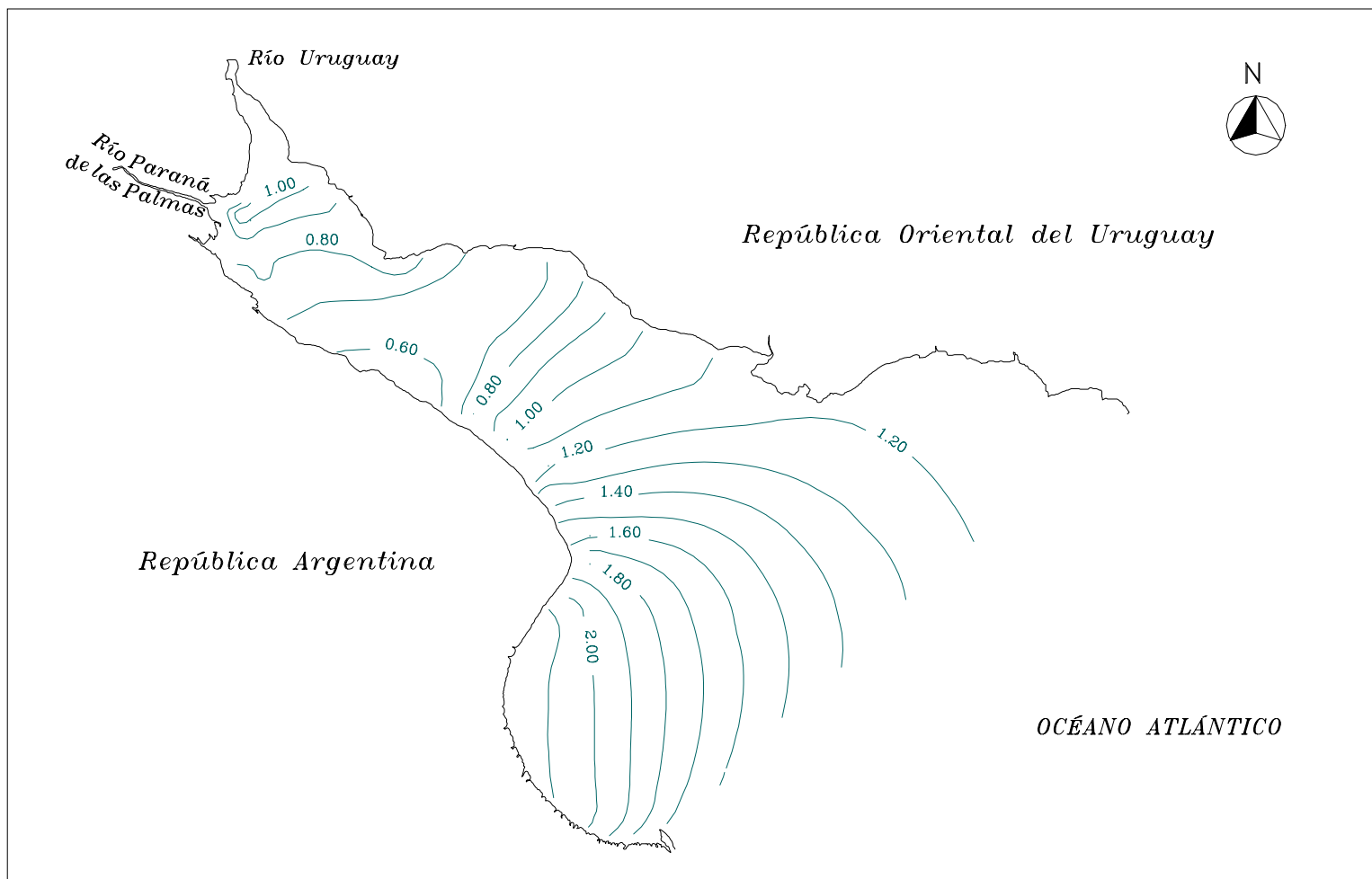


Figura 4.5i) Isoaltura de marea para T9=86,3 hs

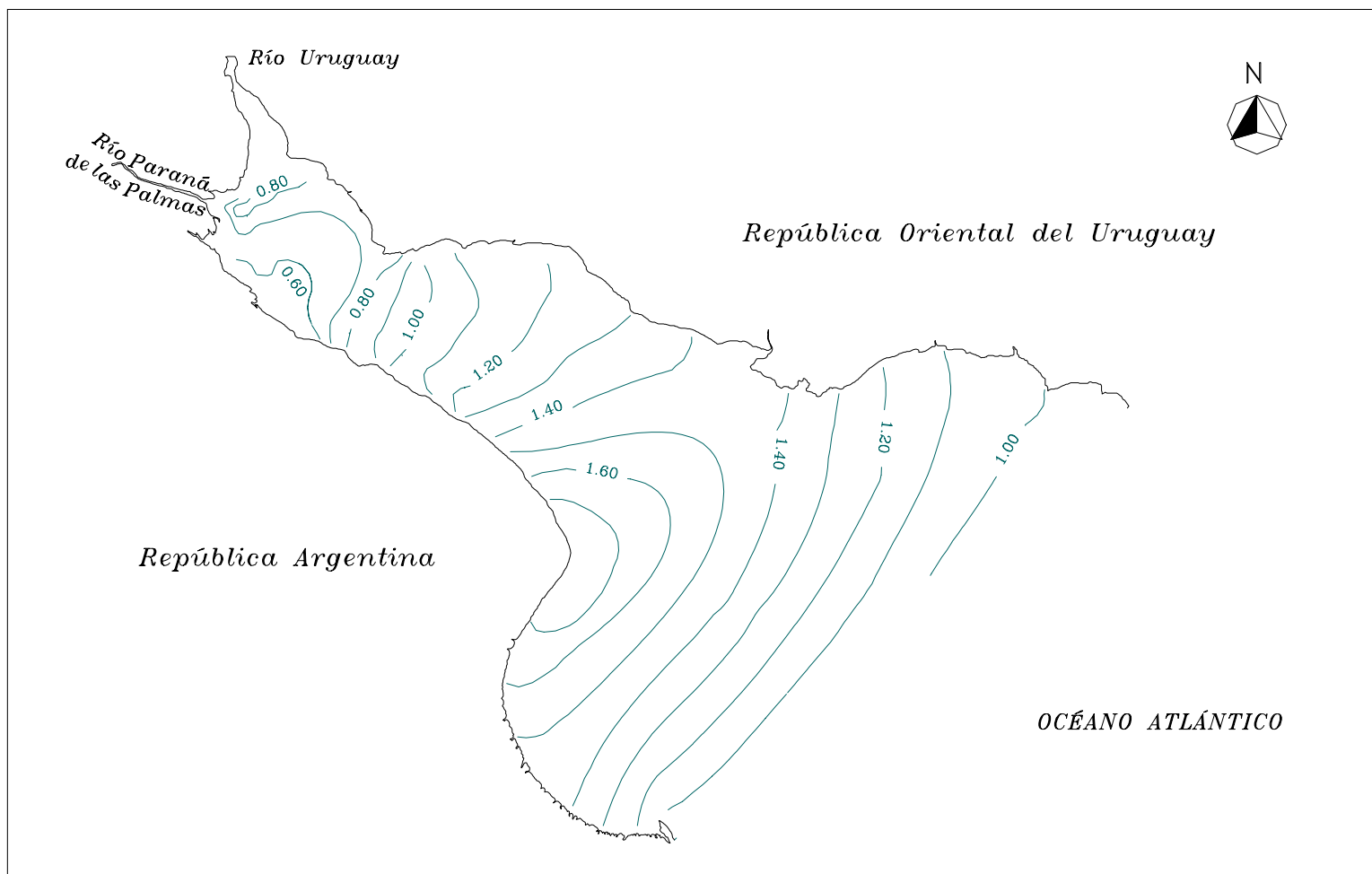


Figura 4.5j) Isoaltura de marea para $T_{10}=88,3$ hs

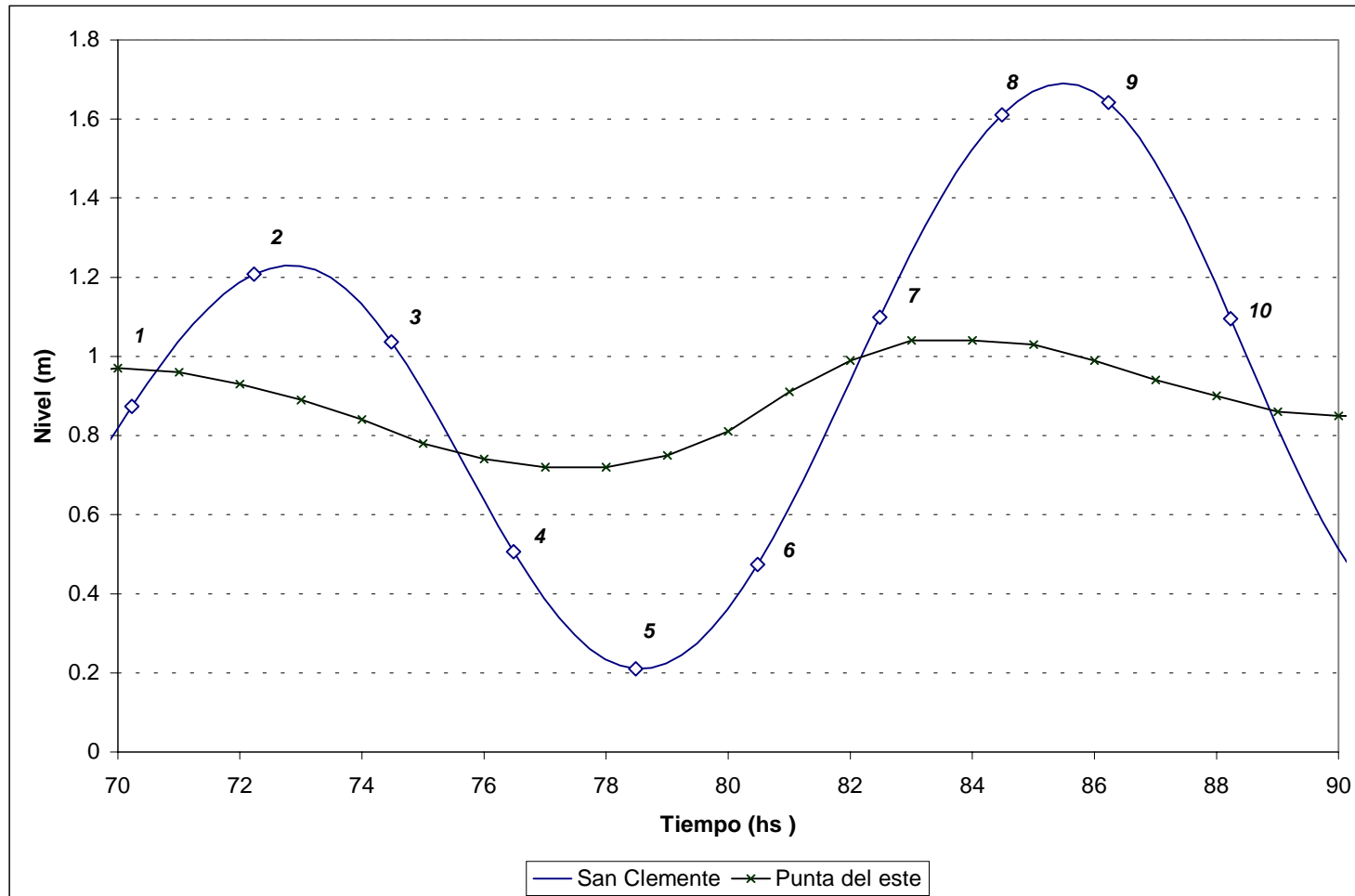


Figura 4.5k) Identificación de instantes de graficación sobre la onda de marea en San Clemente. Período 08-12/02/97

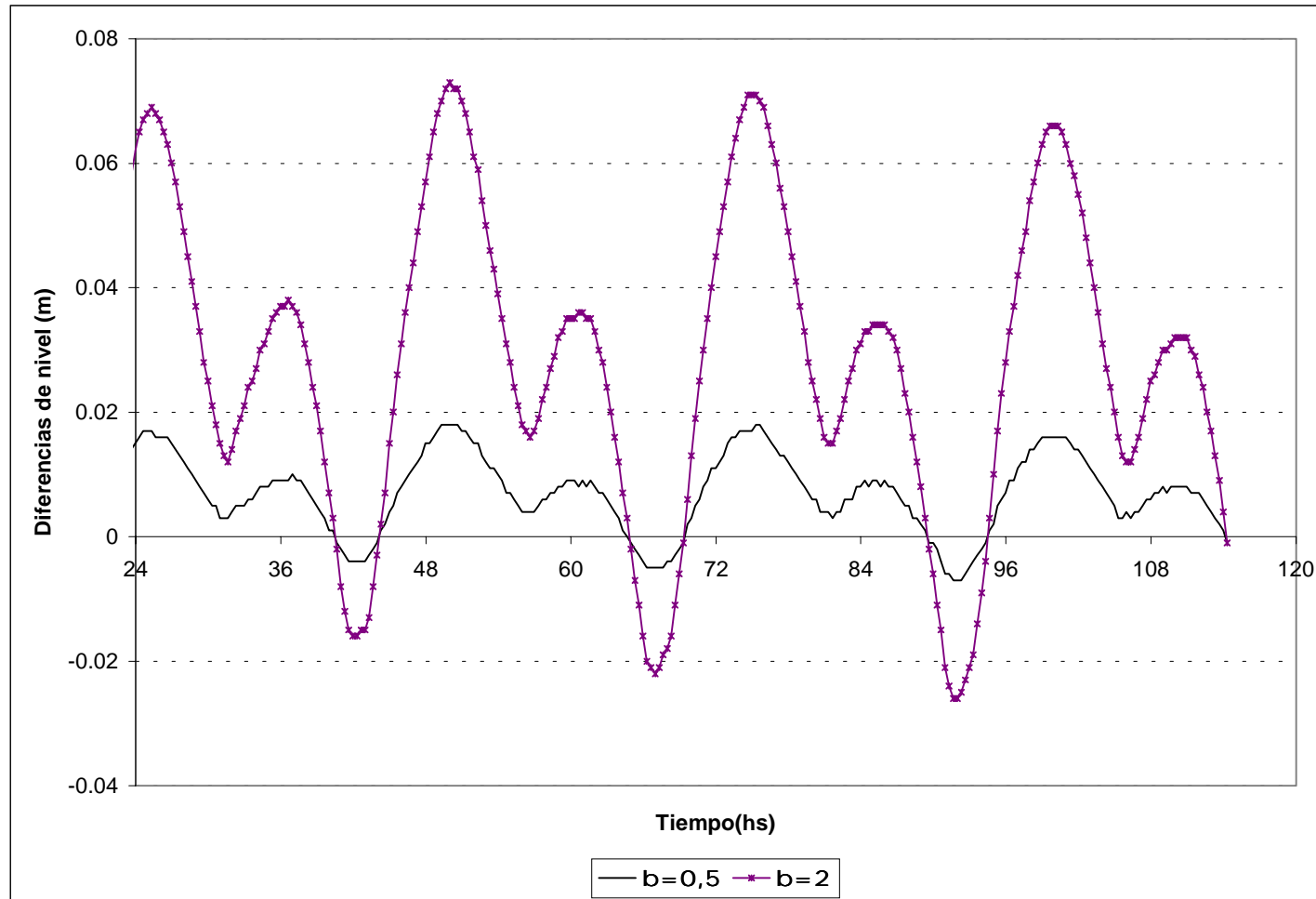


Figura 4.6a) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Martín García

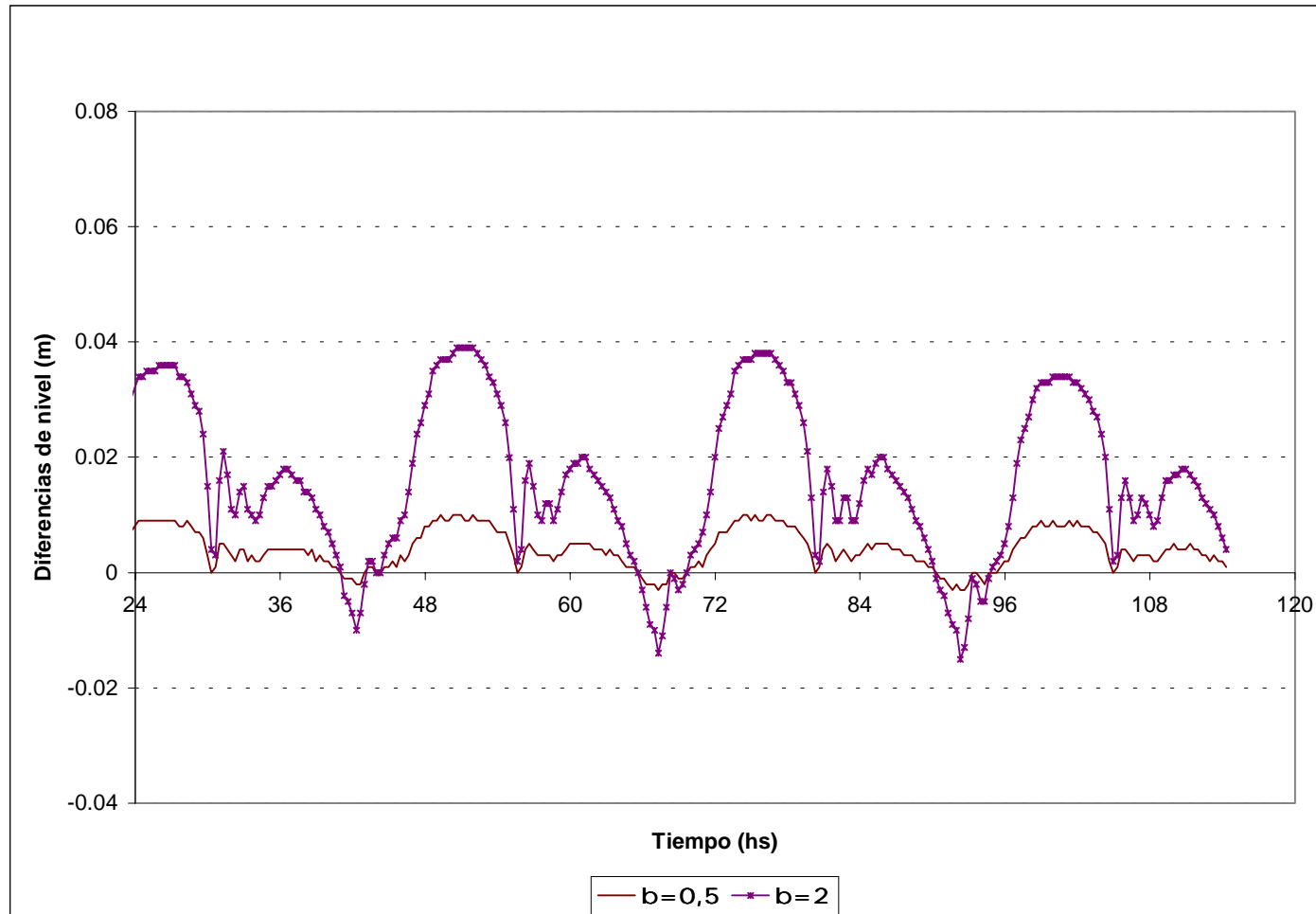


Figura 4.6b) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en San Fernando

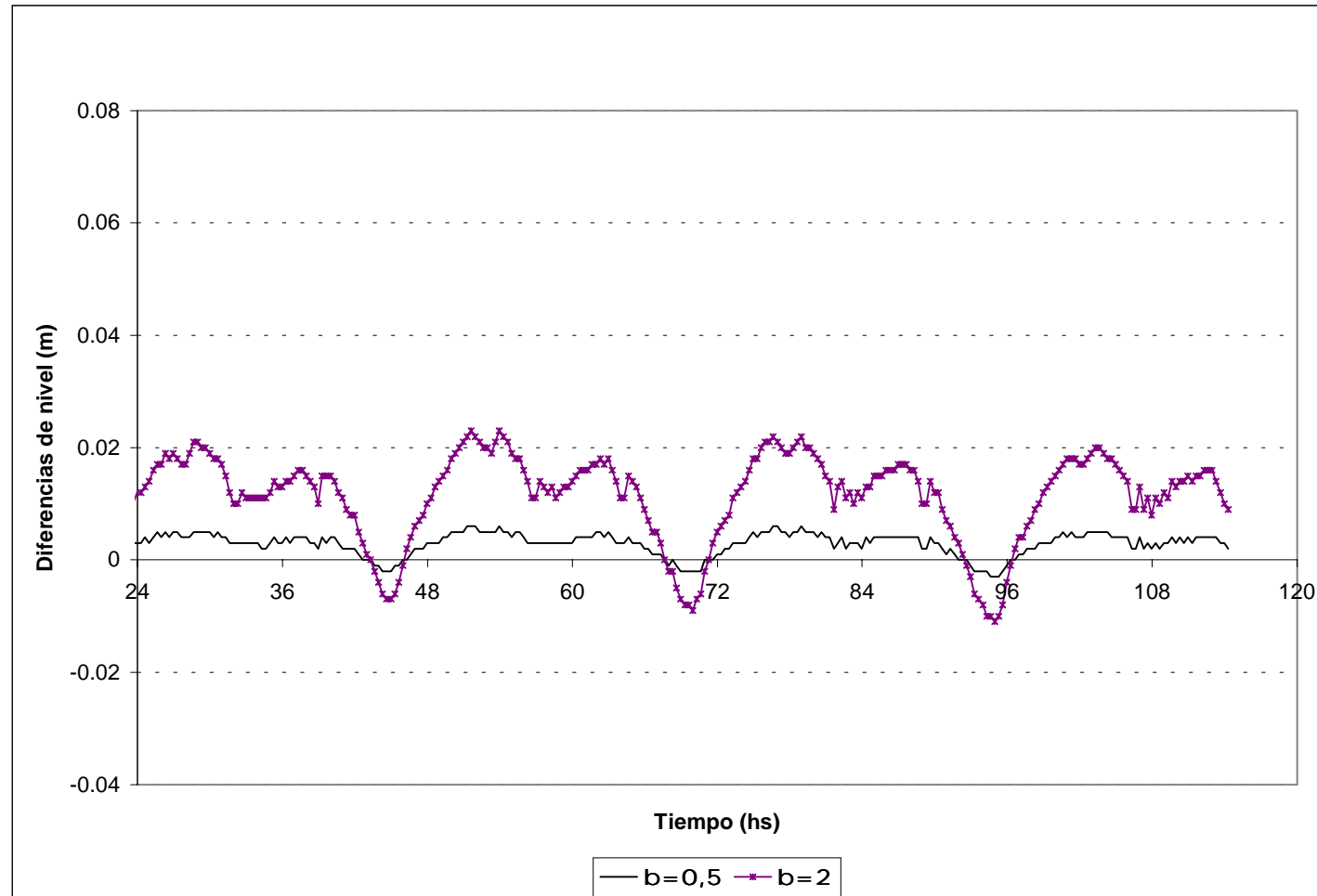


Figura 4.6c) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Colonia

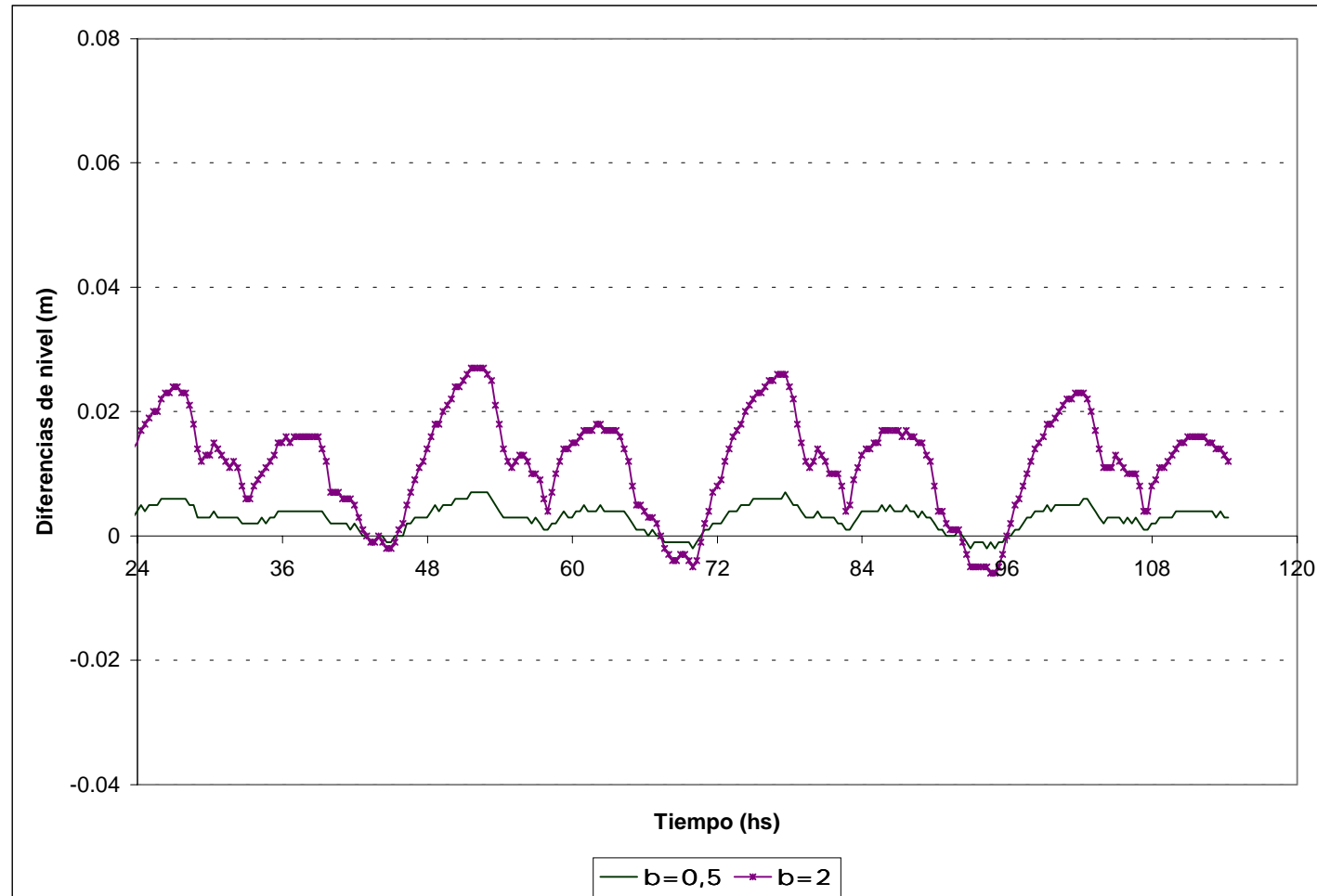


Figura 4.6d) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Buenos Aires

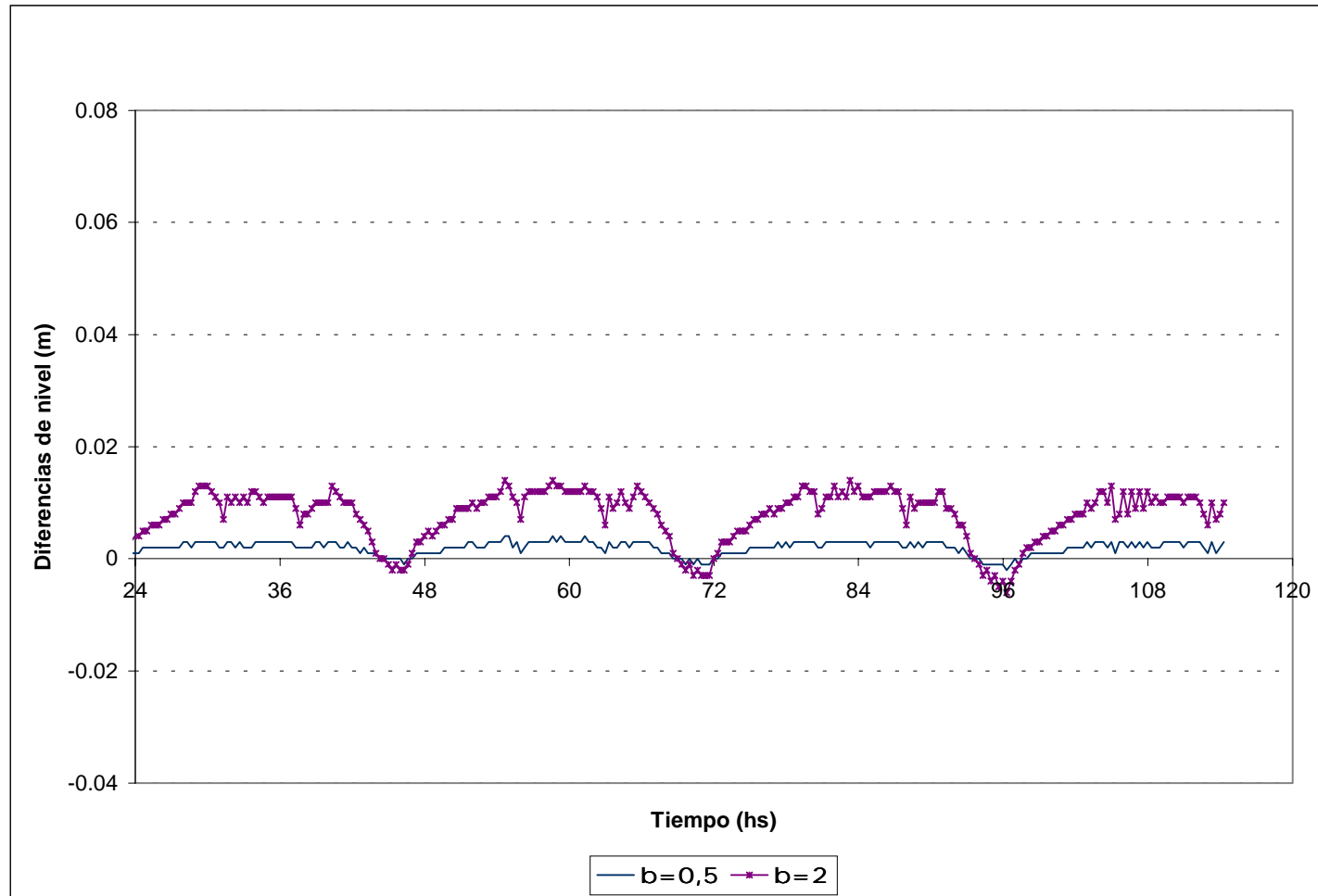


Figura 4.6e) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en La Plata

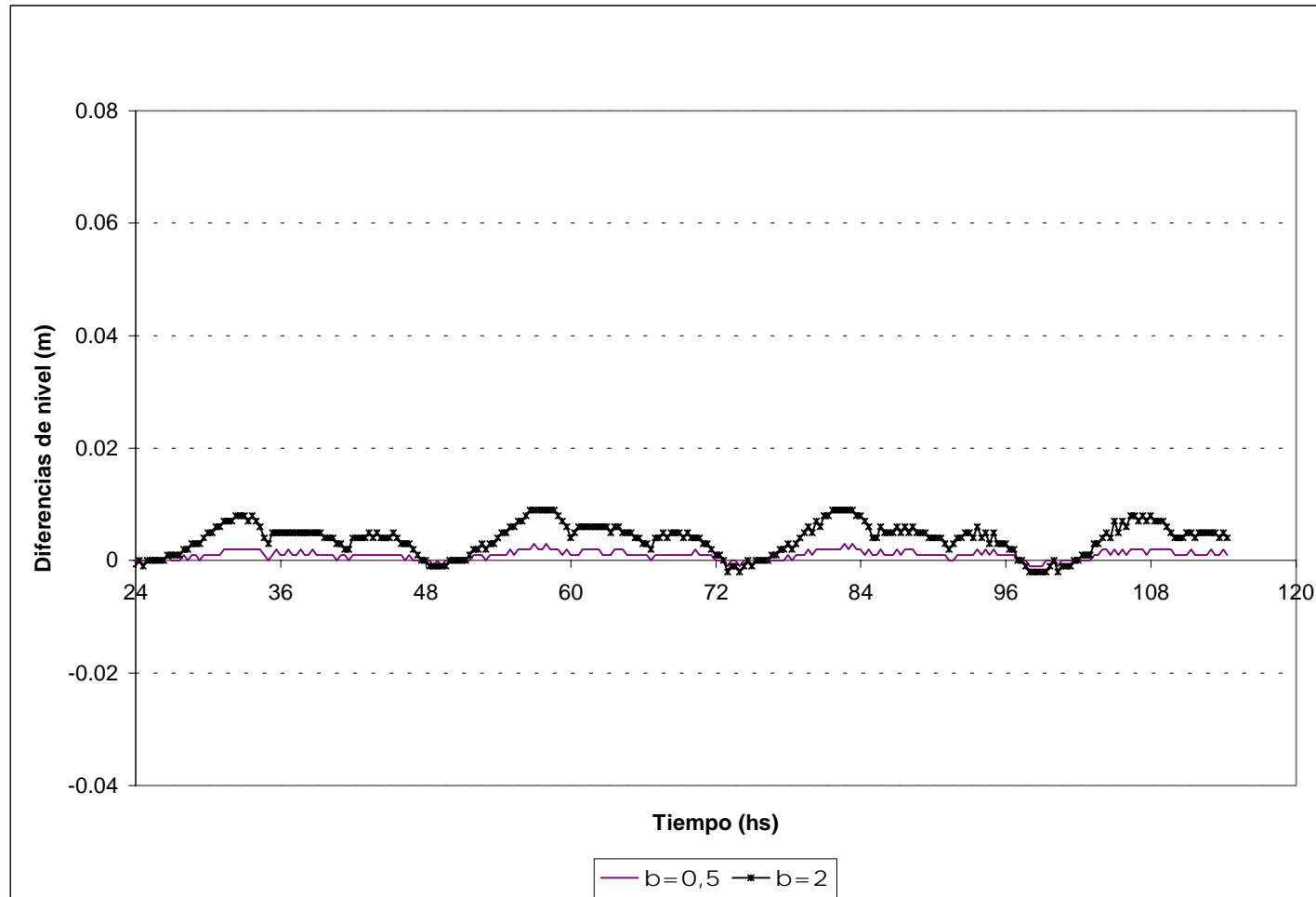


Figura 4.6f) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Torre Oyarvide

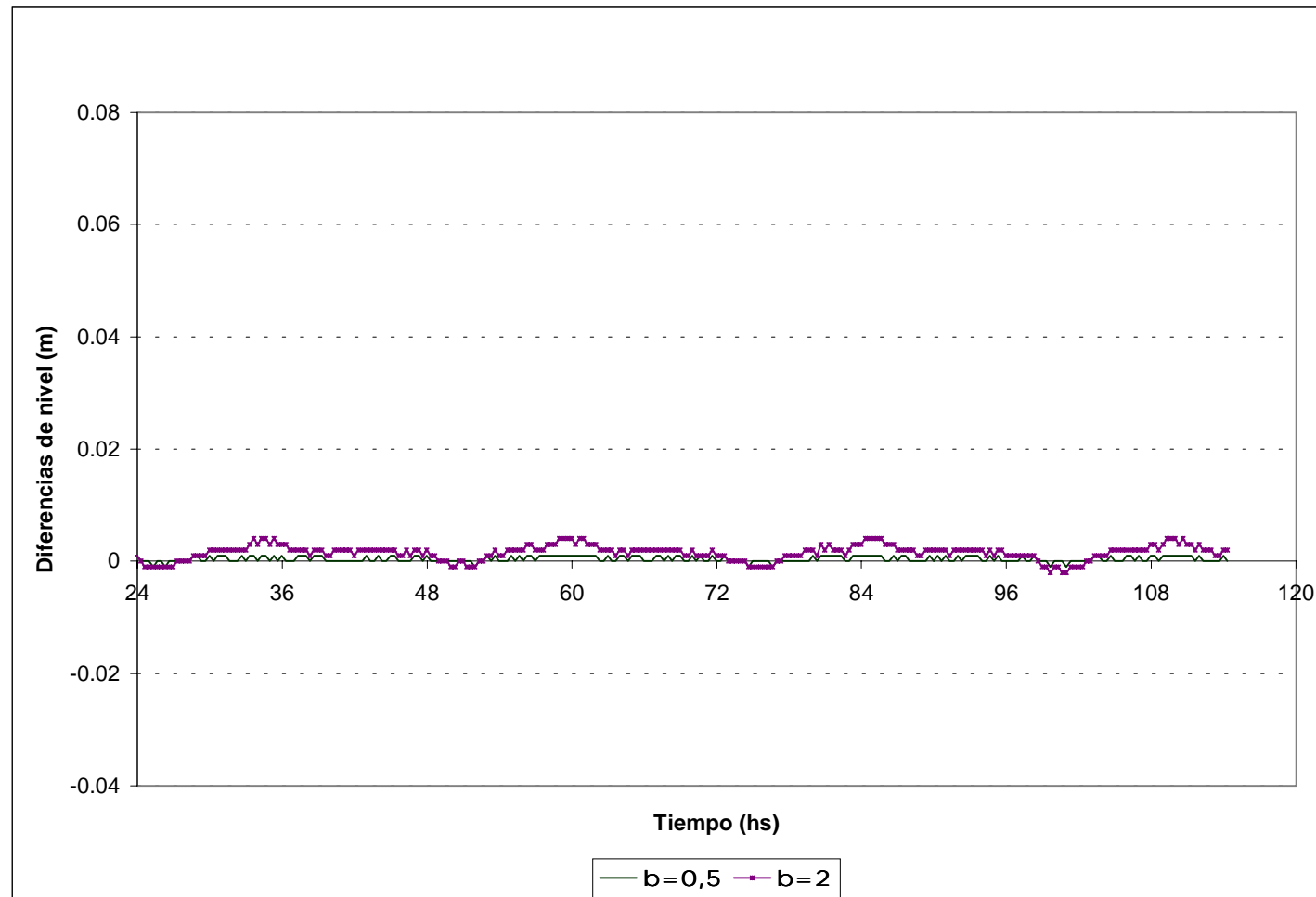


Figura 4.6g) Diferencia de nivel respecto al cálculo con caudal constante, en Montevideo

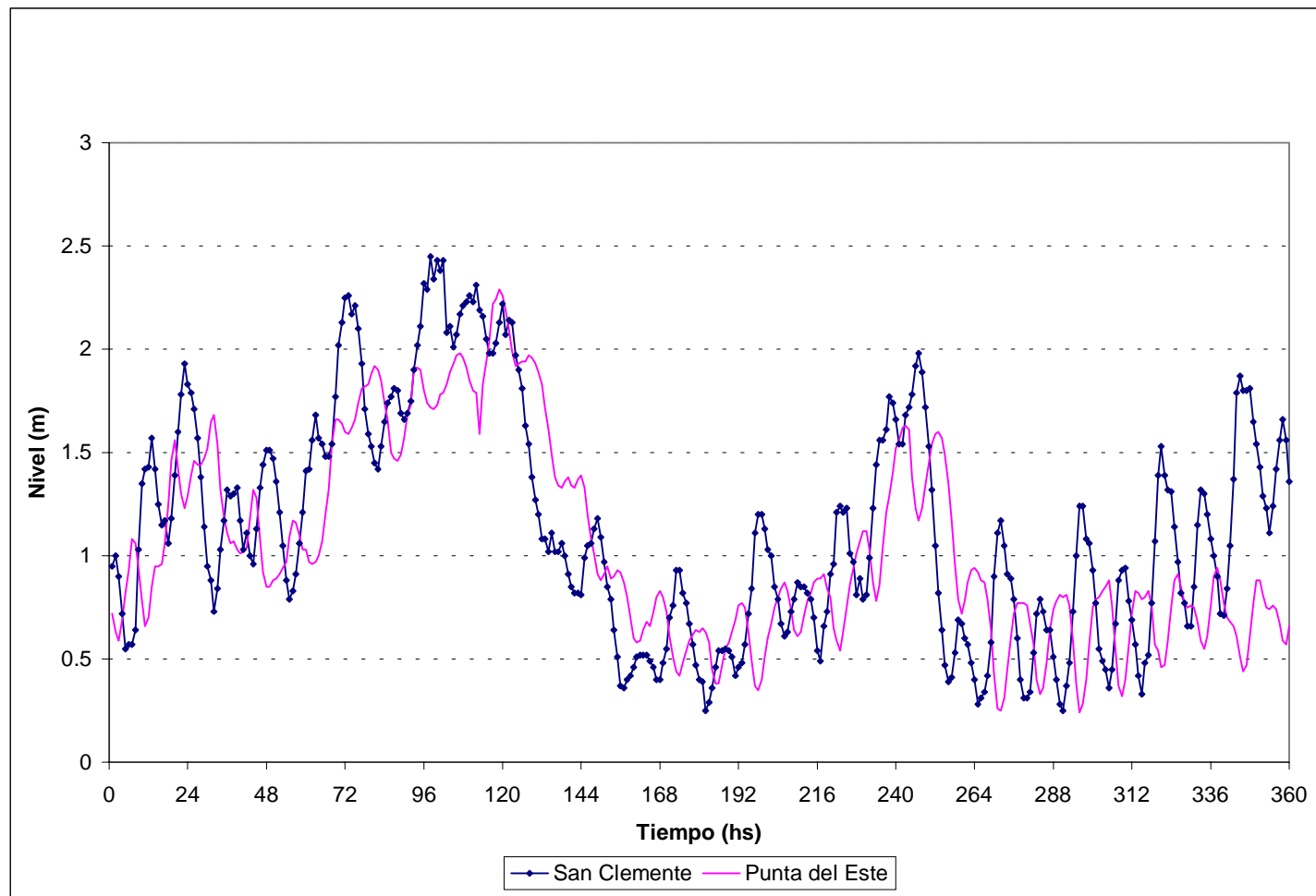


Figura 4.7 Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

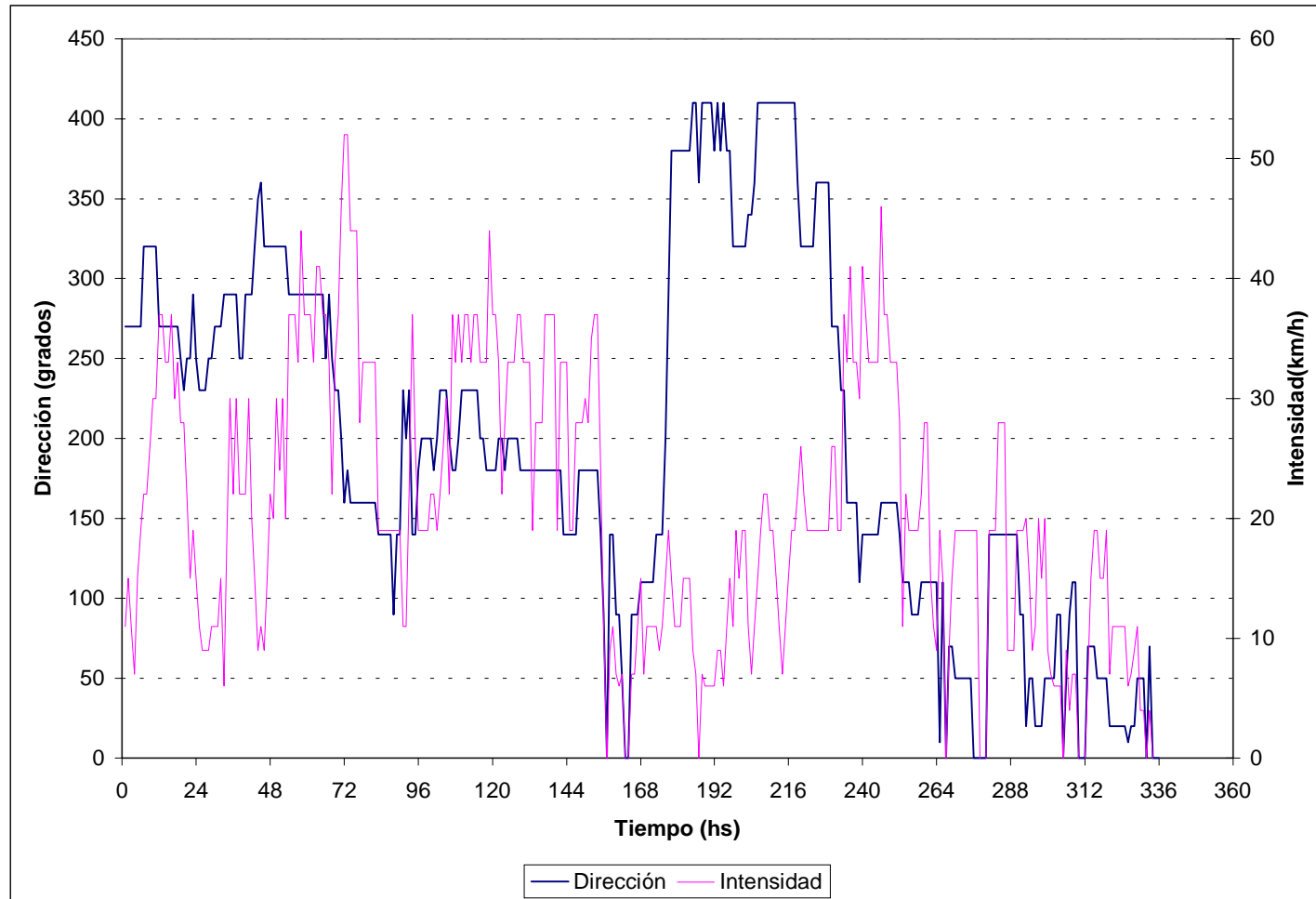


Figura 4.8 Registro de viento en Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

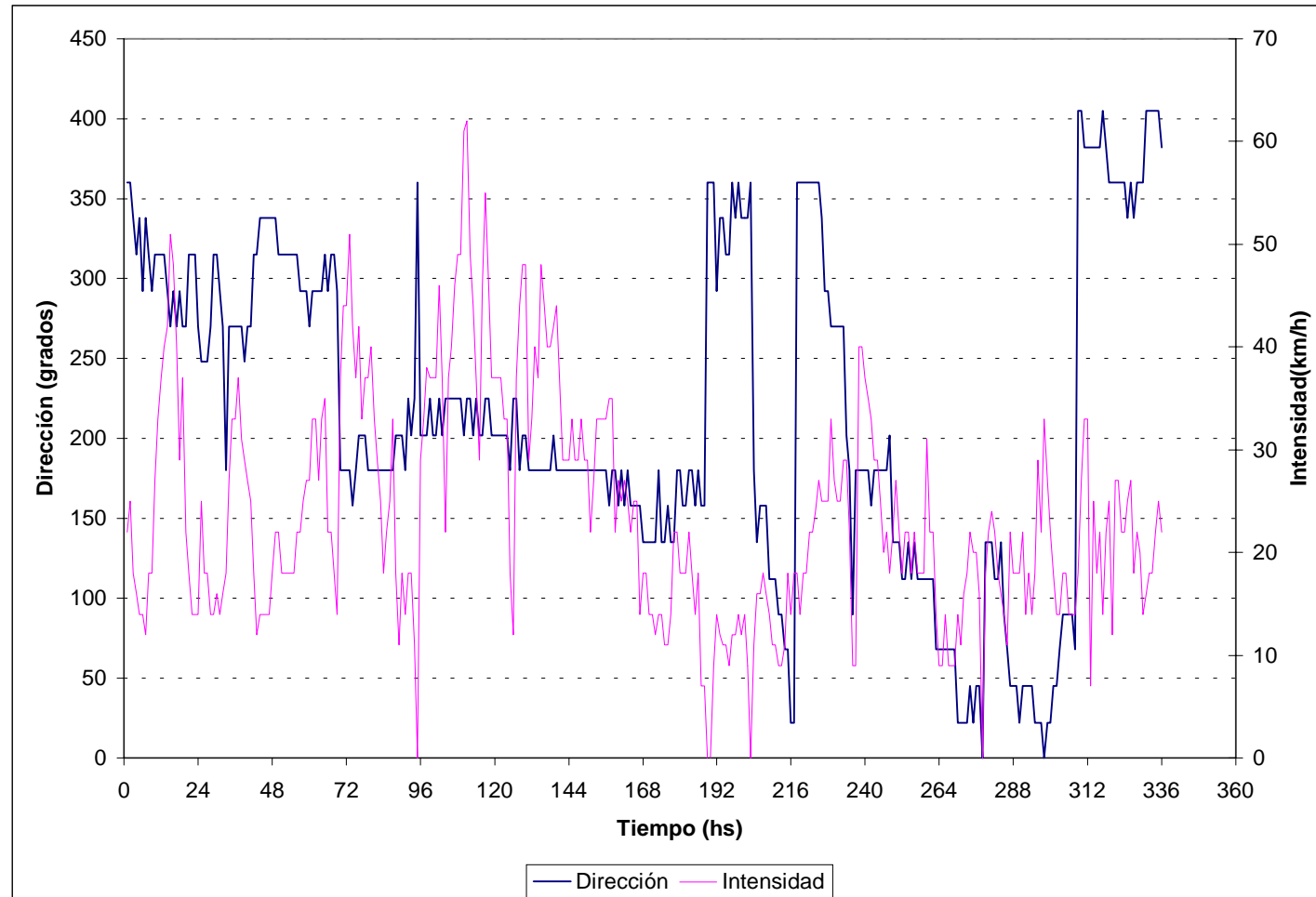


Figura 4.9 Registro de viento en Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

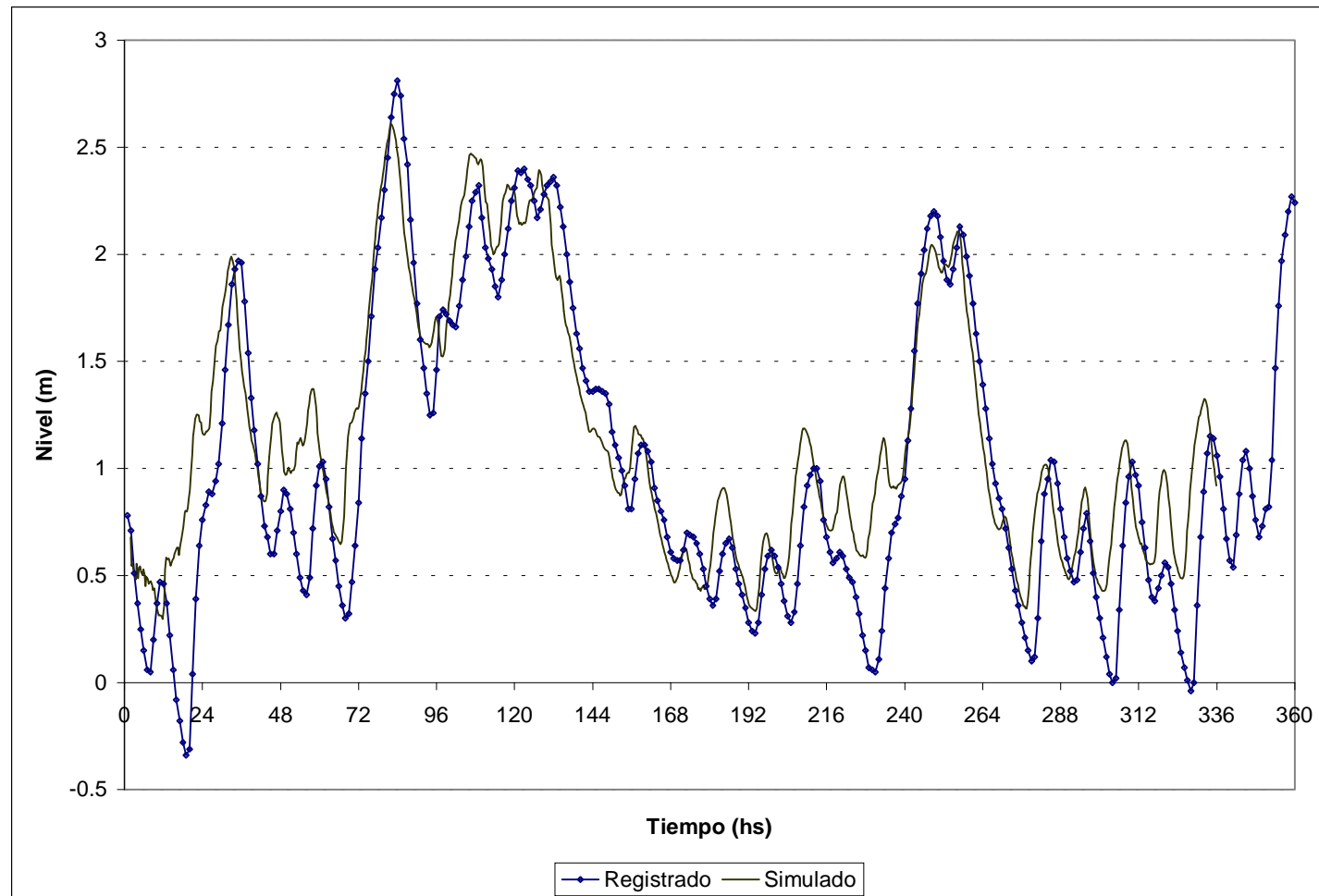


Figura 4.10a) Contraste de niveles en Buenos Aires para zonificación longitudinal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

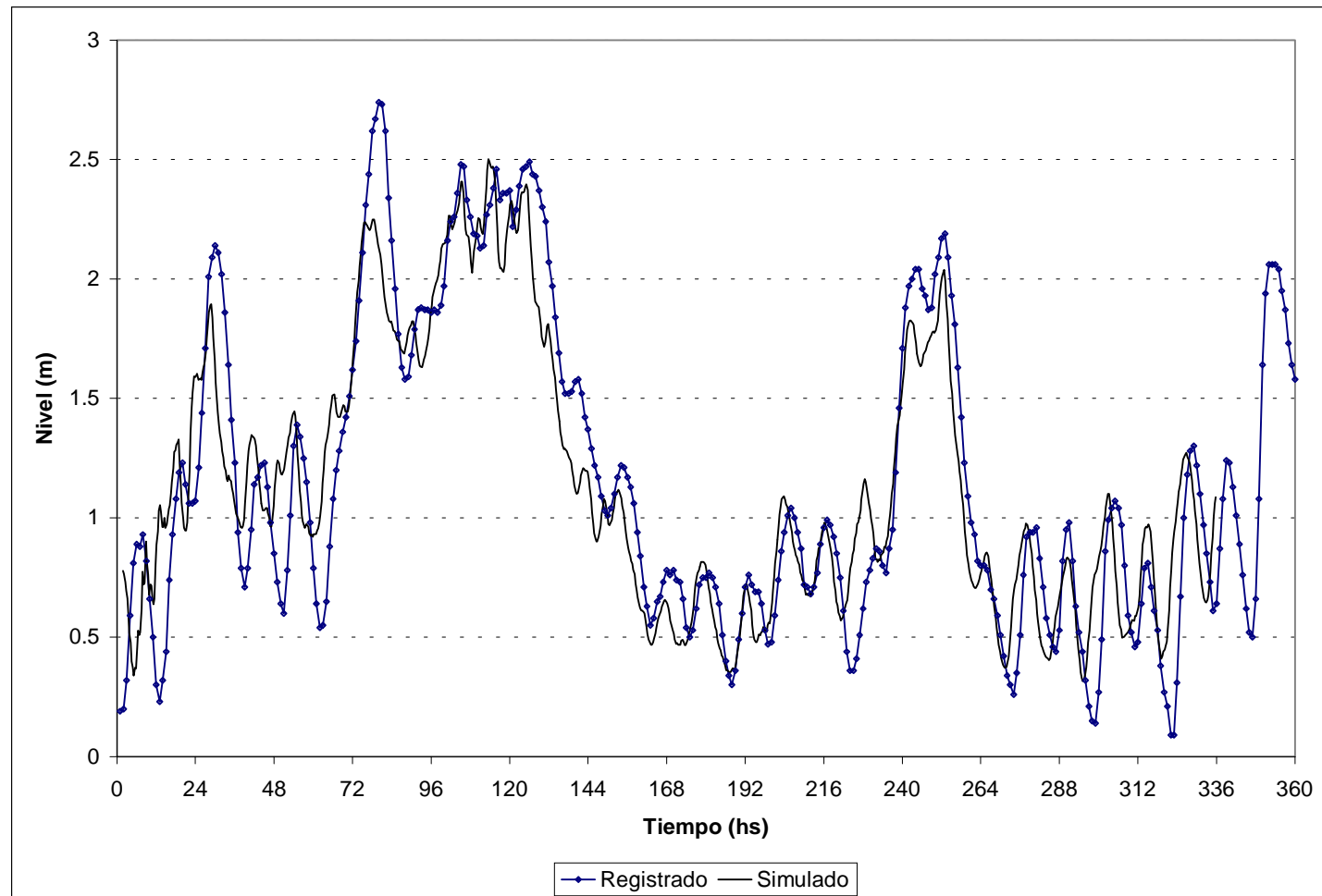


Figura 4.10b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para zonificación longitudinal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

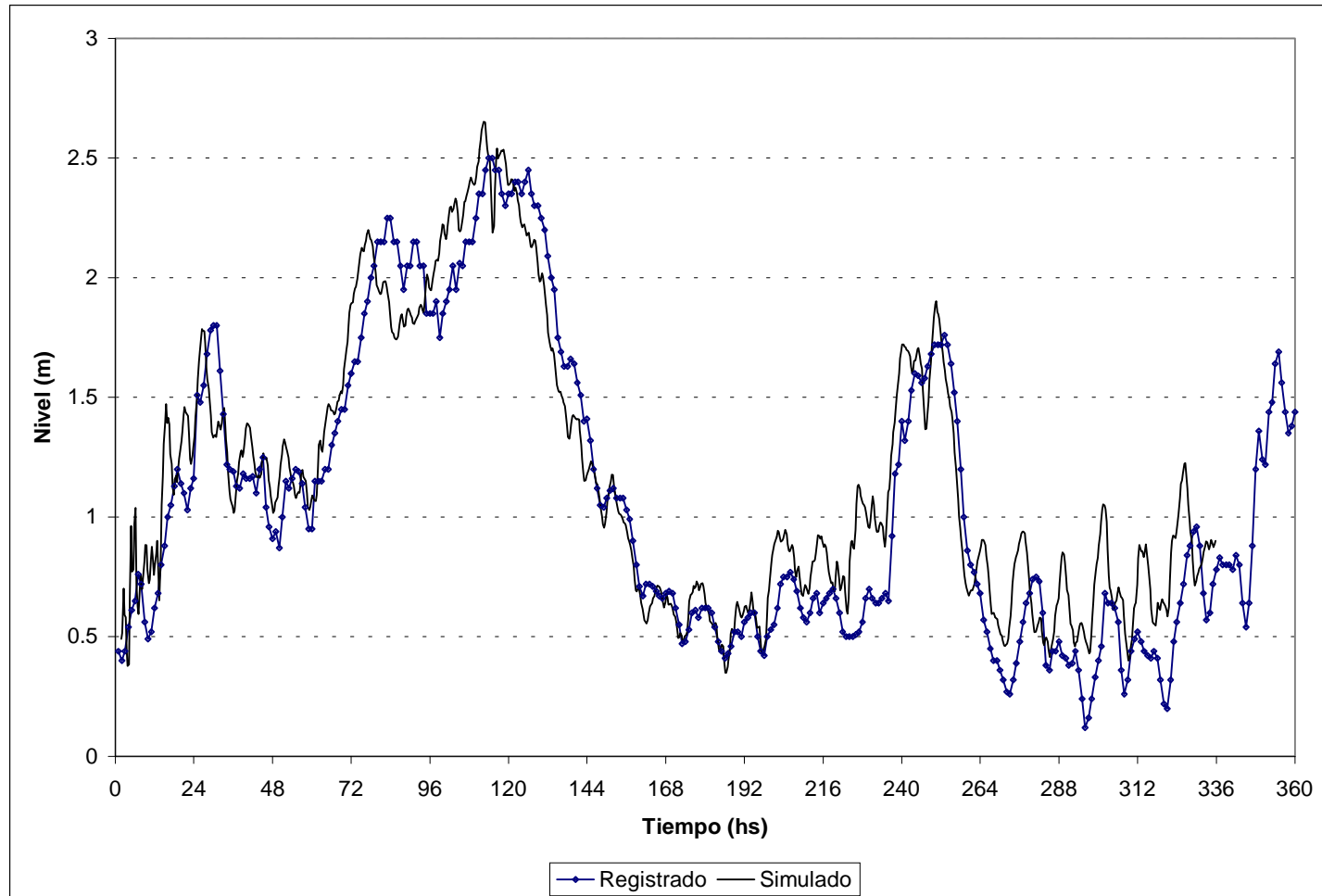


Figura 4.10c) Contraste de niveles en Montevideo para zonificación longitudinal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

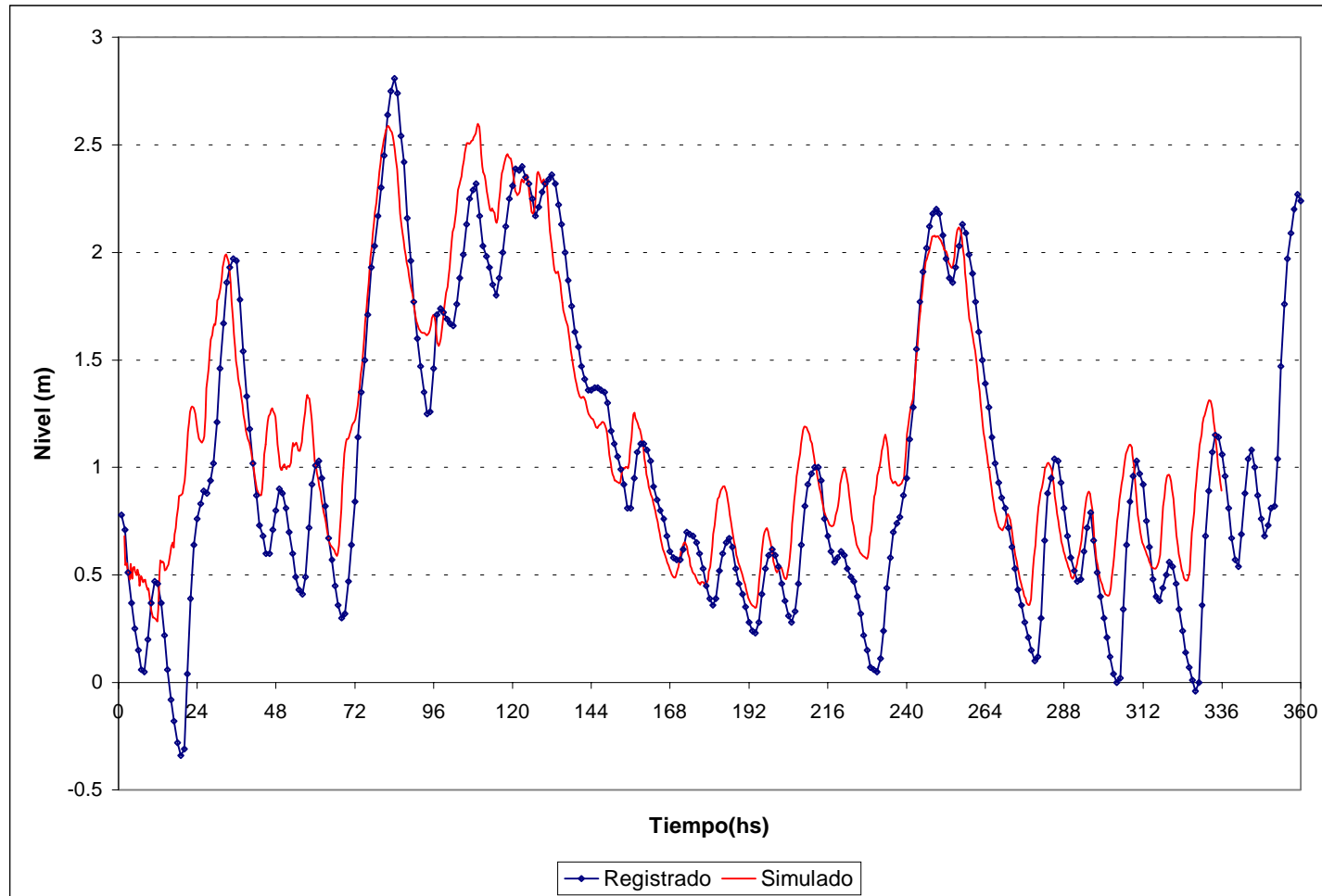


Figura 4.11a) Contraste de niveles en Buenos Aires para zonificación transversal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

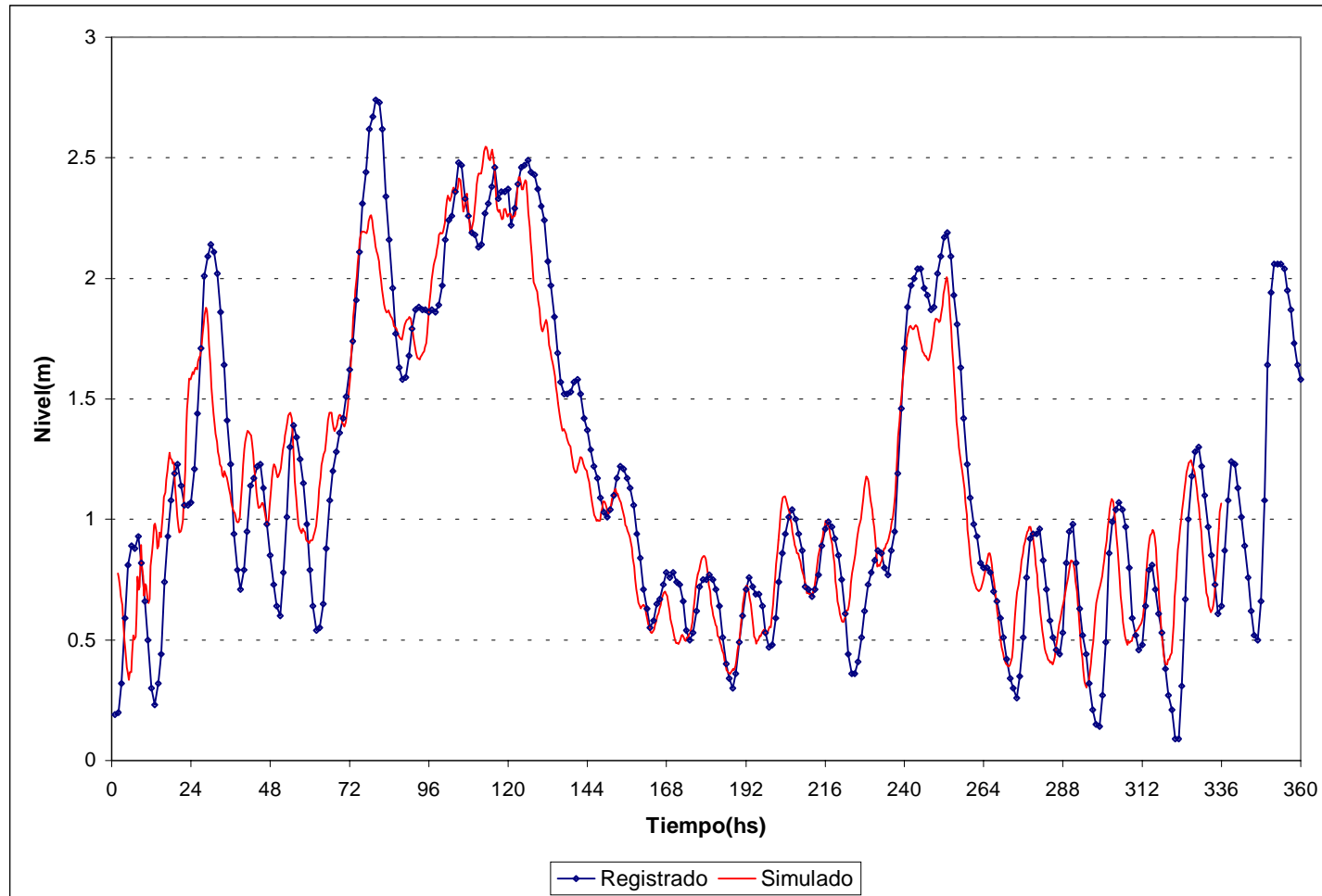


Figura 4.11b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para zonificación transversal del viento . Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

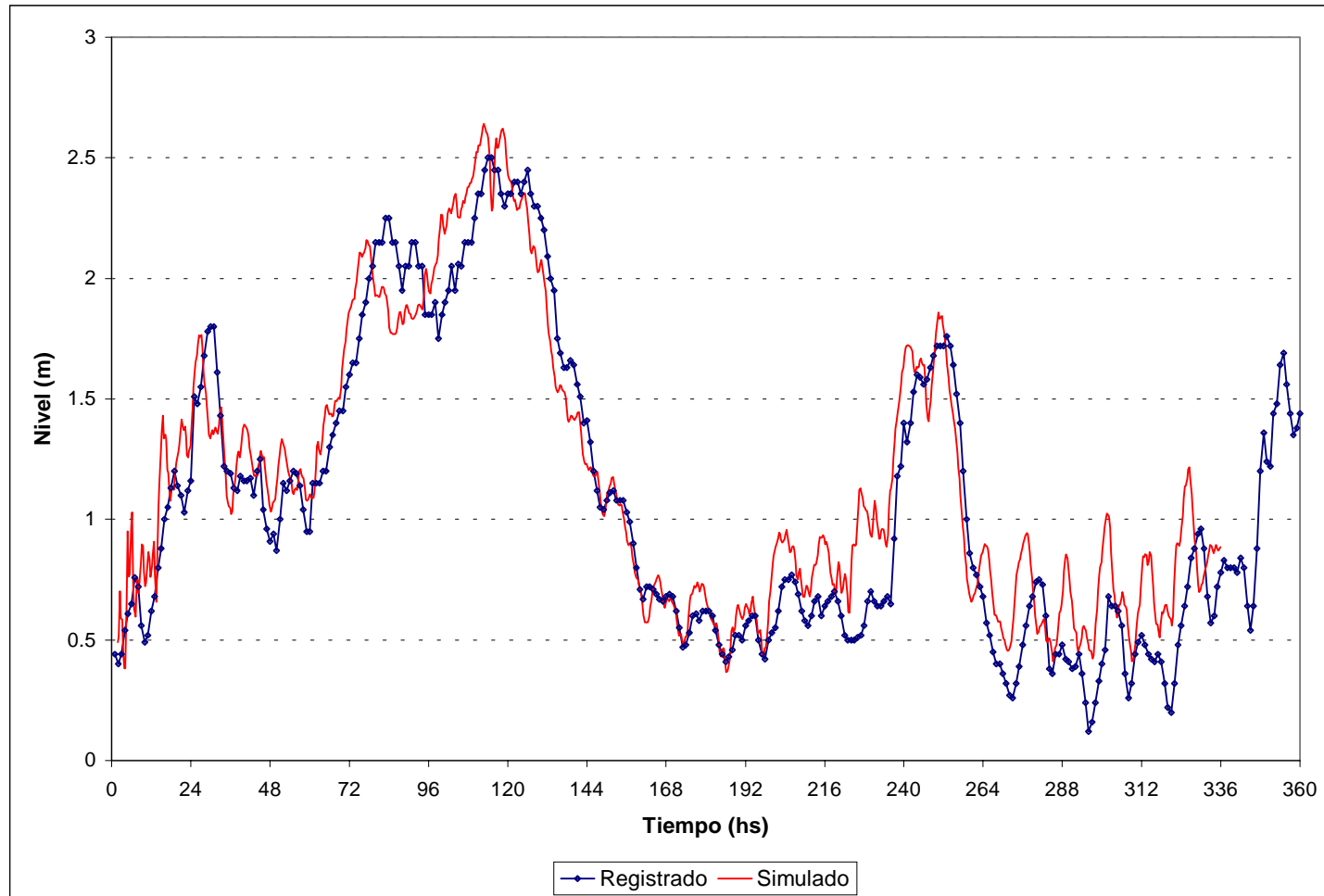


Figura 4.11c) Contraste de niveles en Montevideo para zonificación transversal del viento. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

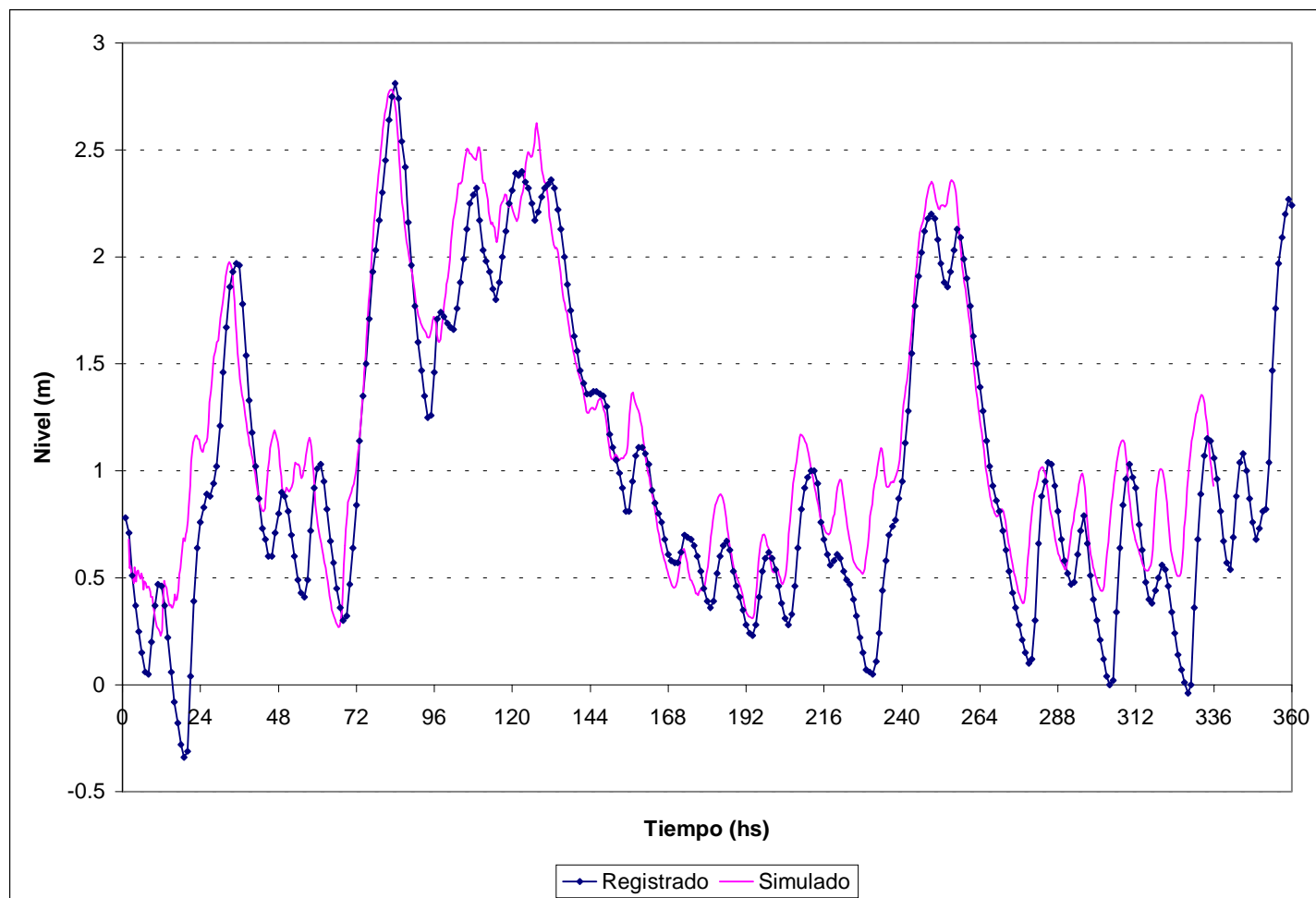


Figura 4.12a) Contraste de niveles en Buenos Aires para viento uniforme e igual al de Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

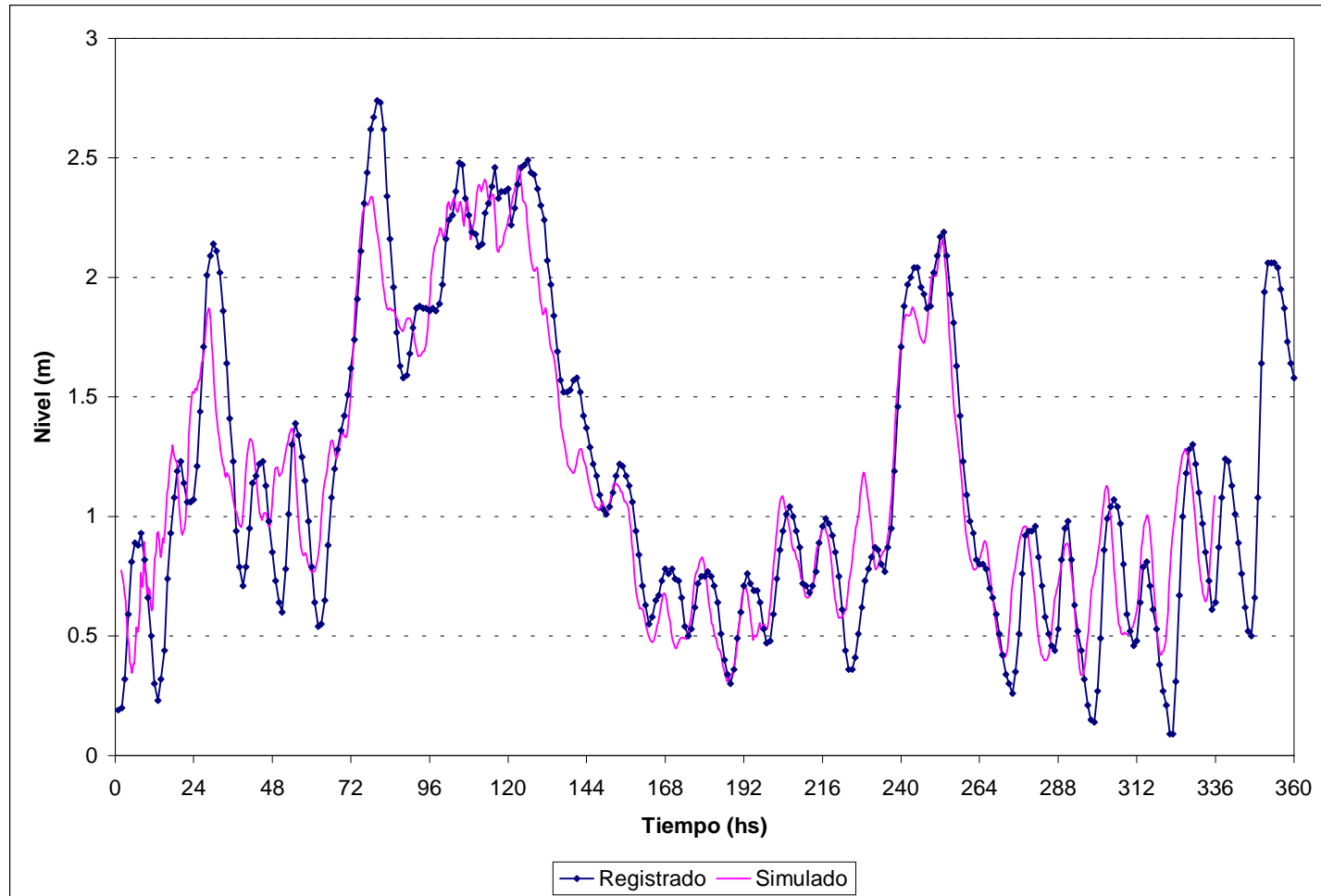


Figura 4.12b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para viento uniforme e igual al de Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

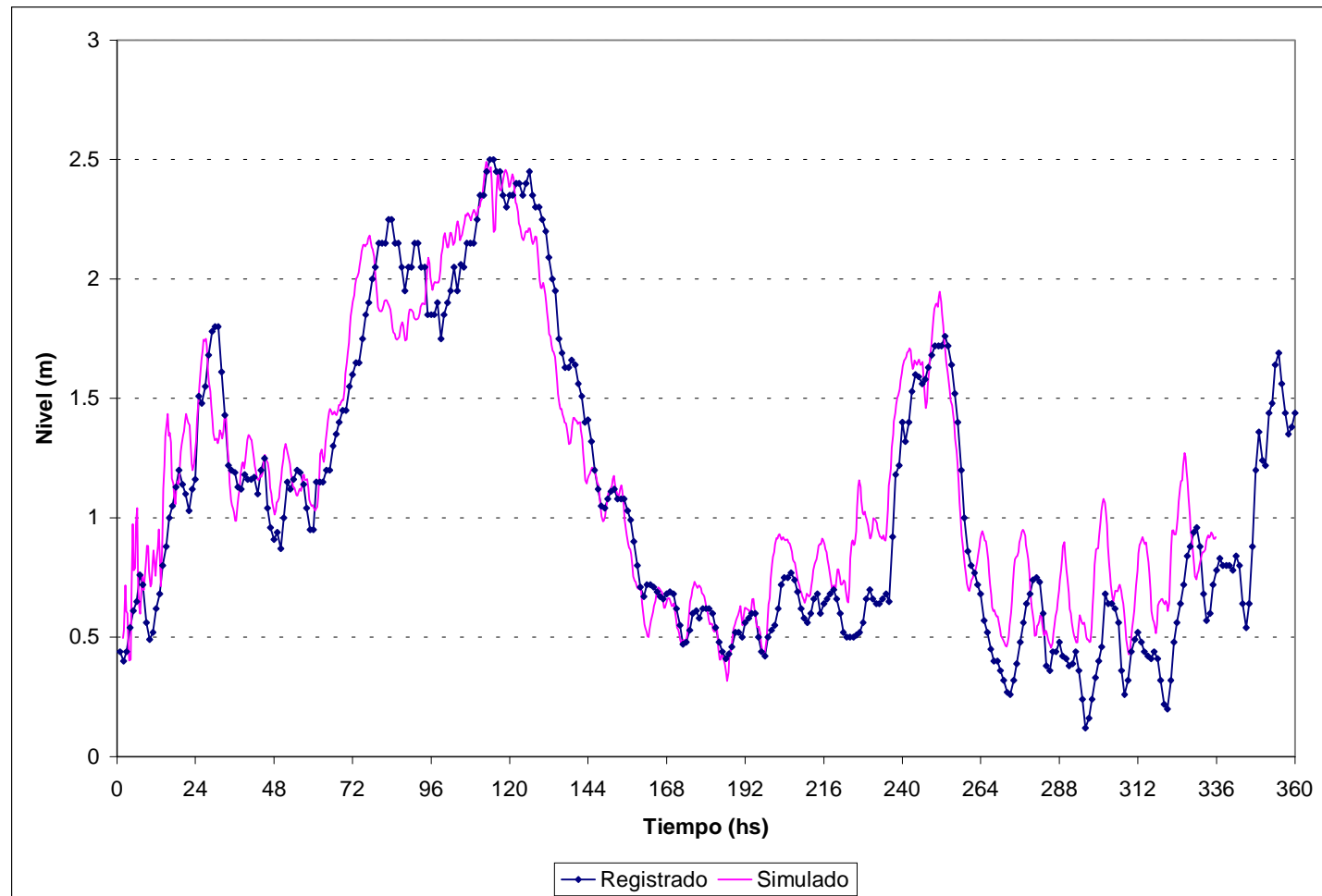


Figura 4.12c) Contraste de niveles en Montevideo para viento uniforme e igual al de Buenos Aires. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

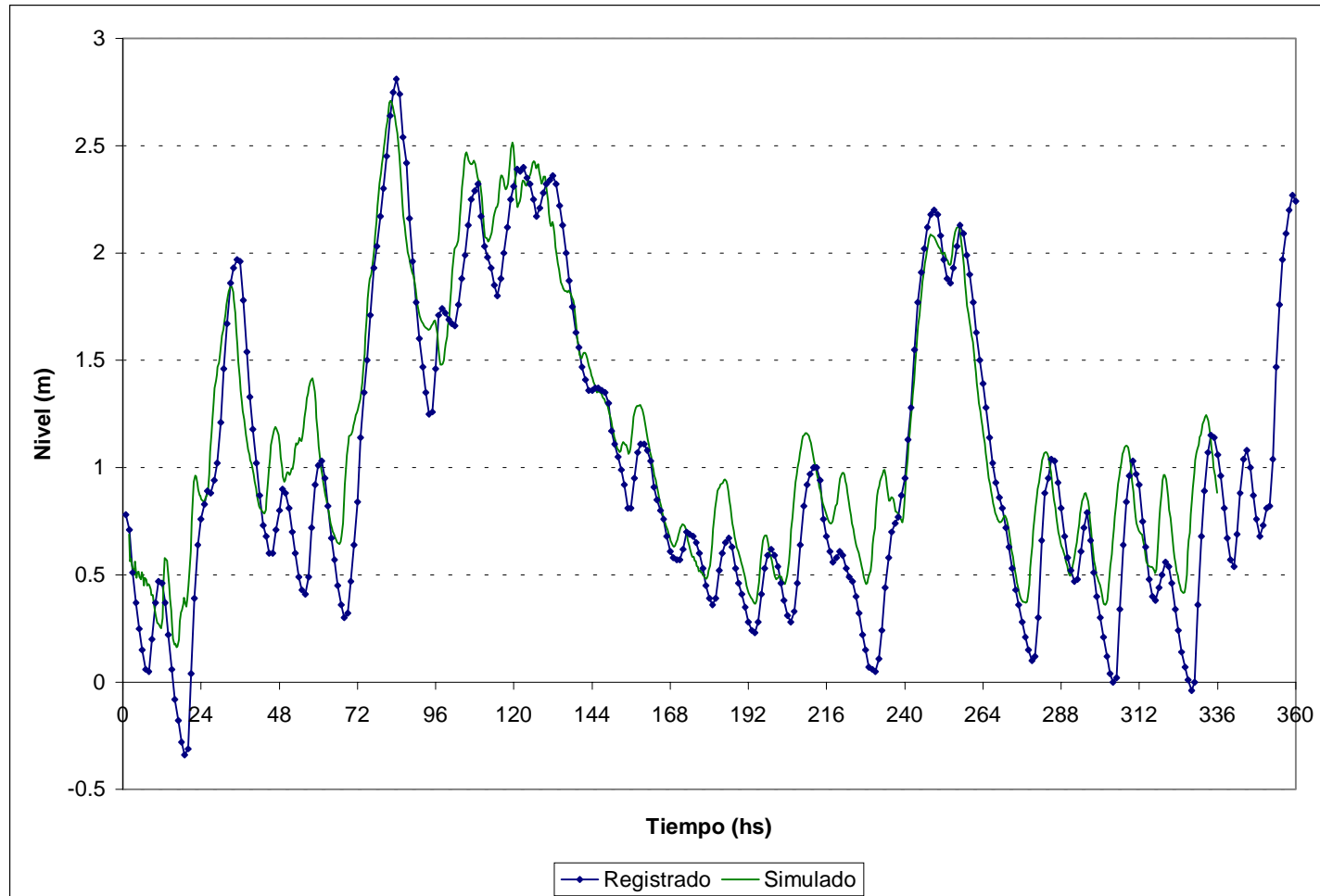


Figura 4.13a) Contraste de niveles en Buenos Aires para viento uniforme e igual al de Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

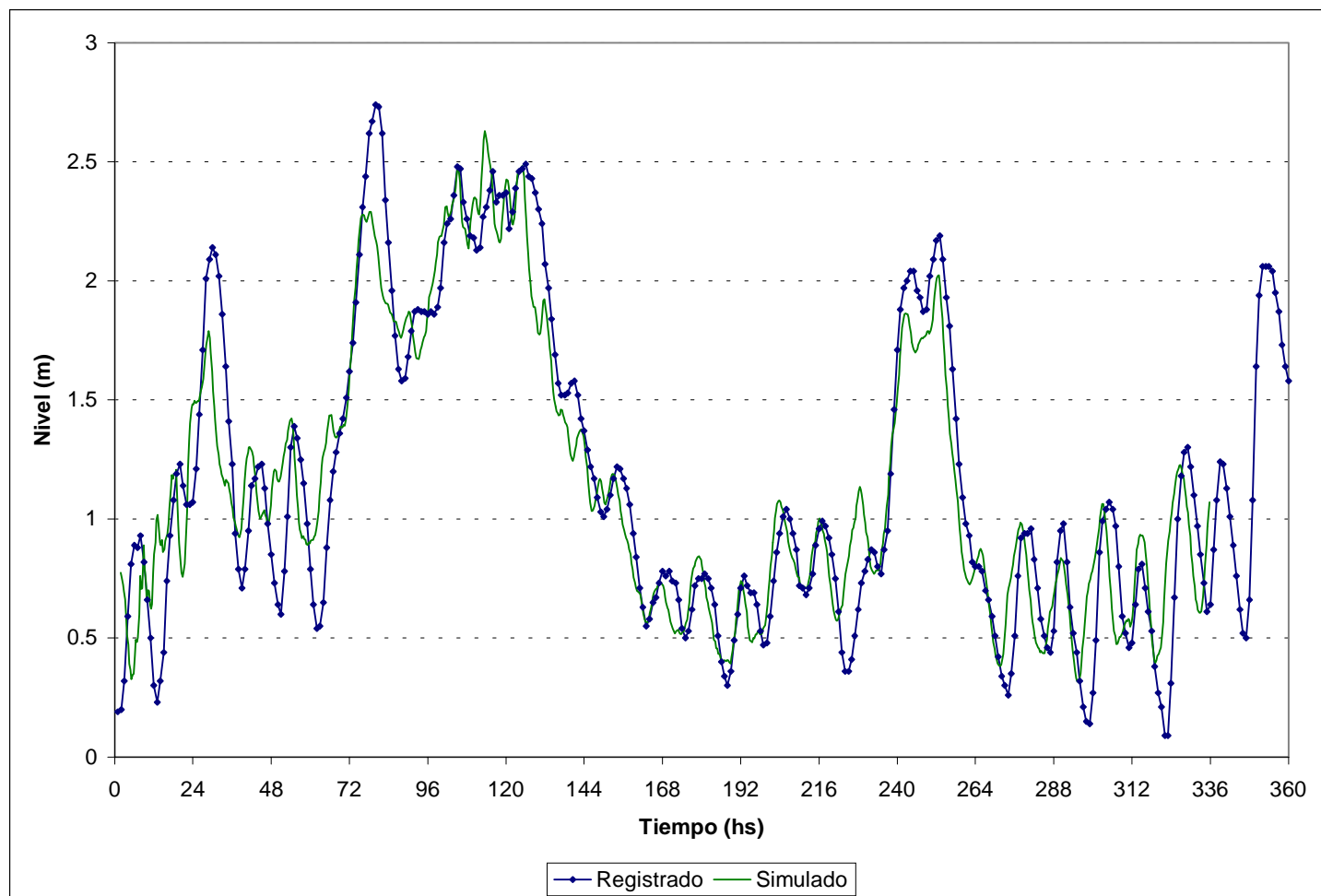


Figura 4.13b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para viento uniforme e igual al de Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

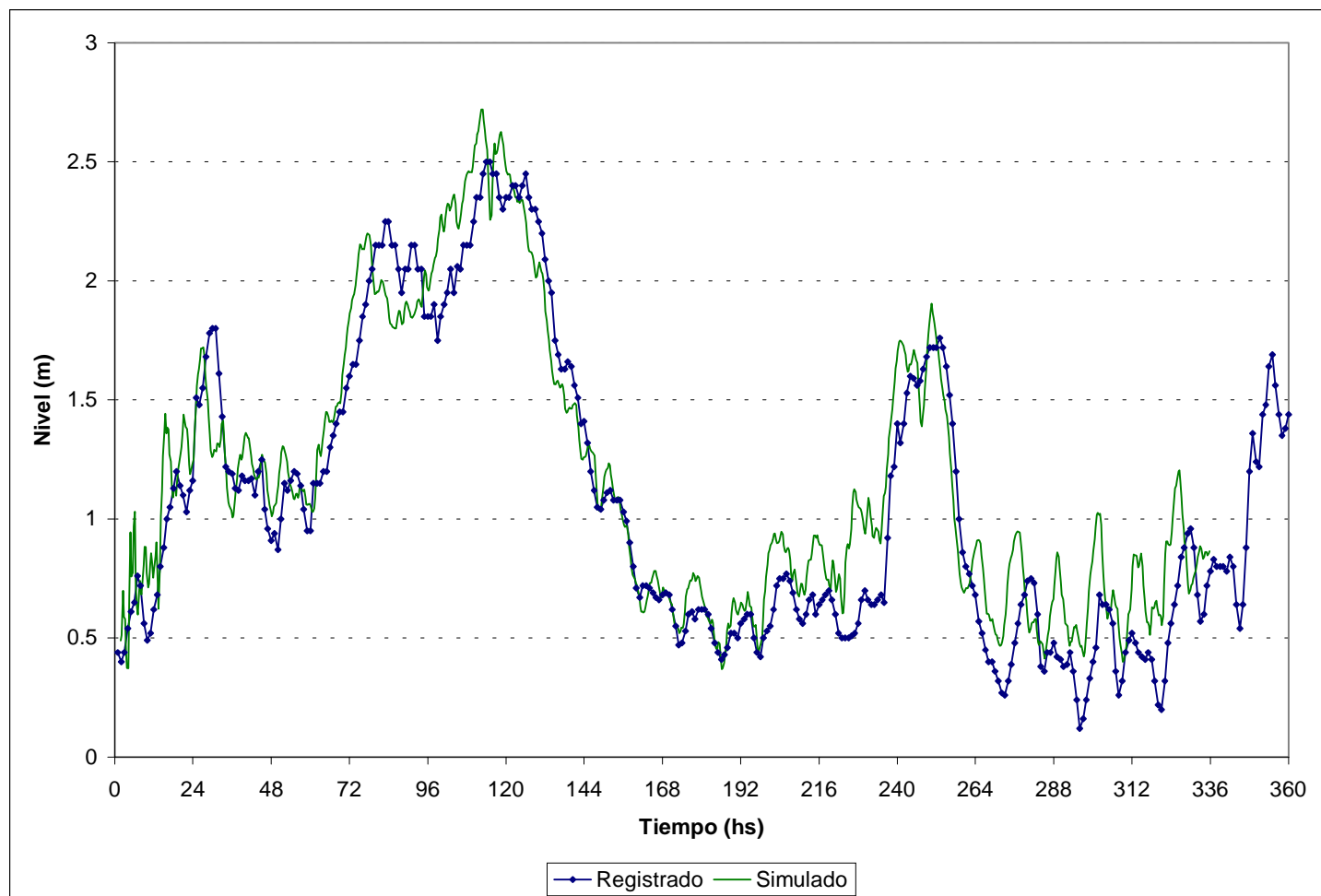


Figura 4.13c) Contraste de niveles en Montevideo para viento uniforme e igual al de Montevideo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

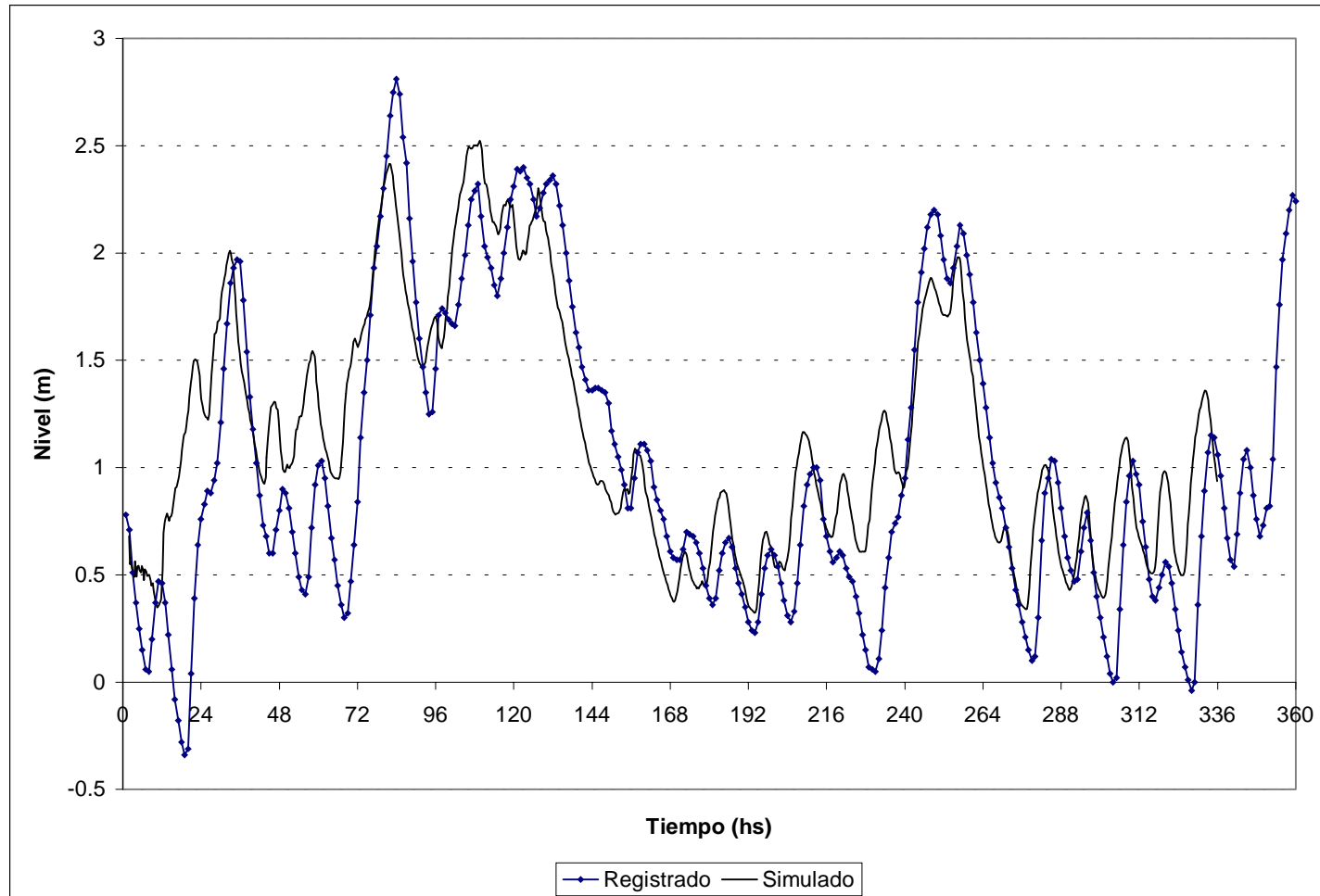


Figura 4.14a) Contraste de niveles en Buenos Aires para viento nulo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

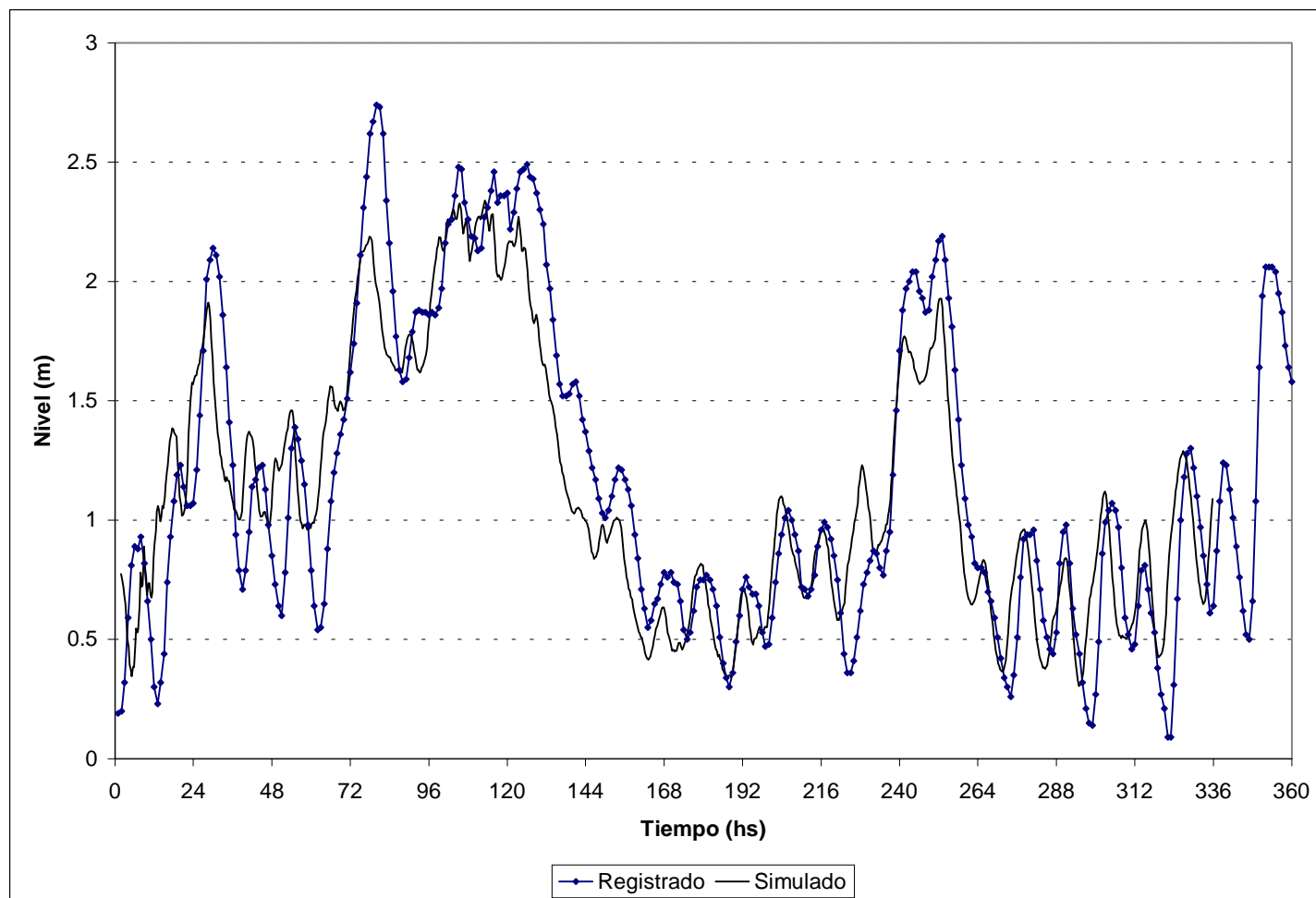


Figura 4.14b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide para viento nulo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

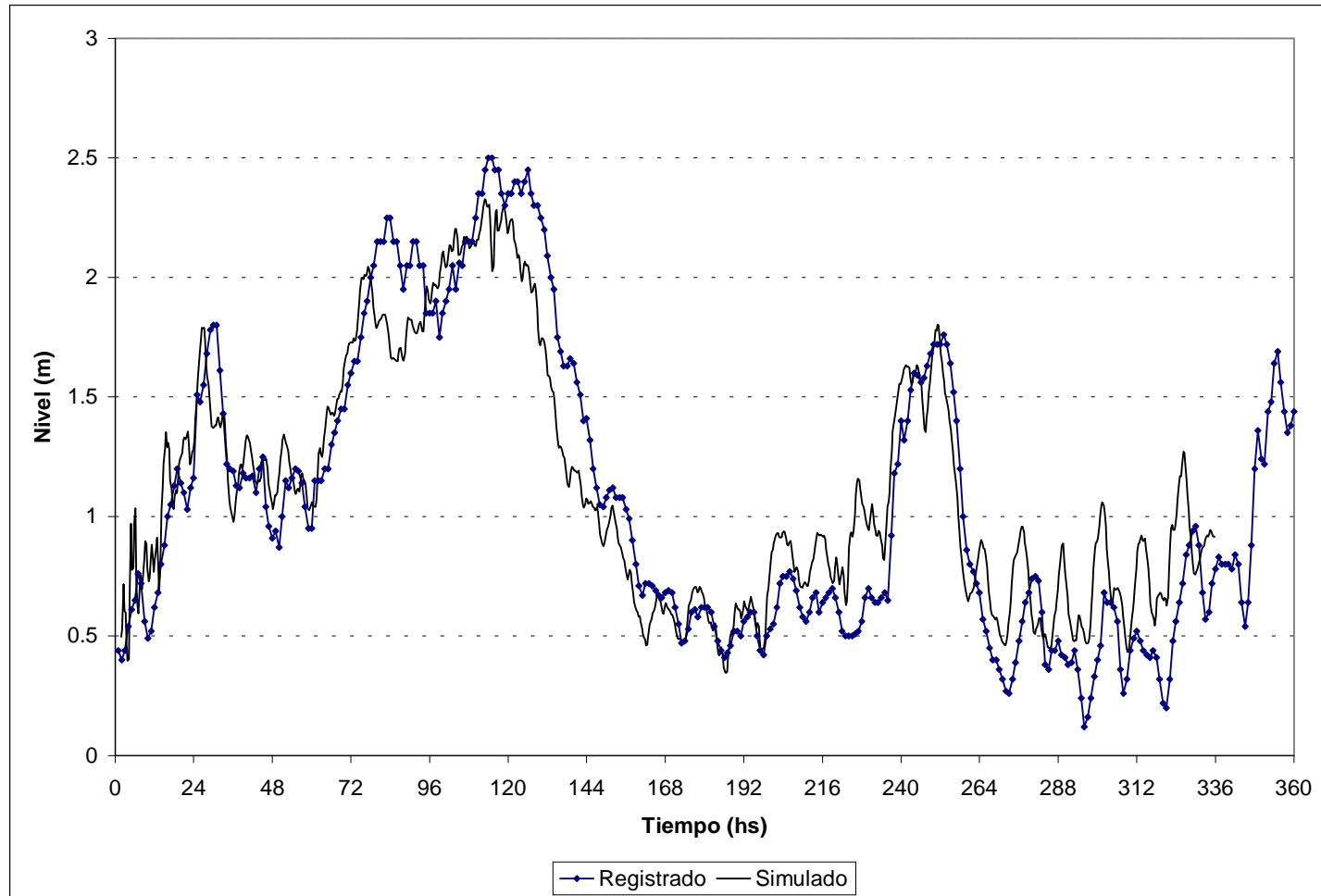


Figura 4.14c) Contraste de niveles en Montevideo para viento nulo. Período 5 al 18 de marzo de 1987 (Tormenta 1)

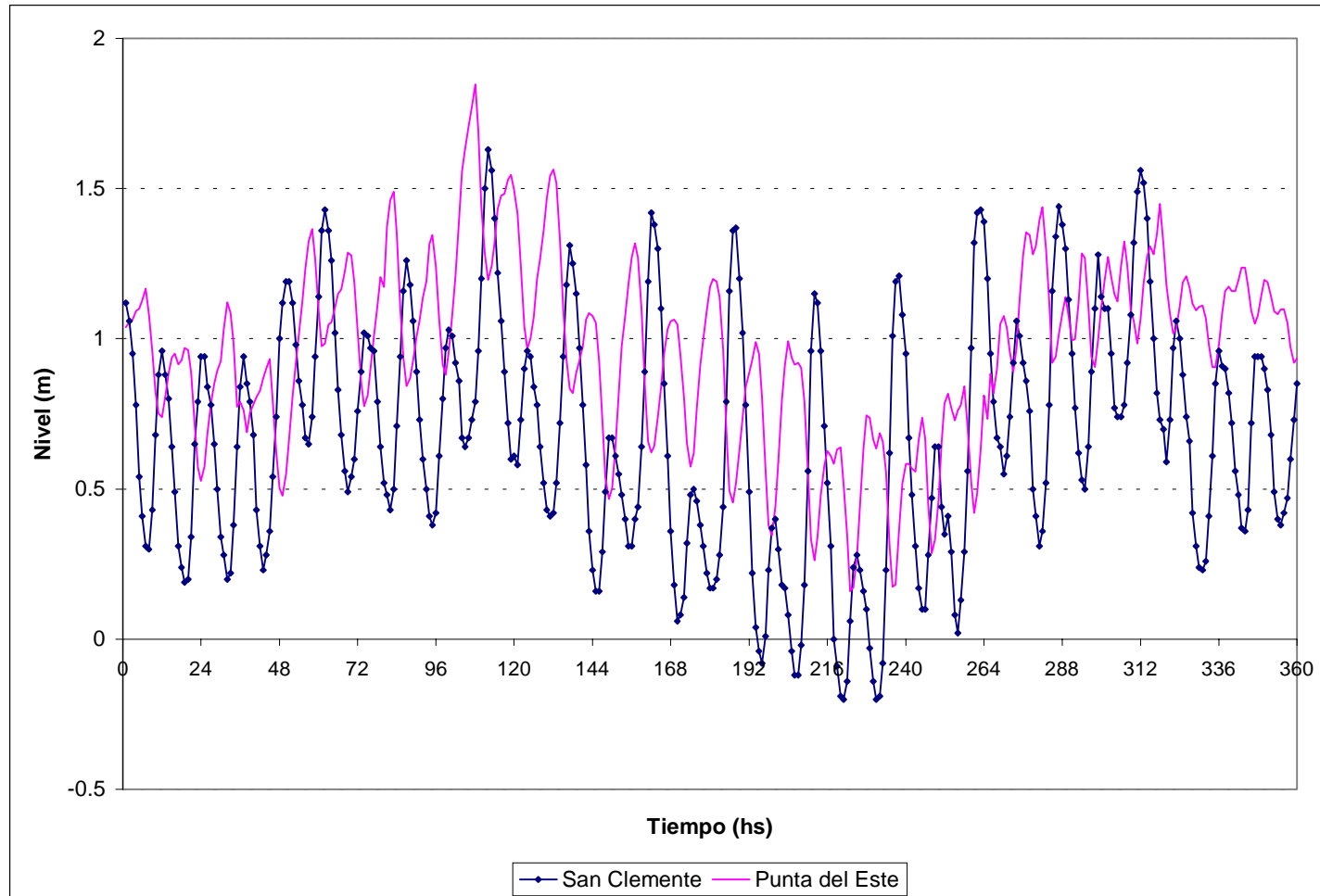


Figura 4.15 Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

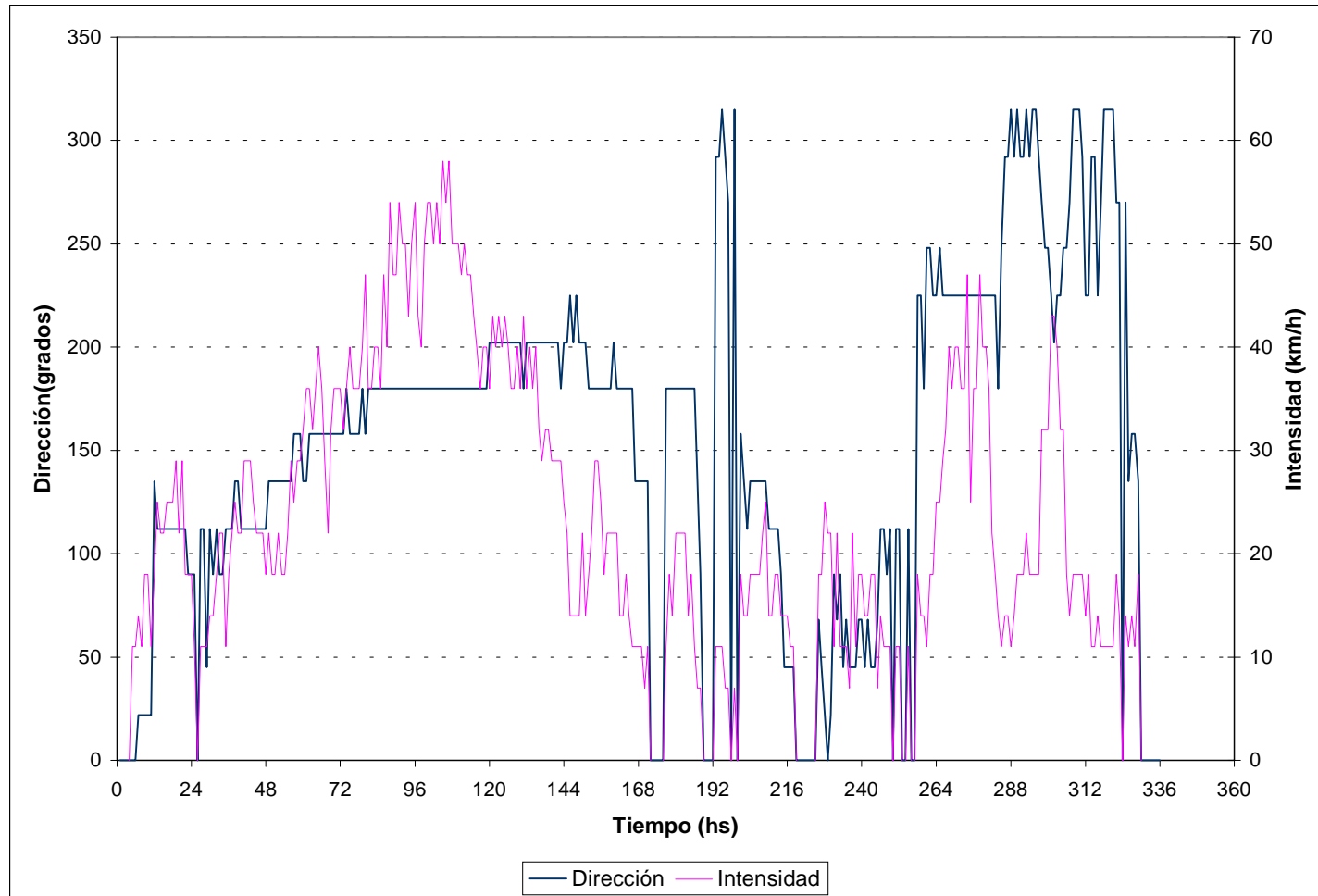


Figura 4.16 Registro de viento en Montevideo. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

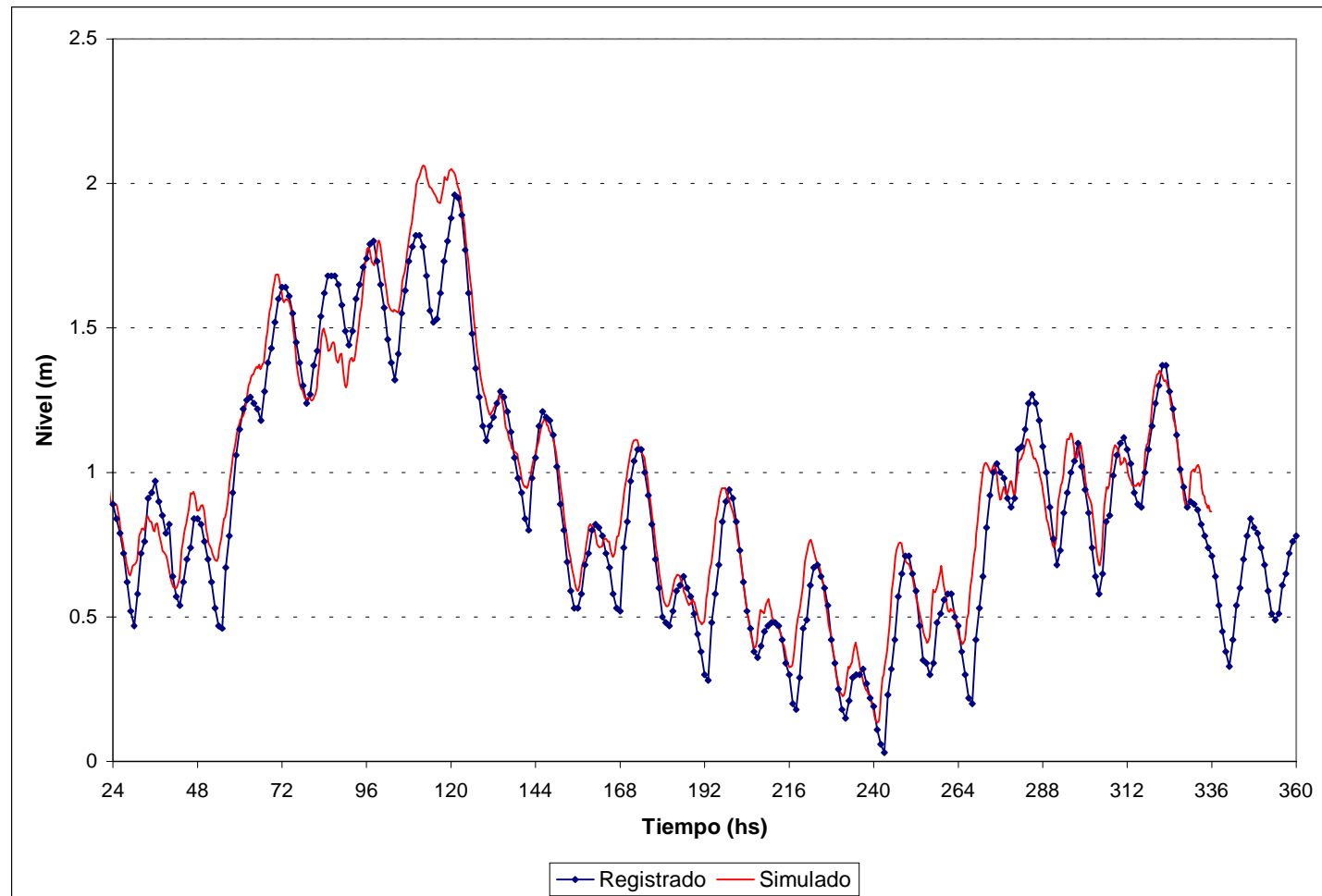


Figura 4.17a) Contraste de niveles en Colonia. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

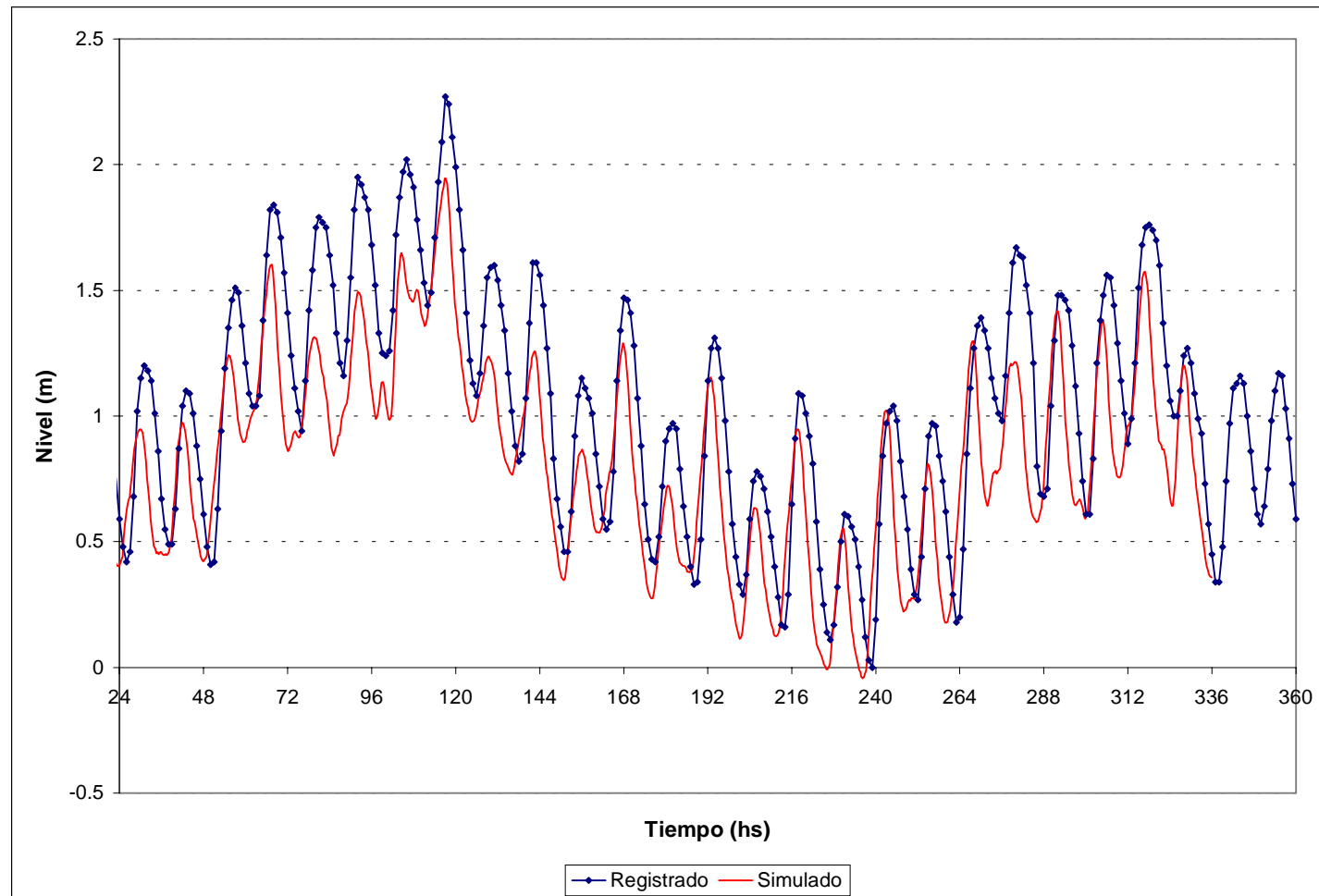


Figura 4.17b) Contraste de niveles en Torre Oyarvide. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

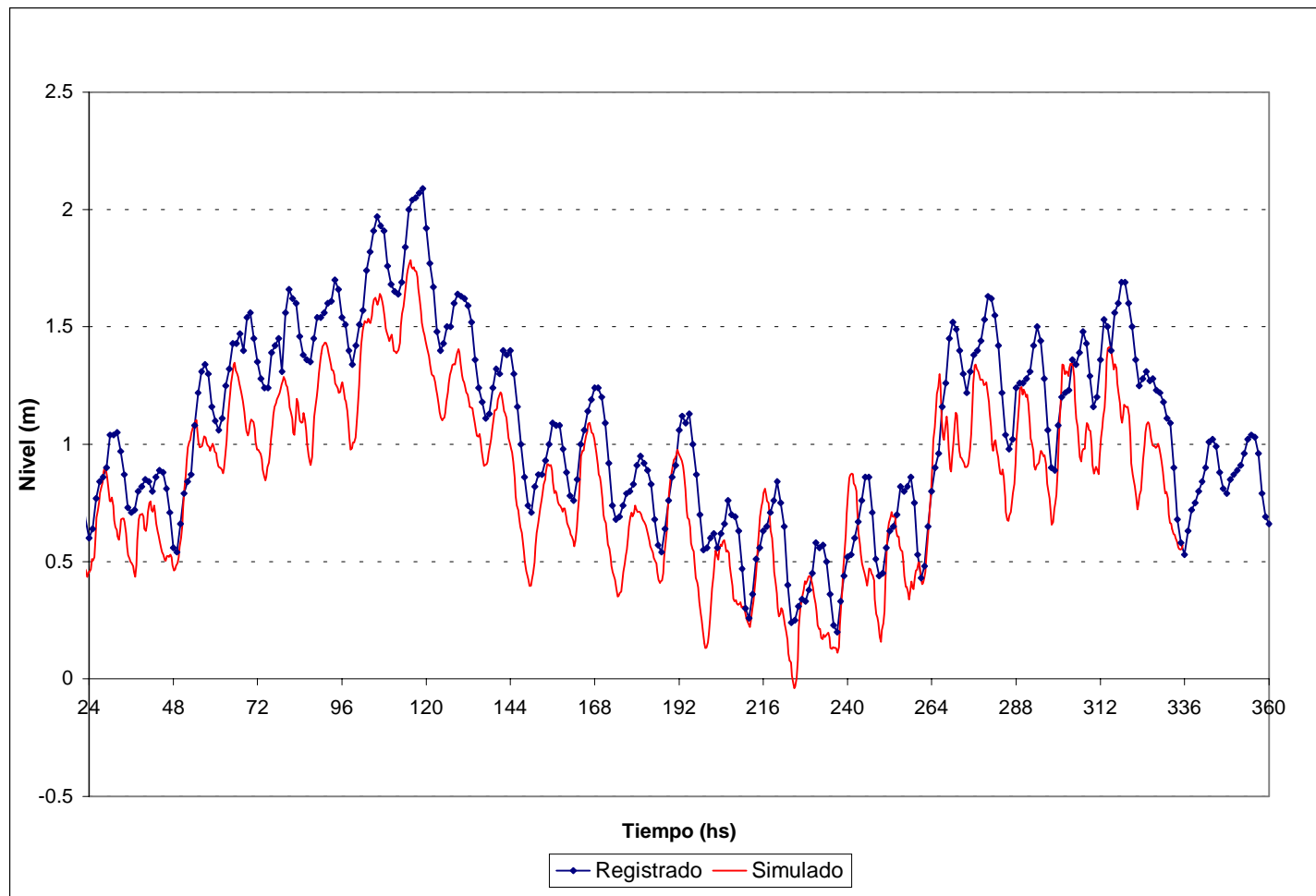


Figura 4.17c) Contraste de niveles en Montevideo. Período 12 al 25 de agosto de 1986 (Tormenta 2)

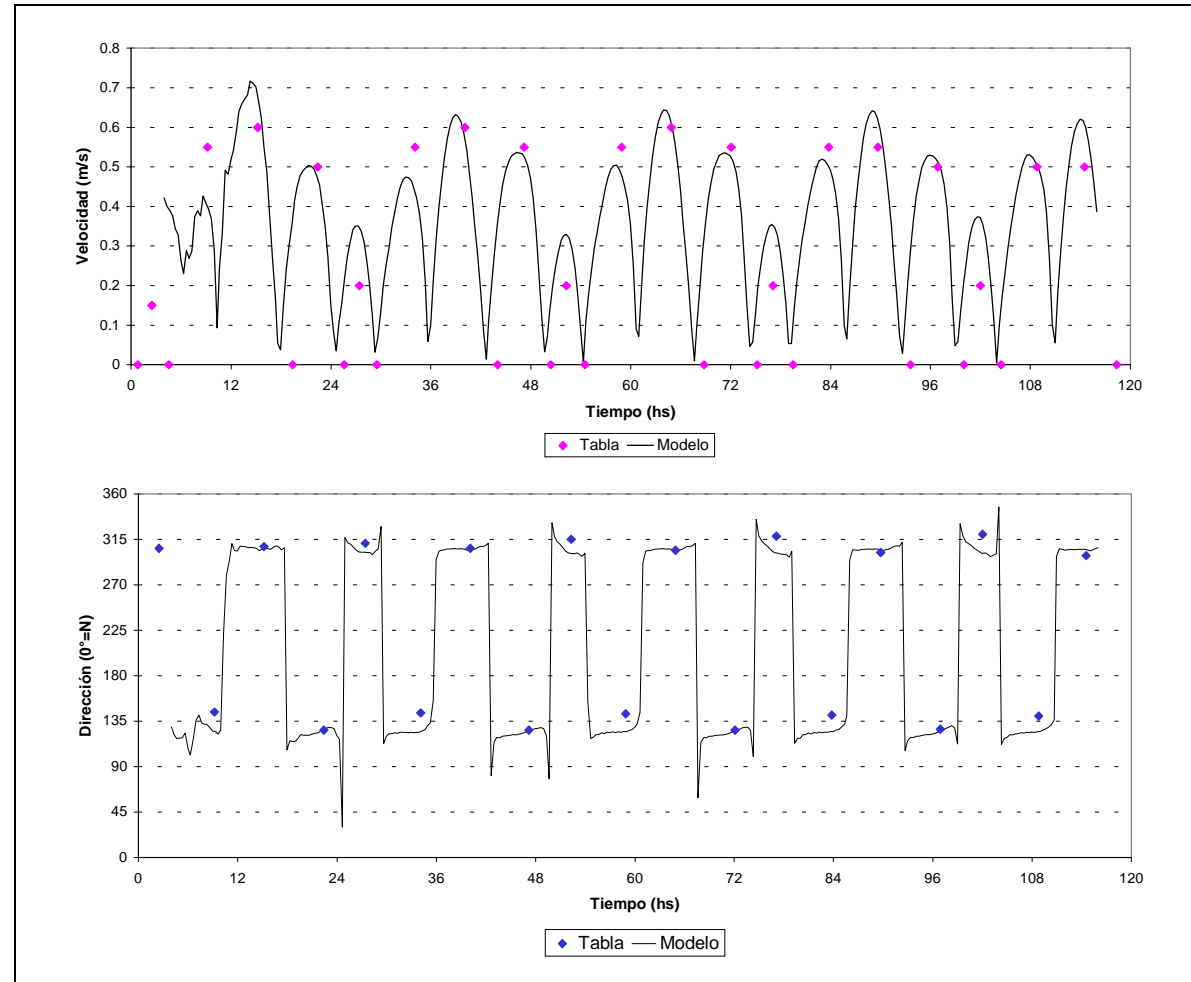


Figura 4.18a) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Canal Intermedio

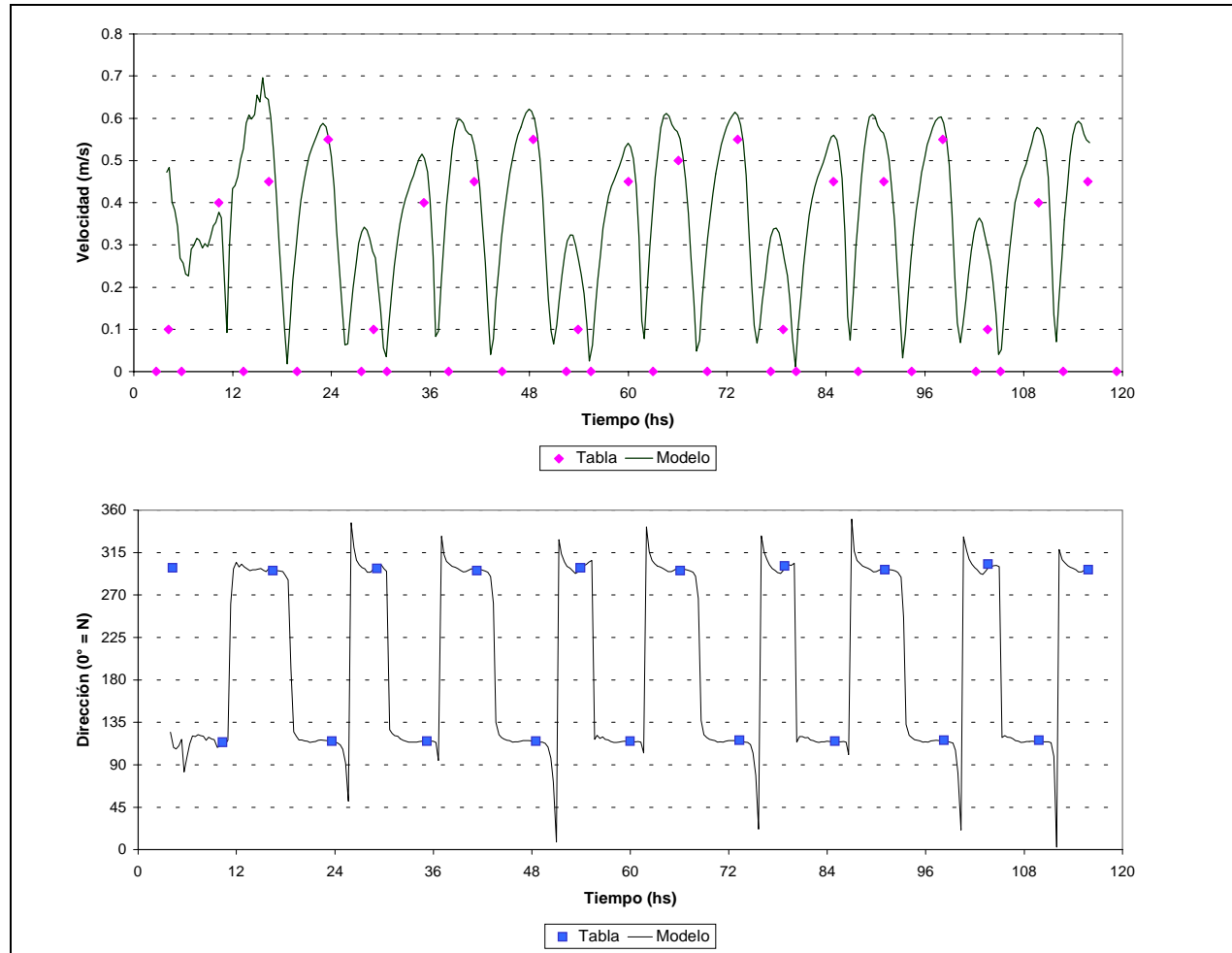


Figura 4.18b) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Canal de Magdalena

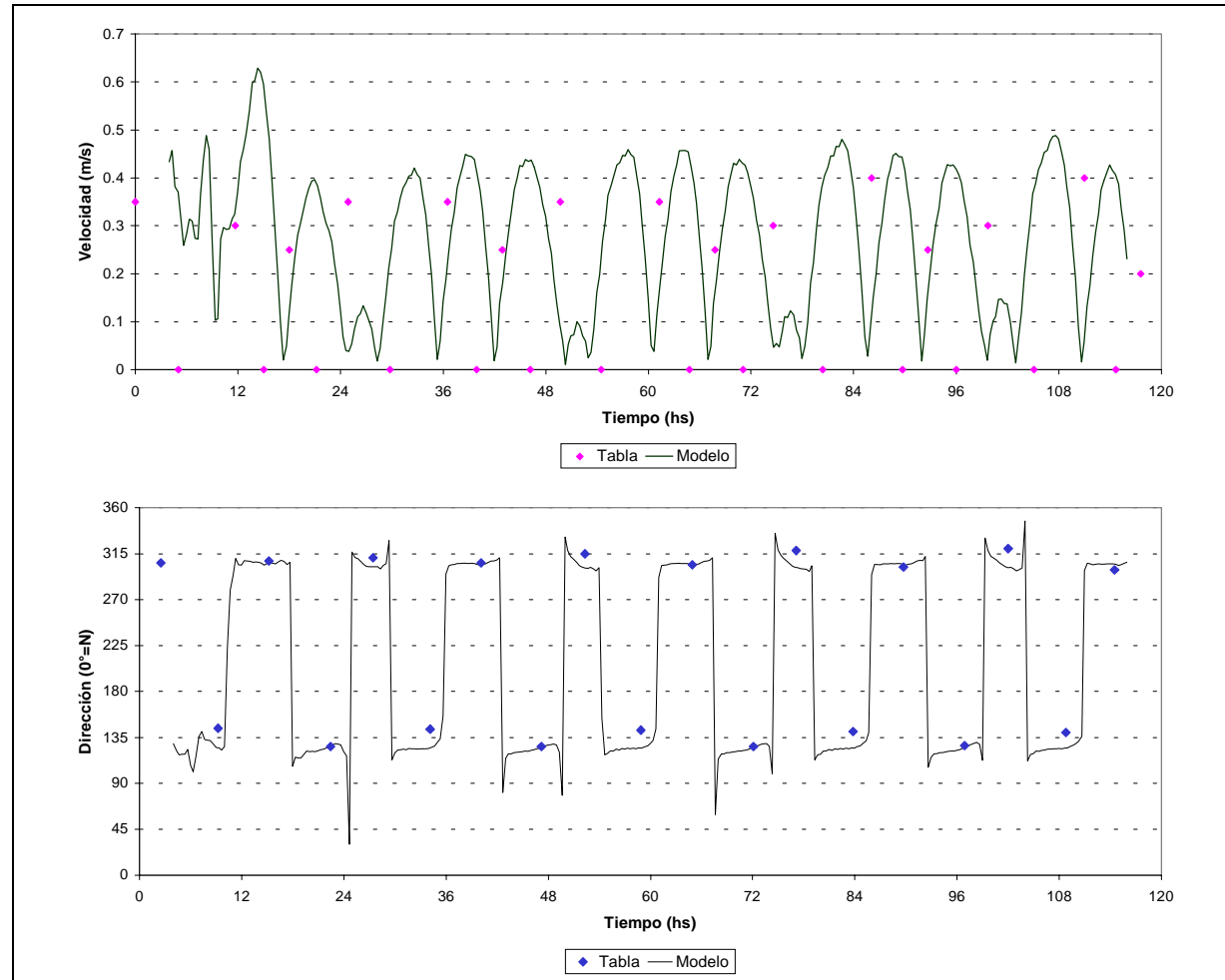


Figura 4.18c) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Canal del Norte

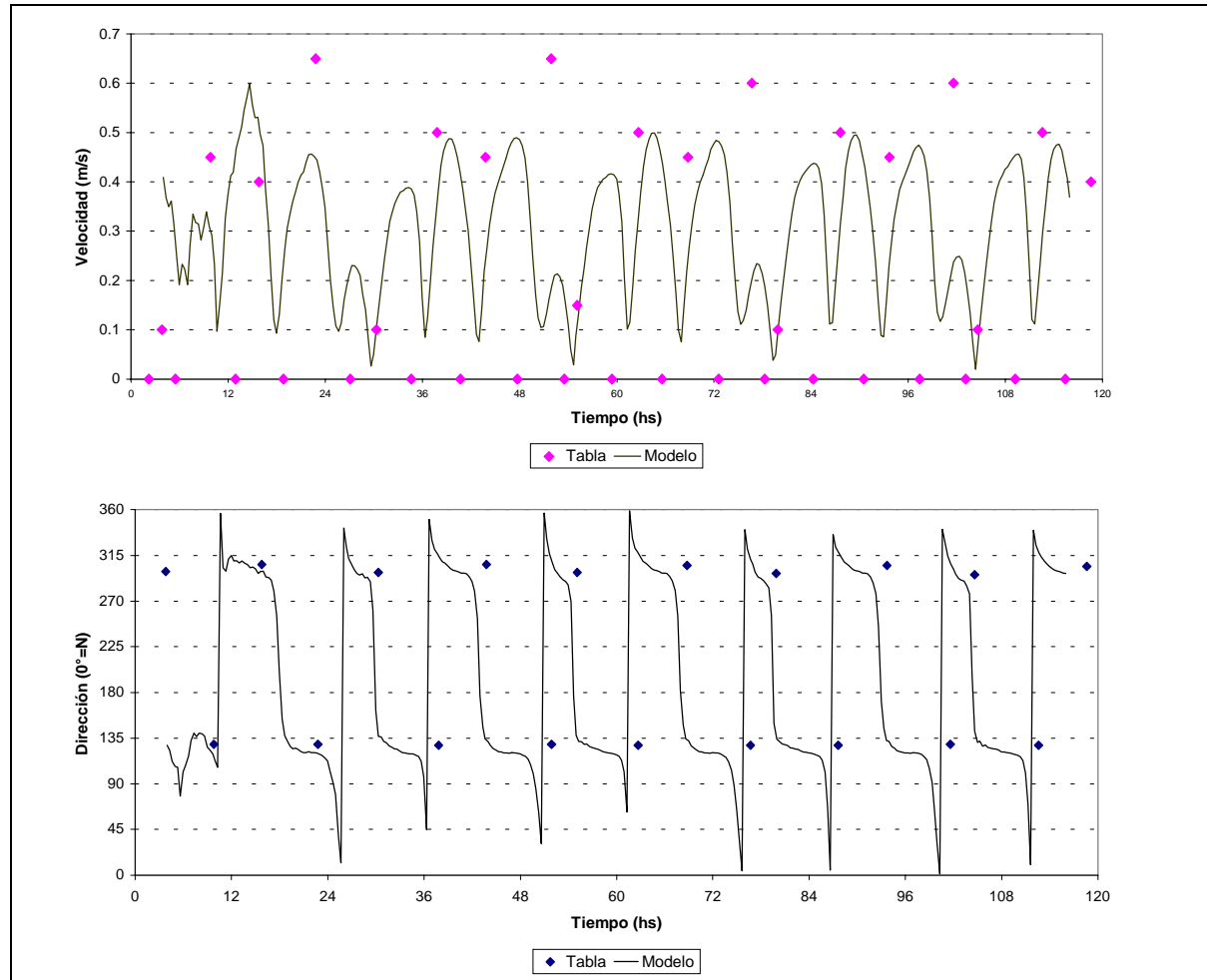


Figura 4.18d) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Quebrada del Banco Ortiz

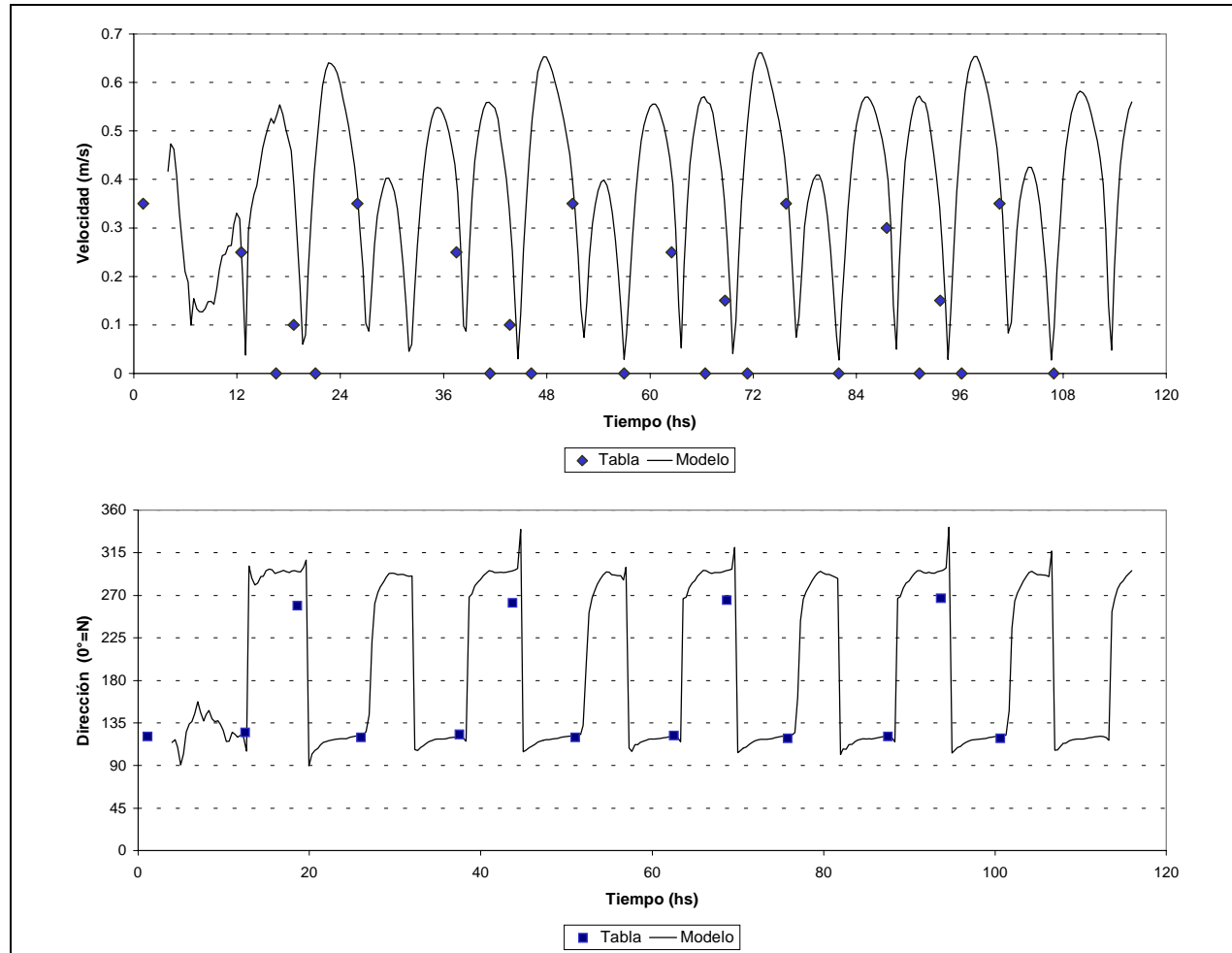


Figura 4.18e) Contraste de módulos de velocidad y dirección de corrientes en Paso del Farallón

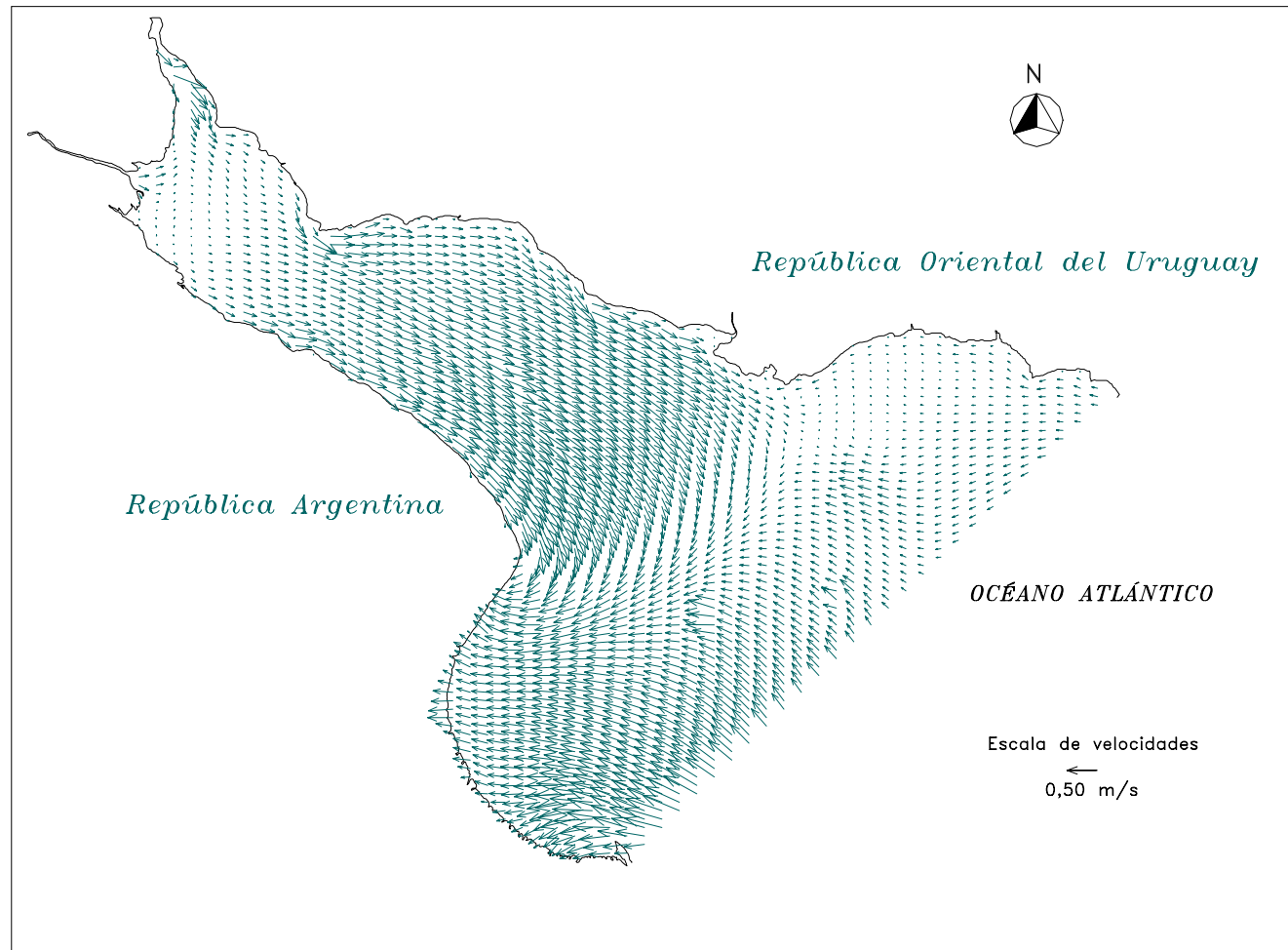


Figura 4.19a) Campo de velocidades para 70,3 hs

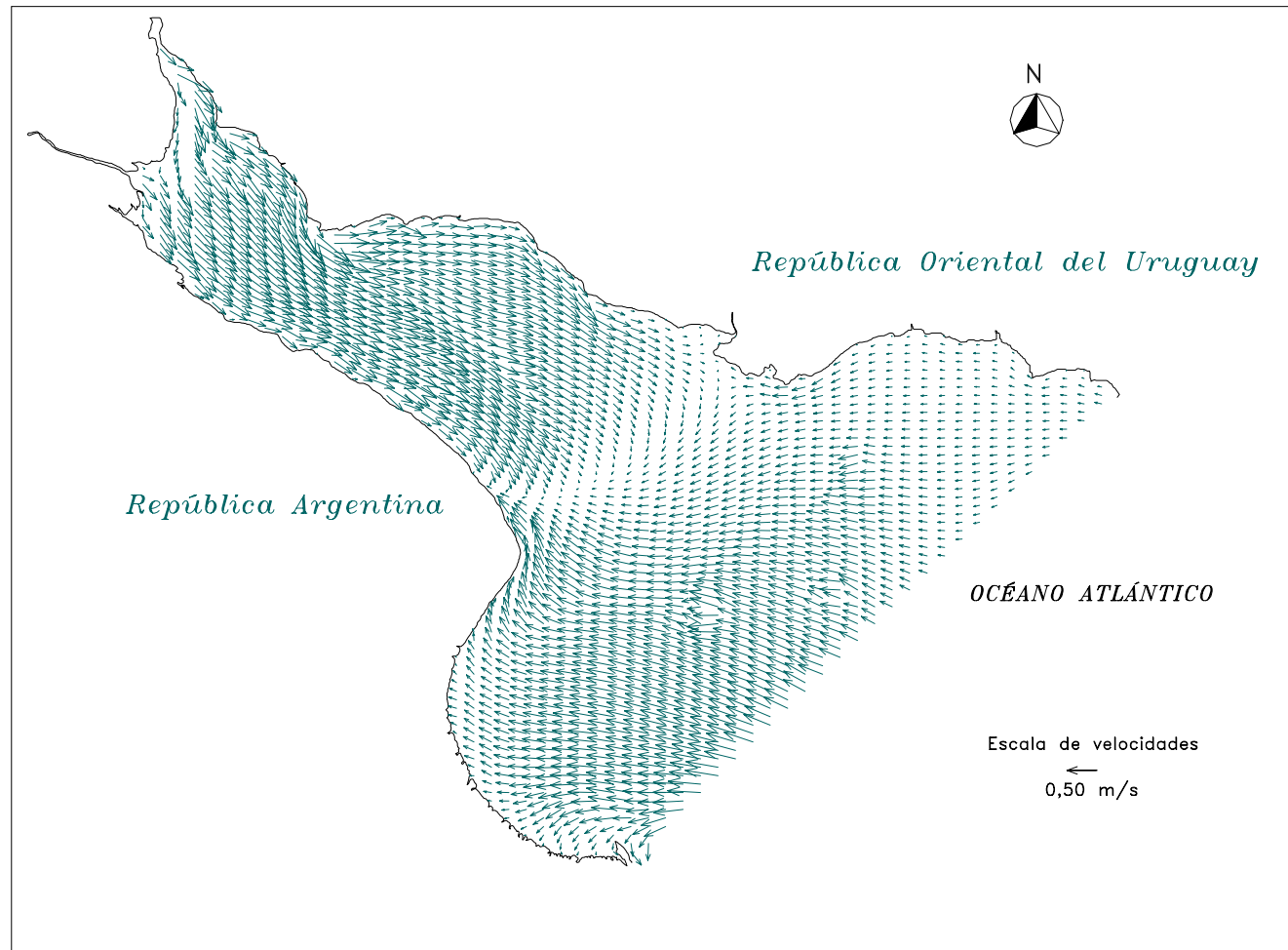


Figura 4.19b) Campo de velocidades para 72,3 hs

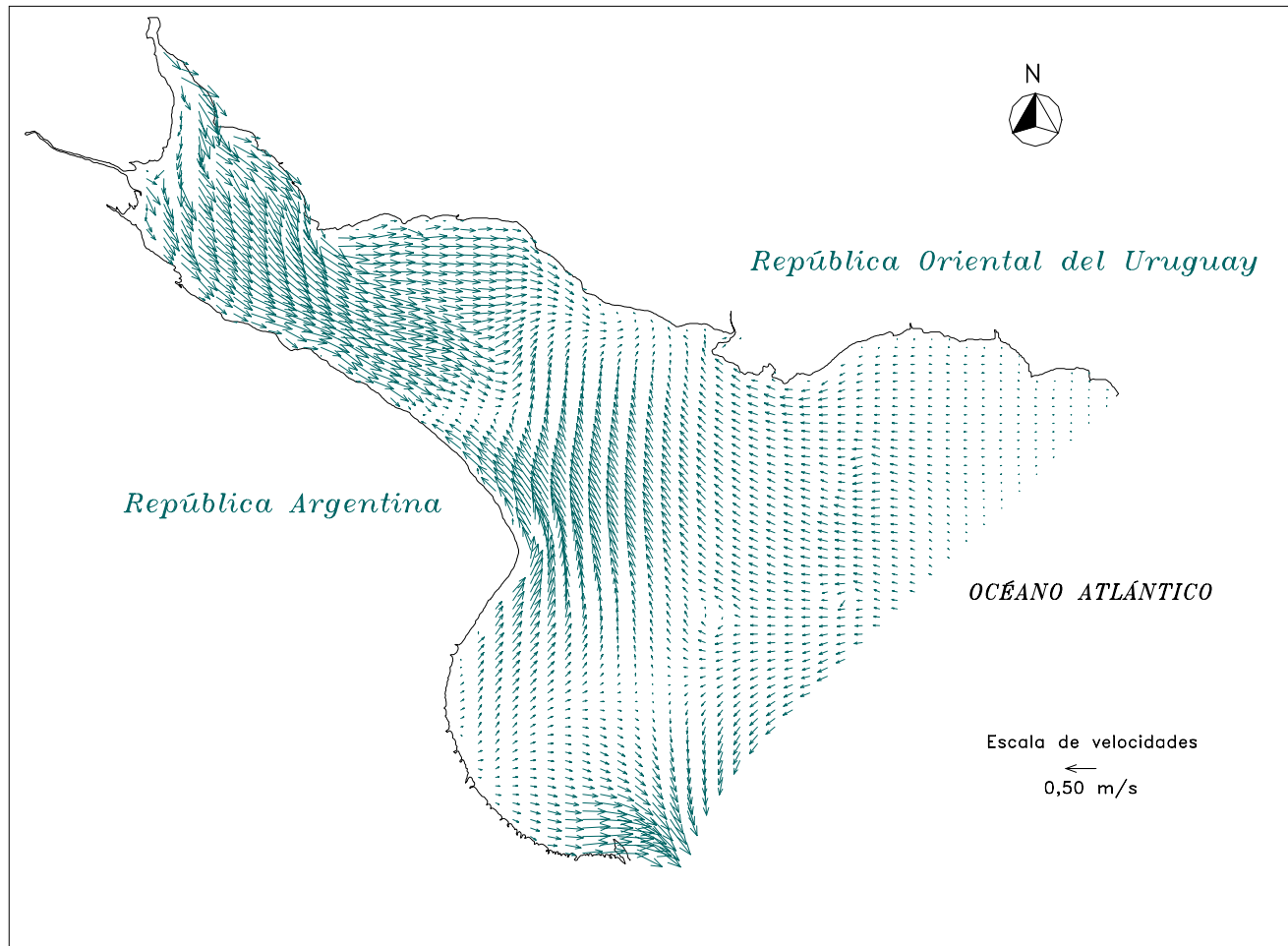


Figura 4.19c) Campo de velocidades para 74,3 hs

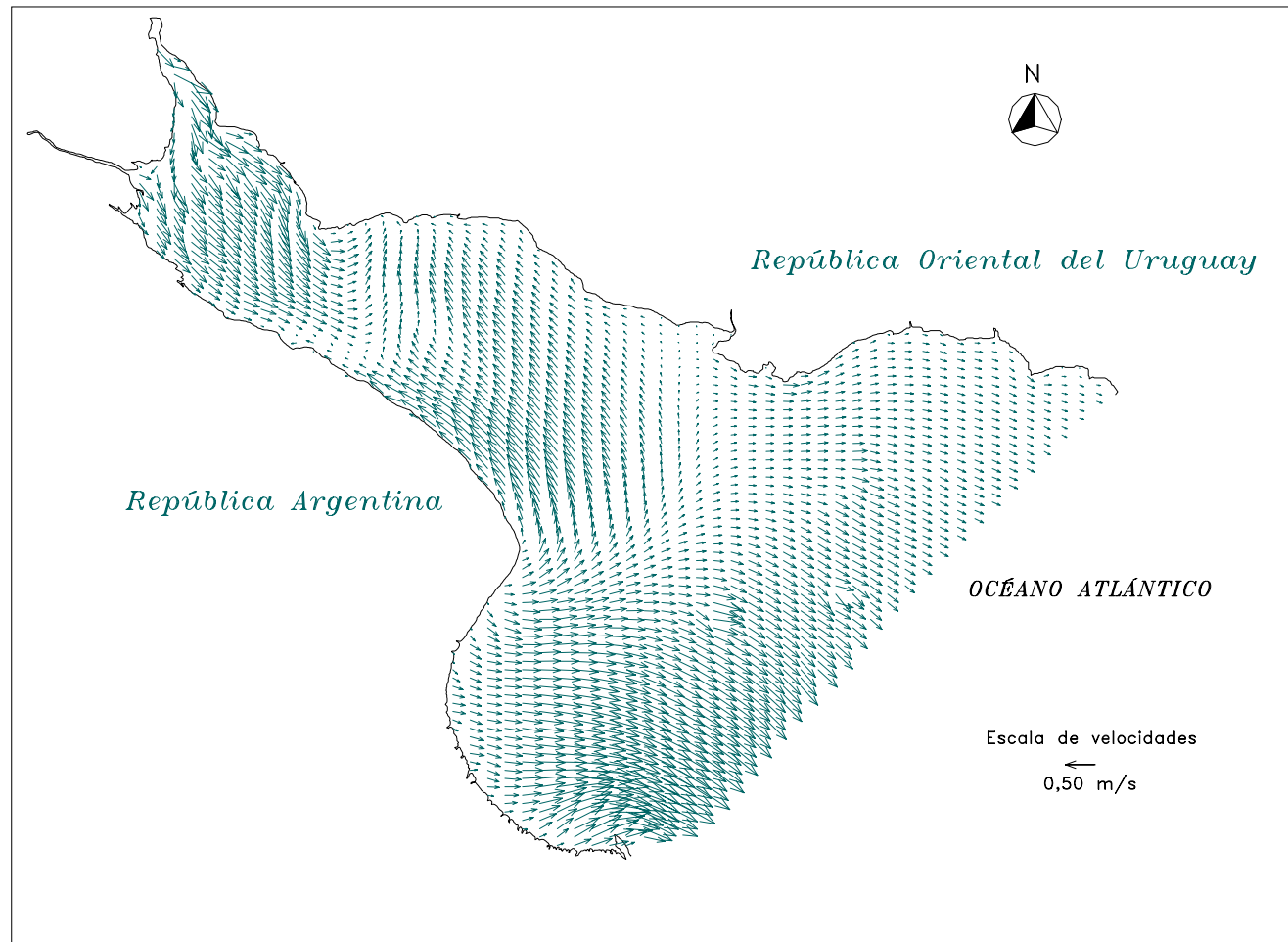


Figura 4.19d) Campo de velocidades para 76,3 hs

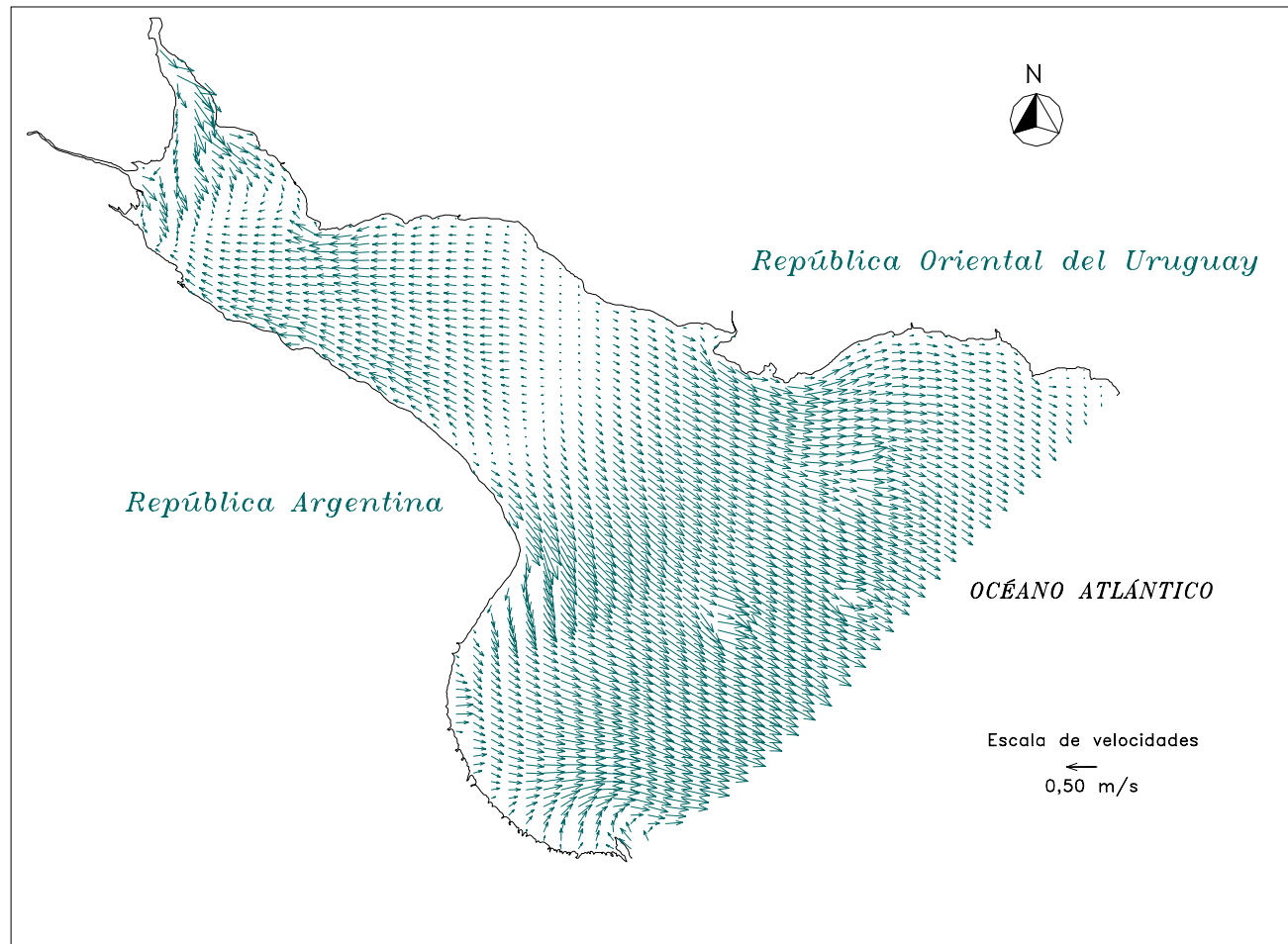


Figura 4.19e) Campo de velocidades para 78,3 hs

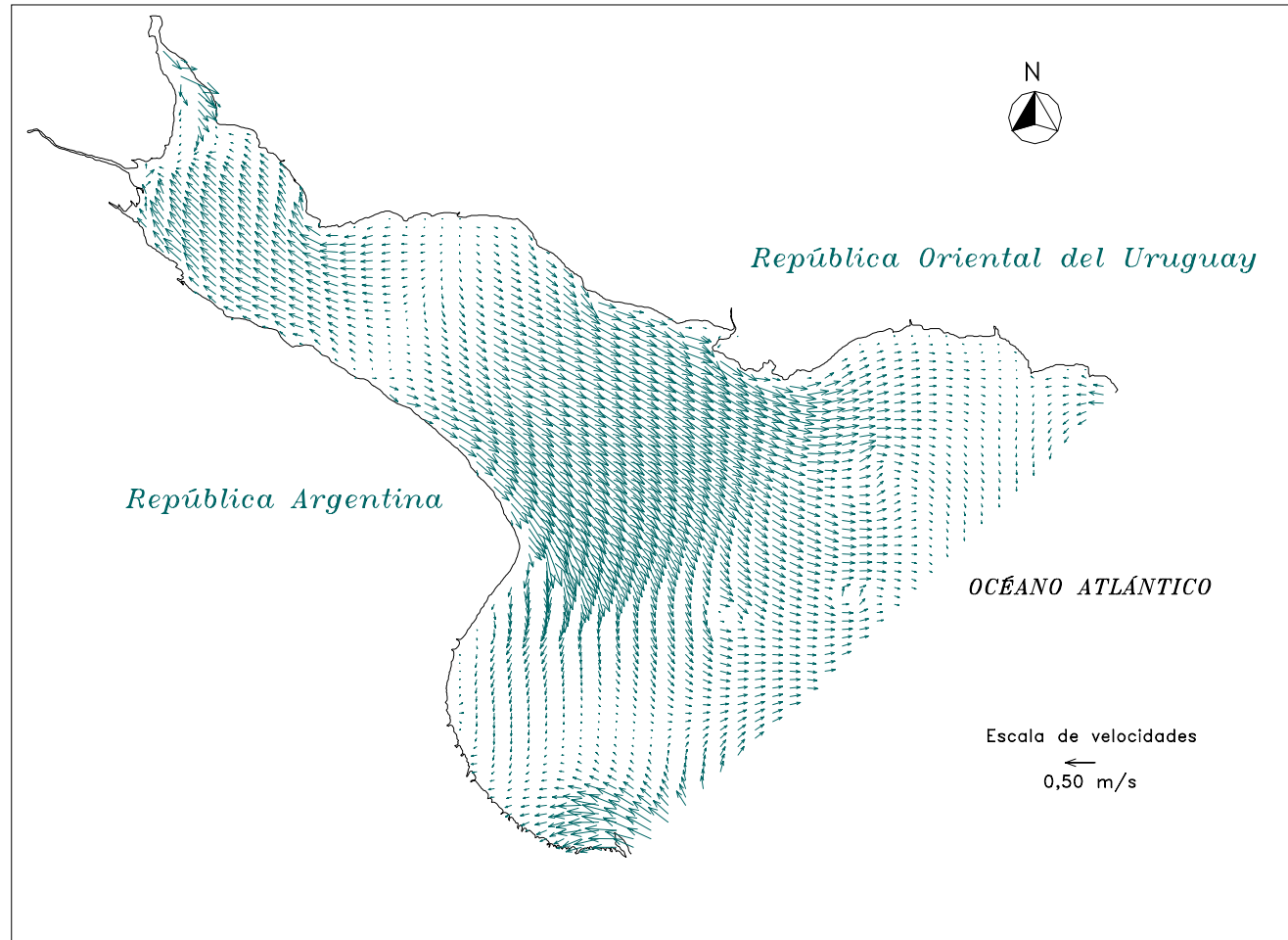


Figura 4.19f) Campo de velocidades para 80,3 hs

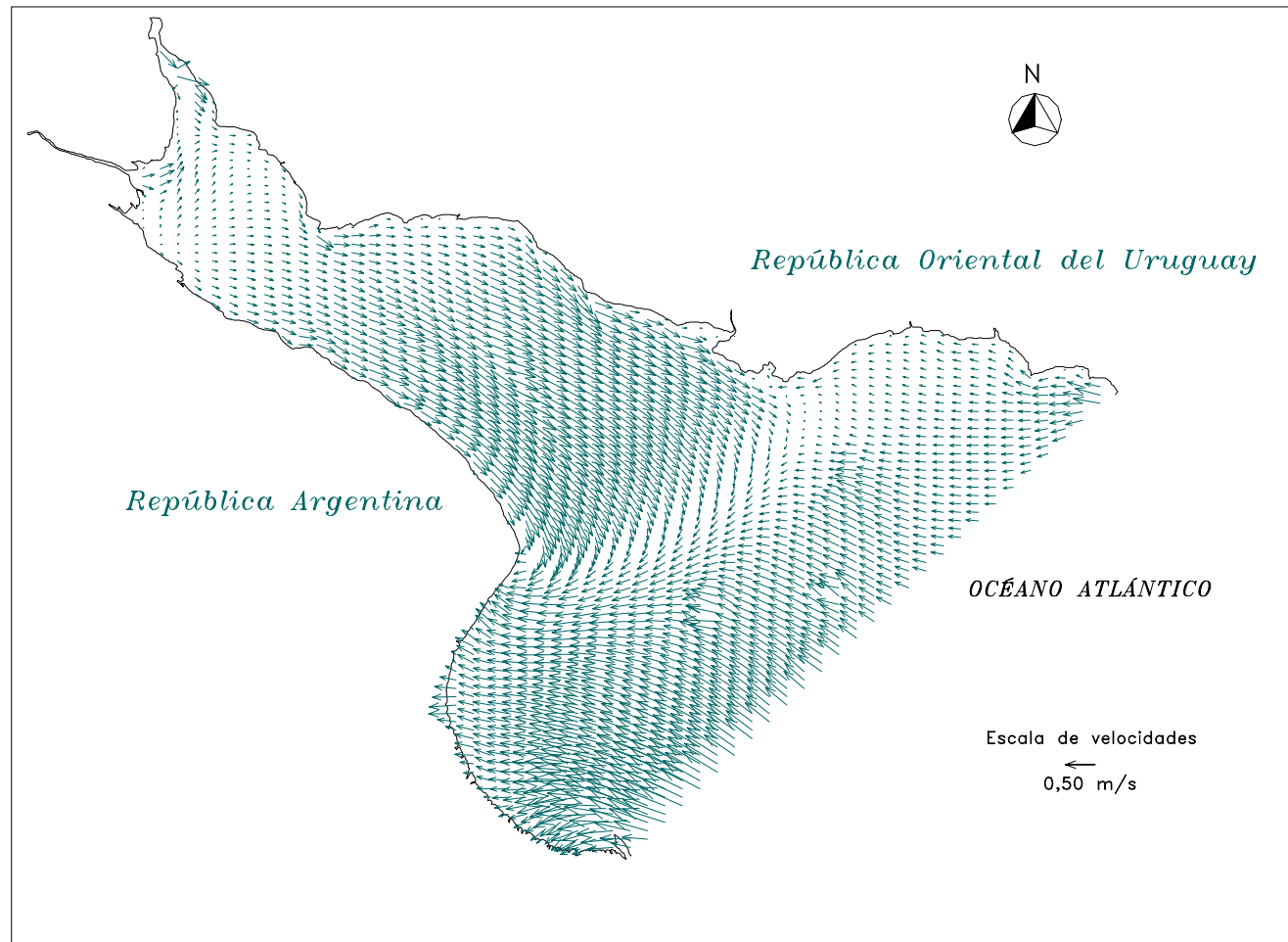


Figura 4.19g) Campo de velocidades para 82,3 hs

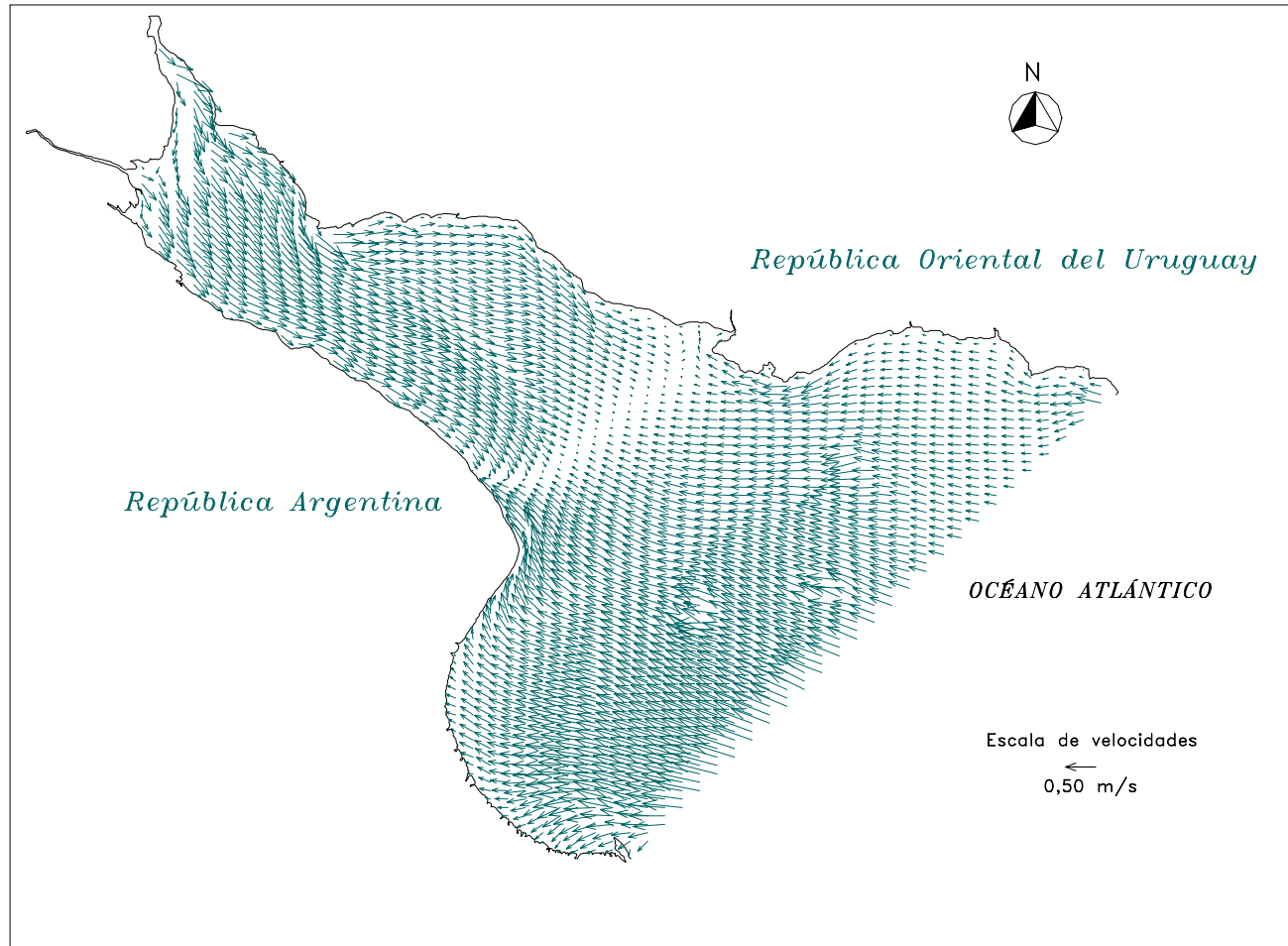


Figura 4.19h) Campo de velocidades para 84,3 hs

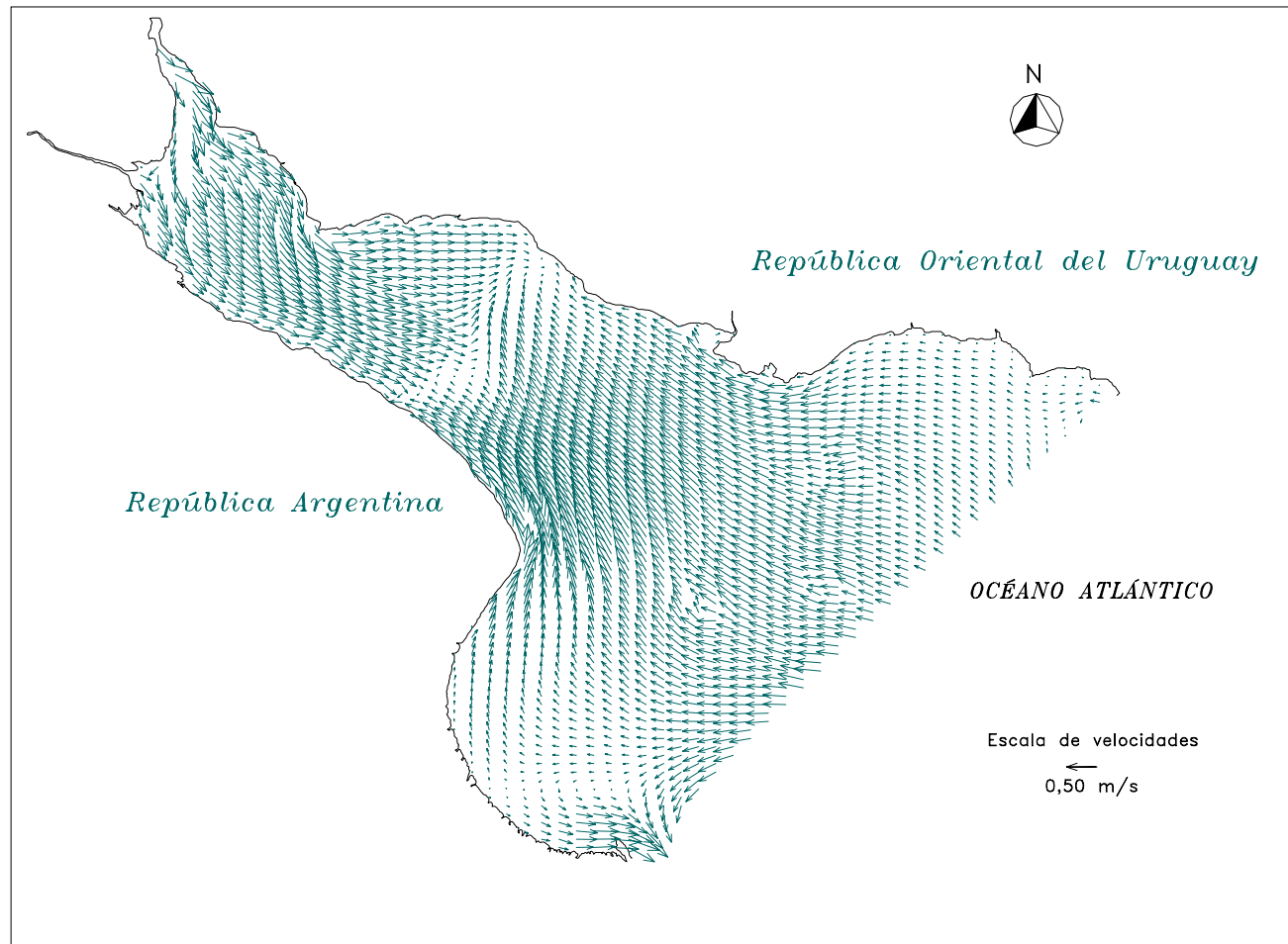


Figura 4.19i) Campo de velocidades para 86,3 hs

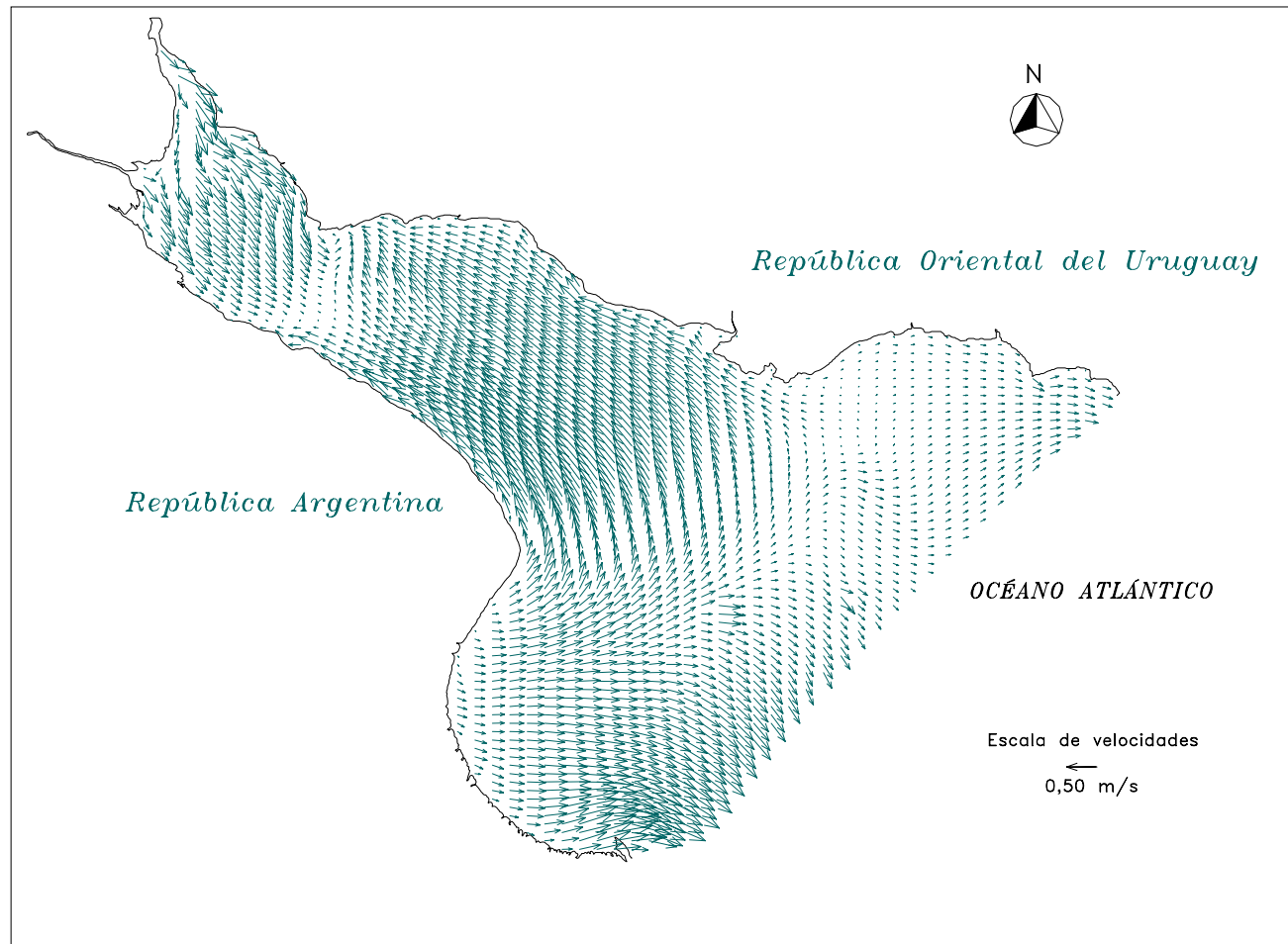


Figura 4.19j) Campo de velocidades para 88,3 hs

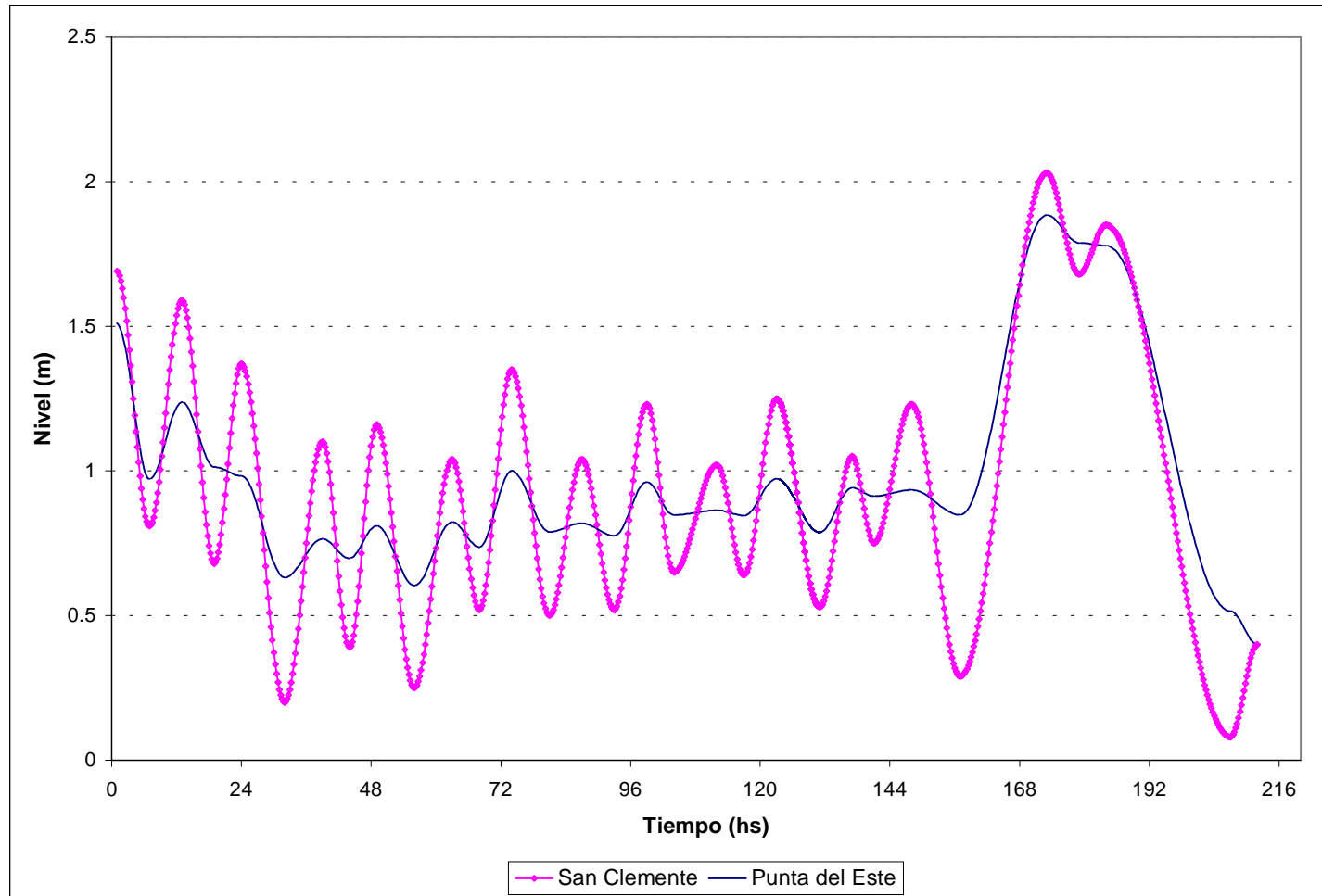


Figura 4.20 Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 2 al 9 de abril de 1987

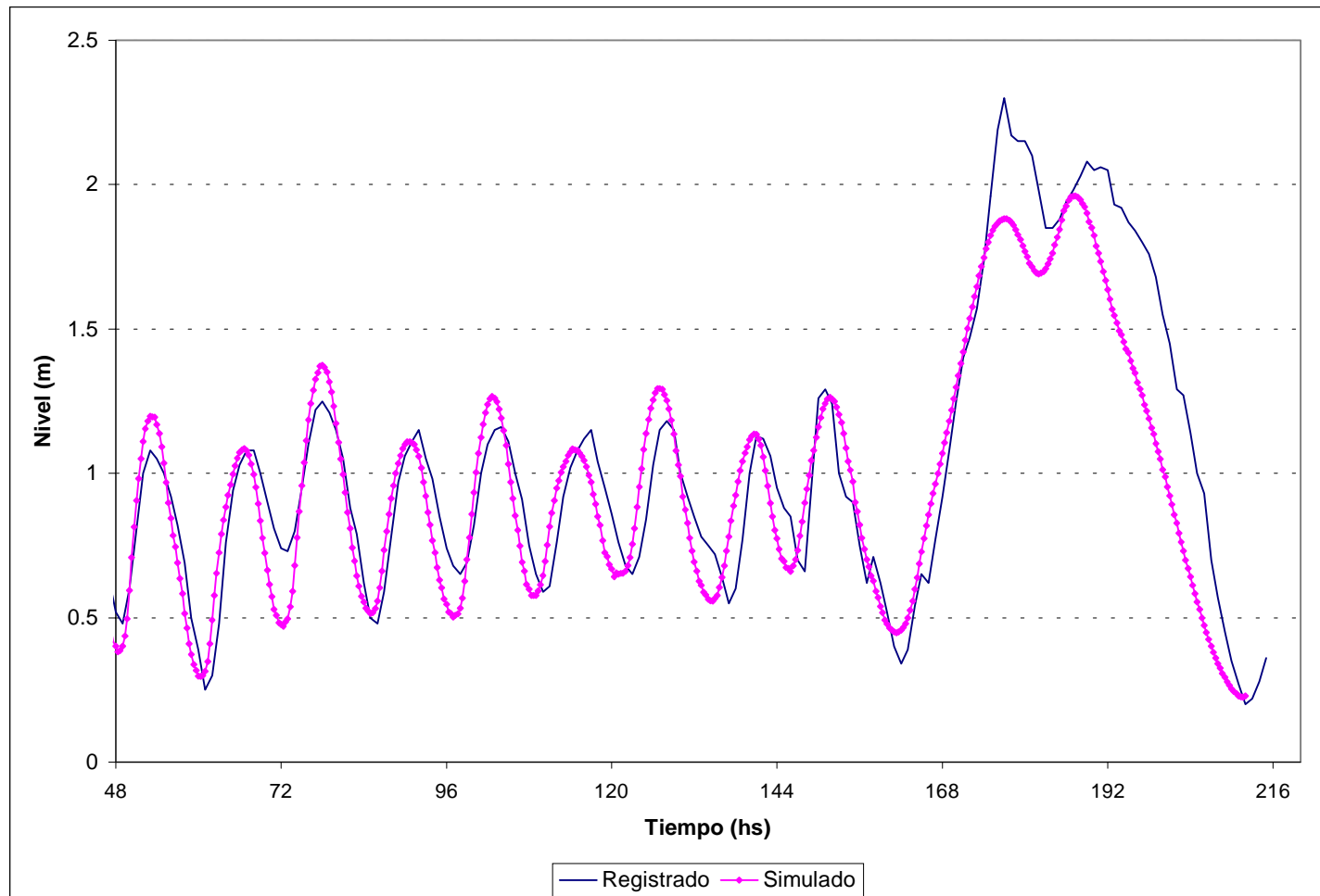


Figura 4.21 Contraste de niveles en Torre Oyarvide. Período 2 al 9 de abril de 1987

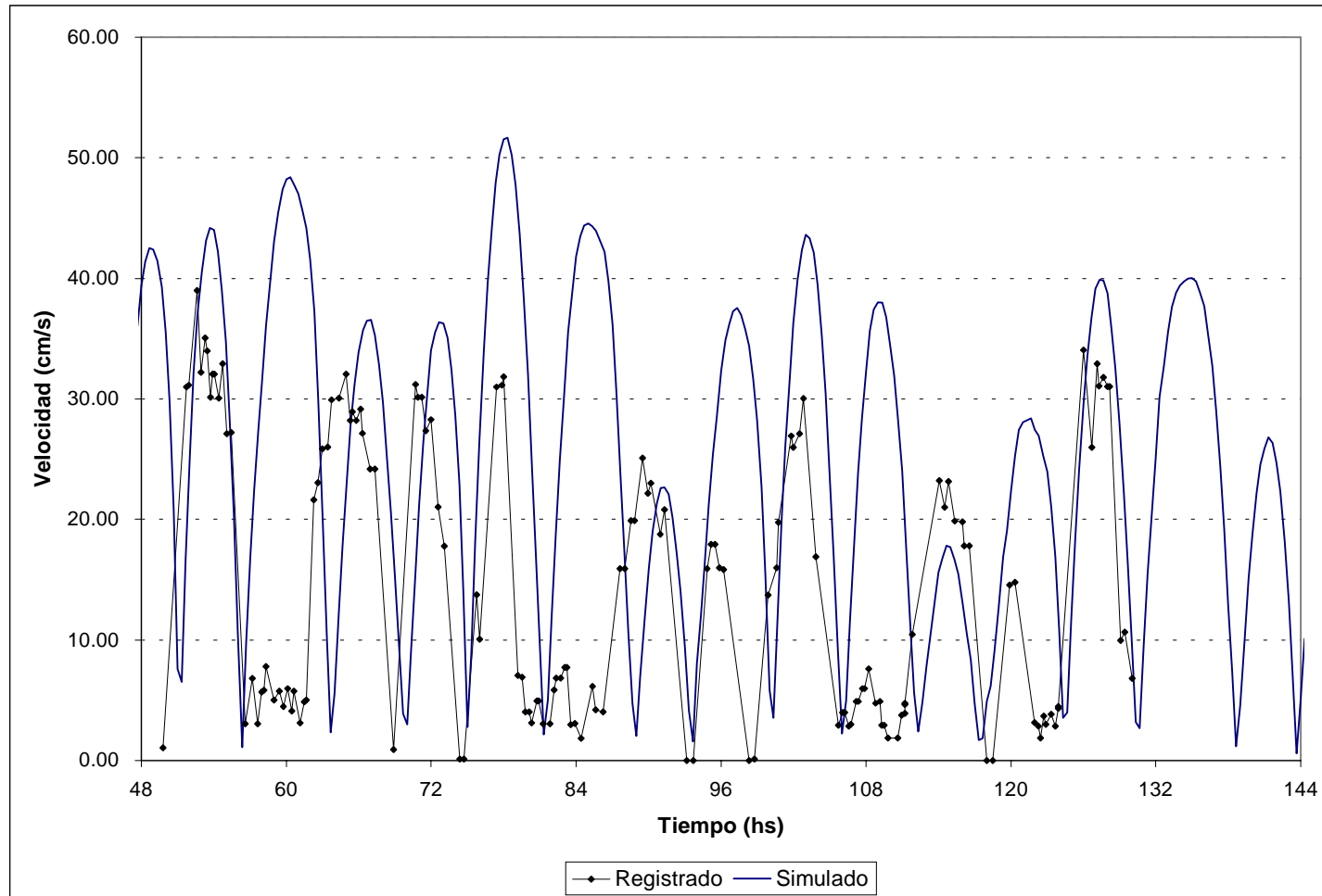


Figura 4.22 Contraste de velocidades en Bernal. Origen de tiempo 2/4/87 0 HS

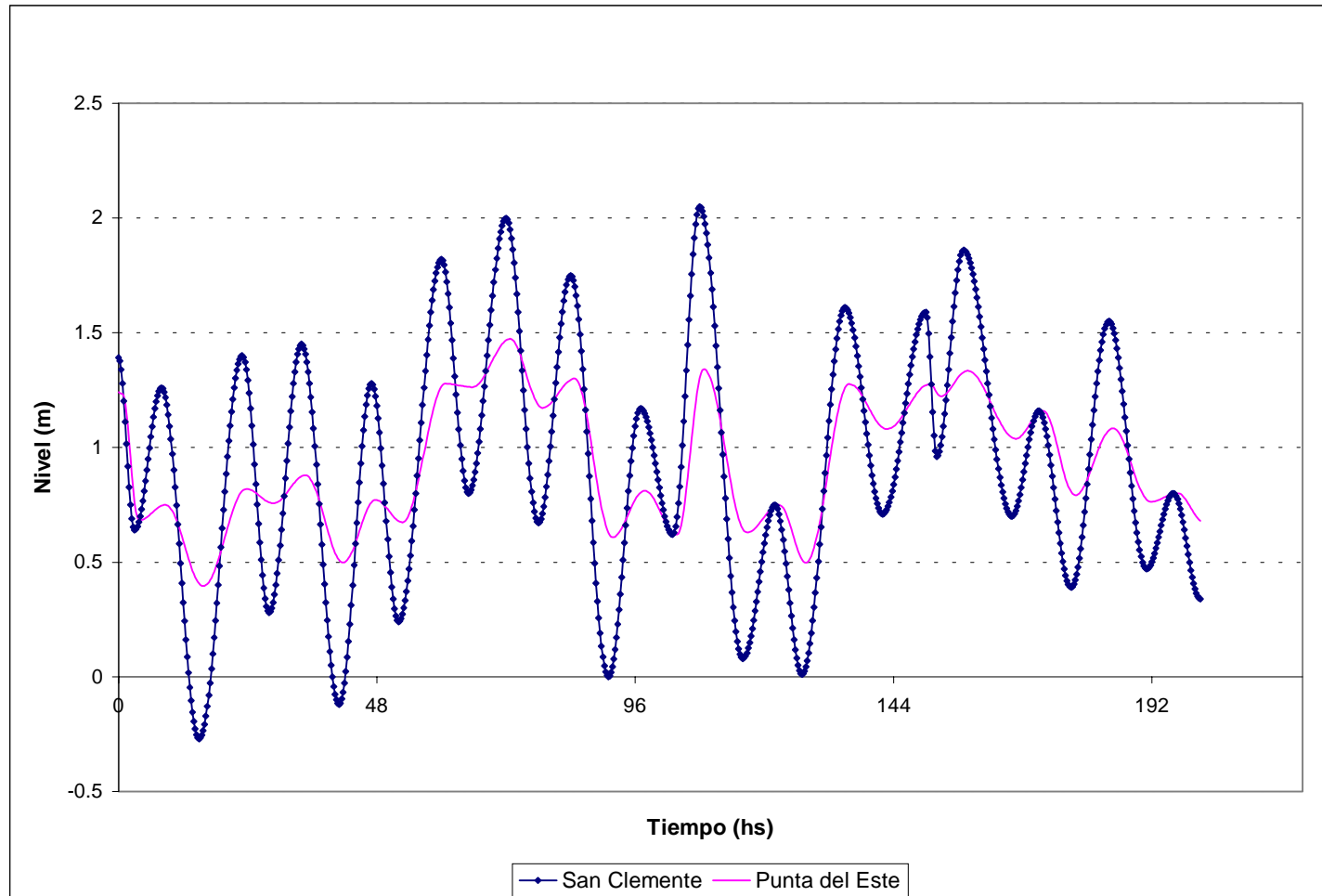


Figura 4.23 Condiciones de borde en el contorno oceánico. Período 13 al 20 de noviembre de 1989

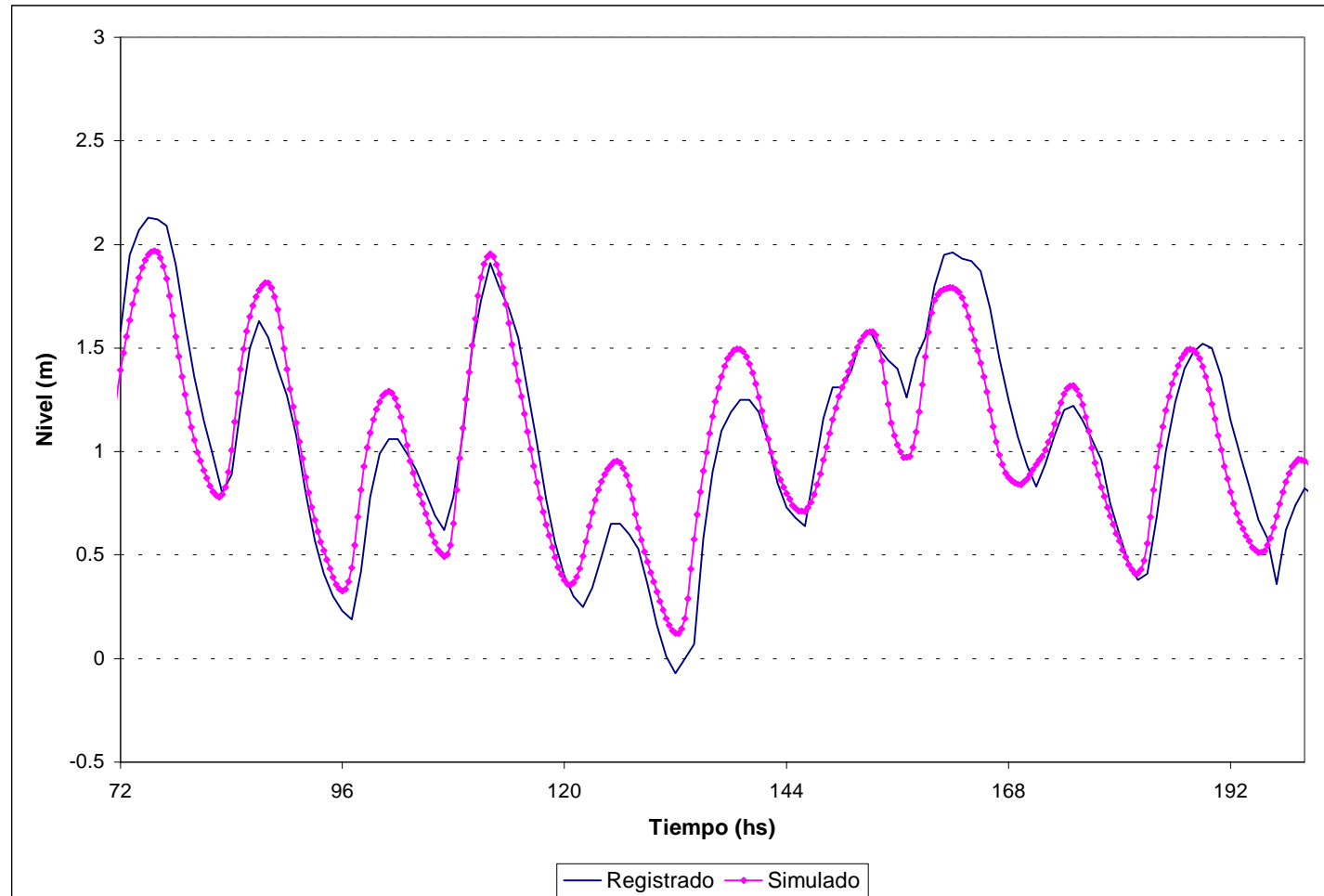


Figura 4.24 Contraste de niveles en Torre Oyarvide. Período 13 al 20 de noviembre de 1989

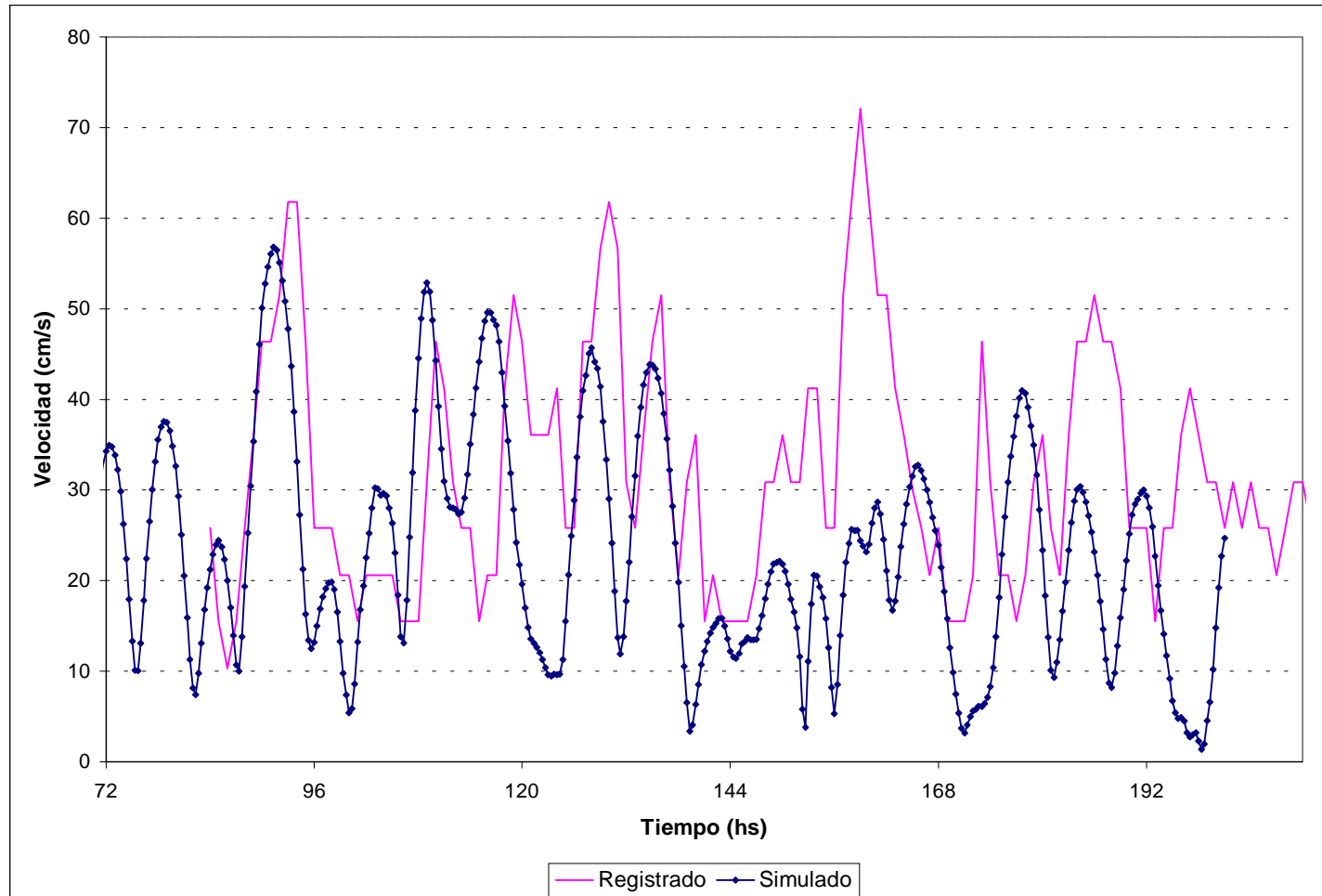


Figura 4.25a) Contraste de velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo 13/11/1989 0 HS

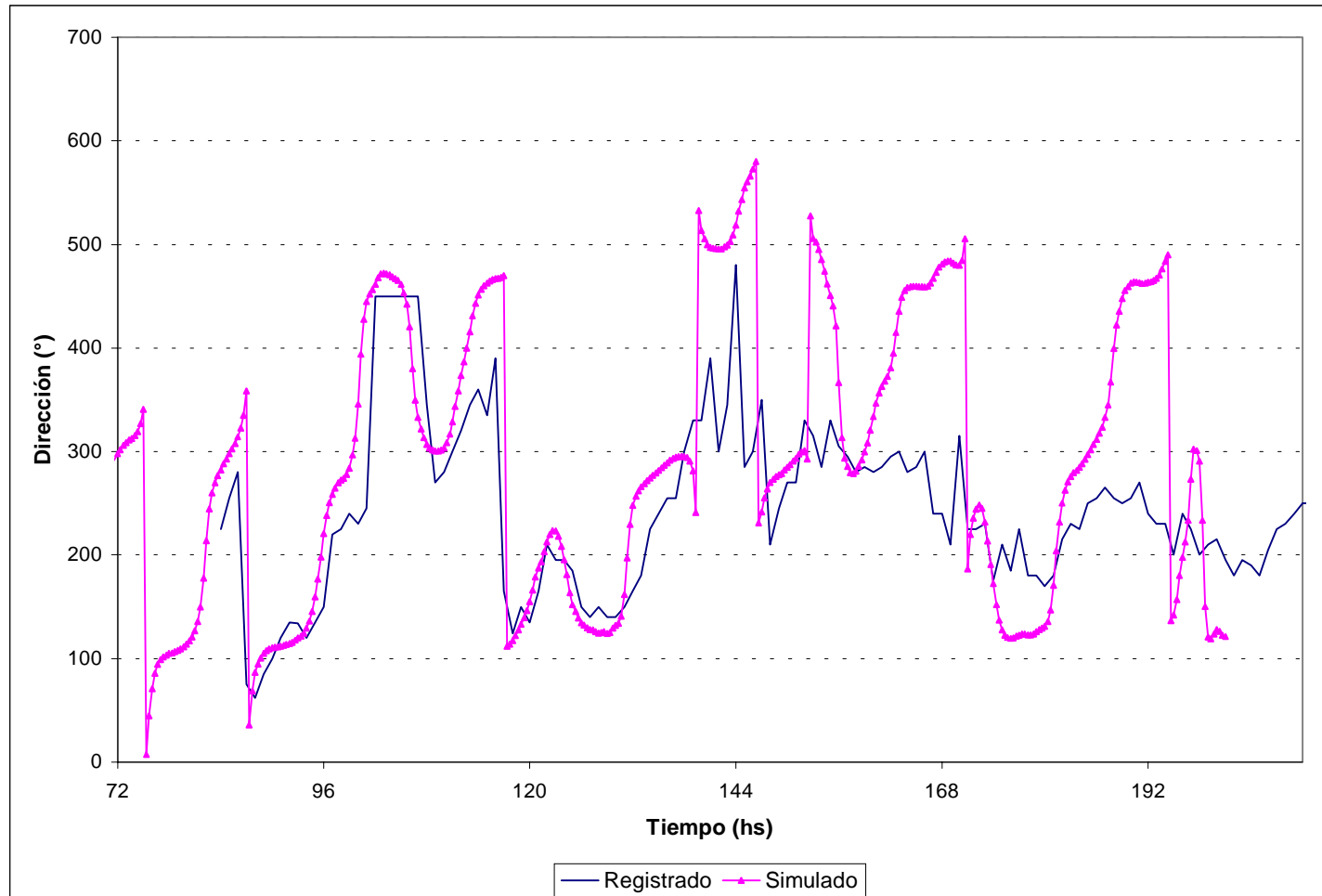


Figura 4.25b) Contraste de velocidad de corrientes en Pontón Recalada. Origen de tiempo 13/11/1989 0 HS.

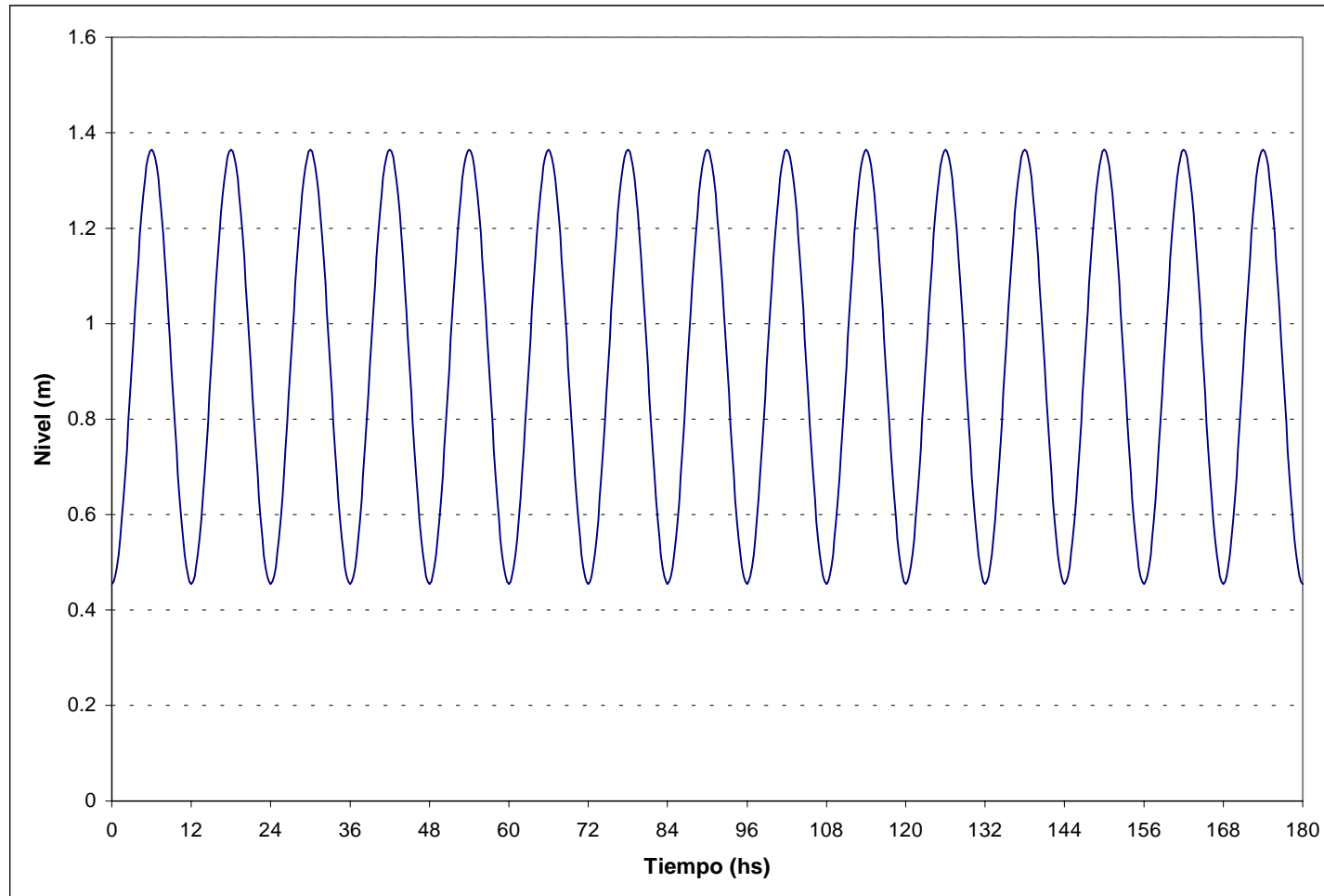


Figura 5.1) Condición de borde en el contorno oceánico

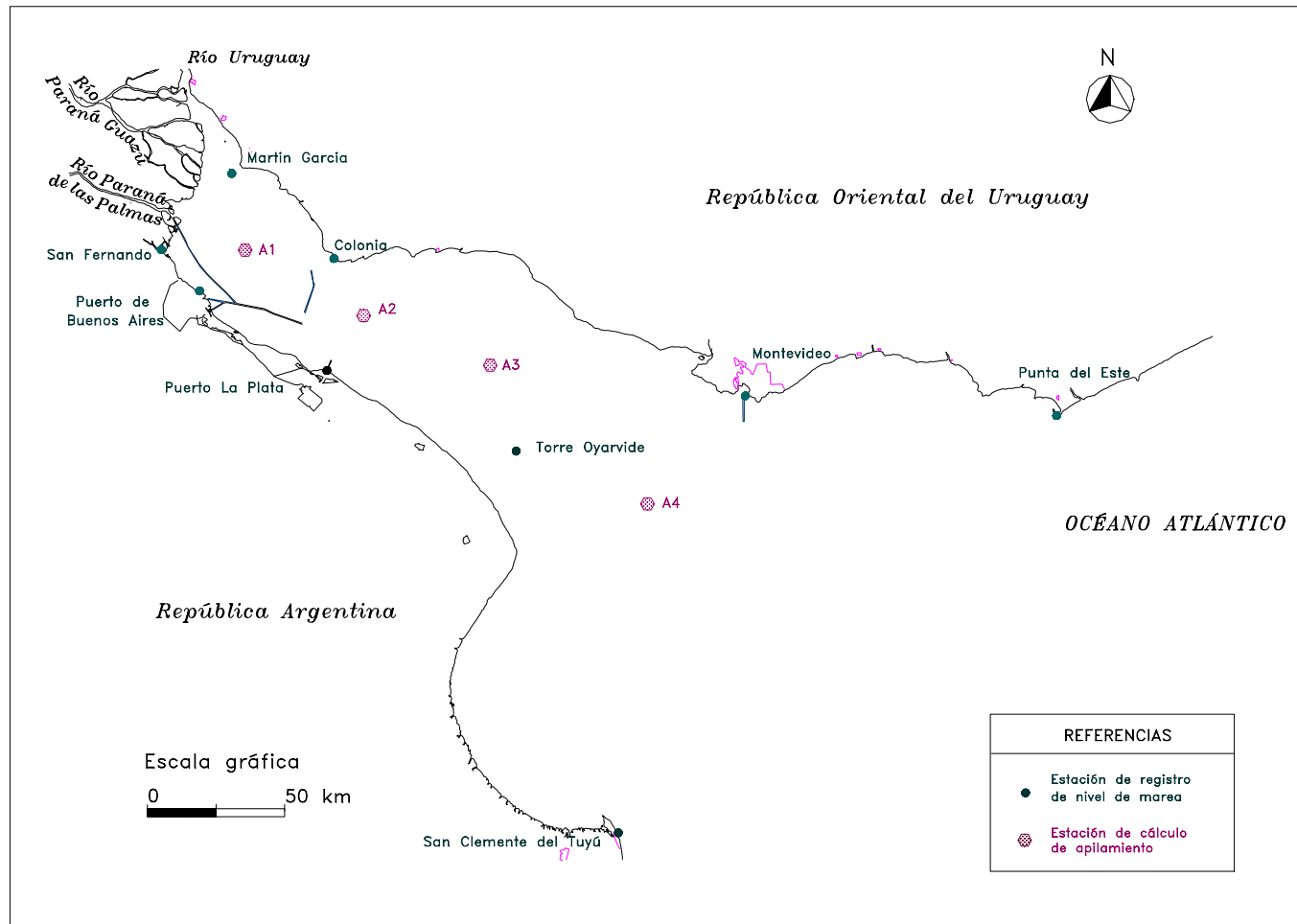


Figura 5.2 Estaciones de cálculo de apilamiento

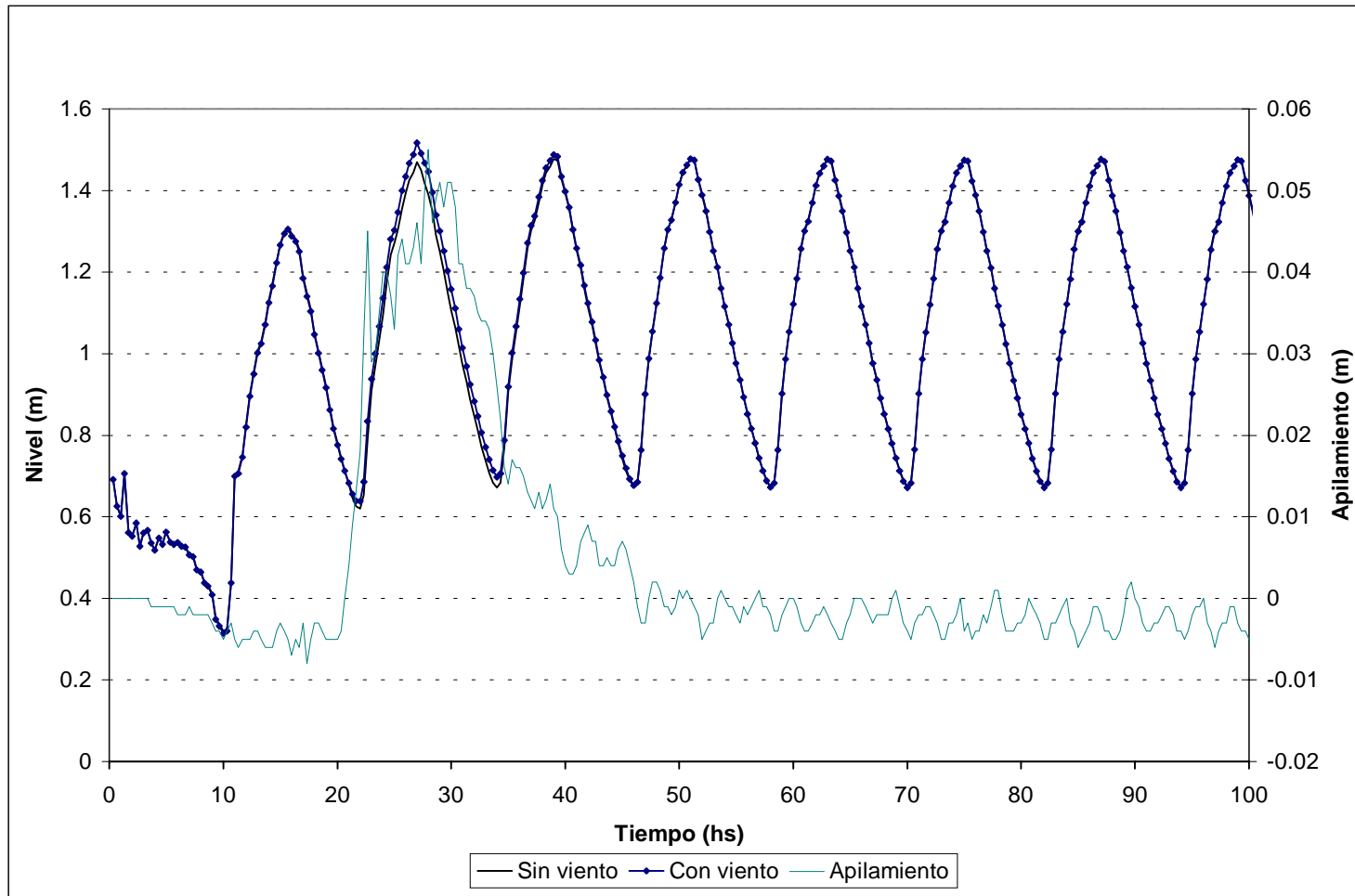


Figura 5.3a) Apilamiento generado por viento de 2 hs. de duración procedente del sector SSE

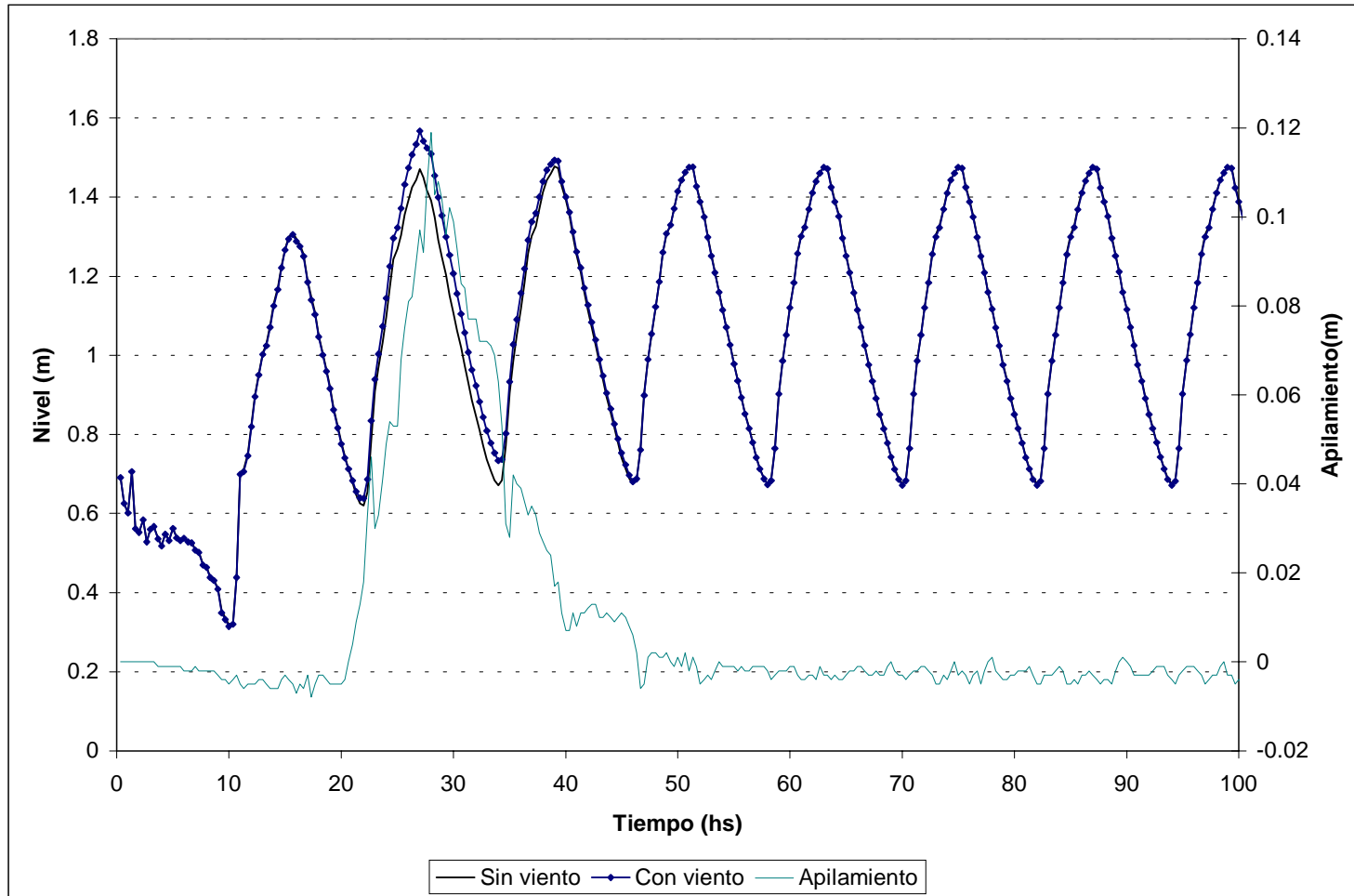


Figura 5.3b) Apilamiento generado por viento de 4 hs. de duración procedente del sector SSE

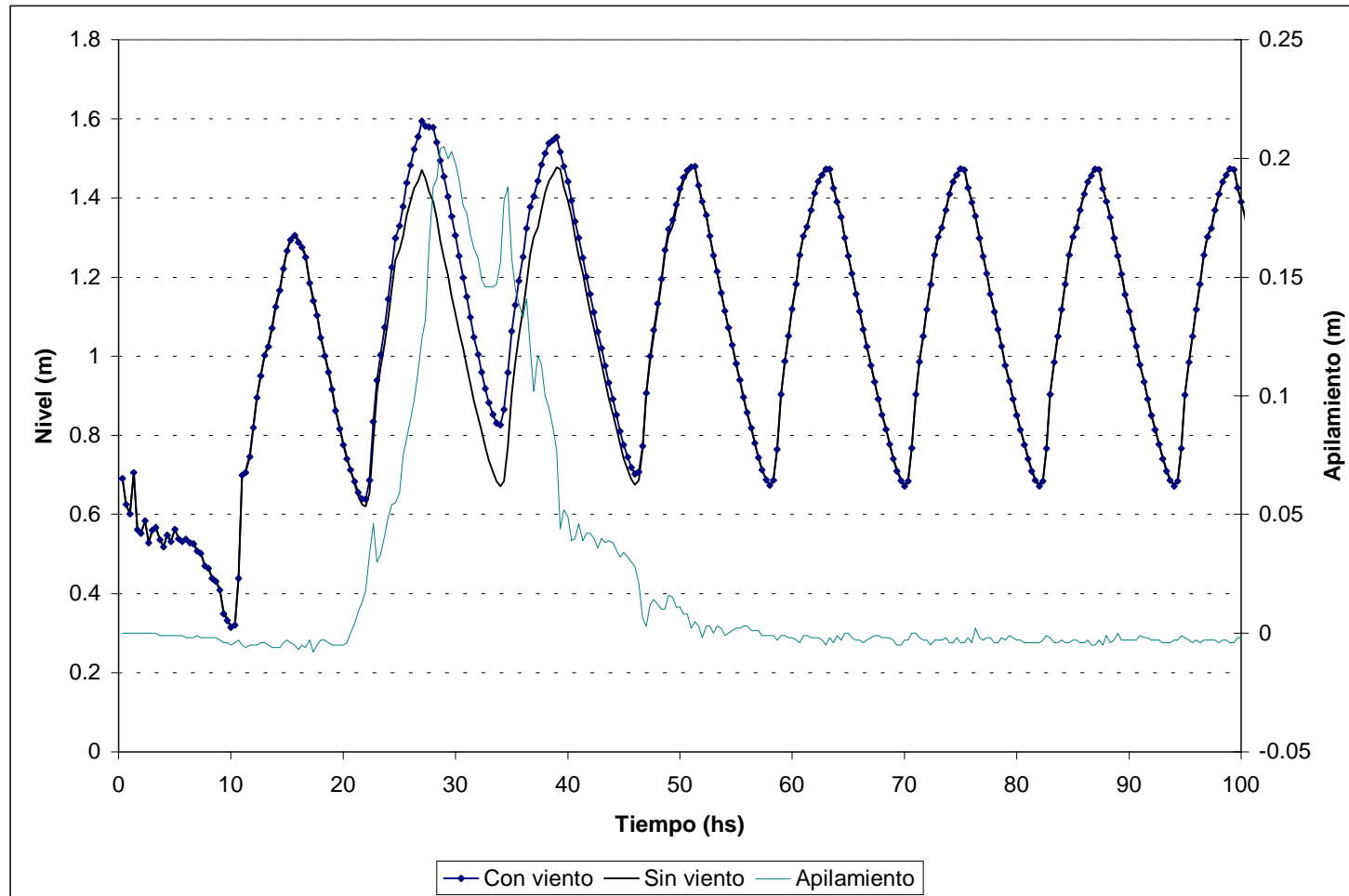


Figura 5.3c) Apilamiento generado por viento de 8 hs. de duración procedente del sector SSE

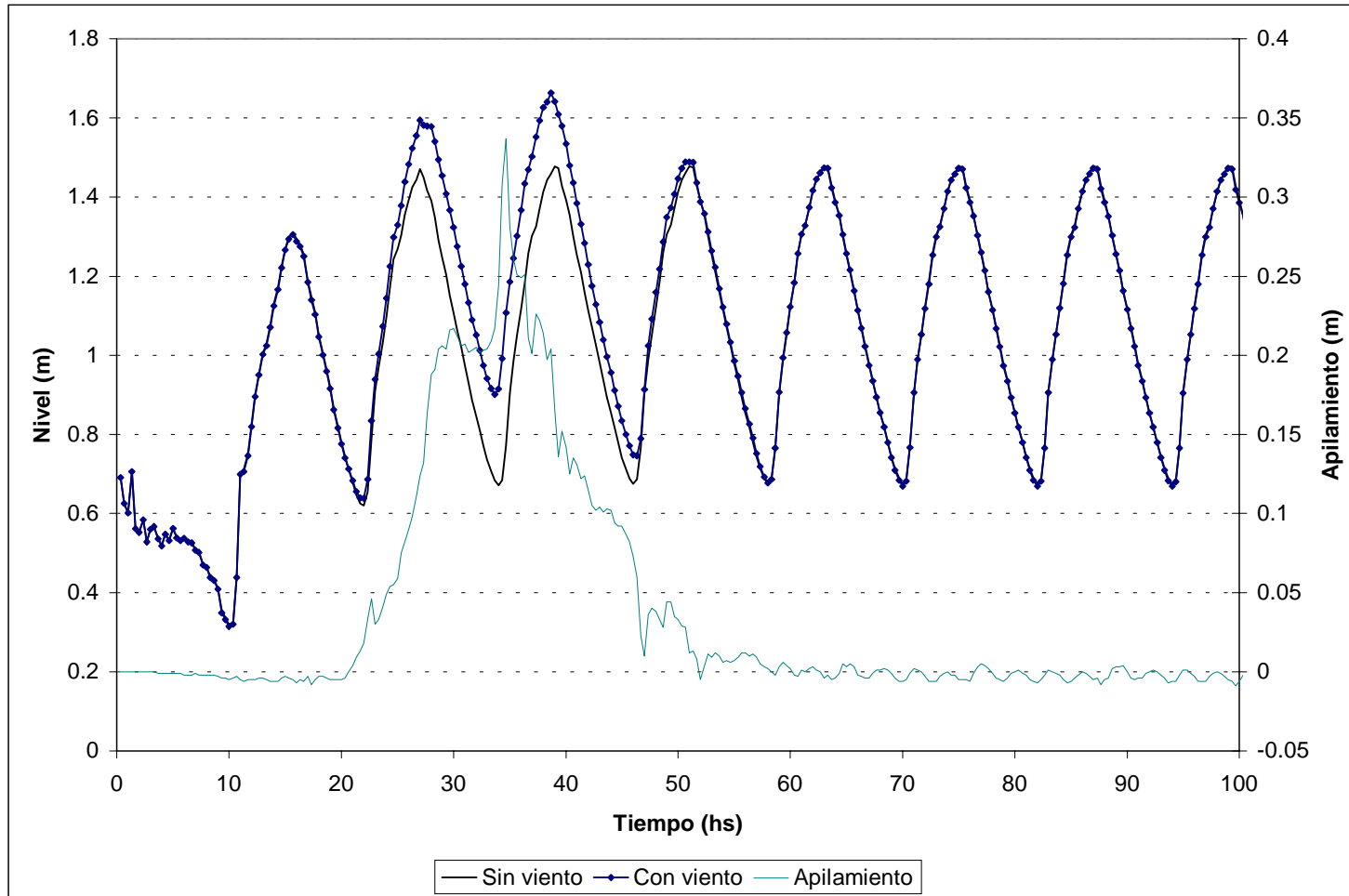


Figura 5.3d) Apilamiento generado por viento de 12 hs. de duración procedente del sector SSE

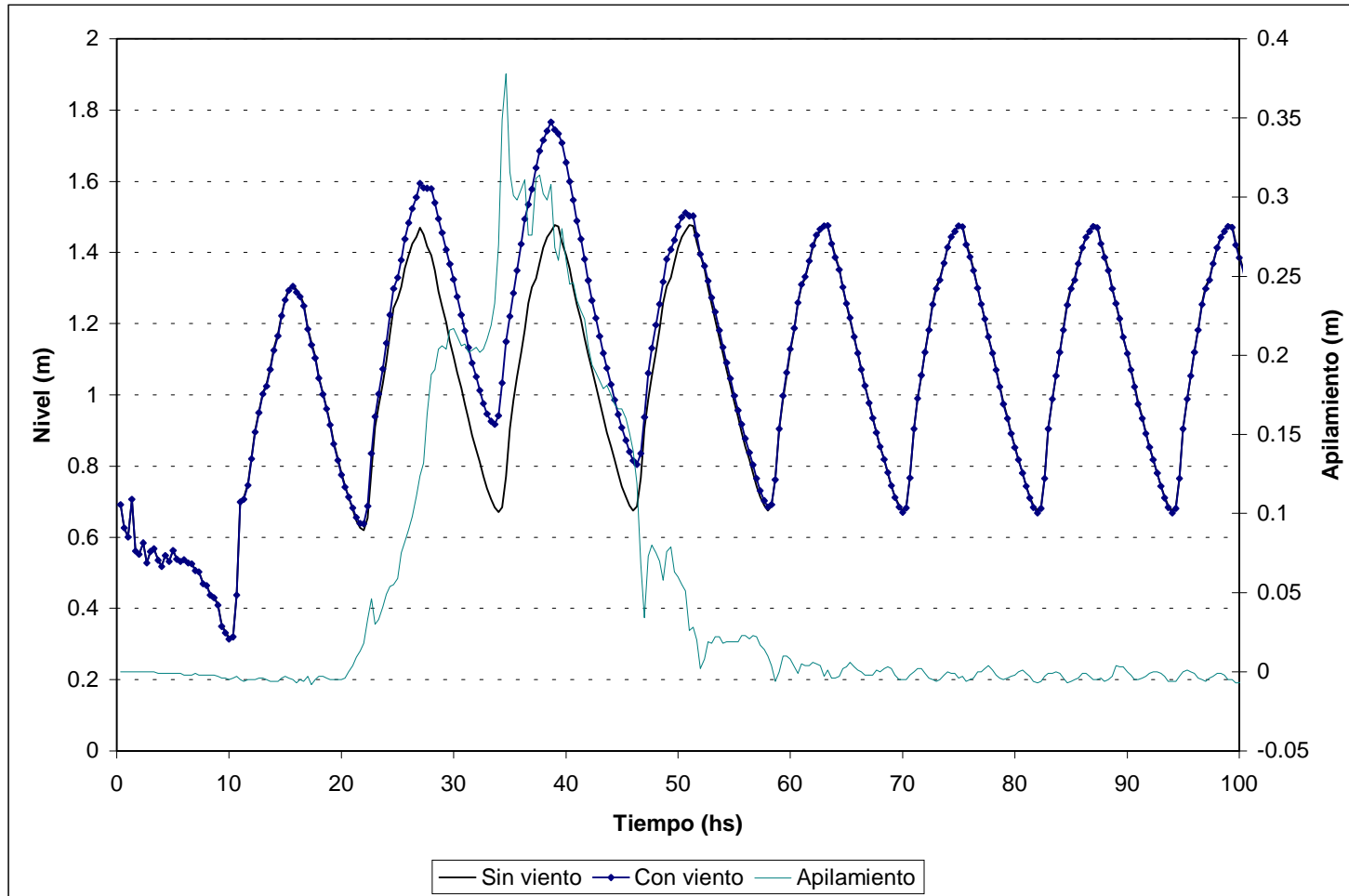


Figura 5.3e) Apilamiento generado por viento de 16 hs. de duración procedente del sector SSE

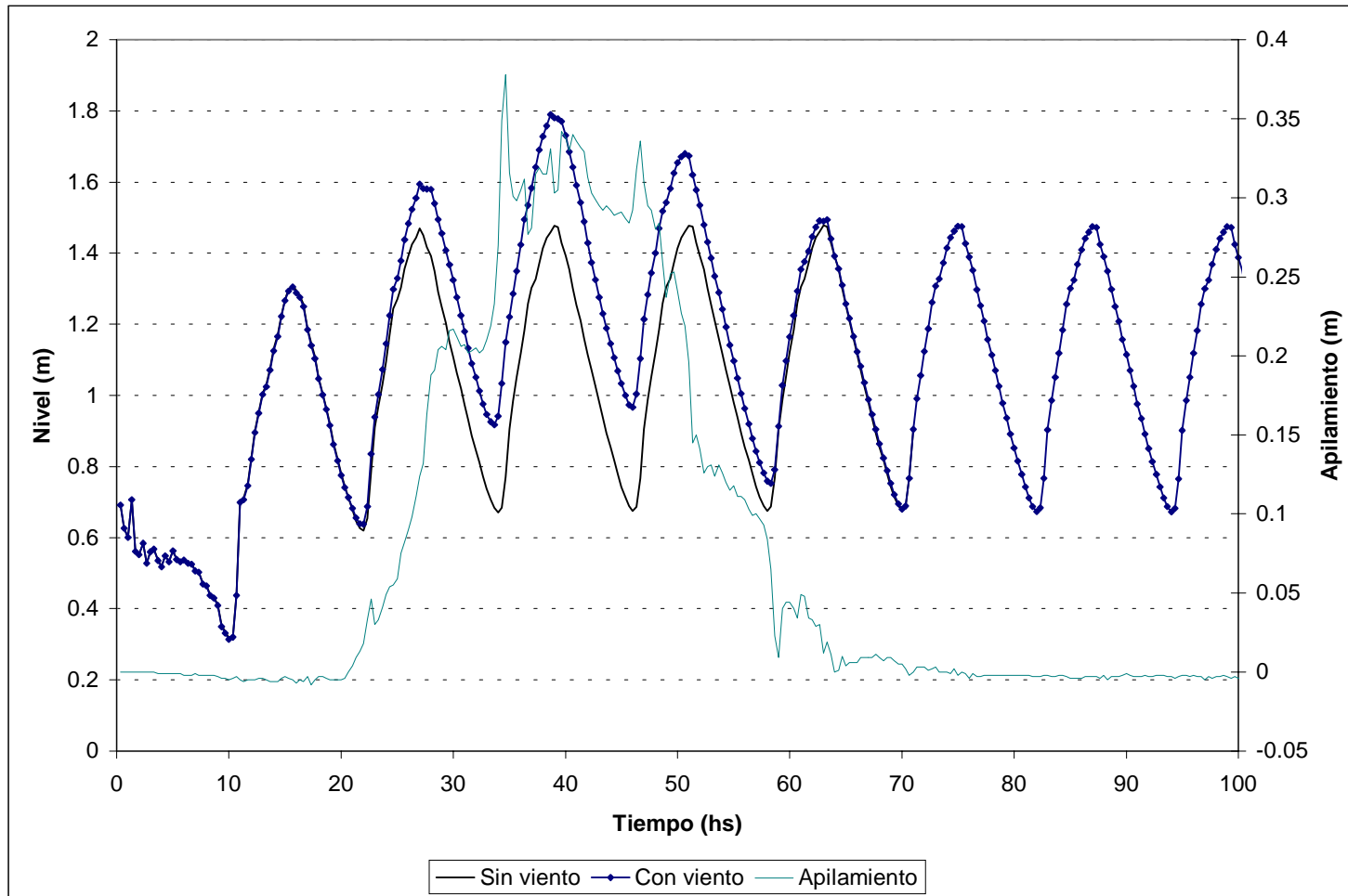


Figura 5.3f) Apilamiento generado por viento de 24 hs. de duración procedente del sector SSE

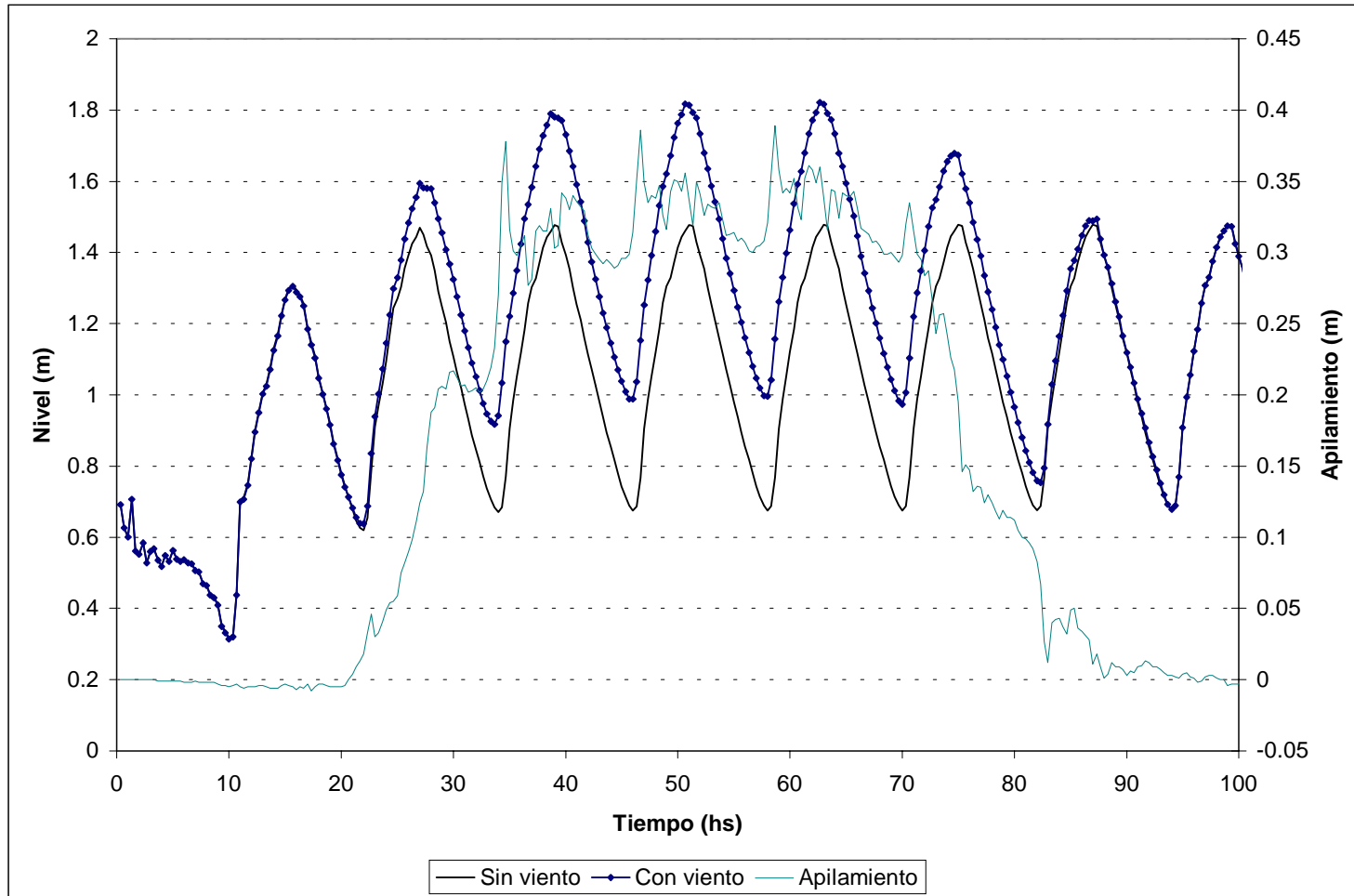


Figura 5.3g) Apilamiento generado por viento de 48 hs. de duración procedente del sector SSE

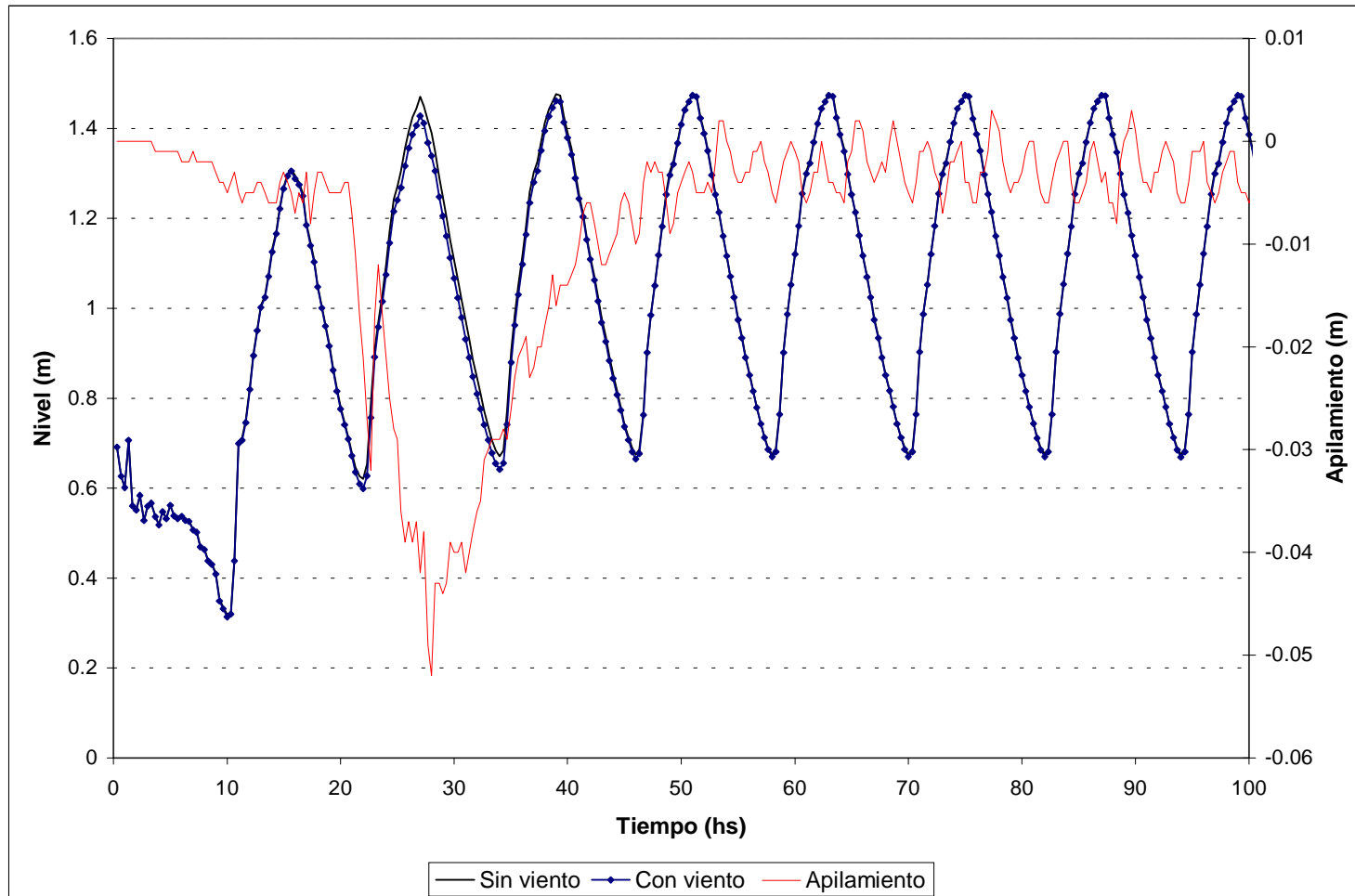


Figura 5.4a) Apilamiento generado por viento de 2 hs. de duración procedente del sector Norte

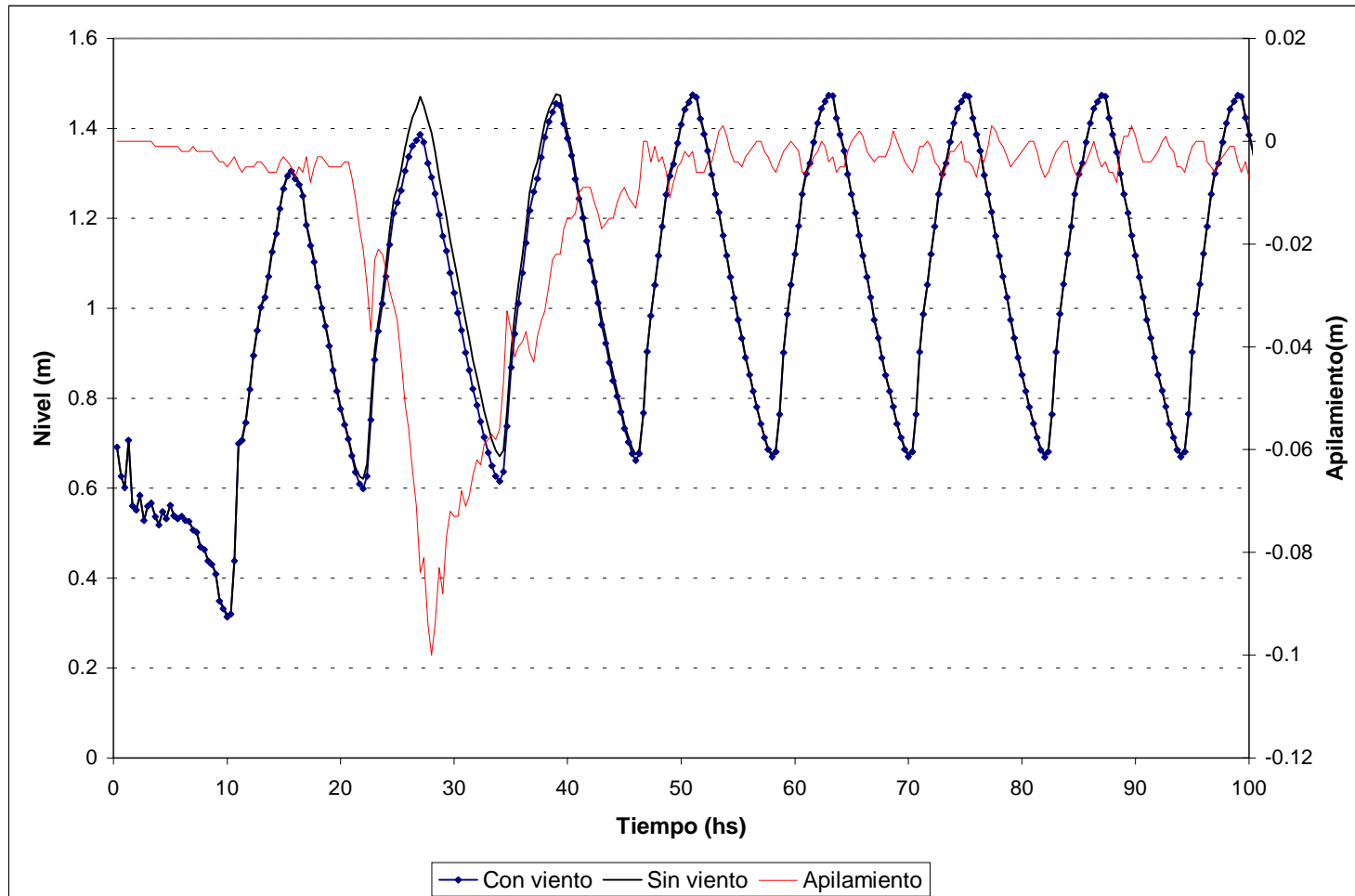


Figura 5.4b) Apilamiento generado por viento de 4 hs. de duración procedente del sector norte

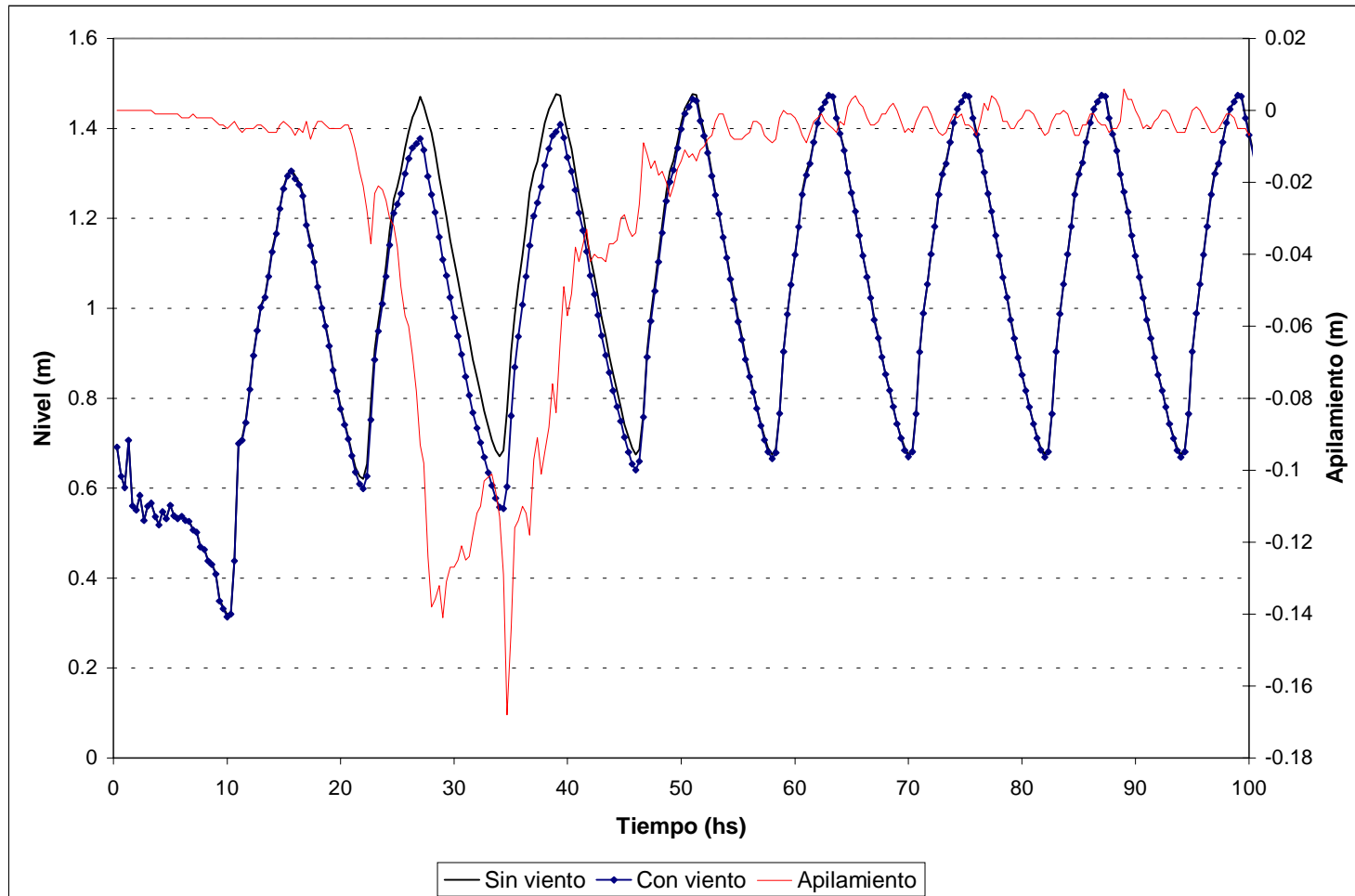


Figura 5.4c) Apilamiento generado por viento de 8 hs. de duración procedente del sector norte

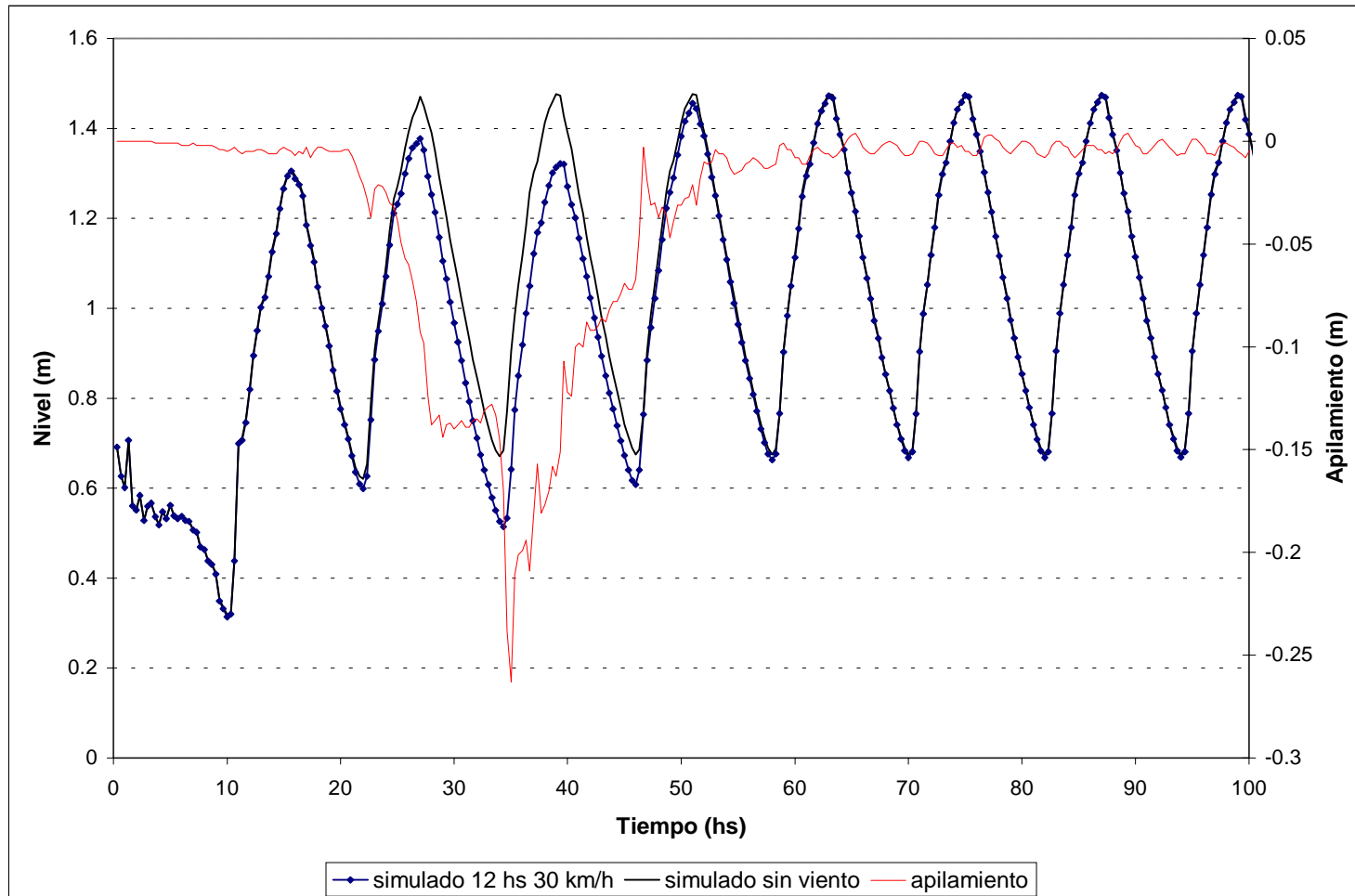


Figura 5.4d) Apilamiento generado por viento de 12 hs. de duración procedente del sector Norte

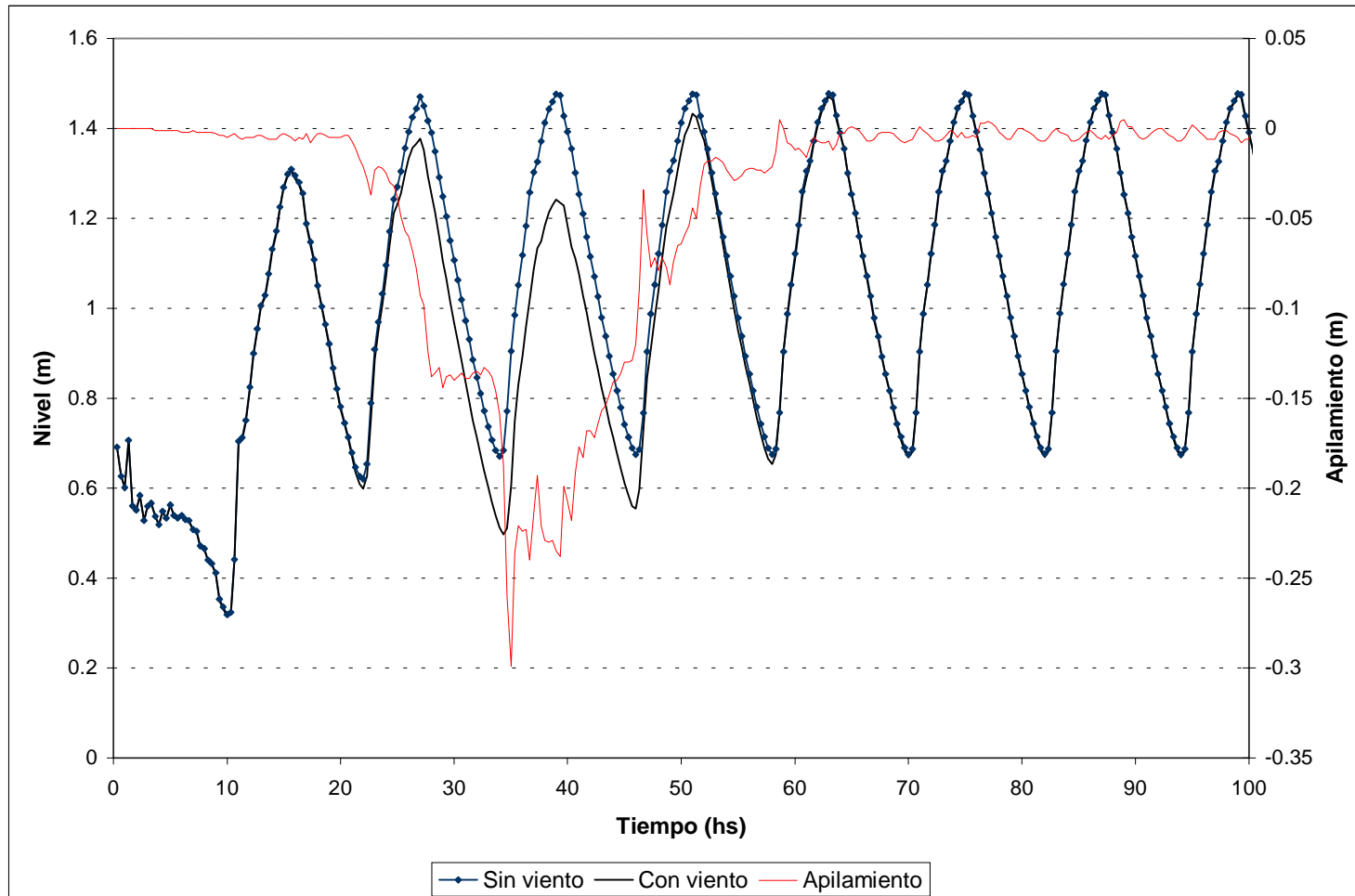


Figura 5.4e) Apilamiento generado por viento de 16 hs. de duración procedente del sector Norte

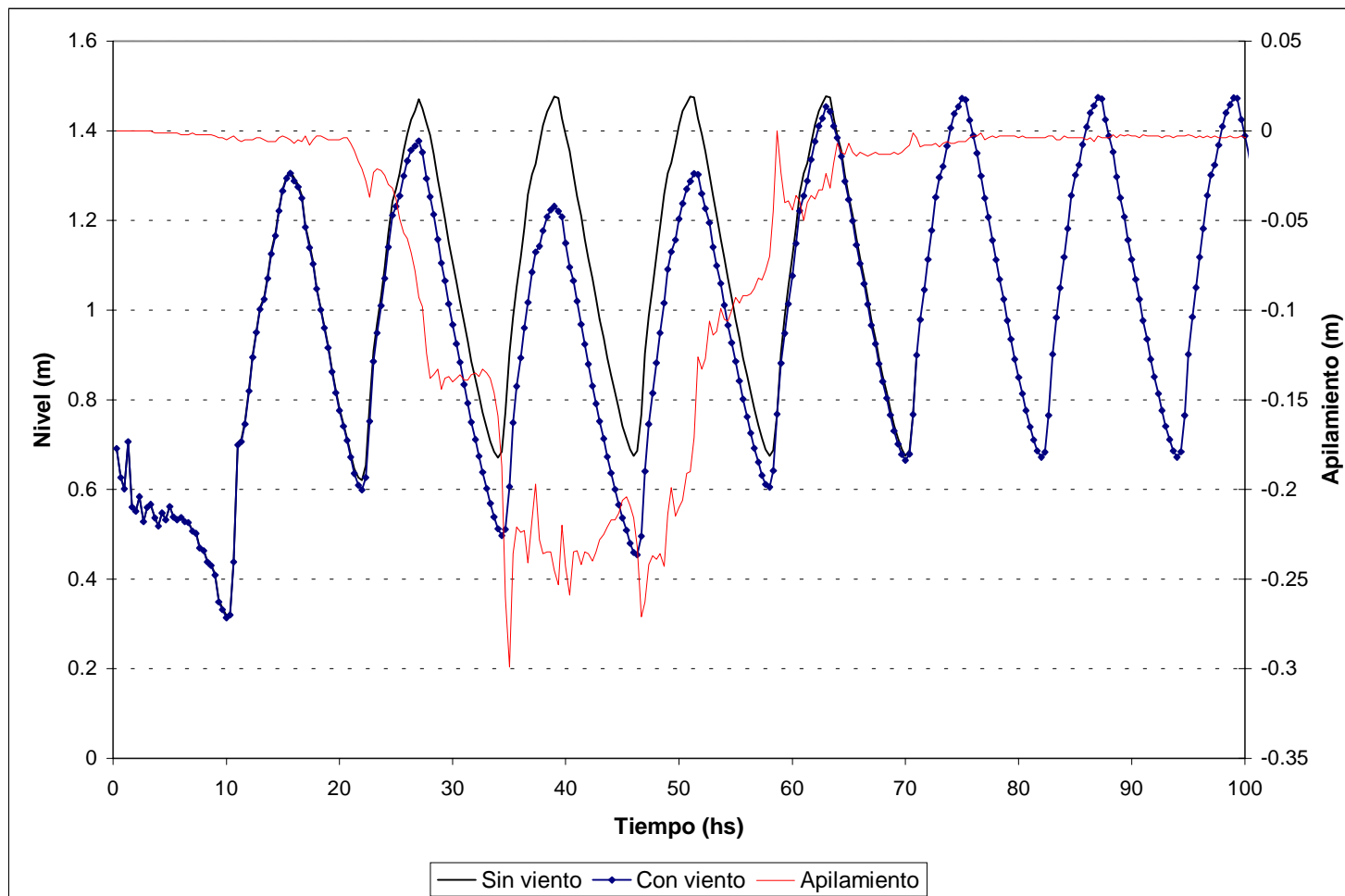


Figura 5.4f) Apilamiento generado por viento de 24 hs. de duración procedente del sector Norte

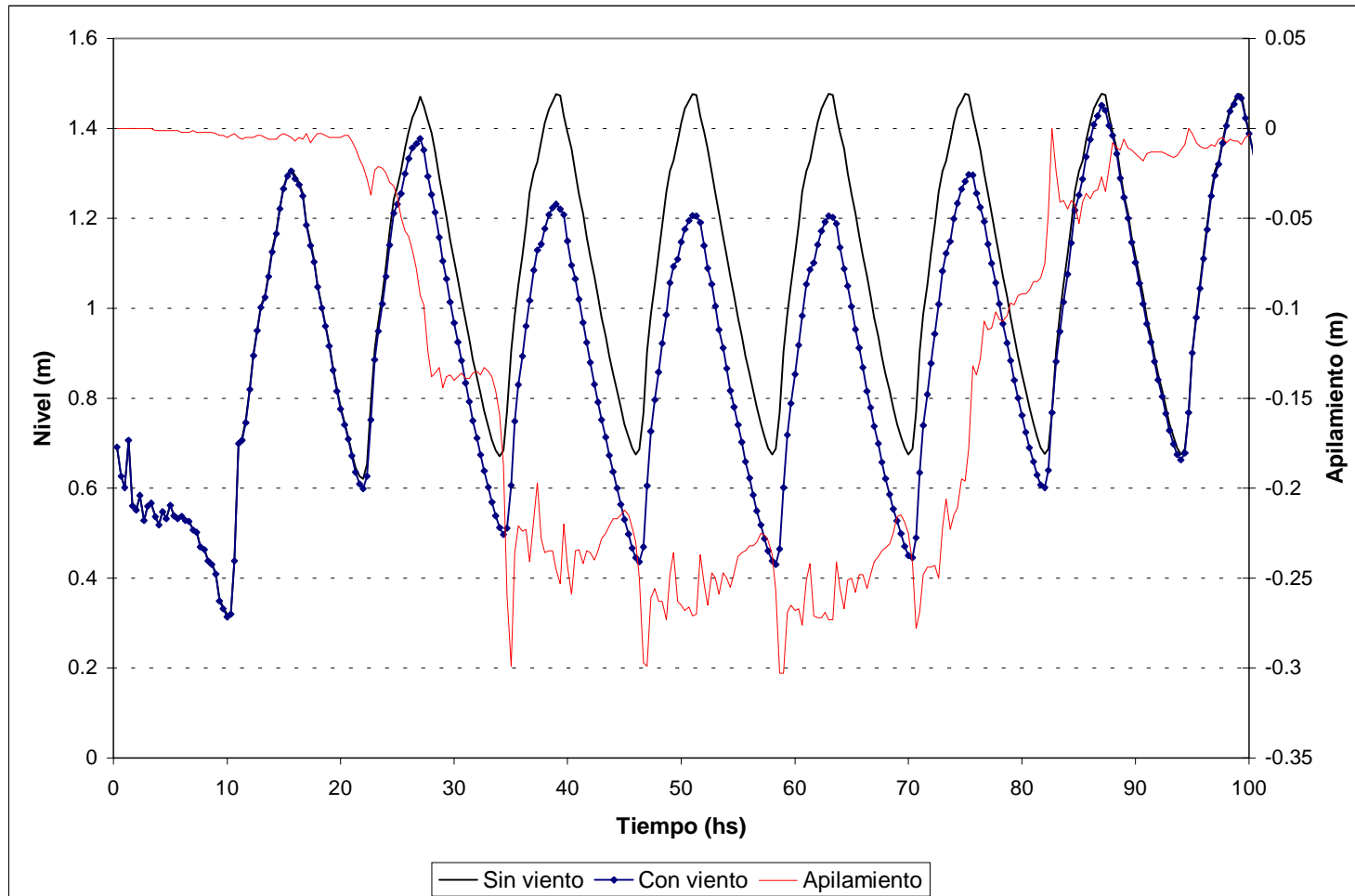


Figura 5.4g) Apilamiento generado por viento de 48hs. de duración procedente del sector Norte

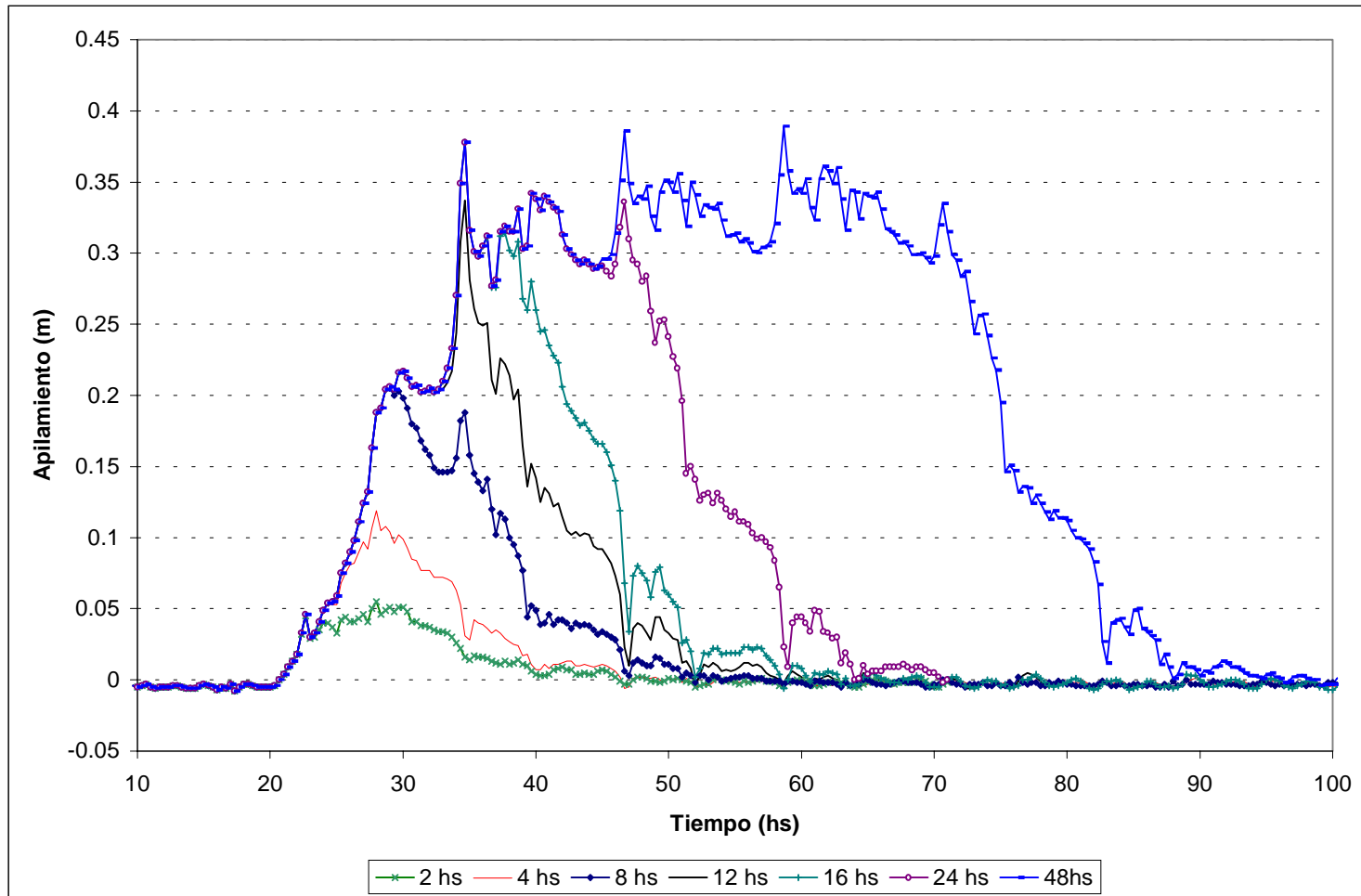


Figura 5.5 Contraste de apilamientos generados por vientos de distintas duraciones procedentes del sector SSE

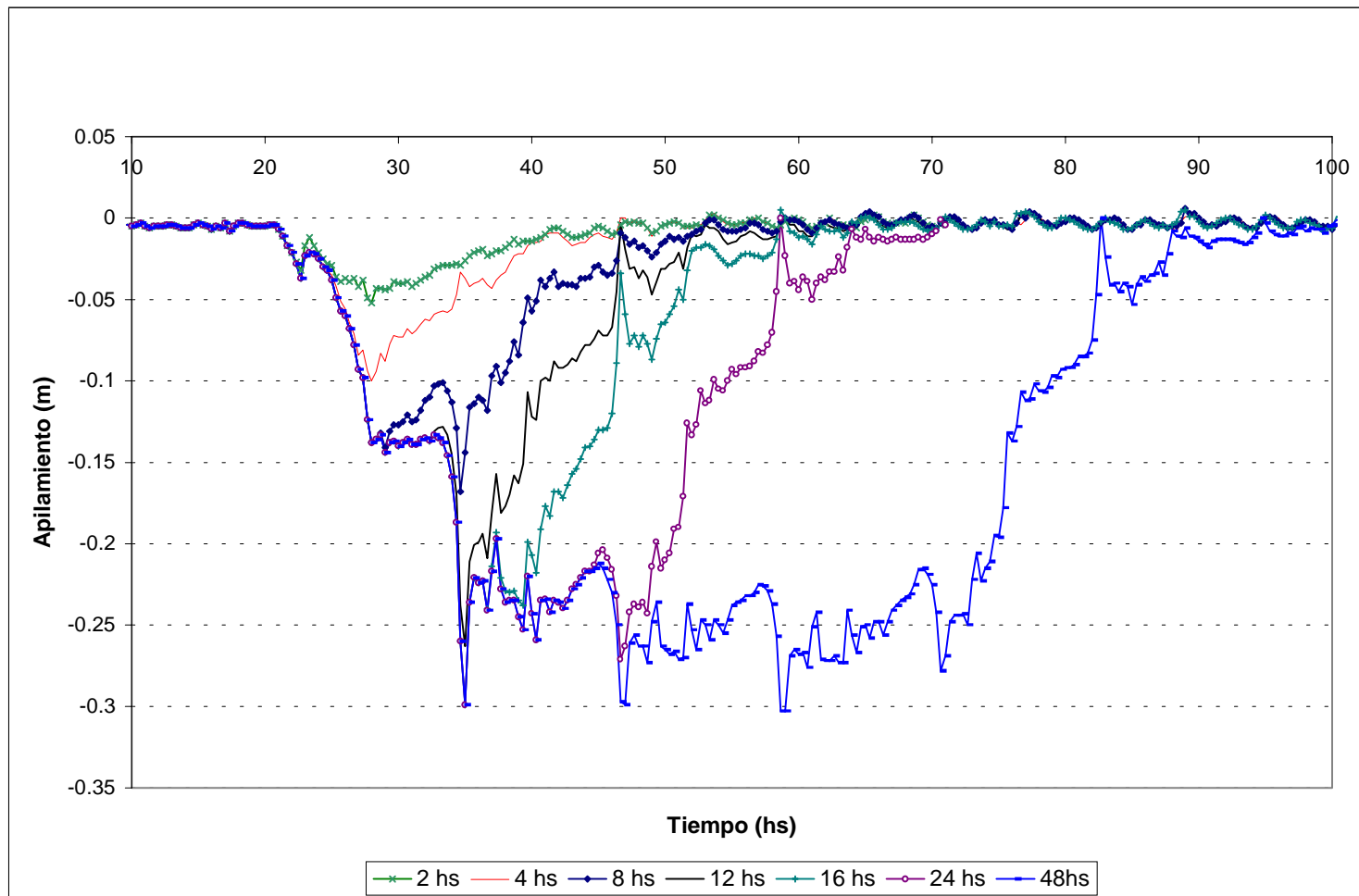


Figura 5.6 Contraste de apilamientos generados por vientos de distintas duraciones procedentes del sector Norte

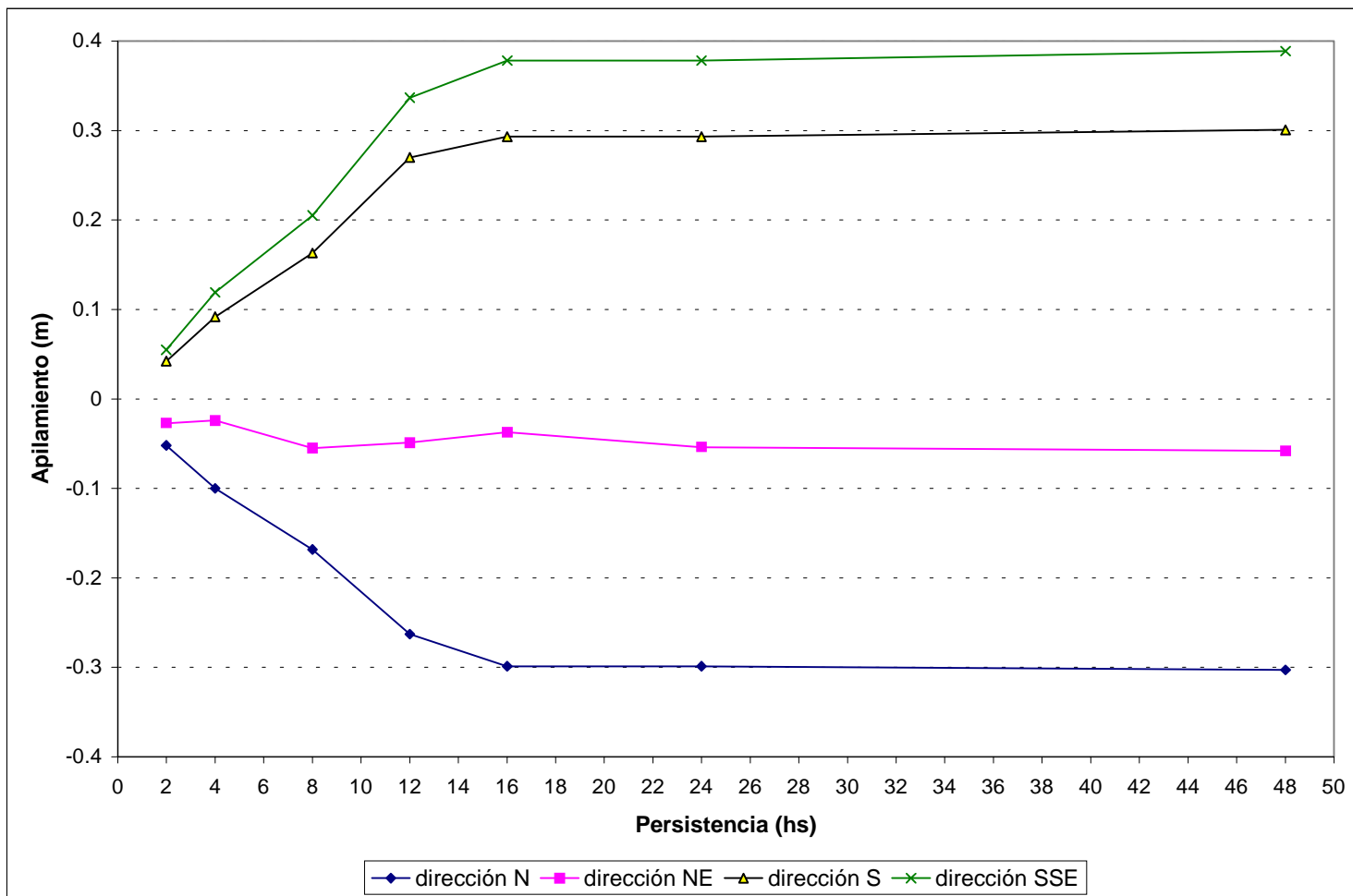


Figura 5.7 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A1

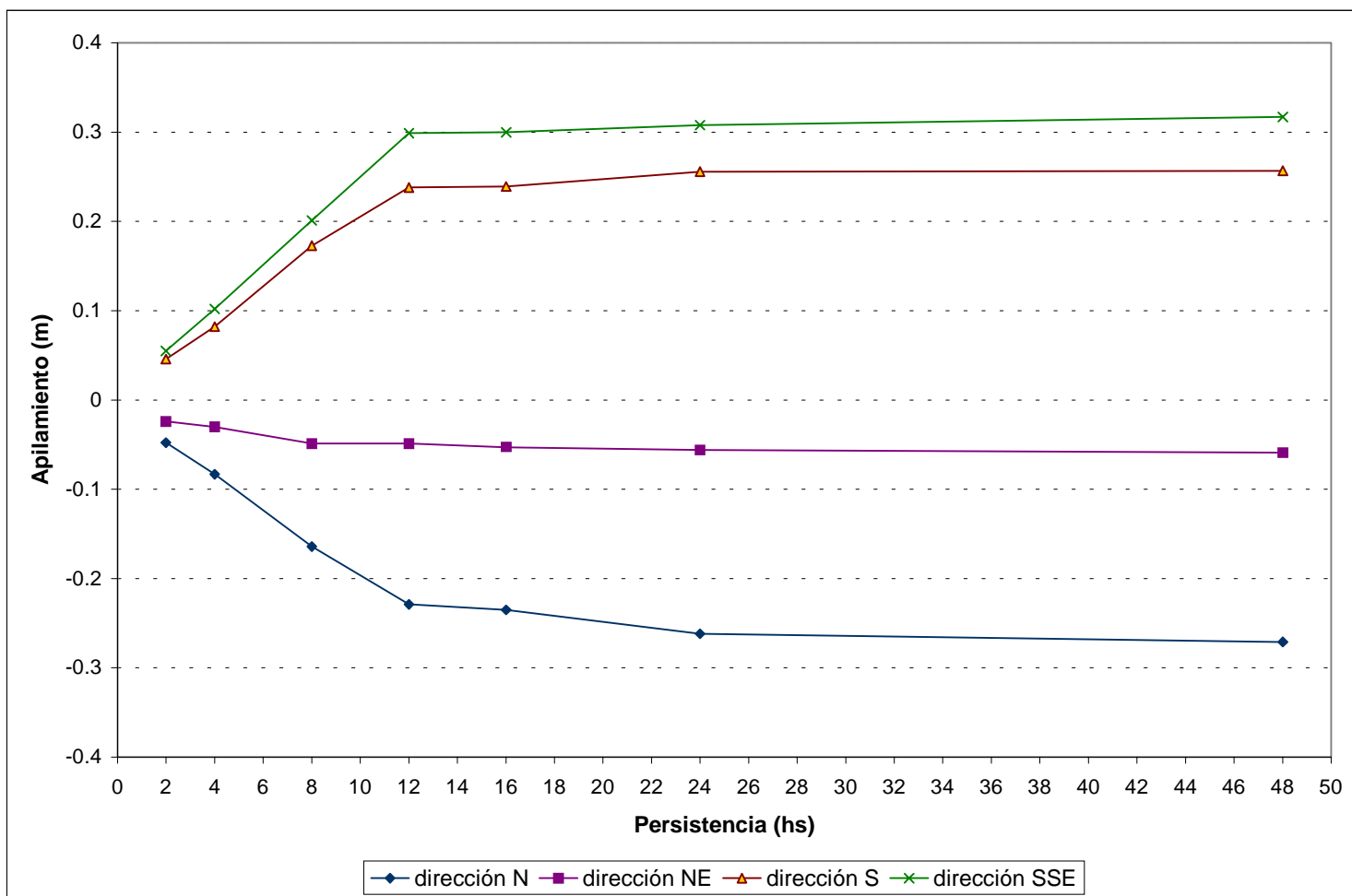


Figura 5.8 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A2

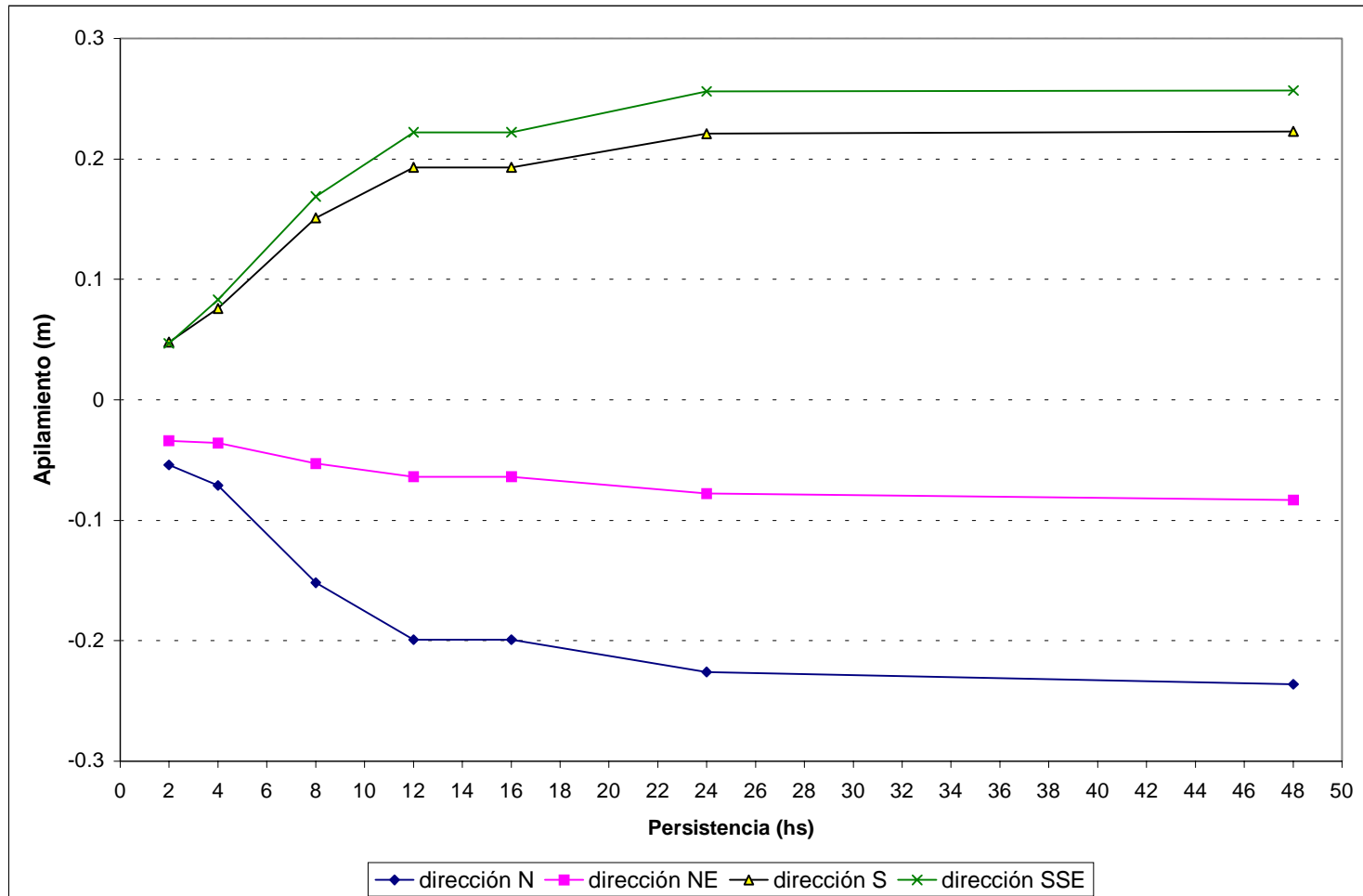


Figura 5.9 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A3

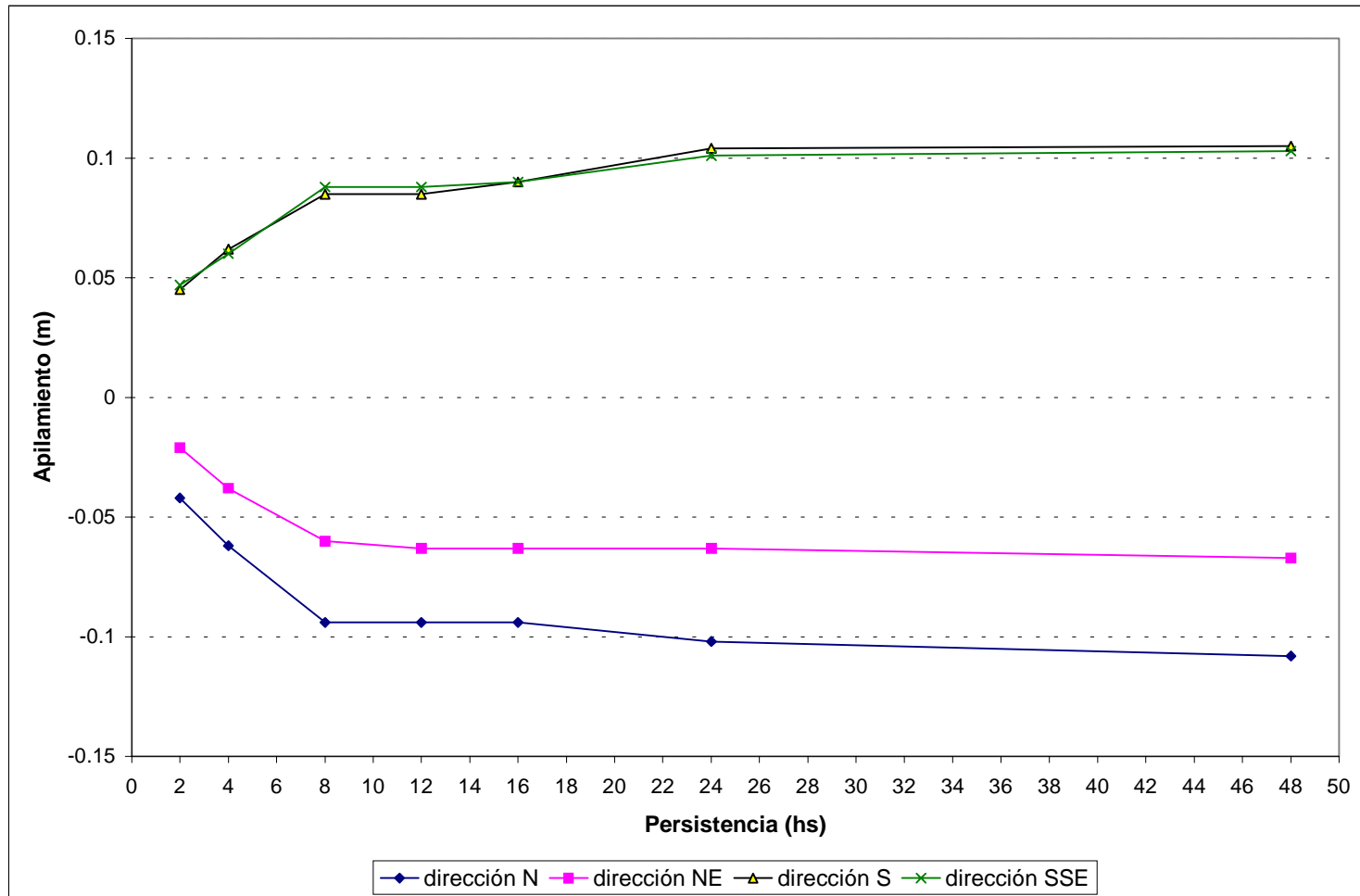


Figura 5.10 Apilamiento máximo producido por vientos de duración creciente en la estación A4