

Drenaje de aguas pluviales de la Ampliación del Campo de Vuelo en el Aeropuerto de Barcelona

Ernest Bladé i Castellet. Profesor colaborador

ernest.blade@upc.edu

Josep Dolz Ripollés. Catedrático de Universidad

j.dolz@upc.edu

Grupo de Investigación FLUMEN. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental. Universitat Politècnica de Catalunya, Jordi Girona 1-3 D-1, 08034, Barcelona

1 Introducción

Se presentan los trabajos de modelación numérica desarrollados para el diseño de la nueva red de drenaje del Aeropuerto de Barcelona. El estudio se realizó por encargo de SENER en el contexto del Proyecto de Ampliación del Campo de Vuelo en el Aeropuerto de Barcelona.

2 Singularidad hidrológica del aeropuerto de Barcelona

El Aeropuerto de Barcelona, ya en la situación actual, presenta unas determinadas características que lo hacen singular desde el punto de vista del drenaje de pluviales.

En primer lugar, su situación en el litoral mediterráneo de la Península determina que esté sometido al clima de lluvias torrenciales característico de esta zona, lo que se traduce en precipitaciones de muy elevadas intensidades para intervalos de tiempo cortos.

El aeropuerto está situado en una planicie deltaica que presenta cotas muy bajas respecto del nivel del mar. Los canales y colectores de red de drenaje tendrán, por lo tanto, una pendiente muy pequeña, prácticamente despreciable, que hace imposible un drenaje hacia el mar únicamente por gravedad. Desde siempre la zona donde se sitúa el aeropuerto ha sido una zona deltaica de lagunas y humedales (Figura 1).

En la actualidad la zona aeroportuaria permite que, para episodios de lluvia importantes, se almacenen grandes volúmenes de agua en sus zonas más deprimidas, agua que posteriormente es evacuada mediante las dos estaciones de bombeo existentes hacia la zona húmeda del Remolar y hacia el Canal de l'Aviació.

Antes de la ampliación la zona aeroportuaria mantenía el mismo sistema de drenaje de antaño, se permitía que, para episodios de lluvia importantes, se almacenaran grandes volúmenes de agua en sus zonas más deprimidas, agua que posteriormente era evacuada mediante las dos estaciones de bombeo existentes hacia la zona húmeda del Remolar y hacia el Canal de l'Aviació. Es decir, dentro del mismo aeropuerto existían grandes áreas inundables en estado natural.

Desde un punto de vista de escorrentía superficial, el actual Aeropuerto prácticamente constituye una isla hidrológica, de manera que el drenaje debe contemplar únicamente la precipitación caída en el mismo Aeropuerto y, más importante, otras actuaciones sobre la red de drenaje exterior al Aeropuerto no pueden alterar el funcionamiento de la red propia.

3 Criterios de diseño y método de cálculo

El diseño de la nueva red de drenaje incluida en el Proyecto de Ampliación del Campo de Vuelo contempla mantener en lo posible las características hidrológicas actuales: en primer lugar el Aeropuerto se mantiene como isla hidrológica, y en segundo lugar, se sigue propiciando la laminación de caudales mediante el almacenamiento de agua (en los propios canales o en zonas encharcables) durante la fase más intensa de la lluvia, para ser evacuada posteriormente por bombeo.

La restricción básica de diseño ha sido que la lámina de agua no supere la cota +1.75m en toda la red de drenaje para la lluvia de periodo de retorno de 25 años, y no supere la cota +1.5m también en toda la red para la lluvia de periodo de retorno de 10 años.

El diseño de la red de drenaje se ha realizado considerando régimen no permanente gradualmente variable, mediante el programa Quabis desarrollado por la sección de Ingeniería Hidráulica e Hidrológica, que permite una modelación cuasi-bidimensional de propagación de avenidas en cauces y llanuras de inundación. La simulación de la propagación en el cauce se efectúa resolviendo las ecuaciones de Saint-Venant. En el caso que nos ocupa, donde puede haber un caudal lateral de entrada, son:

$$b \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{Q}{A} q = gA[I_0 - I]$$

donde y es el calado, Q el caudal, x la abscisa de la sección, t el tiempo, b el ancho superficial, q el afluente lateral por unidad de longitud, A el área de la sección transversal, g la gravedad, I_0 la pendiente del fondo e I la pendiente motriz. La llanura de inundación se esquematiza mediante una serie de células de almacenamiento comunicadas entre ellas. Una célula puede estar conectada con otra o con una sección del cauce. La conservación de la masa (o ecuación de continuidad) para una célula viene dada por:

$$A_{sk} \frac{\partial z_k}{\partial t} = \sum_i Q_{ki}(z_k, z_i)$$

donde A_{sk} es el área superficial de la célula k , z_k y z_i las cotas de la lámina de agua en las células k e i , y Q_{ki} el caudal de transferencia entre dichas células

El modelo resuelve las ecuaciones del flujo en lámina libre (conocidas por ecuaciones de Saint-Venant), juntamente con la ecuación de conservación de la masa en las zonas de almacenamiento de agua, mediante un esquema implícito en diferencias finitas (esquema de Preissmann). El estudio en la actualidad podría hacerse con el conocido programa Hec-Ras del Hydrologic Engineering Center de los Estados Unidos, con prestaciones y esquemas numéricos muy similares

El análisis de los datos de lluvia, así como la transformación lluvia escorrentía en las distintas subcuencas ha sido realizado por SENER, obteniéndose los hidrogramas de entrada a la red de drenaje en distintos puntos. Estos hidrogramas han sido utilizados como condición de contorno en el diseño de la red de drenaje en régimen variable.

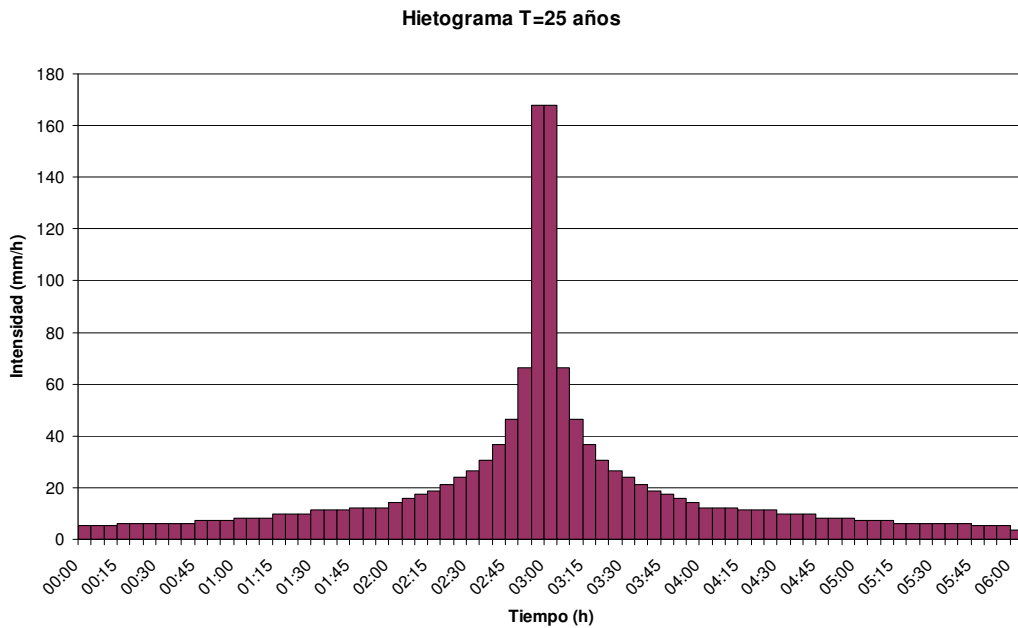


Figura 3 Lluvia de diseño para 25 años de período de retorno

4 Descripción de la red de drenaje

La red de drenaje contemplada en el Proyecto de Ampliación del Campo de Vuelo define tres cuencas independientes: Cuenca Oeste, Cuenca Central y Cuenca Este.

La red de drenaje de la Cuenca Oeste consta de dos canales (Canal W1 y Canal W2). El tramo aguas arriba del Canal W1 consiste en una sección cerrada (cuatro cajones de 2x2 m) y los últimos 240 m del canal W2 están formados por tres tubos de 1000 mm de diámetro. En el tramo final del Canal W1 se permite que éste desborde por su margen derecha, creándose una zona encharcable.

La red de drenaje de la Cuenca Central está formada por seis canales. Los tramos de los extremos aguas arriba de la red (Canal C5 y Canal C9) están formados por una sección cerrada (dos cajones de 2x2 m). Igualmente existen otros 11 tramos en sección cerrada, principalmente por ser pasos bajo pistas o bajo calles. La Cuenca Central desemboca en la zona de humedales de La Roberta.

La red de drenaje de la Cuenca Este está formada por ocho canales. Existen 13 tramos en sección cerrada bajo pistas o bajo calles. Existen también tres zonas encharcables: una junto al canal E1, otra en cabecera del canal E5 y la última en el extremo aguas abajo del canal E1.

La Cuenca Oeste tiene una estación de bombeo con cuatro tornillos de Arquímedes de 1.1 m³/s cada uno, siendo su capacidad de bombeo efectiva de 3.3 m³/s (un tornillo es de repuesto). El bombeo de la Cuenca Central tiene cinco tornillos de 1.75 m³/s cada uno y, por tanto, una capacidad de 7.0 m³/s (un tornillo de repuesto), mientras que el bombeo de la Cuenca Este dispondrá de seis tornillos de 1.75 m³/s y una capacidad de 8.75 m³/s (un tornillo de repuesto).

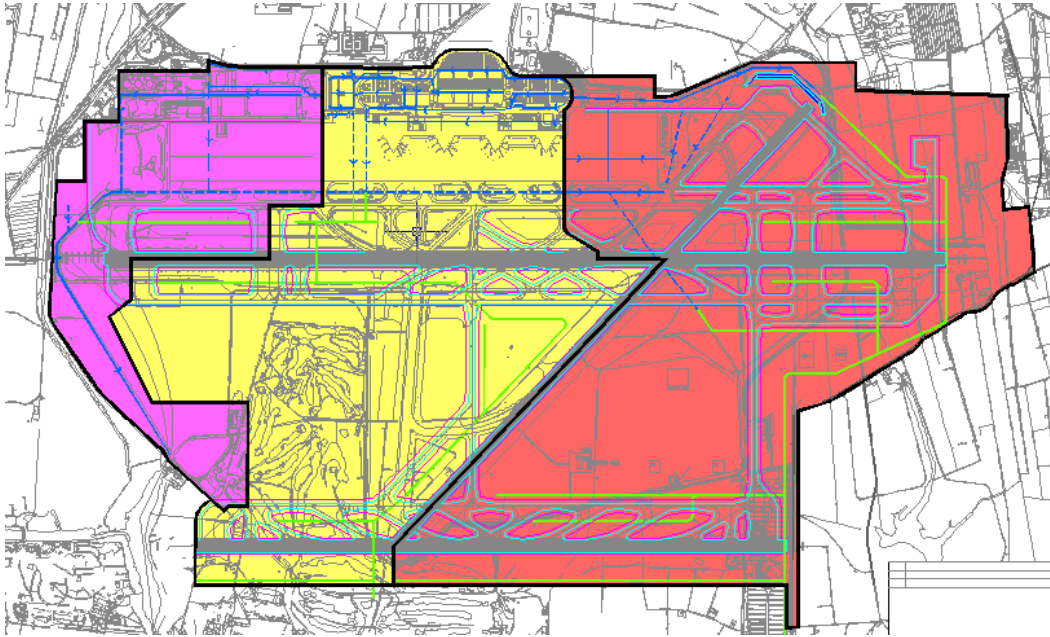


Figura 4 División del Aeropuerto en tres cuencas: ■ Cuenca Oeste, ■ Cuenca Central y ■ Cuenca Este

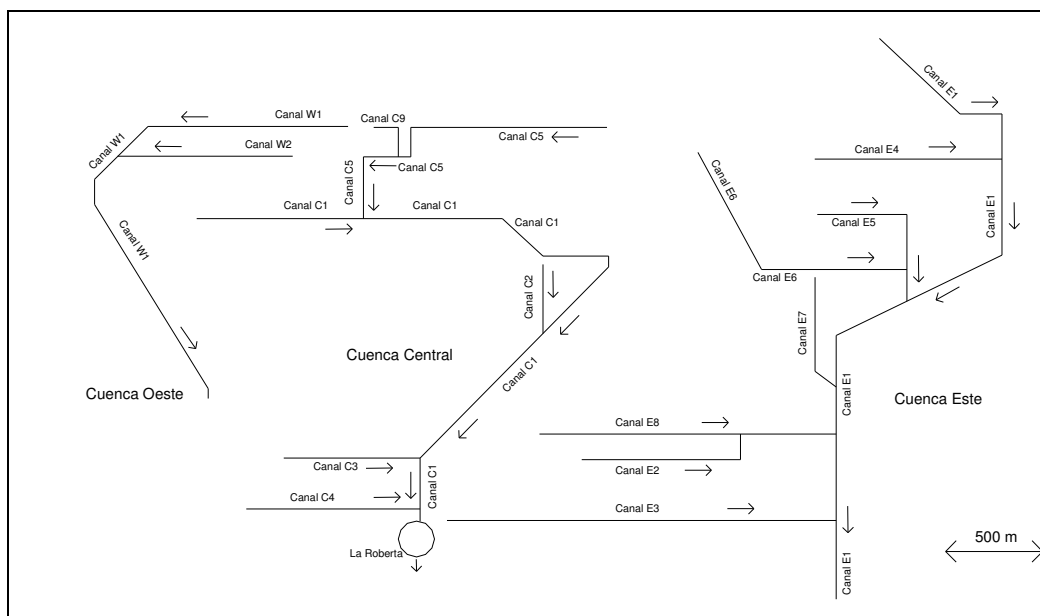


Figura 5 Red de canales para el drenaje de pluviales del Aeropuerto

5 Funcionamiento hidráulico de la red de drenaje

La gran longitud de los canales (debido a la extensión de la zona aeroportuaria) y su reducida pendiente, la elevada intensidad de la lluvia de proyecto, y las posibilidades de bombeo en cuanto a caudal y ubicación, conducen a que el drenaje del aeropuerto, una vez realizada la ampliación, sólo sea posible con un esquema semejante al actual: importante almacenamiento del agua de lluvia durante el episodio y posterior evacuación por bombeo.

Durante el proceso de diseño del drenaje, se ha puesto en evidencia el papel fundamental que tienen los canales no tanto como estructuras para el transporte sino para almacenaje de agua durante la lluvia y la laminación del caudal. Los caudales punta de entrada a la red de drenaje para un periodo de retorno de 25 años, resultantes del estudio hidrológico, son de 43, 114 y 102 m³/s para las cuencas Oeste, Central y Este respectivamente, mientras que gracias a la laminación producida por el almacenamiento, los caudales punta de bombeo en las tres cuencas son tan solo de 3.3, 7.0 y 8.75 m³/s respectivamente.

El estudio en régimen variable revela que es necesario disponer del volumen de almacenamiento en cabecera de las cuencas, el mismo volumen pero repartido de distinta manera a la recogida en el Proyecto de Ampliación del Campo de Vuelo podría ser ineficaz por a la baja velocidad del agua en los canales, debida a su vez a su poca pendiente.

El cálculo también ha puesto de manifiesto que los niveles de agua en las zonas más alejadas de las estaciones de bombeo son indiferentes a la capacidad de bombeo, de manera que en ningún caso se podrá sustituir volumen de almacenamiento por mayor capacidad de bombeo. Esto también es debido a la reducida velocidad que el agua adquiere en los canales.

Es de destacar que la geometría de la red de drenaje propuesta, junto con las estaciones de bombeo e hidrogramas de entrada contemplados, es compatible con las máximas cotas de lámina de agua permitidas en el campo de vuelo para las precipitaciones de 10 y 25 años de periodo de retorno (1.5m y 1.75 m respectivamente).

Para cada una de las tres cuencas, y precipitación de 25 años de periodo de retorno, se presentan los limnigramas (evolución temporal de los niveles de agua) en todas las secciones de los distintos canales utilizadas para el cálculo. El objetivo de estos gráficos es ofrecer una visión global del funcionamiento de la red de drenaje.

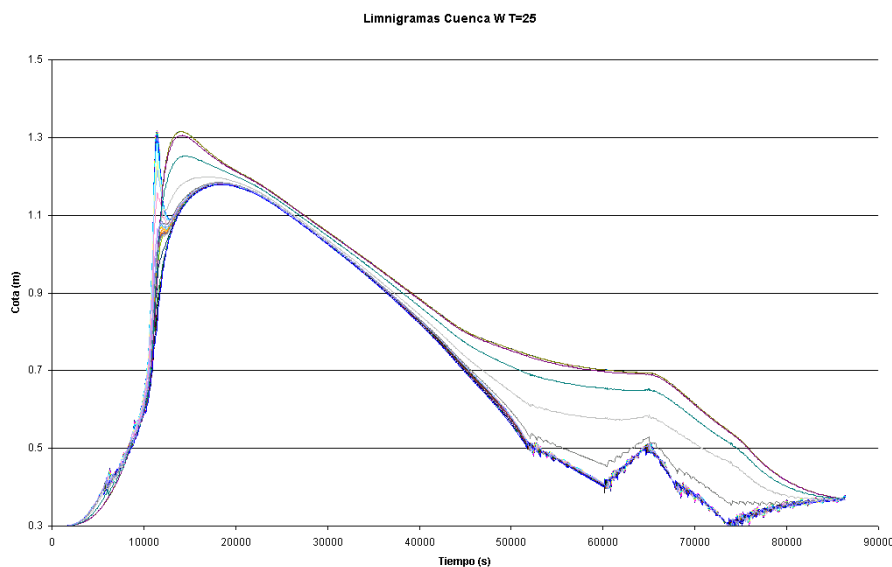


Figura 6 Evolución de los niveles de agua en la Cuenca Oeste para la precipitación de 25 años de periodo de retorno

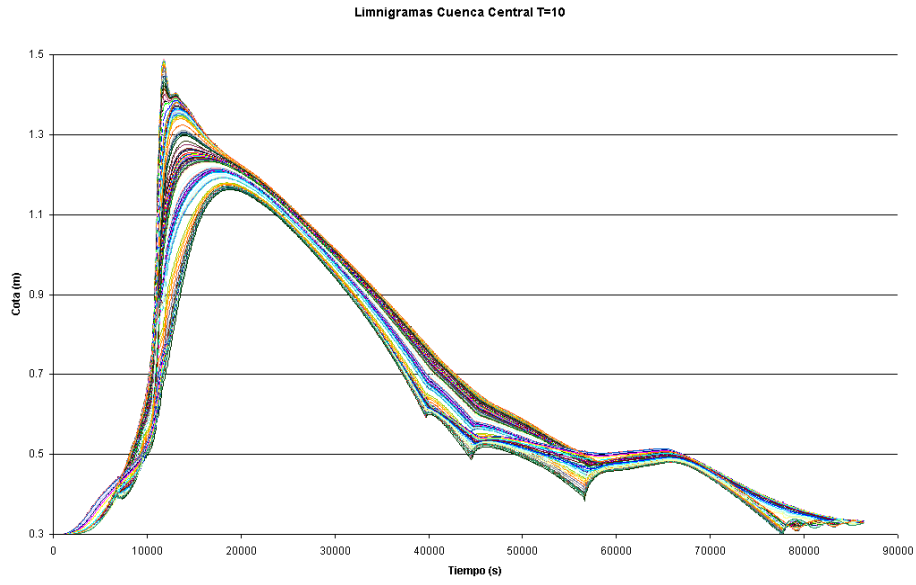


Figura 7 Evolución de los niveles de agua en la Cuenca Central para la precipitación de 25 años de periodo de retorno

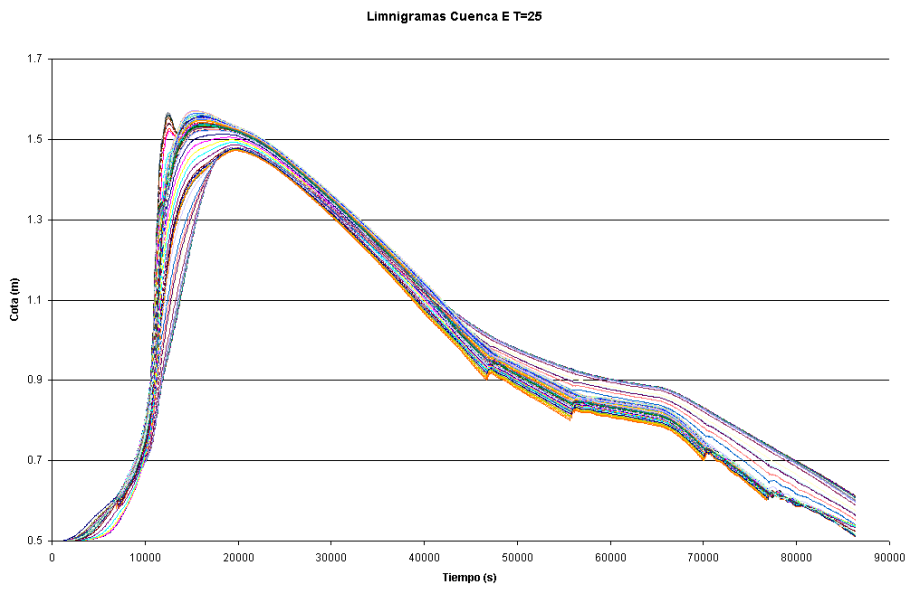


Figura 8 Figura 2. Evolución de los niveles de agua en la Cuenca Este para la precipitación de 25 años de periodo de retorno

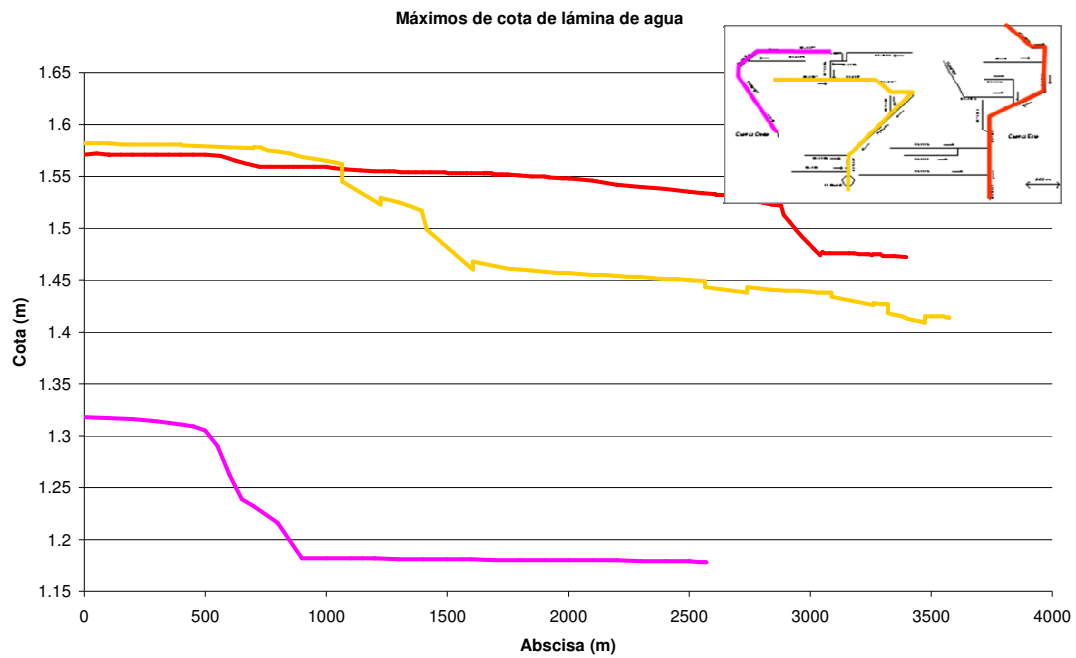


Figura 9 Máximos de cota de lámina de agua en los tres canales principales

6 Conclusiones

Debido a las pequeñas pendientes del terreno y a la torrencialidad del régimen hidrológico de la zona, la única alternativa para el drenaje del Aeropuerto de Barcelona es el esquema de almacenamiento de agua en zonas inundables para su posterior evacuación después del episodio de lluvia.

Para el diseño se requiere de la modelación numérica en régimen variable. En este caso el régimen permanente es incapaz de dar respuesta al dimensionamiento de la red de canales.

El cálculo indica que es posible sustituir las zonas inundables naturales por una red de canales compuestos con suficiente volumen de almacenamiento, pero tan importante como su volumen es la ubicación de dicho volumen. En concreto es necesario disponer de un volumen necesario en cabecera.

Debido a las pequeñas velocidades de acuerdo a la pendiente tan reducida del campo de vuelo, no sería posible sustituir volumen de almacenamiento por mayor capacidad de bombeo.