

# **ECUACIONES DE LLUVIAS INTENSAS I-D-R PARA LA CIUDAD DE BAHÍA BLANCA A PARTIR DE INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA DEL SMN**

**Mg. Ing. José Luis Carner<sup>1</sup>**  
FI-UNLP – UIDET Hidromecánica  
jlcarner@gmail.com

## **RESUMEN**

A partir del evento pluvial del 7 de marzo de 2025, acaecido sobre la ciudad de Bahía Blanca, se solicitaron datos de precipitaciones diarias al Servicio Meteorológica Nacional (SMN), con el fin de realizar un cálculo de las leyes de Intensidad, Duración, Recurrencia aplicando las ecuaciones de Frederich Bell, a partir de estimar la precipitación diaria de probabilidad de ocurrencia del 10% anual.

La Dirección Provincial de Hidráulica (DPH) de la Provincia de Buenos Aires, por su parte, dispone de ecuaciones para la localidad de Punta Alta, y además son de aplicación las ecuaciones derivadas del Trabajo de Ing. Gustavo Devoto sobre Regionalización de Lluvias Intensas, curvas IDR, en la República Argentina, adoptadas en el Manual para el Diseño de Planes Maestros para la Mejora de la Infraestructura y de la Gestión del Drenaje Urbano, al cual ha adherido la Provincia de Buenos Aires.

En este trabajo se realizaron diversos análisis para determinar leyes estadísticas y de distribución temporal en base a trabajos como los de F. Bell y los correspondientes a Dick y Preschke en base a los máximos registros diarios anuales.

El objetivo se basó en contrastar diversas leyes existentes y actualizarlas de considerarse útil.

Palabras clave: Curvas IDR – Bahía Blanca Aero -

---

<sup>1</sup> Profesor Adjunto, Cátedra de Obras Hidráulicas, Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, UNLP.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Los proyectos hidráulicos requieren basarse en registros de lluvias que permitan determinar caudales de diseño, según los riesgos a adoptar, para diversas obras hidráulicas como alcantarillas, puentes, desagües pluviales, etc. La forma de aplicación de esta información pluvial es en base a leyes de Intensidad – Duración – Recurrencias (IDR) muy utilizadas en ecuaciones básicas como la del Método Racional, o para confeccionar Hietogramas Sintéticos para aplicar en modelos matemáticos.

En general esta información debe ser recabada de registros pluviográficos que permitan considerar la lluvia precipitada cada intervalos regulares y cortos de tiempo (del orden de minutos) para elaborar estas curvas.

A falta de información pluviográfica, se ha decidido trabajar a partir de datos diarios obtenidos de registros pluviométricos de la estación Bahía Blanca Aero, con 64 años de registro completos desde 1961 a 2024. Esta información, suficiente para poder realizar cálculos probabilísticos, ha permitido por un lado calcular los valores máximos anuales según distintas probabilidades de ocurrencia; por otro lado, comparar las leyes de uso con los valores actualizados y propios de la región. Y finalmente observar la tendencia no solo de los máximos diarios anuales sino de la tendencia anual de acumulación de las precipitaciones.

## **2. OBJETIVOS DE LOS TRABAJOS REALIZADOS**

El objetivo central del trabajo ha sido determinar las leyes de lluvias por Intensidad, Duración y Recurrencia, con datos no solo actuales sino también locales para la región de la ciudad de La Plata a partir de los registros diarios de precipitaciones realizados por el SMN.

Como objetivos secundarios se han perseguido básicamente:

- a. Interpretar los fenómenos de los últimos 64 años respecto a la precipitación anual acumulada.
- b. Observar las leyes IDR obtenidas y existentes respecto a los volúmenes de agua precipitada, por cantidad e intensidad y su distribución temporal durante una tormenta.
- c. Proponer leyes de aplicación que adopten cambios en las tendencias de las precipitaciones de acuerdo a la bibliografía más actualizada.

Para abordar estos objetivos se analiza la ecuación existente de la DPH para Punta Alta, las ecuaciones propuestas por el Ing. Gustavo Devoto de aplicación para la ciudad de Bahía Blanca y las propuestas derivadas de este estudio.

## **3. METODOLOGÍAS**

Las metodologías de trabajo se basaron en analizar los datos, básicamente de dos tipos:

- a. Los registros de datos de las precipitaciones anuales acumuladas de la Estación Bahía Blanca Aero del SMN (Código de estación 87750), tomados como años calendarios (enero / diciembre) o años hidrológicos (abril / marzo).
- b. De esta última clasificar los valores máximos diarios de cada año del registro de precipitaciones.

Así, por un lado, se han realizado ajustes a la serie de datos generada con los máximos anuales según distintas funciones de distribución de probabilidad: log-normal de 2 y 3 parámetros, Gumbel, log-Pearson III, y Fréchet, todos con niveles de significación del 5%, de las cuales se ha adoptado el máximo valor estimado, para recurrencia de 10 años y duración de 24 horas. Con este máximo valor de 1440 minutos (diario) de precipitación se utilizó la metodología desarrollada por Frederich Bell para realizar distribuciones de intensidad, duración y recurrencia según la siguiente expresión [1], aplicable para otras recurrencias y duraciones:

$$P_D^T = (0.21 \ln(T) + 0.52) \cdot (0.54 D^{0.25} - 0.50) P_{60}^{10} \quad [1]$$

Por otro lado, se utilizó la serie de 32 datos de valores máximos para aplicar el criterio de Grobe, conocido como Dyck y Preschke, que, en base a la serie de registros máximos, determina para diversas duraciones la precipitación en base a la precipitación diaria, según la expresión [2]:

$$P_D = P_{24h} \cdot \left(\frac{D}{1440}\right)^{0.25} \quad [2]$$

$P_D$  como precipitación máxima de duración  $D$ , en mm  
 $P_{24h}$  como precipitación máxima de 24 horas, en mm  
 $D$  duración de la precipitación, en horas

$$I = \frac{P_D}{D} \quad [3]$$

$I$  como Intensidad, en mm/h  
 $P_D$  como precipitación máxima de duración 24 horas  
 $D$  como duración de cálculo en horas

Finalmente se pueden determinar las fórmulas de Intensidad en función del Período de retorno y la duración considerada, según la ecuación [4]:

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{K \cdot T^m}{D^n} \quad [4]$$

$T$  es la recurrencia, en años  
 $D$  es la duración considerada, en minutos  
 $K, m$  y  $n$  coeficientes

Finalmente se analizaron las ecuaciones de lluvias precipitadas según las relaciones de tiempo, como se presentan en la Tabla N° 1, y a partir de estas relaciones se ajustaron las precipitaciones y las intensidades, desde las lluvias de 5 a 60 minutos según la recurrencia obtenida por el método de F. Bell, para las ecuaciones que se proponen en este trabajo.

Tabla N°1: relación de duraciones

RELACIÓN	BRASIL	EE.UU.		CABA
		USW Bureau	Denver	
5 min / 30 min	0.34	0.37	0.42	
10 min / 30 min	0.54	0.57	0.63	
15 min / 30 min	0.70	0.72	0.75	0.59
20 min / 30 min	0.81		0.84	0.80
25 min / 30 min	0.91		0.92	0.91
30 min / 1 h	0.74	0.79		0.81
1 h / 24 h	0.42			
6 h / 24 h	0.72			
8 h / 24 h	0.78			
10 h / 24 h	0.82			
12 h / 24 h	0.85			
24 h / 1 día	1.14	1.13		

Los valores adoptados para relacionar las duraciones, referidos a la tormenta de 1 horas, buscaron maximizar cada intervalo de tiempo buscando que las duraciones menores a 20 minutos concentraran mayor volumen de agua.

En todos los casos se utilizaron curvas de ajuste de tendencias para proponer la ecuación de cada ley finalmente considerada como representante de la recurrencia analizada para la ciudad de Bahía Blanca.

## 4. RESULTADOS OBTENIDOS

Tabla N°2: Registros de la Estación Bahía Blanca Aero. SMN

Precipitación			Precipitación			Precipitación		
Año	Máx Diaria [mm]	Acumul Anual [mm]	Año	Máx Diaria [mm]	Acumul Anual [mm]	Año	Máx Diaria [mm]	Acumul Anual [mm]
1961	58.00	586.40	1983	58.80	722.42	2005	50.00	535.40
1962	32.00	354.70	1984	45.00	683.20	2006	49.00	553.00
1963	46.10	628.50	1985	44.80	646.70	2007	123.00	666.00
1964	52.80	556.20	1986	56.00	580.50	2008	40.00	375.40
1965	62.80	624.80	1987	37.00	439.20	2009	67.00	470.50
1966	61.00	659.50	1988	71.50	527.20	2010	47.00	562.40
1967	48.60	691.60	1989	95.20	681.50	2011	46.00	593.80
1968	78.60	654.70	1990	43.00	540.50	2012	45.00	526.80
1969	78.60	711.90	1991	55.50	664.20	2013	39.00	547.90
1970	55.00	617.30	1992	125.00	1001.20	2014	58.00	848.10
1971	41.30	495.50	1993	71.10	667.30	2015	56.00	628.50
1972	44.50	576.80	1994	76.70	644.40	2016	44.00	528.60
1973	45.50	655.50	1995	60.00	471.30	2017	69.00	651.40
1974	52.40	463.80	1996	64.00	732.20	2018	74.00	602.80
1975	150.90	830.20	1997	91.10	909.70	2019	43.00	311.30
1976	74.20	1082.20	1998	62.00	575.20	2020	60.00	644.70
1977	72.40	830.50	1999	52.00	613.40	2021	61.00	478.80
1978	92.60	747.70	2000	38.00	569.60	2022	90.30	635.60
1979	52.20	690.00	2001	52.00	863.90	2023	60.00	476.40
1980	108.80	739.30	2002	96.10	881.40	2024	52.60	523.70
1981	69.70	588.10	2003	56.00	590.40			
1982	87.30	814.60	2004	63.00	946.90			

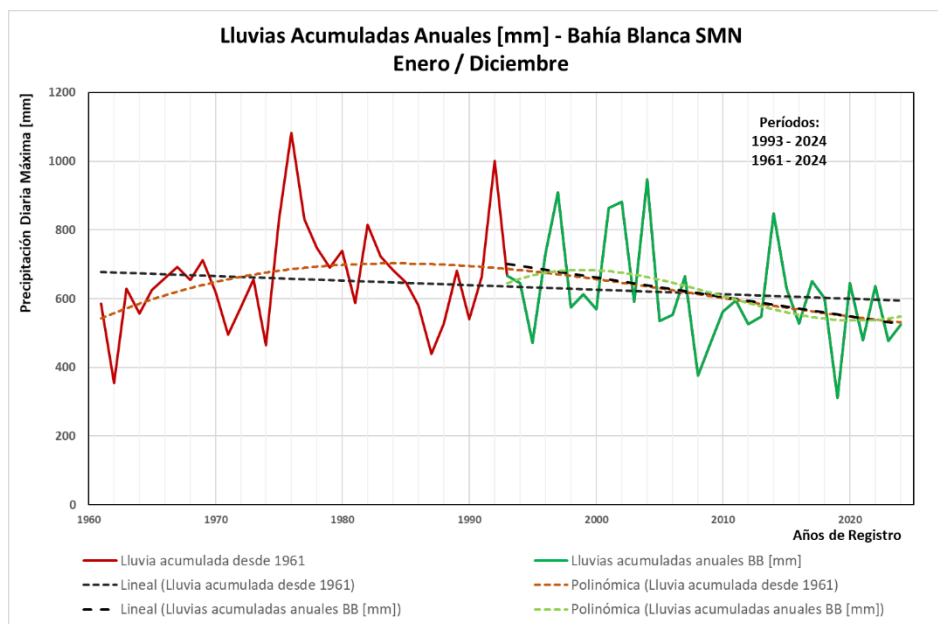


Gráfico N°1: Lluvias acumuladas anuales en la estación Bahía Blanca Aero. Tendencias lineales y sinusoidales, orden 2, para serie completa de 62 años y series de 31 años

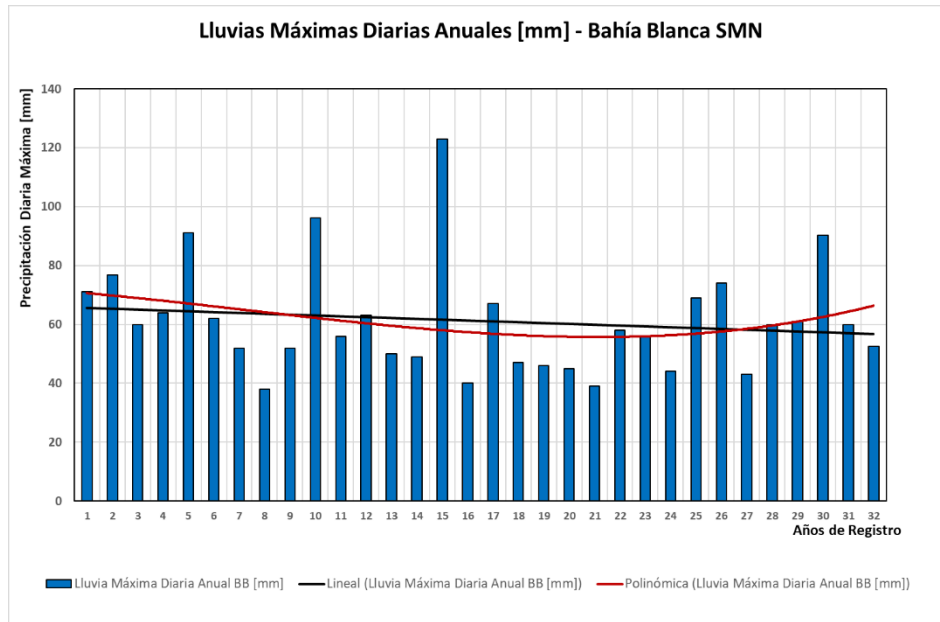


Gráfico N°2: Estación Bahía Blanca Aero valores máximos anuales con tendencias lineales y sinusoidales.

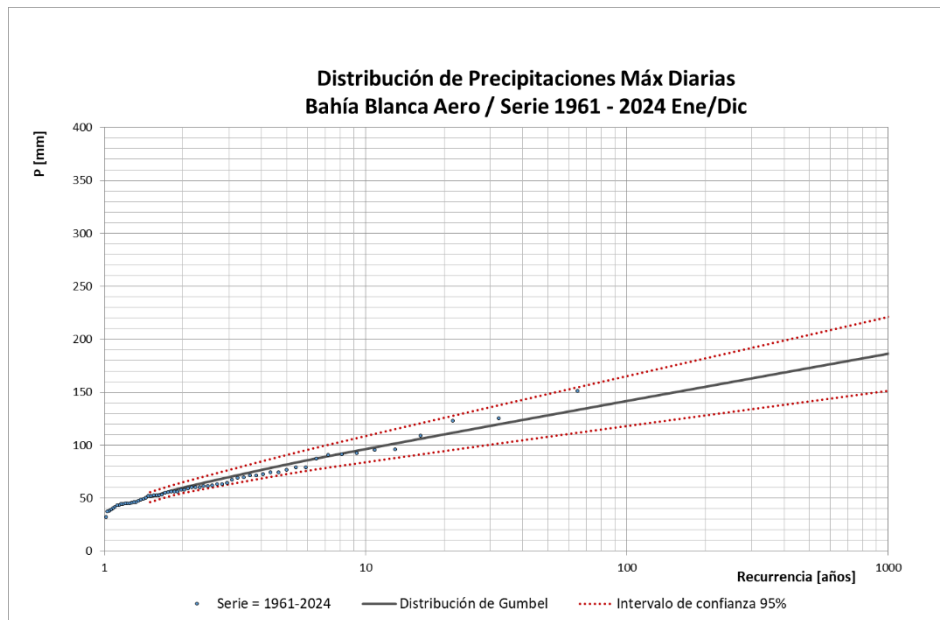


Gráfico N°3: Distribución de Gumbel para los registros de tormentas máximas.  $P_{24}^{10} = 96.13$  mm

La ecuación de F. Bell resultante con el estimado del Gráfico N°3 arrojó un valor de  $P_{1h}^{10} = 43.43$  mm y la correspondiente ecuación:

$$I \text{ [mm/h]} = 252.366 \times R^{(0.204)} \times D^{(-0.5535)}$$

De la misma forma, la ecuación de Grobe, conocida como de Dick y Preschke, propone la ecuación siguiente (con la recurrencia en años y la duración de la precipitación en minutos):

$$I[\text{mm/h}] = 420.0425 \times R^{(0.3418)} \times D^{(-0.75)}$$

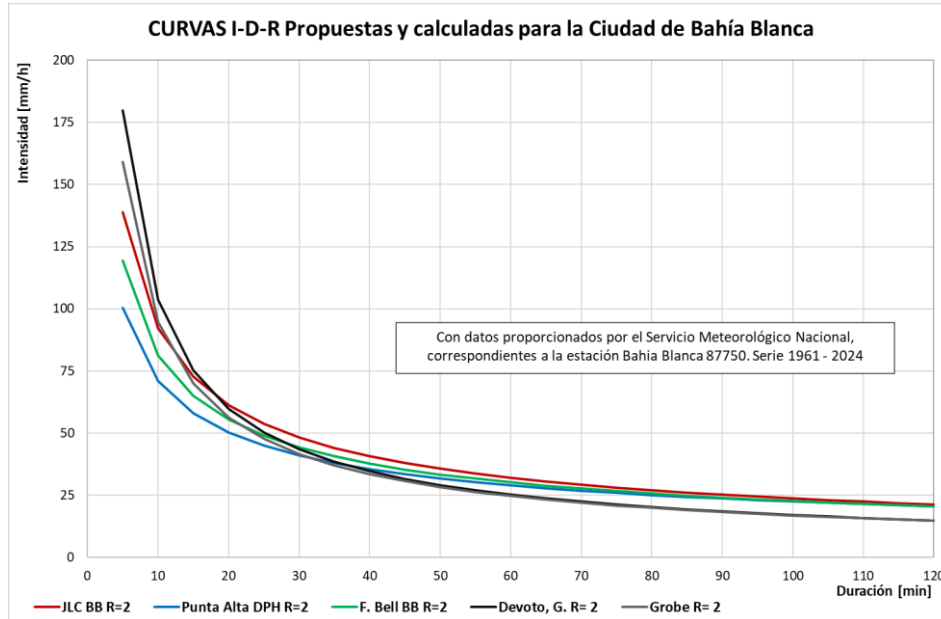


Gráfico N°4: Leyes de lluvias IDR de uso actual y propuesta, para R= 2 años

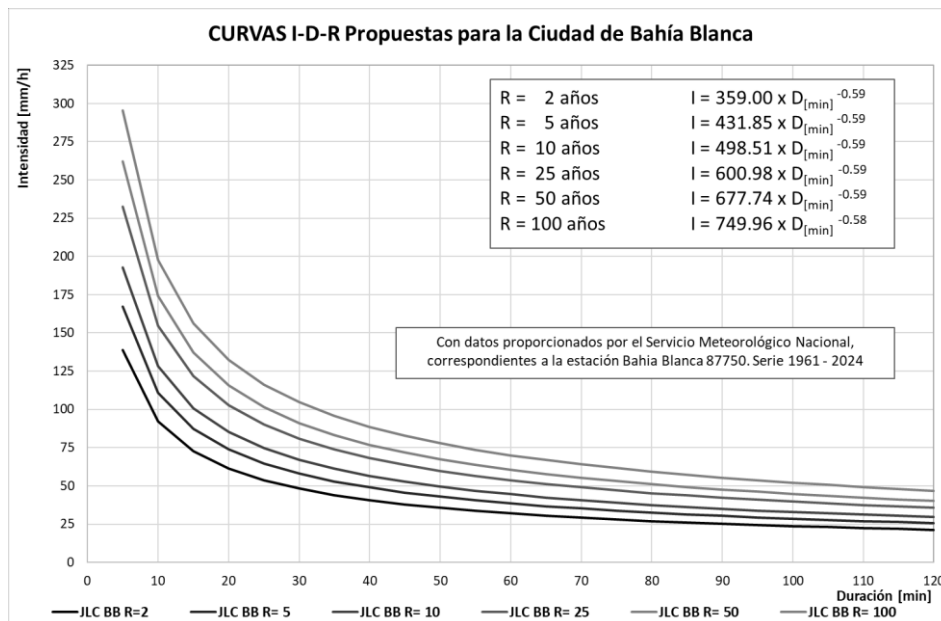


Gráfico N°5: Leyes de lluvias IDR propuestas, maximizadas, para Bahía Blanca

Tabla N° 3: Volúmenes, en mm, para R= 2 años durante 5 y 120 minutos

<b>Autor</b>	<b>Volumen R = 2años</b>	
	<b>5'</b>	<b>120'</b>
<b>DPH</b>	8.37	41.01
<b>Bell</b>	9.94	41.08
<b>JLC</b>	11.58	42.6
<b>Grobe</b>	13.27	29.37
<b>Devoto</b>	14.89	29.66

## 5. COMENTARIOS SOBRE LOS RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Un primer punto a comentar está relacionado con la longitud de los registros de las variables a estudiar. En el caso de las lluvias acumuladas anuales podemos observar que la tendencia “lineal” es a la baja, sea en registros de 31 o 62 años de datos, como se observa del Gráfico N°1. La misma tendencia “lineal” se puede observar en los datos suministrados por el SMN si se toman como años calendarios o hidrológicos: pero en los últimos 31 años la baja se acentúa. En caso que la variable sea la precipitación máxima diaria anual, Gráfico N°2, la tendencia “lineal” también es a la baja en los últimos.

En cambio, si se consideran a las tendencias en forma “polinómica”, sean de grado 2 o 3, se puede observar que a pesar de estar experimentando en la actualidad una baja en las tendencias de las variables mencionadas, solo se trata de un ciclo. Las precipitaciones acumuladas pasaron por un máximo en las décadas del '70 a los '90, mientras que las precipitaciones máximas presentan una tendencia inversa.

La naturaleza tiene tendencias siempre del tipo sinusoidal aún para registros de corta longitud por lo que todos los registros vinculados a parámetros naturales deben ser considerados bajo esta óptica, lo que nos aleja de sacar conclusiones erróneas.

2. Con respecto a la ley de lluvia existente para Punta Alta, de la DPH, y las ecuaciones de leyes realizadas con las metodologías de F. Bell y de Grobe, se observan valores muy semejantes, en particular para la recurrencia de 2 años (50% de chance anual de ocurrir); las leyes propuestas por el Ing. G. Devoto también confirman lo observado, aunque estas son más “extremas” que las anteriores.

Tanto las expresiones alcanzadas a partir de la maximización de lluvias extremas (G. Devoto) como la expresión de Grobe, dan resultados de elevadas intensidades para períodos cortos de duración de la tormenta, aunque el volumen total de agua precipitada es menor a otras expresiones. Esto se puede apreciar en la Tabla N° 3, donde las expresiones que maximizan la intensidad en duraciones bajas arrojan los menores volúmenes de agua caída.



3. Las precipitaciones deducidas del trabajo propuesto por el Ing. G. Devoto, también de uso en la provincia de Buenos Aires, arrojan valores de intensidad elevados respecto al resto de las ecuaciones analizadas, pero resultan muy semejantes con la metodología de Grobe o conocida como de Dick y Preschke, con datos locales de la ciudad, como se puede observar en el Gráfico N° 4. La misma semejanza se puede obtener comparando las recurrencias de 5 y 10 años.

Si bien los modelos de circulación global, por efectos del Cambio Climático, CC, no demuestren cambios sustantivos en los patrones de precipitación en esta región de país, que son del orden de los errores de cálculo de los modelos, serían si de aplicación para contemplar efectos en la tropicalización de las tormentas, ya que los valores de agua precipitada total son semejantes o levemente inferiores a los arrojados por otras leyes.

4. Finalmente, si bien los registros locales demuestran ser consistentes con las leyes de lluvias de uso frecuente, y las validan para ser aplicadas a la región de Bahía Blanca, se proponen nuevas leyes de lluvias que contemplan una mejor distribución de la precipitación por su duración, y han sido elaboradas con datos de precipitaciones locales. Se presentan en el Gráfico N° 5.

Es de destacar que las obras estructurales, como desagües pluviales, alcantarillas y puentes requieren conocer el caudal máximo para el dimensionado de las estructuras; sin embargo en los estudios de riesgo hídrico también importa determinar el volumen total de agua que pueda precipitar, asociado a su probabilidad de ocurrencia, a fin de generar los mapas de peligrosidad y riesgo hídrico.

## **6. REFERENCIAS**

Servicio Meteorológico Nacional SMN, (2024). Centro de Información Meteorológica CIM. Datos estación Bahía Blanca Aero.

Dirección Provincial de Hidráulica DPH. Provincia de Buenos Aires.

Ven Te Chow, David Maidman, Larry Mays, (1994), McGraw-Hill.

Tucci, Carlos (1993). Hidrologia. Ciência e Aplicação. 2da Edición.