

Mitigación de Inundaciones Urbanas: Diseño de la Estación de Bombeo del Sistema Lagunar Rissione

Carlos Alberto Depettris¹ , Jorge Víctor Pilar^{1, 2, 3} , Guillermo José Mendez^{1, 3} ,
Marcelo Justo Manuel Gómez^{1, *} , Alejandro Ricardo Ruberto¹ 

¹ Universidad Nacional del Nordeste. Facultad de Ingeniería. Chaco, Argentina.

² Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ingeniería. Misiones, Argentina.

³ Administración Provincial del Agua (APA). Provincia del Chaco, Argentina.

e-mails: carlosdepettris@gmail.com, jvpilar@gmail.com, guillemendez79@gmail.com, mgichaco@yahoo.com.ar,
aleruberto44@yahoo.com.ar

Resumen

El diseño hidráulico de la estación de bombeo correspondiente al sistema lagunar Rissione se desarrolló en el marco de las obras que conforman el sistema de defensas del Área Metropolitana del Gran Resistencia (Chaco, Argentina), con el propósito de dotar a la infraestructura de una capacidad de respuesta adecuada frente a precipitaciones de elevada intensidad. El proceso de diseño consideró la Resolución N.º 303/17 de la Administración Provincial del Agua del Chaco, normativa que establece la cota de línea de ribera y la línea de restricción severa para las lagunas comprendidas en el área metropolitana. La función principal de la estación de bombeo es transferir los caudales excedentes generados en una cuenca de aporte de 517 hectáreas, los cuales se almacenan de manera transitoria en el sector interno o área defendida cuando el río Negro registra niveles superiores a los de las lagunas. En tales condiciones, la evacuación se efectúa hacia el cauce principal a través de su planicie de inundación mediante el sistema de bombeo proyectado. Las líneas de riesgo hídrico, junto con las características hidrológicas y morfológicas del cuerpo lagunar y su articulación con la trama urbana, constituyen los condicionantes fundamentales que delimitan el diseño integral del sistema.

Palabras Clave – Sistema lagunar, Línea de ribera, Llanura, Control de inundaciones, Modelación hidrológica.

Abstract

The hydraulic design of the pumping station associated with the Rissione lagoon system was developed within the framework of the works that constitute the flood defense system of the Greater Resistencia Metropolitan Area (Chaco, Argentina), with the purpose of providing the infrastructure with an adequate response capacity to high-intensity rainfall events. The design process took into account Resolution No. 303/17 of the Provincial Water Authority of Chaco, a regulation that establishes the elevation of the riverbank line and the severe restriction line for the lagoons included in the metropolitan area. The main function of the pumping station is to transfer the excess flows generated in a 517-hectare catchment, which are temporarily stored in the inner sector or protected area when the Negro River reaches levels higher than those of the lagoons. Under such conditions, evacuation is carried out towards the main river channel and its floodplain through the projected pumping system. The flood risk lines, together with the hydrological and morphological characteristics of the lagoon body and its interaction with the urban fabric, constitute the fundamental boundary conditions that determine the integral design of the system.

Keywords – Lagoon system, Shoreline, Plain, Flood control, Hydrological modeling.

1. Introducción

El objetivo de este trabajo ha sido analizar, a partir de un diseño avanzado de los componentes de la Estación de Bombeo del sistema lagunar Rissione (ver Fig. 1), la capacidad de respuesta del conjunto frente a las demandas de la red interna de desagües pluviales, en el marco del esquema definido para las obras de defensa del Área Metropolitana del Gran Resistencia (Chaco, Argentina) [1]-[2].

El funcionamiento del recinto del río Negro, ante excedentes hídricos de distinta magnitud y períodos de recurrencia, se encuentra regulado mediante pautas de operación específicas para los diferentes escenarios posibles. Dichas pautas han sido establecidas por la autoridad de aplicación del Código de Aguas de la Provincia del Chaco, la Administración Provincial del Agua (APA), constituyendo un factor determinante en el dimensionamiento hidráulico de la estación de bombeo de la laguna Rissione.

En este contexto, la Resolución N.º 303/17 de la APA [3] fija la cota de línea de ribera de la Laguna Rissione en 46,76 m MOP y la cota de restricción severa en 47,29 m MOP, del mismo modo que lo hace para las demás lagunas comprendidas dentro del recinto urbano defendido en el Área Metropolitana. Estos instrumentos normativos, legalmente vigentes, resultan esenciales para la delimitación del dominio del estado público provincial al cual pertenecen los cursos y cuerpos de agua, y ejercen una influencia directa sobre las condiciones de borde que orientan el diseño hidráulico de las estaciones de bombeo. Dado que a partir del límite de Línea de Ribera surge la propiedad de los particulares ribereños, es la jurisdicción municipal la que norma la ocupación del territorio y son los municipios de Resistencia/Barranqueras los responsables de los desagües pluviales.

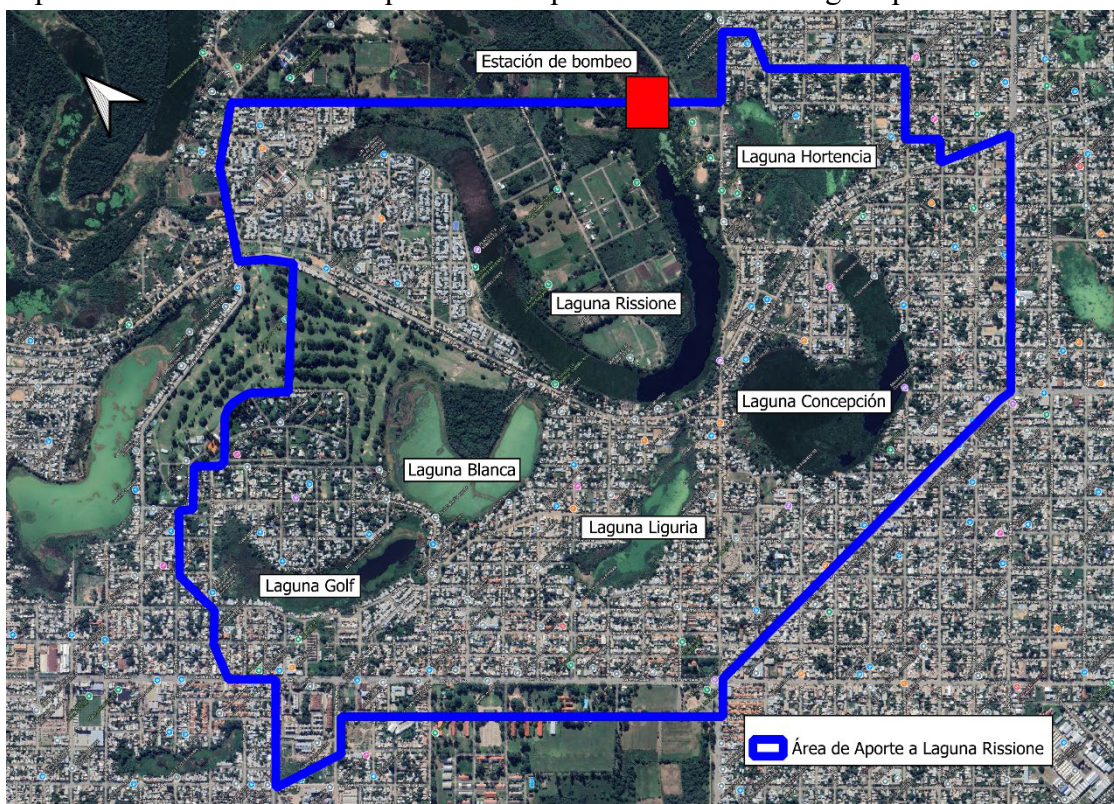


Fig. 1. Ubicación de la estación de bombeo respecto a la laguna Rissione y las lagunas aportantes al cuerpo de ésta.

Ante la complejidad del esquema jurisdiccional planteado, resulta necesario encontrar la mejor solución técnica al problema para luego, una adecuada gestión entre provincia y municipio permita concretar las acciones para controlar los efectos de eventos pluviométricos extremos.

Para evaluar la eficiencia del sistema conformado por la cuenca urbana y la laguna, resulta indispensable llevar a cabo la simulación hidrológica de las seis subcuencas que integran el área de aporte a la laguna Rissione. Dicho análisis se realiza considerando un tiempo de recurrencia de 10 años, criterio adoptado por representar un nivel de riesgo aceptable y compatible con la normativa vigente. Este horizonte de diseño no solo permite estimar con mayor precisión la magnitud de los caudales generados bajo condiciones críticas de precipitación, sino que además constituye un parámetro de referencia para la planificación futura de la infraestructura hidráulica.

La selección de un período de retorno de 10 años adquiere especial relevancia, dado que establece las bases técnicas para proyectar los desagües pluviales que aún no han sido ejecutados dentro de la red urbana. En este sentido, la modelación hidrológica de las subcuencas no solo ofrece un diagnóstico cuantitativo sobre la respuesta hidrológica de la cuenca, sino que también aporta criterios para la jerarquización de obras, la identificación de sectores críticos y la definición de lineamientos de gestión integrada del drenaje urbano.

2. Materiales y métodos

El sistema hídrico de la Laguna Rissione, mostrado en Fig. 1, evacua los excedentes de un sector ubicado al este de Resistencia y oeste de Barranqueras, delimitado en líneas generales por la Diagonal Eva Perón al sur, el predio de la Guarnición Ejército Argentino y el Barrio La Fabril al sur oeste, calles internas del Barrio Golf Club y del predio del Chaco Golf Club por el oeste, el terraplén de defensa del río Negro en coincidencia con la Avenida Rissione al nor-este y calles internas de Villa Hortencia y Villa San Isidro por el este, conformando el territorio involucrado un área total de aporte de 516, 62 hectáreas.

2.1. Delimitación de cuencas

En base a las características topográficas y a las modificaciones generadas por el entramado urbano, en especial el cuneteo de las calles, los conductos pluviales existentes y la ubicación de sumideros, se ha determinado que la Laguna Rissione, recibe actualmente los aportes de cinco (5) subcuencas, conformadas por el área de influencia de las Lagunas Golf (ex Negra), Blanca, La Liguria, Villa Concepción y Villa Hortencia ubicadas aguas arriba y que a través de conductos y alcantarillas descargan en la laguna Rissione, la cual a su vez tiene su propia área de aporte. En la Fig. 2 se presenta la delimitación de cuencas.

En la Tabla 1 se presenta la identificación de las subcuencas que pertenecen al sistema hídrico con sus áreas de aporte.

2.2. Usos actuales del suelo

La evaluación hidrológica del sistema de la laguna Rissione requiere el conocimiento en detalle del uso del suelo, a fin de caracterizar las condiciones de impermeabilidad y absorción de los distintos sectores integrantes de cada subcuenca, como elementos básicos para la determinación de la lluvia neta.

Se utilizó una imagen satelital CNES Airbus de marzo de 2024, obtenida de Google Earth, que se considera suficientemente clara y reciente para representar las condiciones requeridas. La imagen fue

procesada utilizando el programa QGIS versión 3.22.7 [4].

Tabla 2. Resumen de Áreas de aporte del Sistema Laguna Rissione.

Sistema lagunar	Subcuenca	Área (has)
Rissione	Golf	74.23
	Blanca	69.56
	La Liguria	83.00
	Villa Concepción	103.31
	Villa Hortencia	36.90
	Rissione	149.63
Área total		516, 62

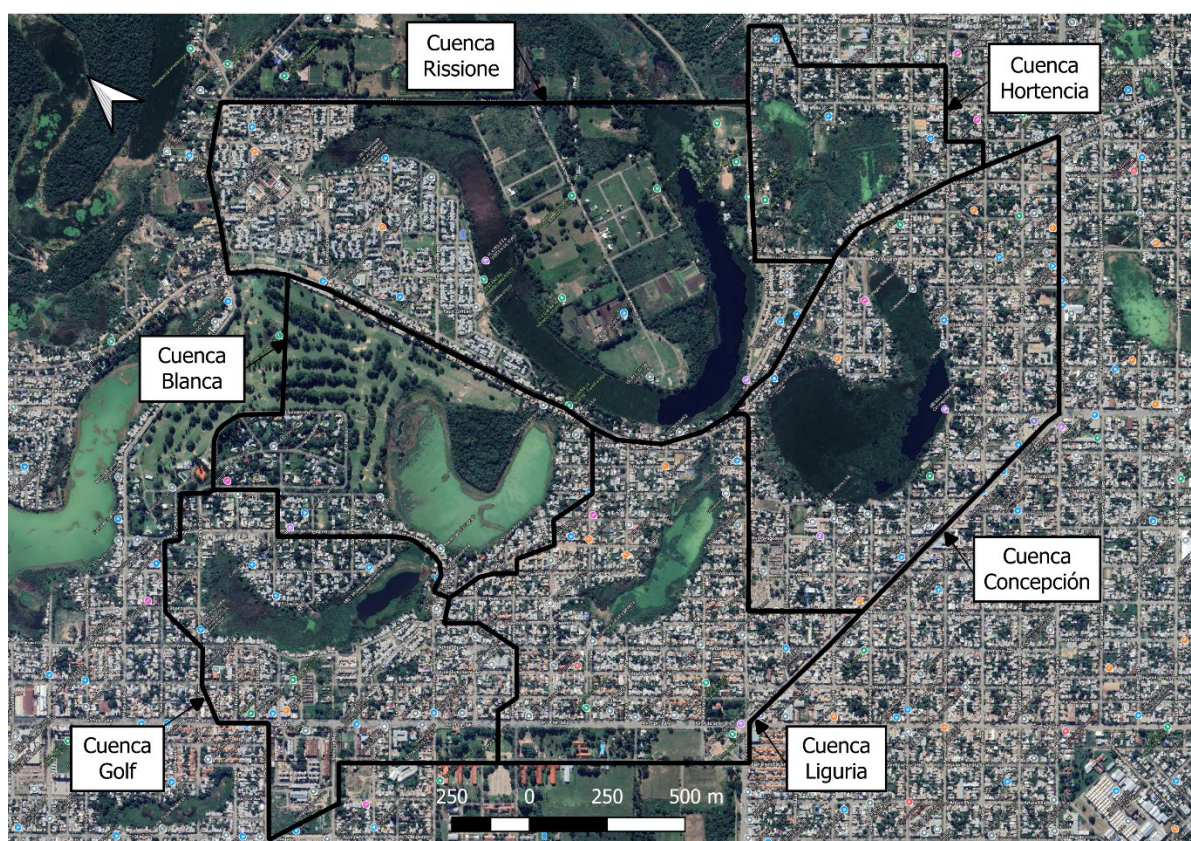


Fig. 2. Subcuencas del sistema Laguna Rissione.

Para identificar los usos del suelo se utilizó el software ArcGIS Pro versión 2.5. Se empleó una metodología de clasificación no supervisada, seguida de una reclasificación supervisada.

Se utilizó la herramienta Iso Cluster Unsupervised Classification, configurada para generar 16 clases, a las cuales se les asignó un valor de uso del suelo según la siguiente categorización: 1) árboles, 2) pasto y 3) superficies impermeables. En esta última categoría se incluyeron calles pavimentadas, calles de tierra, piscinas, techos, veredas sin canteros y otras superficies con baja o nula infiltración.

Cabe destacar que las calles de tierra fueron consideradas impermeables, dado que la compactación ocasionada por el tránsito impide la absorción desde el punto de vista hidrológico.

Posteriormente, se utilizó la herramienta ReClassify para transformar las 16 clases iniciales en las 3 categorías mencionadas anteriormente. Este proceso permitió una mejor interpretación de los resultados, ajustándolos a las necesidades del estudio hidrológico.

Finalmente, se verificaron los resultados obtenidos de la clasificación supervisada, la cual arrojó valores coherentes con lo observado en la imagen satelital, tomando distintos sectores de control.

En la Fig. 3 se muestra un mapa del Sistema Rissione, con las áreas de laguna en celeste, las áreas con árboles en verde, las áreas con pasto en amarillo y las áreas impermeables en violeta.

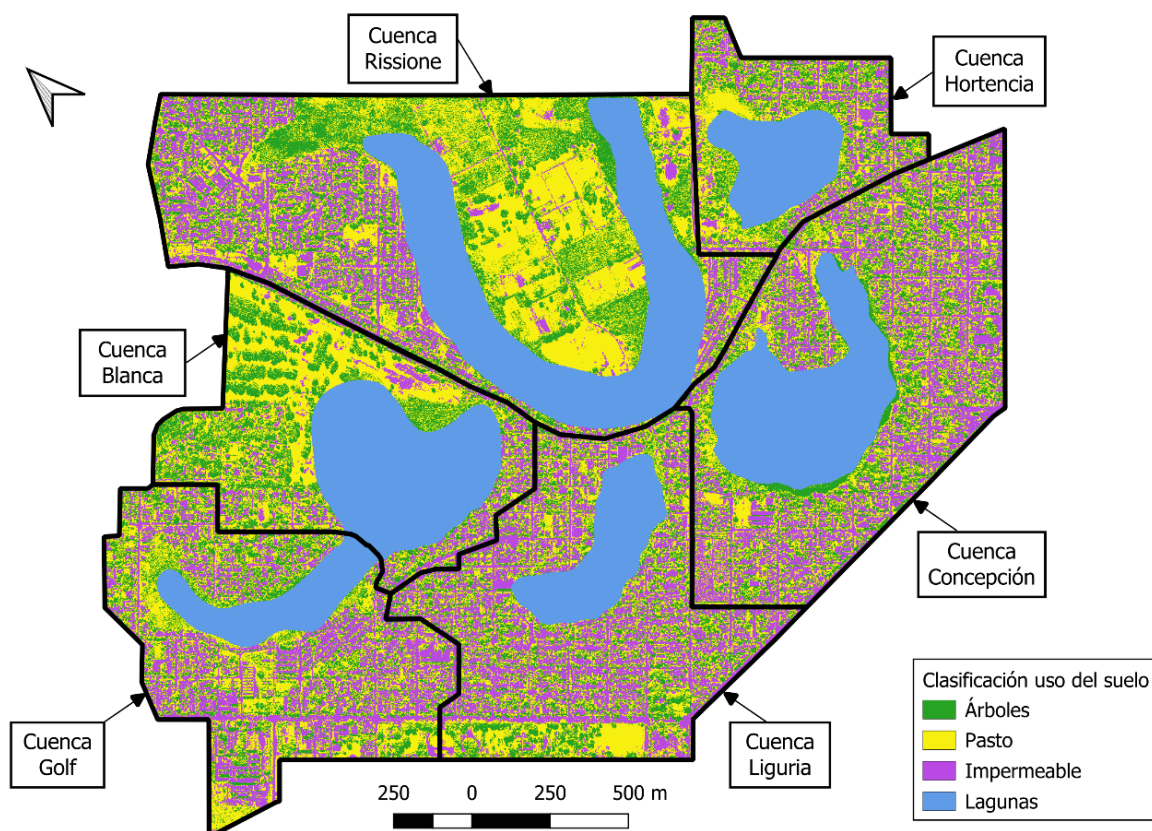


Fig. 3. Clasificación de áreas de lagunas, árboles, pasto e impermeables.

2.3. Adopción de parámetros para la modelación hidrológica

Mediante el procesamiento de la información, se estimaron los valores a asignar en la modelación hidrológica a las abstracciones iniciales mediante la metodología de pérdidas del SCS (parámetro CN o Curva Número) [5], que permite determinar la lluvia neta que producirá el escurrimiento superficial en cada subcuenca. Asimismo, se pudo estimar la impermeabilidad de cada subcuenca, que es una herramienta auxiliar solicitada por el programa. El CN que solicita el programa HEC-HMS [6] es solo para la parte permeable, mientras que para el área impermeable se solicita únicamente el porcentaje respecto del área total de la cuenca.

En la Tabla 2 se muestran los parámetros hidrológicos adoptados: la impermeabilidad total y el CN para cada subcuenca, en las condiciones actuales y en la Tabla 3 se muestran los parámetros hidrológicos adoptados para las condiciones de diseño.

Tabla 2. Valores de Curva Número e Impermeabilidad del sistema Rissione, en las condiciones actuales.

Subcuenca	Curva Número (CN)	Impermeabilidad (%)	Subcuenca	Curva Número (CN)	Impermeabilidad (%)
Golf	56	45%	Villa Concepción	56	55%
Blanca	56	45%	Villa Hortencia	56	50%
La Liguria	56	50%	Rissione	56	42%

Tabla 3. Valores de Curva Número e Impermeabilidad del sistema Rissione, en las condiciones de diseño.

Subcuenca	Curva Número (CN)	Impermeabilidad (%)	Subcuenca	Curva Número (CN)	Impermeabilidad (%)
Golf	56	48%	Villa Concepción	56	58%
Blanca	56	48%	Villa Hortencia	56	57%
La Liguria	56	52%	Rissione	56	53%

2.4. Tratamiento estadístico de la precipitación

El estudio de la precipitación se basó en el análisis estadístico de registros pluviográficos de lluvias intensas, que para aplicaciones en el AMGR está sustentado en la información generada por las estaciones Colonia Benítez – INTA y Campus Resistencia-UNNE, comprendiendo el período 1960-2019 (60 años). La consistencia y cobertura espacial de esos registros garantiza la representatividad adecuada para las cuencas del sistema de la laguna Rissione.

En función de lo explicitado, se tomaron como base las Curvas Intensidad-Duración-Tiempo de Recurrencia (I-D-TR) que han sido aprobadas por la Administración Provincial del Agua del Chaco – APA mediante la Resolución N.º 1334/21 [7], y que se apoyan en la información mencionada inicialmente.

Se dispuso, asimismo, de la serie de Precipitación Máxima Diaria Anual de Resistencia, compilada por el Departamento de Hidráulica de la Facultad de Ingeniería (UNNE), para el período 1960-2023, similar a la longitud del registro utilizada para las actuales Curvas I-D-TR, de modo de obtener también los valores máximos precipitados en un día para los distintos escenarios de probabilidad requeridos.

La serie finalmente estudiada a través del análisis de frecuencia ha sido ordenada en forma cronológica para su tratamiento con el Programa AFMULTI [8], el cual utiliza siete (7) distribuciones de probabilidad teórica para ser ejecutadas a fin de estudiar la asignación de frecuencia y recurrencia.

Para proceder a la elección del modelo probabilístico que mejor se ajusta a la frecuencia experimental o real del conjunto de elementos de la serie, se aplicaron las pruebas de bondad de ajuste de Kolmogoroff-Smirnov y de Chi Cuadrado y se calcularon los Errores Cuadráticos Medios tanto en frecuencia (ECMF) como en variable (ECMV), confrontando cada distribución teórica con la experimental. Resultando la función Pearson como la que proporciona un mejor ajuste a las probabilidades reales.

2.5. Adopción de la tormenta de diseño

La tormenta de diseño y su período de retorno (TR) son elementos fundamentales para la obtención de los caudales aportantes por cada subcuenca, el primero ligado a la duración del evento, cuya distribución temporal se relaciona con el tiempo de concentración para el área de aporte considerada, y el segundo como condición de proyecto, que para el presente caso se ha fijado en 10 años de recurrencia.

Resulta de importancia aclarar que, si bien en el drenaje de las subcuencas en estudio se considera finalmente el escurrimiento que generan los excedentes de aguas de lluvia, se utiliza la frecuencia de las precipitaciones como medida del grado de riesgo ante la ausencia de un récord estadísticamente tratable de valores de escurrimiento. Por lo tanto, se supone que la frecuencia de los escurrimientos y de las lluvias que los generan son las mismas.

Aplicando el método de los Bloques Alternos [5] y centrando su valor máximo en el tiempo de concentración del sistema modelado, se han determinado las alturas de precipitación con intervalos de 5 minutos para una duración total de 9 horas, que es el tiempo en que las curvas I-D-TR determinan la caída de la lluvia total diaria, cuyo valor es de 160,8 mm para la recurrencia de 10 años, como se muestra en la Fig. 4. La intensidad máxima de este evento se produce en el intervalo de 40 a 45 minutos y su valor es de 168 mm/h.

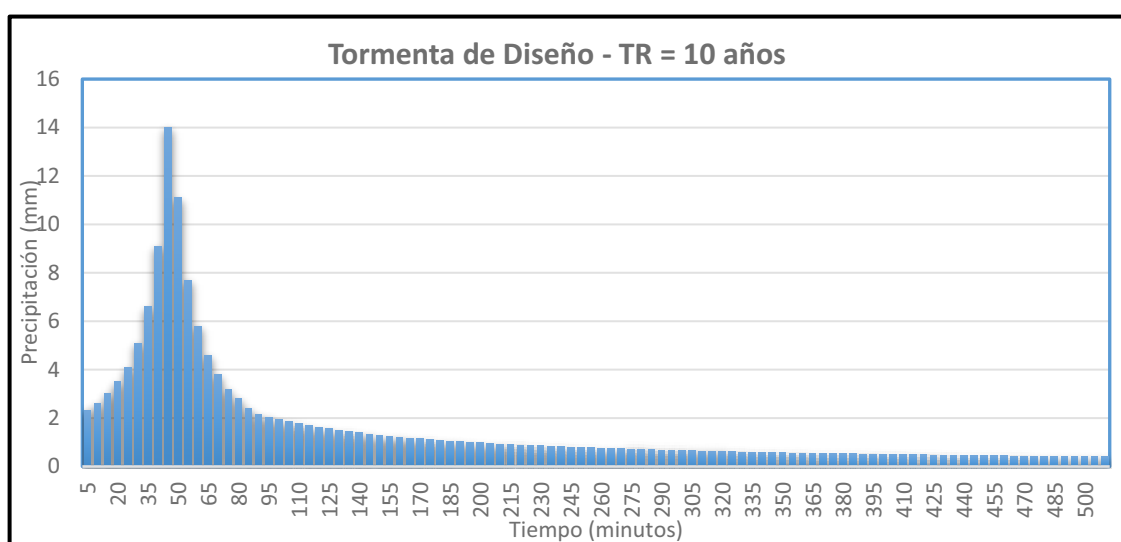


Fig. 4. Tormenta de diseño para un TR = 10 años, $\Delta t = 5$ minutos y $T_d = 9$ horas.

2.6. Tormentas de verificación

Se realizó una verificación del funcionamiento de la estación de bombeo, ante la ocurrencia de eventos extremos sobre el área de aportes identificada, con tiempos de recurrencia de 25 y 50 años, de modo tal que la operación del equipamiento a instalar permita controlar el nivel de la Laguna sin que alcance la “Línea de advertencia”, compatible con una situación de riesgo severo. Como se ha mencionado al inicio, la cota de la línea de advertencia es de 47,29 m MOP.

En la Fig. 5 se muestra el hietograma del evento con TR= 25 años, que alcanza un total de 188,6 mm con una duración de 6 hr y 35 min, con intervalo de ocurrencia de la intensidad máxima entre los 40-45min y valor de 193,2 mm/hr.

En la Fig. 6 se muestra el hietograma del evento con TR= 50 años, que alcanza un total de 207,5 mm con una duración de 6 hr y 35 min, con intervalo de ocurrencia de la intensidad máxima entre los 40-45min y valor de 205,2 mm/hr.

2.7. Modelación hidrológica del sistema

Para la modelación hidrológica del sistema Rissione se adoptó el modelo/programa HEC-HMS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los

EEUU [6], de acceso gratuito y que es permanentemente actualizado, con el objeto de representar el comportamiento de la cuenca ante un evento de diseño con $TR = 10$ años.

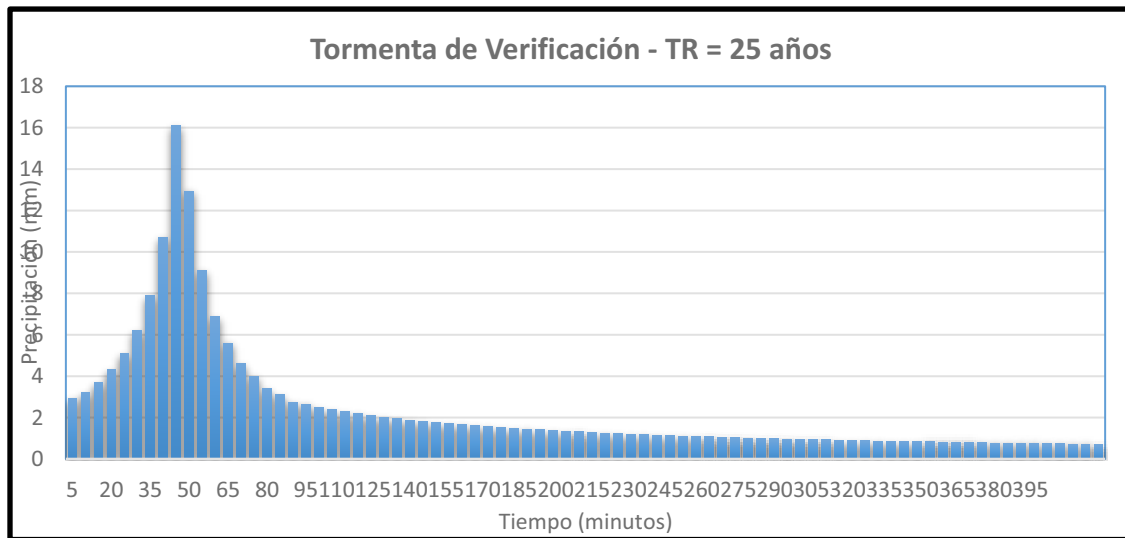


Fig. 5. Tormenta de diseño para un $TR = 25$ años, $\Delta t = 5$ minutos y $T_d = 6$ horas, 35 minutos

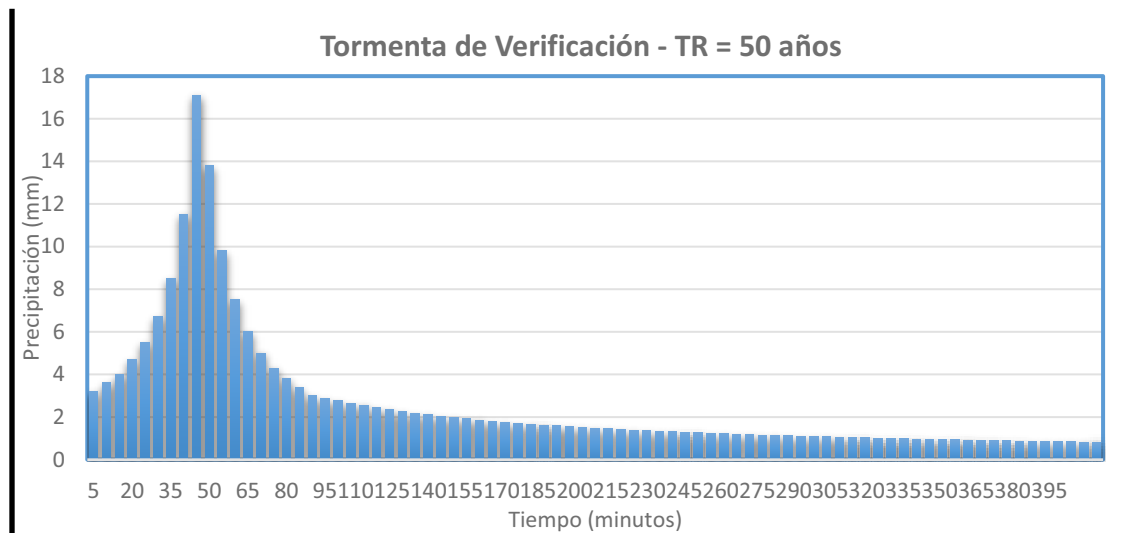


Fig. 6. Tormenta de diseño para un $TR = 50$ años, $\Delta t = 5$ minutos y $T_d = 6$ horas, 35 minutos

En la Fig. 7 se presenta el esquema de modelación adoptado para la simulación hidrológica con HEC-HMS.

Los caudales presentados en la Tabla 4, son generados por las subcuencas hacia la descarga de las lagunas. A partir de estos datos, se realizará la propagación hidráulica en los conductos y alcantarillas de vinculación hacia la laguna Rissione. Se incluyen los datos de caudal pico, tiempo al pico y el volumen de escurrimiento. Con respecto a la situación de diseño ($TR = 10$ años) el volumen total generado por las cinco subcuencas de aporte y el de Rissione propiamente dicha, alcanza un valor de 549.800 m^3 , lo que equivale a una lluvia neta promedio sobre toda el área de estudio de $106,4 \text{ mm}$. En esas condiciones, el Coeficiente de Escorrentía que produce este evento resulta de un valor igual a $0,66$.

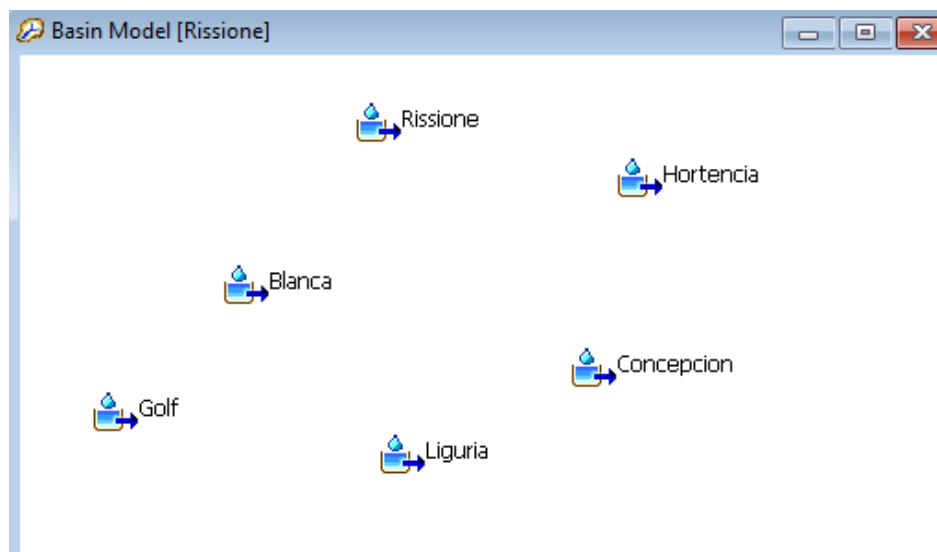


Fig. 7. Esquema de modelación hidrológica adoptado con HEC-HMS.

Tabla 4. Valores característicos de los hidrogramas generados por las subcuencas para TR 10 años.

TR 10 AÑOS			
Cuencas	Caudal Pico (m ³ /s)	Tiempo al pico (hs:min)	Volumen de escurrimiento (m ³)
Golf - Negra	6.7	01:20:00	74900
Blanca	5.8	01:25:00	70300
La Liguria	7.5	01:20:00	87600
Concepción	9.5	01:25:00	116200
Hortencia	4.4	01:10:00	41100
Rissione	11.2	01:35:00	159700

En la Fig. 8 se muestra la evolución del hidrograma generado en la laguna Rissione, producto de los aportes propios de la misma, que por ser la de mayor tamaño de cuenca genera los mayores volúmenes y caudales asociados.

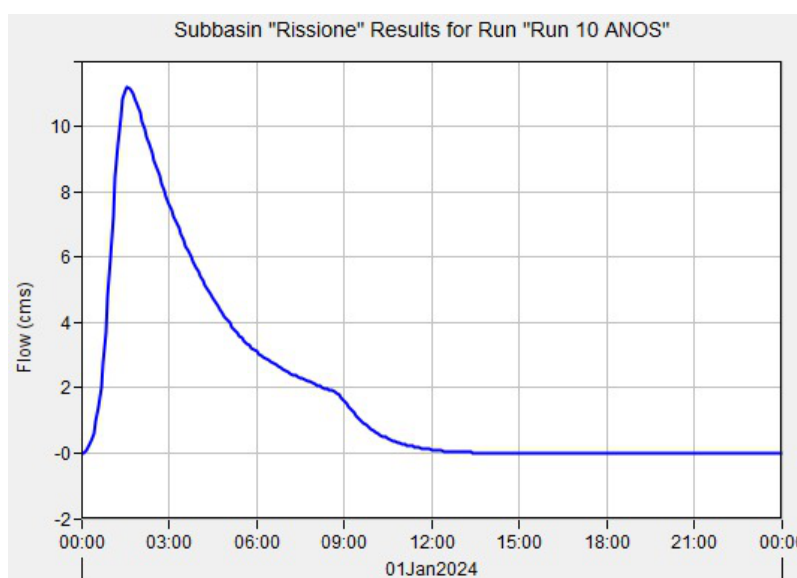


Fig. 8. Hidrograma generado por el área de aporte propio de la laguna Rissione para TR= 10 años.

2.8. Modelación hidráulica del sistema

Para transitar los hidrogramas de escurrimiento directo generados a partir de la tormenta de diseño de 10 años, se empleó un modelo tipo “onda dinámica”, concretamente el Storm Water Management Model (SWMM), desarrollado por la agencia ambiental EPA de los Estados Unidos, en su versión 5.2 [9].

La modelación hidráulica, bajo dicho entorno, incluyó la laguna Rissione, y las cinco lagunas que a esta aportan: i) Villa Hortencia, ii) Villa Concepción, iii) La Liguria, iv) Golf y v) Blanca).

Por tanto, el esquema de modelación incluyó seis unidades de almacenamiento (simulando el funcionamiento hidráulico de las lagunas) que reciben los caudales de ingreso de sus correspondientes cuencas (cargados como Inflows).

La descarga de la laguna Rissione se consideró en dos escenarios. El primero considerando en el que por los altos niveles del río Negro, solo pueden erogarse los volúmenes excedentes pluviales de la laguna mediante bombeo. El segundo, considerando una descarga por gravedad a partir de tener las compuertas abiertas. En esta etapa se detallan sólo las simulaciones relacionadas a la descarga por bombeo.

El esquema de modelación hidráulico desarrollado para este proyecto es el ilustrado en la Fig. 9.

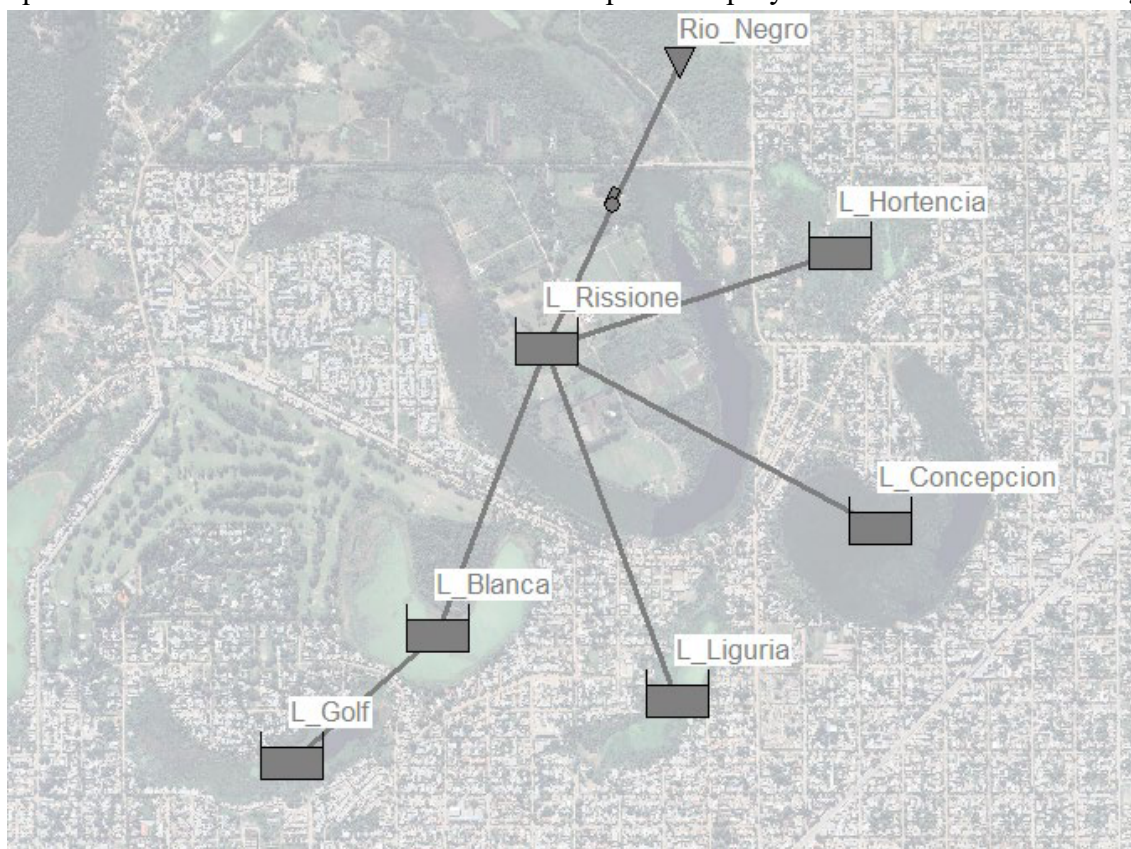


Fig. 9. Modelación hidráulica de la laguna Rissione.

2.9. Curvas de almacenamiento

Las superficies de anegamiento surgieron de las curvas de nivel trazadas con la nivelación topográfica realizada al efecto, y fueron usadas como datos en la modelación hidráulica. Al respecto el nivel inicial usado en la Laguna Rissione fue de 46,56 m (20 cm por debajo de la Línea de Ribera),

lo que supone un prebombeo previo antes del inicio del evento simulado. Los niveles de agua de cada laguna se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Niveles iniciales de agua de cada laguna usados en la simulación

Laguna	Nivel mínimo (m, MOP)	Tirante inicial (m)	Nivel de agua (m, MOP)
Rissione	44.806	1.754	46.56
Blanca	46	0.89	46.89
Liguria	45.6	1.61	47.21
Hortensia	46.2	1.09	47.29
Concepción	46.1	1.31	47.41
Golf	46.2	1.44	47.64

2.10. Conductos de Vinculación

Las vinculaciones entre las lagunas se modelaron como alcantarillas considerando siempre las dimensiones y las cotas de invertido mensuradas en campo (Tabla 6).

Tabla 6. Dimensiones de los conductos existentes que permiten la vinculación entre lagunas

Ubicación	Tipo	L (m)	H (m)	Diám. (m)	J (m)	C.D.
Vinculación Negra - Blanca	Tubo H°	-	-	0.80	9.00	46.42
Vinculación Blanca - Rissione	Tubo H°	-	-	0.80	100	45.71
Vinculación La Liguria - Rissione	Tubo H°	-	-	1.20	19.00	45.71
	Tubo H°	-	-	0.90	19.50	45.70
Vinculación Concepción - Rissione	Tubo H°	-	-	1.00	12.00	46.36
	Tubo H°	-	-	1.10	12.00	46.31
Vinculación Hortencia - Rissione	Tubo H°	-	-	0.60	8.00	46.27

2.11. Equipamiento de Bombeo y Regla de operación

Respecto al equipamiento de bombeo, la capacidad de este surgió de una "solución de compromiso" entre volumen - área del reservorio - tiempo de permanencia del agua y número y potencia de los equipos. La capacidad máxima del equipo de bombeo simulado en la modelación fue de 7,5 m³/s, integrado por 5 bombas, instaladas en paralelo, de 1,5 m³/s de capacidad cada una. El funcionamiento de las bombas se propone en forma escalonada en concordancia con los niveles alcanzados en el reservorio (Tabla 7).

Tabla 7. Regla de operación para la estación de bombeo de laguna Rissione

Cota de inicio de bombeo (m, MOP)	Cota de finalización de bombeo (m, MOP)	Caudal (m ³ /s)	Bomba
46,56	46,61	1,500	BG N° 1
46,61	46,63	3,000	BG N° 2
46,66	46,65	4,500	BG N° 3
46,71	46,67	6,000	BG N° 4
46,76	46,69	7,500	BG N° 5

3. Resultados y Discusión

3.1. Simulación hidráulica del sistema para la situación de diseño

En la Fig. 10 se ilustra el funcionamiento del reservorio de bombeo para un evento de 10 años de recurrencia. A tal efecto, la simulación muestra caudales máximos de ingreso de 15,83 m³/s, en tanto que el reservorio presenta un nivel máximo de agua de 46,96 m.

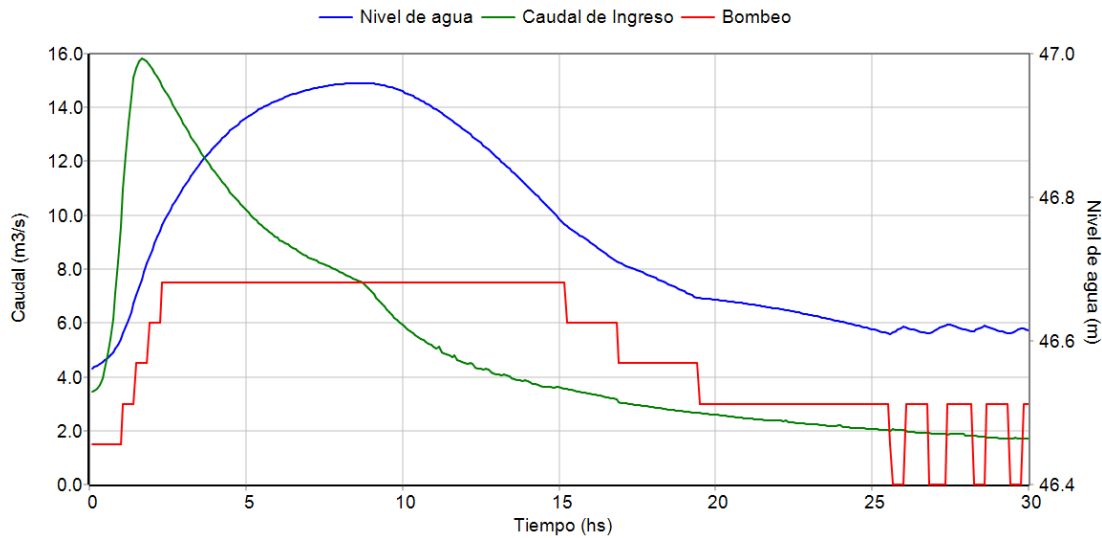


Fig. 10. Funcionamiento del reservorio de bombeo – TR = 10 años

3.2. Simulación hidráulica del sistema para eventos extremos

En la Fig. 11 se ilustra el funcionamiento del reservorio de bombeo para un evento de 25 años de recurrencia. A tal efecto, la simulación muestra caudales máximos de ingreso de 18,91 m³/s, en tanto que el reservorio presenta un nivel máximo de agua de 47,15 m.

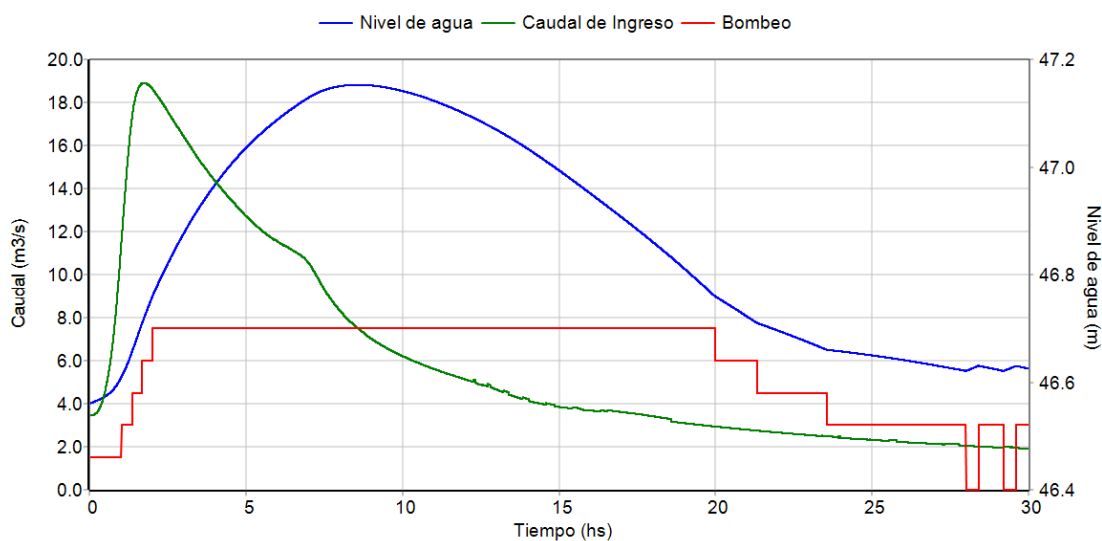


Fig. 11. Funcionamiento del reservorio de bombeo – TR = 25 años

En la Fig. 12 se ilustra el funcionamiento del reservorio de bombeo para un evento de 50 años de recurrencia. A tal efecto, la simulación muestra caudales máximos de ingreso de 20,49 m³/s, en tanto que el reservorio presenta un nivel máximo de agua de 47,26 m.

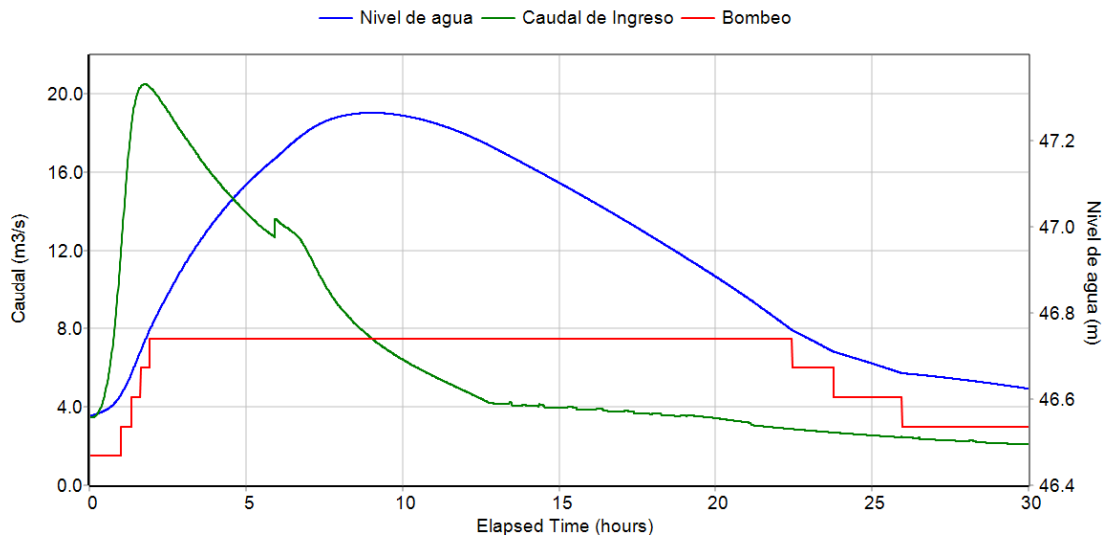


Fig. 12. Funcionamiento del reservorio de bombeo – TR = 50 años

En la Tabla 8 se indican los valores de niveles de agua (Nmax) en la laguna Rissione, el caudal pico de ingreso a esta (Qmax) y el tiempo en que perdura el máximo de bombeo de 7,5 m³/s (Tbmax) arrojados por el modelo para los distintos escenarios de simulación.

Tabla 8. Niveles de agua y caudales de Ingreso máximos de la laguna Rissione

Tiempo de recurrencia	Nmax (m, MOP)	Qmax (m ³ /s)	Tbmax (hs)
10 años	46,96	15,83	12,92
25 años	47,15	18,91	18,25
50 años	47,26	20,49	20,51

4. Conclusiones

El funcionamiento hidrológico de las lagunas y su relación con las obras de control del escurrimiento que reciben y deben volcar hacia el río Negro, parte de la base de conocer los valores de altura de agua entre los que oscila cada laguna en los distintos ciclos hidrológicos.

Del análisis de los hidrogramas de entrada y salida, así como de la evolución del volumen almacenado en la laguna Rissione, se determinó que, para la situación de diseño, el caudal máximo de ingreso es de 15,83 m³/s, mientras que el caudal de salida por bombeo alcanza los 7,50 m³/s. El nivel máximo de almacenamiento en el reservorio se estableció en 46,96 m, valor que implica la operación simultánea de las cinco bombas previstas en el diseño de la estación de bombeo del sistema proyectado y que se mantiene por debajo de la “Línea de Advertencia” definida por la APA, cumpliendo así con la premisa de diseño.

La revisión del grado de impermeabilidad actual y futura de cada subcuenca, y la adopción del parámetro CN fueron factores de importancia para una estimación verosímil de caudales máximos y

volúmenes de aporte, los que inciden directamente en la capacidad de evacuación de la obra de control de la laguna receptora Rissione. Para la estimación de los valores de impermeabilidad futura se tuvo en cuenta los límites que imponen las restricciones municipales vigentes, considerando una interacción de obras y medidas no estructurales. Este aspecto del análisis se ha basado en los límites impuestos a la impermeabilidad de los lotes urbanos en todo el ejido municipal de Resistencia y a la definición de “distritos” con diferentes tipos de usos, algunos de ellos como “Urbanización Especial de Asentamientos” (UEA) por tratarse de áreas inter lagunares [10].

La definición de las cotas de línea de ribera y riesgo hídrico de cada laguna, y los parámetros de diseño de la obra de control, serán apropiados para el funcionamiento de los niveles de esas lagunas, en la medida que el Municipio local y la Provincia respeten esos niveles, con el control de la impermeabilidad ya mencionado y de los asentamientos en los bordes de estos espejos de agua, teniendo en cuenta el contexto de muy baja energía del relieve del AMGR.

La verificación de las condiciones de funcionamiento para eventos extremos, se consideró satisfactoria, dada la criticidad de los eventos de diseño utilizadas.

Las lagunas cumplen un rol fundamental desde la perspectiva de la Ecohidrología, al brindar servicios ambientales asociados a su función como retardadores del escurrimiento. Esta capacidad requiere comprender la interacción entre las características geomorfológicas, el uso del suelo y el agua, lo que permite regular el escurrimiento superficial, atenuar los picos de crecida y contribuir a la prevención de inundaciones urbanas.

Referencias

- [1] SUPCE-AFIN (1998), Plan de manejo pluvial para la cuenca inferior del río Negro dentro del Área Metropolitana del Gran Resistencia.
- [2] APA-AFIN (2001), Línea de ribera de lagunas ubicadas en el Sistema Hídrico del río Negro
- [3] Administración Provincial del Agua (APA) – Chaco – Argentina, Resolución N° 303/17
- [4] QGIS Development Team. (2022). QGIS Geographic Information System (Versión 3.22.7) [Software]. QGIS Association. <https://qgis.org>
- [5] Ven Te Chow, Maidment, D. R., Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill Interamericana S. A., Santa Fé de Bogotá, Colombia.
- [6] U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center. (2021). HEC-HMS Hydrologic Modeling System: User's Manual, version 4.9. Davis, CA: Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center.
- [7] Administración Provincial del Agua (APA) – Chaco – Argentina, Resolución N° 1334/21
- [8] Paoli, C., Bolzicco, J., Cacik, P. (1991). Análisis de frecuencia para determinación de la crecida de diseño. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
- [9] Rossman L. 2010. Storm Water Management Model –User's Manual (Version 5.0). Water Supply and Water Resources Divison. National Risk Management Research Laboratory. Cincinnati.
- [10] Consejo Municipal de Resistencia (2021), “Distritos de la ciudad de Resistencia”.Ordenanza N° 13756 del 21/12/2021.