



Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
de Caminos, Canales y Puertos



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

GRADO EN INGENIERÍA CIVIL – TRABAJO FINAL DE GRADO

CURSO ACADÉMICO 2015-2016

FECHA DE PRESENTACIÓN: MAYO 2016

**ESTUDIO DE ALTERNATIVAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN HANGAR EN EL AERÓDROMO DE EL REBOLLAR. REQUENA**  
**SOLUCIÓN MEDIANTE PÓRTICO MIXTO CON CELOSÍA METÁLICA PRATT**



AUTOR: DAVID MACÍAS ARIAS

TUTOR: JUAN JOSÉ MORAGUES TERRADES

Agradecimientos a mi tutor Juan José Moragues Terrades por su ayuda, sus consejos y su esfuerzo. A mis compañeros de TFG por todo lo que he aprendido con ellos y los buenos momentos pasados. También a todos los amigos que he conocido a lo largo de estos cinco años que me han apoyado en todo momento.

Y por último a mis padres, a los que este trabajo va especialmente dedicado por su constante lucha en la vida y hacerme ver que no hay imposibles.

# **ÍNDICE GENERAL**

## **Documento N°1. Memoria**

**Anejo I. Estudio geotécnico**

**Anejo II. Análisis y cálculo geotécnico**

**Anejo III. Análisis y cálculo estructural**

**Anejo IV. Plan de obra**

**Anejo V. Infografía**

## **Documento N°2. Planos**

## **Documento N°3. Presupuesto**



# DOCUMENTO Nº1. MEMORIA

---



## ÍNDICE

<b>1. Memoria común</b>	<b>3</b>
1.1 Objeto del trabajo	3
1.2 Organización del trabajo	3
1.3 Trabajo de cada alumno	3
<b>2. Introducción</b>	<b>4</b>
2.1 Definición y etimología	4
2.2 Un poco de historia	4
2.3 Antecedentes	6
<b>3. Descripción de la zona</b>	<b>6</b>
3.1 Localización	6
3.2 Accesos y comunicaciones	7
3.3 Condicionantes	7
3.3.1 Condicionantes urbanísticos	8
3.3.2 Condicionantes hidrológicos. Riesgo de inundación	8
3.3.3 Información geológica-morfológica	9
3.3.4 Información medioambiental	10
3.3.5 Condicionantes climatológicos	10
<b>4. Normativa específica</b>	<b>11</b>
<b>5. Definición en planta</b>	<b>11</b>
<b>6. Descripción de las alternativas</b>	<b>12</b>
6.1 Alternativa 1: Solución mediante pórticos metálicos con celosía Warren	12
6.2 Alternativa 2: Solución mediante arco semielíptico de acero	13
6.3 Alternativa 3: Solución mediante arco parabólico de hormigón armado	14
6.4 Alternativa 4: Solución mediante pórticos mixtos con celosía metálica Pratt	15
<b>7. Resumen del presupuesto</b>	<b>17</b>
<b>8. Documentos que se adjuntan</b>	<b>17</b>



## 1. Memoria común

### 1.1 Objeto del trabajo

En el término municipal de Requena, concretamente en la partida de los llanos de El Rebollar y en los terrenos adyacentes al Caserío de Don Juan, se tiene prevista la ampliación del aeródromo. El motivo de dicha ampliación, es la creciente demanda de hangaraje de aeronaves y naves de recreo en esta zona y la previsión de crecimiento en los próximos años.

El objetivo del estudio de alternativas para la construcción de un hangar en el aeródromo de Requena es comparar una serie de propuestas, cada una de ellas proponiendo una tipología estructural diferente. De esta manera se realizará un análisis comparativo entre ellas con la intención de conocer aquella solución que se amolda mejor a las exigencias y que respondan de manera eficiente y eficaz a las necesidades que dicho aeródromo está demandando.

El aeródromo de Requena es un lugar que ofrece una amplia gama de servicios relacionados con la aviación. Entre ellos, escuela de aviación, formación de pilotos y gran variedad de ofertas para diversión y ocio. También se realizan múltiples trabajos de aviación y es sede de la Fundación Aérea de la Comunidad Valenciana, lo que contribuye al desarrollo de la comarca y genera empleo y riqueza no solo material, sino también cultural. Además cuenta con un restaurante. Todo esto hace del aeródromo de Requena un nuevo tipo de oferta en todo lo relacionado con la aviación, y es por esto por lo que el aeródromo está sufriendo una gran demanda de sus servicios.

Por tanto, a modo de conclusión, los objetivos principales de este estudio de soluciones serán los siguientes:

- Propuesta de diferentes tipologías estructurales de hangar.
- Propuesta de utilización de diferentes materiales.
- Lograr la mayor funcionalidad para permanencia y movilidad de las aeronaves en el interior del hangar.
- Permitir al aeródromo seguir con una posible expansión en el futuro.
- Otorgar al mismo un valor estético.
- Diseño de una explanada de unión entre pista de aterrizaje y hangar.
- Diseño de todas las instalaciones auxiliares para el correcto funcionamiento del mismo.

- Cubrir las necesidades que tiene el aeródromo de dar servicio a las muchas aeronaves que en este momento no se encuentran resguardadas de la intemperie.

### 1.2 Organización del trabajo

La organización de este Trabajo Final de Grado ha sido del siguiente modo. Por un lado, se han puesto en común cada una de las diferentes ideas y características del emplazamiento donde se sitúa el hangar. Por otro lado, cada alumno ha realizado individualmente el estudio de una solución enfrentándose a los problemas que han surgido particularmente en su estructura. Al mismo tiempo los problemas eran comentados en grupo para ver las distintas opiniones y llegar a una solución.

Para realizar cada solución, se ha seguido un esquema general que define los pasos seguidos hasta llegar la solución final. A continuación se ha realizado una síntesis de los trabajos realizados, expresándose entre paréntesis el alumno o los alumnos que han realizado cada parte que se cita.

- Documento Nº1. Memoria (todos los integrantes)
- Solución 1: solución mediante pórtico metálico con celosía Warren (Alberto Martínez Torres)
- Solución 2: solución mediante arco semielíptico de acero (Sergio Pérez Griñán)
- Solución 3: solución mediante arco parabólico de hormigón armado (Alberto López García)
- Solución 4: solución mediante pórtico mixto con celosía metálica Pratt (David Macías Arias)
- Solución adoptada (todos los integrantes)

### 1.3 Trabajo de cada alumno

Se exponen a continuación los documentos que se han desarrollado de manera individual para el Trabajo Final de Grado.

La solución mediante pórtico metálico con celosía Warren, realizada por Alberto Martínez Torres, está compuesta de los siguientes apartados:

- Anejo I. Análisis estructural



- Anejo II. Cimentación
- Anejo III. Plan de obra
- Anejo IV. Presupuesto
- Documento Nº2. Planos

La solución mediante arco semielíptico de acero, realizada por Sergio Pérez Griñán, está compuesta de los siguientes apartados:

- Anejo I. Análisis estructural
- Anejo II. Cimentación
- Anejo III. Plan de obra
- Anejo IV. Presupuesto
- Documento Nº2. Planos

La solución mediante arco parabólico de hormigón, realizada por Alberto López García, está compuesta de los siguientes apartados:

- Anejo I. Análisis estructural
- Anejo II. Cimentación
- Anejo III. Plan de obra
- Anejo IV. Presupuesto
- Documento Nº2. Planos

La solución mediante pórtico mixto con celosía metálica Pratt, realizada por David Macías Arias, está compuesta de los siguientes apartados:

- Anejo I. Estudio geotécnico
- Anejo II. Análisis y cálculo geotécnico
- Anejo III. Análisis y cálculo estructural
- Anejo IV. Plan de obra
- Anejo V. Infografía
- Documento Nº2. Planos
- Documento Nº3. Presupuesto

Cabe mencionar la participación del grupo al completo en la elaboración del presente documento (Documento Nº1. Memoria).

## 2. Introducción

### 2.1 Definición y etimología

La palabra hangar, de origen francés, no tuvo un origen netamente aeronáutico ya que originalmente se le llamaba hangar a un cobertizo o galpón grande donde guardaban los carretones e implementos de labranza en los campos. Según la RAE, se define como un cobertizo grande, generalmente abierto, para guarecer aparatos de aviación o dirigibles. Otra definición más precisa y acorde a la actualidad es la siguiente: lugar utilizado para guardar aeronaves, generalmente de grandes dimensiones y situado en los aeródromos.

Las funciones principales que debe cumplir un hangar son proteger a las aeronaves del clima y la luz solar directa, mantenimiento, reparación, fabricación, montaje y almacenamiento de las aeronaves en los aeródromos, portaaviones y barcos.

### 2.2 Un poco de historia

El primer hangar construido fue en la localidad francesa de Chalais Meudon, cerca de París, en 1879. Es conocido como *Hangar Y* debido a su forma estructural donde los ingenieros Charles Renard y Arthur Constantin Krebs construyeron su primer dirigible *La France*. Es de los pocos hangares que se construyeron para dirigibles que permanecen en servicio.

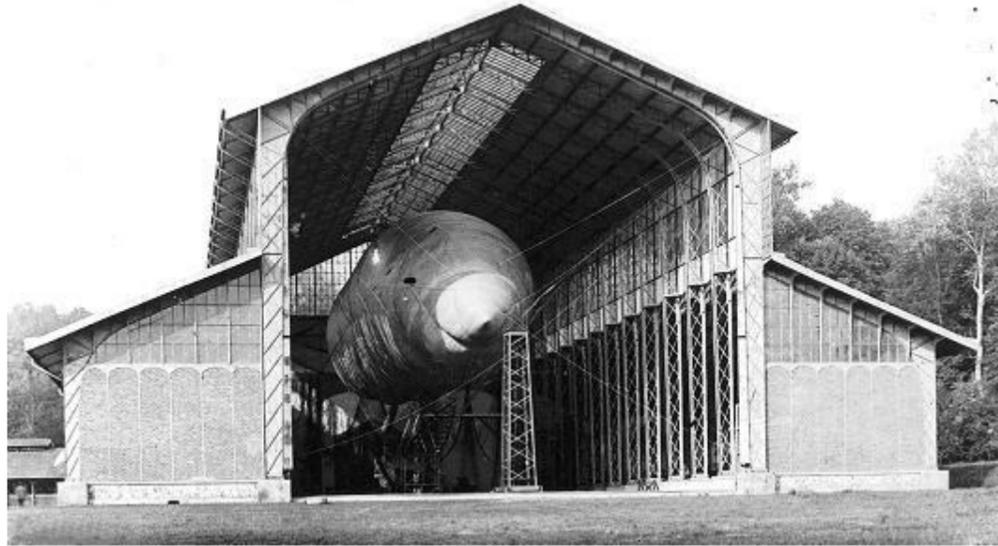


Figura 1.1. Fotografía del Hangar Y, en la localidad francesa de Chalais Meudon

La construcción en 1899 del primer dirigible operacional dirigida por el inventor Ferdinand Von Zeppelin se realizó en un hangar flotante, en el Lago de Constanza (Alemania). Este hangar tenía la peculiaridad de girar sobre sí mismo en función del viento, situación que se aprovechaba para conseguir un despegue más sencillo y cómodo del dirigible al realizarse directamente en dirección contraria al viento.

Por esta misma razón se realizaron posteriormente hangares rotatorios en los municipios de Biesdorf y Cuxhaven en Alemania. En los años anteriores a la Primera Guerra Mundial se construyeron hangares transportables para aeronaves más pequeñas que los dirigibles. Estos aún son muy comunes en Estados Unidos utilizándose principalmente en las exhibiciones.

Con la inminente llegada de la Primera Guerra Mundial en Alemania, Reino Unido, Francia y Estados Unidos, en menor medida, se construyeron decenas de hangares de grandes dimensiones para albergar los enormes dirigibles, conocidos como zepelines. Los primeros se realizaron en las localidades de Friedrichshafen y Frankfurt, en suelo alemán. Hoy en día son pocos los hangares de grandes dimensiones que existen de esta época.



Figura 1.2. Hangares de la Fuerza Aérea Real Británica en la localidad de Cardington Bedfordshire, Inglaterra

En los años posteriores a la Primera Guerra Mundial y hasta la actualidad, este tipo de construcciones dieron paso a los hangares comunes como se conocen hoy en día, que se empezaron a construir a lo largo del mundo para aeronaves más pequeñas que aquellos dirigibles.

En la actualidad, presentan diferentes tamaños en función de la tarea a la que estén predestinados a cumplir, ya sea para el montaje y reparación de aviones comerciales de grandes dimensiones o, como en nuestro caso, para almacenar aeronaves ligeras.



Figura 1.3. Interior de un hangar común destinado al almacenaje de aeronaves

### 2.3 Antecedentes

El aeródromo de El Rebollar tiene sus orígenes en la Guerra Civil Española, aunque fue a principios del siglo XXI cuando la actividad en él se retomó con mucha fuerza. Esto fue debido a las obras realizadas en el año 2002 que incluían un cambio de uso hacia un aeródromo deportivo.

La actuación proyectada contempló una ocupación de 73.936 m<sup>2</sup> de suelo no urbanizable. Entre los elementos que conformaron el nuevo aeródromo cabe distinguir la pista de operaciones de una longitud aproximada de 1.000 m y un ancho de 50 m (ya construida), la zona de hangares (90m x 120m), la zona social (12.000 m<sup>2</sup>) en la que se ubicó un club social y la zona de aparcamiento de vehículos para una capacidad aproximada de 120 coches.

El aeródromo actual cuenta con autorización de Aviación Civil como centro de vuelo para ULM (Motorización Ultra Ligera) sin escuela y en funcionamiento permanente durante toda la semana, recibiendo aterrizajes y despegues mayoritariamente de recreo.

## 3. Descripción de la zona

### 3.1 Localización

La actuación a realizar queda ubicada en el Llano del Rebollar, entre las poblaciones de Requena y El Rebollar, en la provincia de Valencia (Comunidad Valenciana, España).

El aeródromo queda enmarcado por su parte sur con el actual camino de tierra que une el Caserío de Don Juan con el núcleo de El Rebollar, que transcurre paralelo a la autovía A-3 a unos 370 metros de esta. Por el oeste queda limitado por el camino de tierra que da acceso a la Fuente de la Herrada, quedando el Caserío en la intersección de ambos caminos.

El resto de límites lo forman terrenos agrícolas, fundamentalmente de cereal, aunque aparecen también pequeñas zonas de vid y almendro, todas ellas del mismo propietario que el de la actuación, no teniendo lindes con terceros.

Las coordenadas geográficas del aeródromo de Requena – El Rebollar son 39° 28' 31" N, 1° 02' 15" O (en centésimas de minuto).

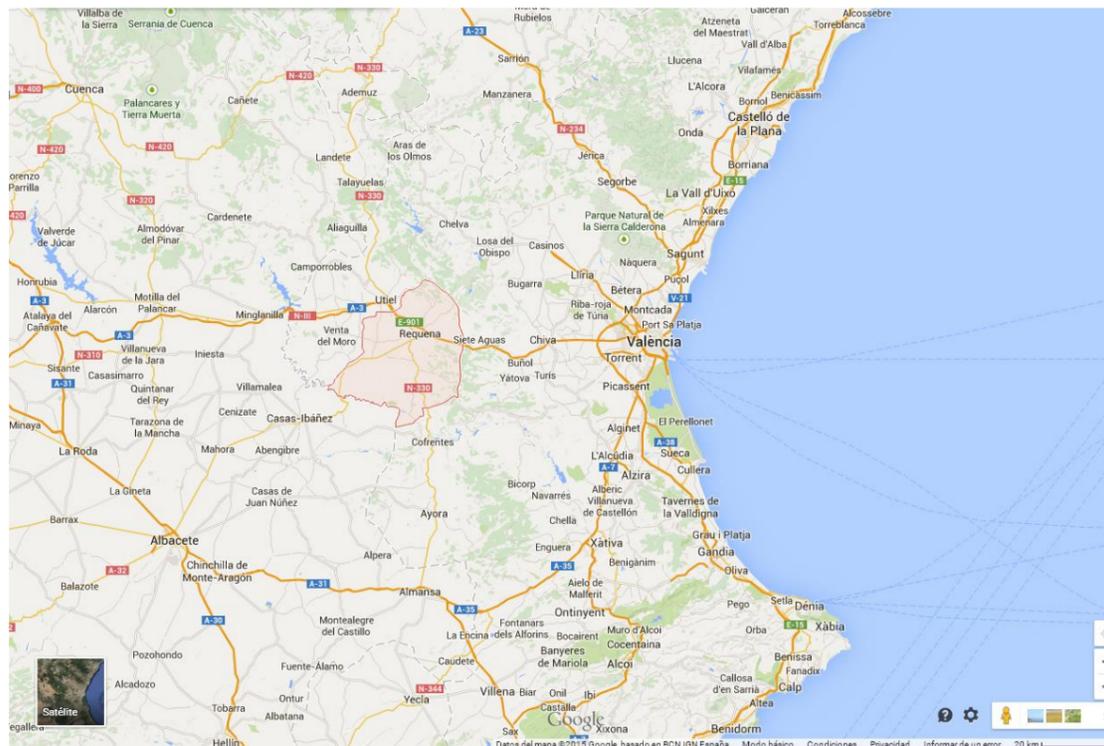


Figura 2.1. Representación de los límites de la comarca de Requena, donde se sitúa nuestra actuación

### 3.2 Accesos y comunicaciones

La ubicación del aeródromo es esencial para su demanda en temporada estival, debido al turismo de sol y playa. A tan sólo 60 kilómetros de la costa de levante por la autovía A-3 es una perfecta alternativa al aeropuerto de Manises para vuelos privados. Es por esto que las comunicaciones con el aeródromo tienen que ser buenas y accesibles.

Los accesos previstos son tres, confluyendo todos al mismo punto de entrada, aunque uno de ellos será el primordialmente utilizado. Se refiere al de la Vía de Servicio Sur de la Autovía N-III que nace en la salida de El Rebollar y discurre asfaltada y paralela a la autovía hasta llegar a la altura del Caserío, momento en el que gira hacia el Sur y deja de estar asfaltada hasta alcanzar la entrada al complejo frente a la fachada oeste del Caserío.

Actualmente solo se utiliza esta vía de servicio para acceder a las distintas fincas agrícolas por lo que el volumen de tránsito por ella es insignificante, mas teniendo en cuenta que ésta no

atraviesa el casco urbano de El Rebollar, por lo que se puede afirmar que no va a verse desbordada en ningún momento puntual.

A su vez, la actividad que va a desarrollarse no es productora de grandes afluencias puntuales sino que los usuarios acceden de forma progresiva y son en términos relativos de muy pequeño volumen. A lo sumo una cantidad de 60 vehículos accediendo o desalojando en un día punta, en un momento de actividad intensa, lo que no puede provocar problemas de ningún tipo en la Vía de Servicio Sur. Resumiendo, el volumen de actividad que puede ser desarrollado en este aeródromo se encuentra muy lejos de valores que pudieran sobrecargar las infraestructuras vecinas.

En cuanto a posibles modos de llegar a dicha ubicación, se destacan la posibilidad de hacerlo mediante los siguientes modos de transporte, utilizándose en todo momento como referencia los pueblos y ciudades cercanos al aeródromo:

- Coche: a menos de 1 hora del centro de Valencia por autovía en muy buen estado con muchos tramos de tres carriles por sentido. A tan sólo media hora del *Bypass* que permite el desvío hacia las principales capitales de provincia (Castellón y Alicante) y a sus respectivos pueblos costeros.
- Autobús: buena frecuencia de autobuses desde la estación de autobuses de Valencia. Las empresas encargadas de la ruta Requena-Valencia son Alsina, La Requense y Monbús.
- Tren: posibilidad de acceso a la estación de El Rebollar y Requena. Las frecuencias son regulares con dos o tres trenes al día de duración aproximada de una hora y media desde Valencia. Este trayecto pertenece a la antigua vía unidireccional no electrificada que presenta inicios de deterioro. Otra alternativa ferroviaria es la estación del AVE de San Antonio con una duración de trayecto de treinta minutos desde el centro de Valencia, estación Joaquín Sorolla.

### 3.3 Condicionantes

La ejecución del nuevo hangar supondrá una transformación de la situación actual de la infraestructura. Existen una serie de condicionantes por parte de la propiedad del aeródromo, de la normativa vigente de la Comunidad Valenciana, así como una serie de ordenanzas del municipio de Requena que deberá cumplir el proyecto.



### 3.3.1 Condicionantes urbanísticos

La base del aeródromo se encuentra en terreno agropecuario a las afueras de la población de El Rebollar. En esta ubicación queda prohibida por ordenanza municipal de Requena la construcción de vivienda residencial y es suelo declarado como no urbanizable. Esto se puede comprobar recurriendo a los planos cartográficos del sistema de información territorial del visor temático CITMA de la Comunidad Valenciana.

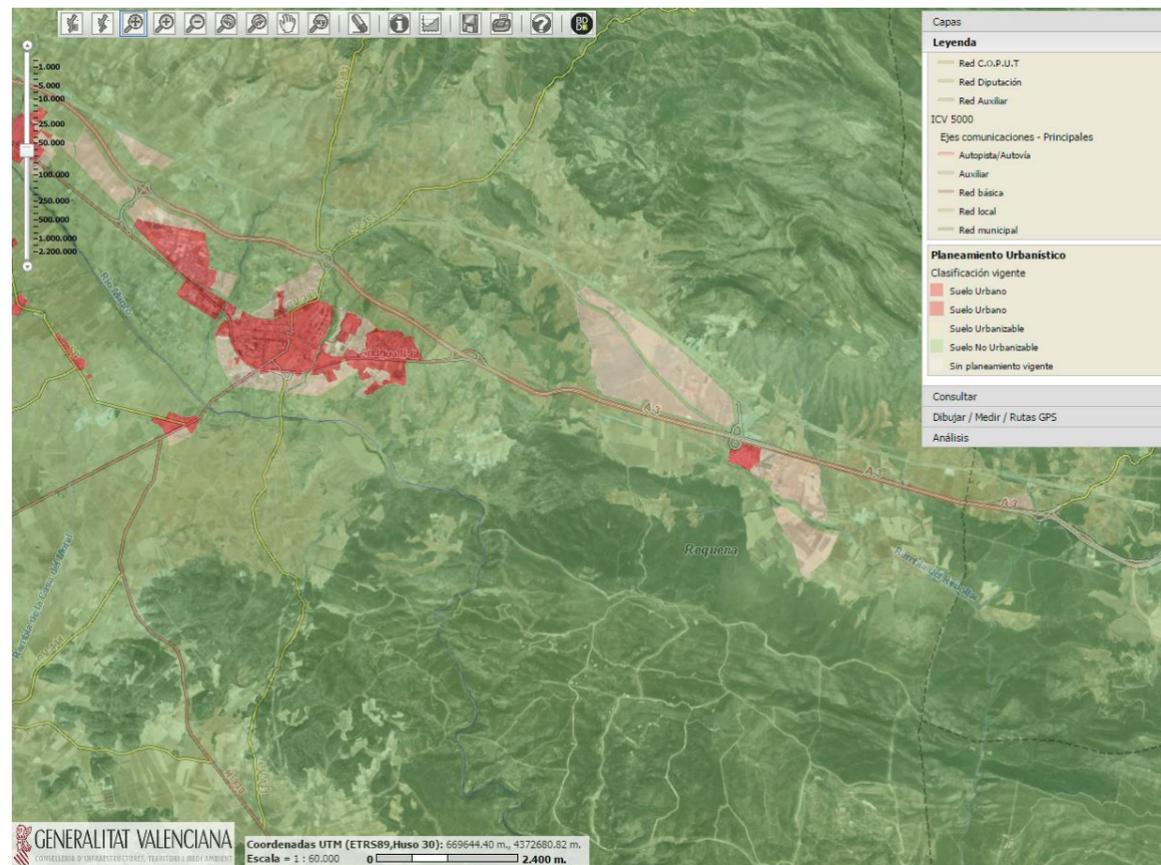


Figura 2.2. Plano de información territorial del visor temático CITMA

En este caso no existirá problema alguno puesto que el terreno pertenece a una propiedad privada que ya obtuvo la licencia correspondiente para la explotación del aeródromo.

### 3.3.2 Condicionantes hidrológicos. Riesgo de inundación

En lo que se refiere a los condicionantes hidráulicos que presenta la zona, cabe citar respecto a la hidrología superficial que el aeródromo se encuentra limitado al oeste por el Barranco Rubio, al este por el Arroyo Cañada Cerruco y al sur por el río Magro.

El río magro es un afluente del Júcar, presenta un caudal constante aunque relativamente escaso e irregular ya que éste depende casi en su totalidad de las precipitaciones recogidas en su cuenca hidrográfica. Por otro lado, tanto el Barranco Rubio como el Arroyo Cañada Cerruco, son dos ramblas puesto que en situaciones normales no presentan caudal en su cauce. El caudal es temporal, debido exclusivamente a las lluvias.



Figura 2.3. Mapa que muestra la situación hidrológica en la que se encuentra nuestra obra

Utilizando los planos del *PATRICOVA* (Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del Riesgo de Inundación en la Comunidad Valenciana) se obtiene el riesgo de inundación de la zona. El riesgo que presenta el río Magro es de nivel 5, mientras que los cauces del río Cabriel se sitúan entre los niveles (1-5) debido a su alta variabilidad.



Se puede decir que la zona en la que se encuentra ubicado el aeródromo presenta un nivel medio frente al riesgo de inundaciones, como podemos observar en el siguiente mapa, que identifica por colores los tipos de riesgos que pueden existir de acuerdo a su severidad en función de las precipitaciones.

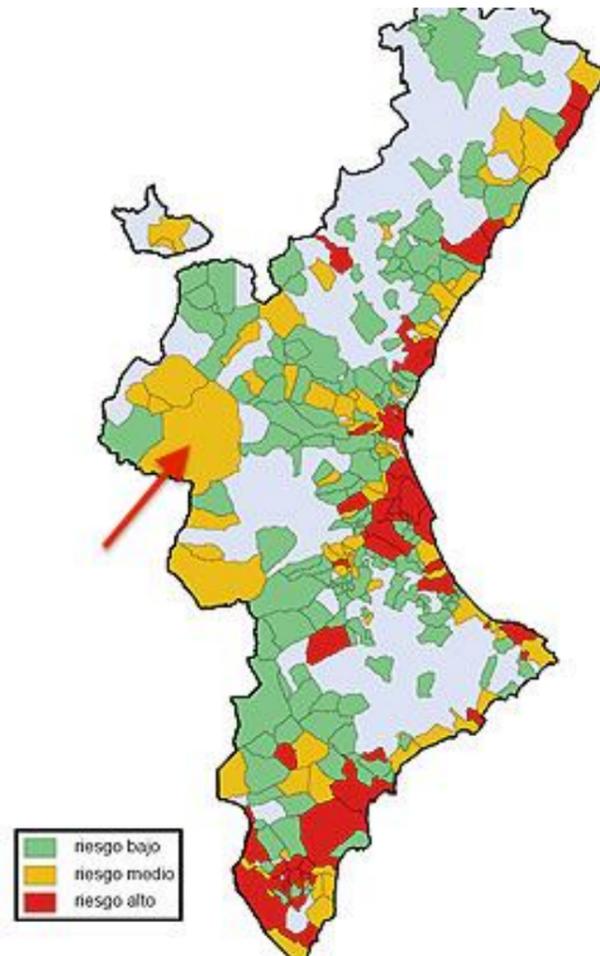


Figura 2.4. Mapa identificativo de la situación de riesgo por inundación en la Comunidad Valenciana

En cuanto a la hidrología subterránea, el término municipal de Requena pertenece al Sistema Acuífero nº 53 que abarca una superficie total de 3.100 km<sup>2</sup>. Se halla dividido a su vez en tres subsistemas: Subsistema acuífero de Las Serranías, Subsistema acuífero de la Plana Utiel-Requena y Subsistema acuífero de Buñol-Casinos.

La alimentación y recarga se produce prácticamente por la infiltración del agua de lluvia caída sobre sus materiales permeables, mientras que las salidas del acuífero se realizan

fundamentalmente al río Júcar, a través de los diversos manantiales que jalonan el curso del río.

### 3.3.3 Información geológica-morfológica

La localidad de Requena se encuentra situada en las estribaciones surorientales de la Cordillera Ibérica, cerca de la zona de intersección con el borde nororiental de la Cordillera Bética.

En las sierras de los alrededores los materiales aflorantes pertenecen al periodo Jurásico. En el valle se localiza una formación de calizas lacustres, margas arcillosas y areniscas del Mioceno medio-superior.

Los materiales del Jurásico han sido explotados fundamentalmente para la fabricación de cemento. En los alrededores de Buñol se localizan las canteras de La Rebosera donde se extraen calizas y margas.

Por último se comenta que los sedimentos cortados pertenecen a depósitos aluviales y de terrazas del río Magro y barrancos afluentes donde la mayor parte de los depósitos son materiales detríticos, alternando niveles de finos, fundamentalmente limosos, con otros más gruesos de arenas y gravas.

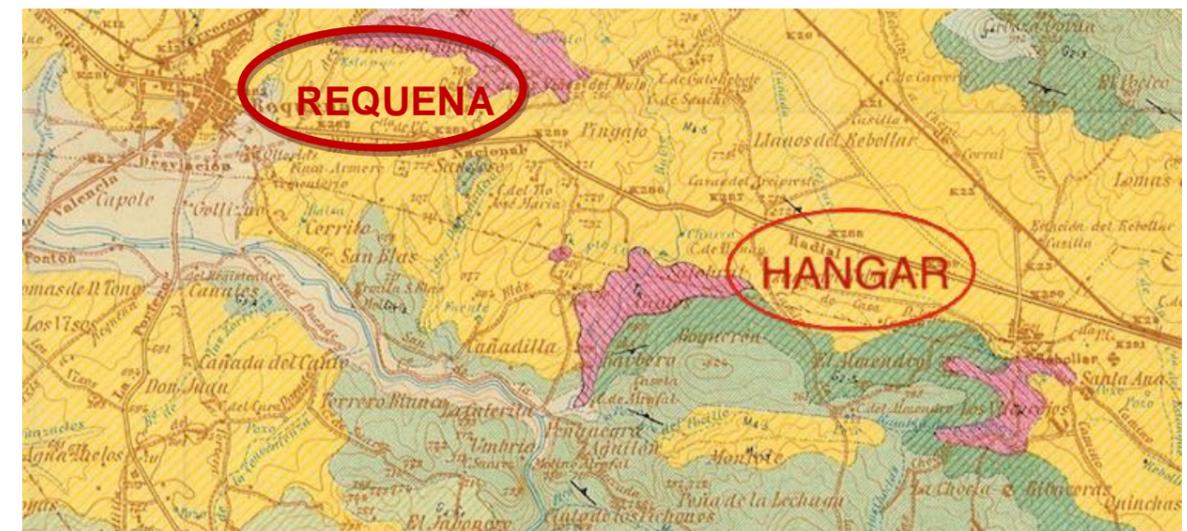


Figura 2.5. Mapa geomorfológico del Instituto Geológico y Minero de España



En cuanto al carácter geotécnico de la zona donde se desarrollará la obra, no encontramos grandes limitaciones para la ejecución del hangar ya que el terreno presenta expansividad nula, capacidad de carga media, drenaje por infiltración generalmente favorable, drenaje por escorrentía aceptable y materiales generalmente permeables.

### 3.3.4 Información medioambiental

Los condicionantes medioambientales de este proyecto no son muy relevantes. El emplazamiento de la obra queda definido sobre terrenos conglomerados y arcillas en la explanada de El Rebollar, a las faldas de los montes de la Herrada, rodeado de viñas.

En la explanada de El Rebollar la flora está formada totalmente de viñedos, mientras que la fauna es prácticamente inexistente, reducida solo a pequeñas poblaciones de conejos en determinados periodos del año. Sin embargo, la sierra de la Herrada posee mucha más biodiversidad. La flora de esta zona está compuesta mayoritariamente por pino, carrasco, alzina y matorrales propios del clima mediterráneo. Respecto a la fauna cabe destacar la existencia de cotos privados de caza en los que suele haber ciervos, jabalíes y perdices.

La ejecución del proyecto en el aeródromo no debe afectar a esta sierra. Éste hecho no será ningún inconveniente dado que no se prevé que la zona de influencia sea muy expansiva, ciñéndose únicamente a la zona de la actuación.

Un tema importante a tratar es el vertido de residuos que se pueda ocasionar durante la ejecución de la zona. Actualmente la comarca de Requena dispone de vertederos controlados en los que separar el tipo de escombros según sea limpio o sucio.

Otro condicionante medioambiental tiene que ver con la contaminación de los acuíferos de la zona. Este tipo de contaminación depende de las características de los materiales del suelo. Como anteriormente hemos dicho, estos terrenos están formados por arcillas y conglomerados, siendo materiales permeables por porosidad. No se prevé ningún impacto directo que pueda afectar a los acuíferos.

### 3.3.5 Condicionantes climatológicos

Para el análisis del clima en el aeródromo se han tomado datos de la estación termopluviométrica de Requena perteneciente a la red del Instituto Nacional de Meteorología

(INM). Se consideran suficientes los datos de una única estación meteorológica por la cercanía de la obra. Además, se puede realizar un buen análisis debido a la numerosa información registrada, que abarca un periodo extenso y adecuado de estudio entre el año 1975 hasta el 2005.

La continentalidad y la altitud de la zona de la actuación afectan a las temperaturas, que se reducen notablemente, aumentando la oscilación térmica y las heladas, con respecto a las zonas de la costa. Existen diferencias notables entre las temperaturas máximas y las mínimas aunque no se dan las grandes oscilaciones térmicas características del interior de la península. En la siguiente tabla, extraída del INM en 2007, se muestran los valores medios de la temperatura con respecto a cada mes del año.

ESTACIÓN DE REQUENA												
°C	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Tª media	6,3	8,1	10,6	12,2	15,8	21,0	24,3	24,2	20,5	15,3	9,9	7,0
Media de las máximas	11,1	13,5	17,0	18,3	21,9	27,8	31,7	31,5	27,0	20,8	14,9	11,2
Media de las mínimas	1,5	2,5	4,3	6,1	9,6	14,1	16,8	17,0	13,9	9,7	4,9	2,7

Tabla 2.1. Temperaturas medias, media de las mínimas y máximas. Estación de Requena (1975-2005)

Las mayores temperaturas se dan durante los meses de Julio y Agosto. Las temperaturas mínimas en ningún caso son menores de 0°C. En el siguiente gráfico se muestra la oscilación térmica a lo largo del año, como diferencia entre las medias de las temperaturas máximas y mínimas.

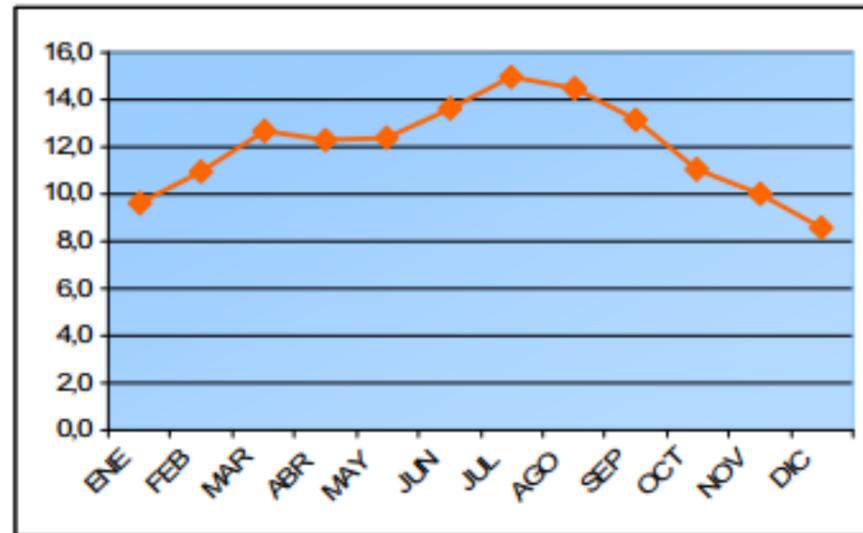


Gráfico 2.1. Oscilación térmica a lo largo del año. Estación de Requena (1975-2005)

El nivel de precipitaciones en el municipio de Requena es escaso, con unos 450 mm al año. Las lluvias se concentran en los meses de otoño e invierno existiendo un periodo de sequía estival. La siguiente tabla, elaborada nuevamente con datos del INM, muestran las variables pluviométricas.

Variable	Ud. medida	Valor aproximado
Precipitaciones totales anuales	mm y %	433,6 100,0%
Precipitación media primavera	mm y %	122,8 28,3%
Precipitación media verano	mm y %	63,3 14,6%
Precipitación media otoño	mm y %	139,5 32,2%
Precipitación media invierno	mm y %	108,0 24,9%
Nº medio de días de lluvia al año	días	66,9
Nº medio de días de nieve al año	días	2,2
Nº medio de días de granizo al año	días	1,1
Nº medio de días de rocío al año	días	0,03
Intensidad diaria media de las lluvias (cociente entre pptn total anual y nº anual de días de pptn)	mm/días pptn	6,5

Tabla 2.2. Variables pluviométricas. Estación de Requena (1975-2005)

#### 4. Normativa específica

Las actuaciones a realizar se limitan exclusivamente a la ampliación del aeródromo con la construcción de un hangar para resguardar los vehículos de la intemperie y la ejecución de un firme de hormigón para unir dicho hangar con la pista del aeródromo ya construida. En lo que respecta a normativa específica de aviación, se ha obtenido información de la norma que legisla, que es la Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). En su Anexo número 14 hace referencia a todo lo relacionado con aeródromos. Dentro de esta misma norma, la gran mayoría de las recomendaciones nos redirigían al Manual de Diseño de Aeródromos, del cual hemos obtenido la información para poder clasificar esta infraestructura.

Los aeródromos se clasifican en función de dos elementos de la clave. El primero de ellos corresponde a un número de clave que va del 1 al 4 en función de la longitud de campo de referencia del avión, es decir la longitud mínima necesaria para el despegue con el peso máximo homologado de despegue al nivel del mar, en atmósfera tipo, sin viento y con pendiente de pista cero; el segundo elemento se clasifica mediante una letra de clave (de la A a la F) y tiene que ver con las dimensiones de los aviones que van a usar el aeródromo, en términos de envergadura y anchura exterior entre ruedas del tren de aterrizaje principal. La envergadura de una aeronave se define como la distancia entre los extremos de sus alas. La dimensión de la pista de aterrizaje del aeródromo actual es de 860 metros de longitud; mientras que la máxima envergadura de las aeronaves es de 12 metros.

Por tanto, con relación a la Tabla 1-1 del Manual de Diseño de Aeródromos, éste se encuadra con un número de clave de 2, que recoge una longitud de campo entre 800 metros hasta 1200 metros; y una letra de clave A, aeronaves con una envergadura inferior a 15 metros y una anchura entre ruedas inferior a 4,5 metros.

#### 5. Definición en planta

Para poder definir las dimensiones que la futura estructura va a tener se ha procedido a la colaboración con los gerentes actuales del aeródromo, los cuales nos han comentado sus previsiones de futuro así como los estudios de mercado que han realizado para poder tener una idea del espacio que necesitan cubrir para poder dar servicio a sus clientes.

Actualmente el aeródromo dispone de tres hangares, dispuestos uno al lado del siguiente, de 28 x 28 metros cada uno, cubriendo una superficie total de 2.352 m<sup>2</sup>. En función de la



envergadura de las aeronaves, que en el caso de este aeródromo en particular son todas inferiores a los 12 metros de envergadura y la previsión del número de aeronaves que van a necesitar resguardarse de las inclemencias del tiempo, se ha acordado la construcción de una nueva estructura que cubra un espacio de 28 x 42 metros. Es decir, una vez terminado, el aeródromo contará con un 50% más de espacio que antes de realizar la actuación.

## 6. Descripción de las alternativas

### 6.1 Alternativa 1: Solución mediante pórticos metálicos con celosía Warren

La geometría del hangar que nos ocupa es sencilla. Consta de una longitud de 42 metros de luz, una anchura de 28 metros y una altura total de 9 metros.

Existen tres hangares colindantes ya en uso cuyas dimensiones son 28 x 28 x 9 metros. De esta manera, la luz de este hangar será una vez y media la luz de los ya existentes con el objetivo de albergar un mayor número de aeronaves. El ancho y la altura se mantienen igual que los hangares ya existentes para dar un aspecto integrado dentro del conjunto del aeródromo.

Los 28 metros de ancho están divididos en cinco pórticos, formando 4 vanos de 7 metros cada uno. Para los dos vanos intermedios se propone el arriostramiento mediante una tirantilla (UPN80) para evitar el pandeo de las correas. Además, los dos pórticos hastiales, tienen cruces de San Andrés en las fachadas laterales, y triangulaciones en la cubierta para rigidizar la estructura frente las acciones horizontales del viento.

La altura de las fachadas es de 6,9 metros. El canto mínimo de la celosía es de 1,5 metros y el máximo de 3,6 metros, formando una cubierta a dos aguas con una pendiente del 10%.

Las puertas de los hangares ya existentes miden 14 metros de ancho y cinco de alto. Las dimensiones de la puerta del hangar que nos ocupa son de 20 x 5 metros. Hemos ampliado la anchura de la puerta para facilitar la maniobrabilidad de estacionamiento de las aeronaves dentro del hangar, mientras que por otro lado se ha mantenido el gálibo de la puerta, ya que la altura media de las aeronaves rondan los 3 metros y la máxima 4.2 metros.

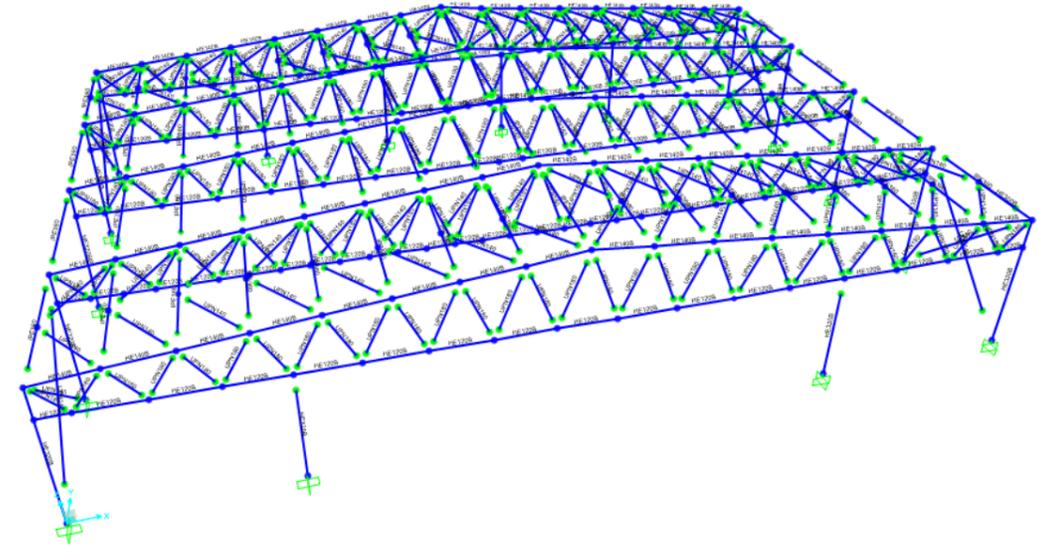


Figura 6.1. Modelo estructural de la solución mediante pórticos metálicos con celosía Warren

La luz total a salvar de la celosía es de 42 metros. Es una distancia más que considerable y necesaria ya que el objetivo fundamental del hangar es proporcionar un espacio diáfano para el aparcamiento de las aeronaves. Ante esta luz, el canto mínimo y máximo de la celosía será de 1,5 y 3,6 metros respectivamente, que son dimensiones proporcionadas y razonables. La celosía que dispondremos consta de cordón superior e inferior y diagonales.

El cordón superior se dividirá en 8 tramos a cada lado que formarán los vértices de la triangulación y sobre los cuales se situarán las correas de la cubierta. El cordón inferior se dividirá en 16 tramos a cada lado. Situando cada dos tramos los vértices de las triangulaciones de la celosía. Las diagonales formarán triángulos isósceles ya que el canto de la celosía es variable.

La característica fundamental de la celosía Warren es que no tiene montantes, está únicamente constituida por diagonales que forman cuadrados equiláteros o isósceles según el caso.

Esta geometría es muy conveniente para nuestro caso, ya que la celosía es de canto variable y las diagonales pueden ajustarse perfectamente a los cordones dando un aspecto de limpieza y elegancia.



Desde el lado estructural y constructivo la celosía Warren es muy semejante al resto de celosías. Las diagonales trabajan exclusivamente a axil, un lado a compresión y otro a tracción. Al no poseer montantes los esfuerzos se transmiten exclusivamente por las diagonales.

## 6.2 Alternativa 2: Solución mediante arco semielíptico de acero

La alternativa que se trata en esta sección es aquella solución mediante arco semielíptico de acero. La superficie a cubrir por la infraestructura es la misma para las 4 soluciones propuestas, ésta es de 42 metros de luz por 28 metros de longitud, obteniendo así una superficie útil de 1.176 metros cuadrado.

La disposición geométrica de la nueva infraestructura es la que se ve en la siguiente figura. En esta imagen se tiene a la izquierda el nuevo hangar escalado respecto a los tres que hay ya construidos en el aeródromo.

### Alzado principal



Figura 6.2. Situación después de la construcción de esta propuesta

La estructura se compone de 5 arcos metálicos separados a una distancia de 7 metros lo que suman un total de 28 metros. La forma del arco es de una semielipse cuyo eje mayor es de 42 metros y el semieje menor es de 11 metros, que se corresponde con la altura máxima del arco. La decisión de esta geometría es debida a que al ser el arranque de la semielipse perpendicular a la cimentación se transmiten esfuerzos horizontales menores que si los arranques tuviesen cierta inclinación.

Cada arco dispone de dos apoyos en cimentación articulados por lo que liberan el momento transmitido a la zapata. Ambos apoyos están conectados entre sí mediante un tirante que conecta las zapatas opuestas y absorbe las reacciones horizontales provocadas por el arco en cimentación y lo mantiene en equilibrio.

Para solucionar los efectos de las acciones horizontales en la estructura se ha dispuesto una serie de riostras de viento entre los pórticos 1-2 y 4-5 que aportan rigidez y estabilidad al conjunto en la dirección longitudinal.

El peso del cerramiento y los esfuerzos de las acciones exteriores se transmiten a los pórticos mediante correas de sección tubular, modelizadas como viga continua de cuatro vanos con 5 apoyos fijos correspondientes a cada uno de los pórticos.

Los cerramientos verticales, es decir, el de fachada principal y trasdós están resueltos mediante una serie de pilares, 5 en el trasdós y 4 en la fachada principal (debido a la localización de la puerta), empotrados en cimentación y conectados al arco mediante unas piezas metálicas que solo transmiten cortante en la dirección longitudinal de la nave. Esto quiere decir que los pilares no están cargados con esfuerzos axiales transmitidos por el arco ya que estos funcionan independientemente de los pilares y solo transmiten carga cuando el viento incide en el cerramiento que soportan los mismos transmitiendo estos esfuerzos al arco.

El modelo estructural, introducido en el programa de cálculo informático utilizado, es el siguiente:

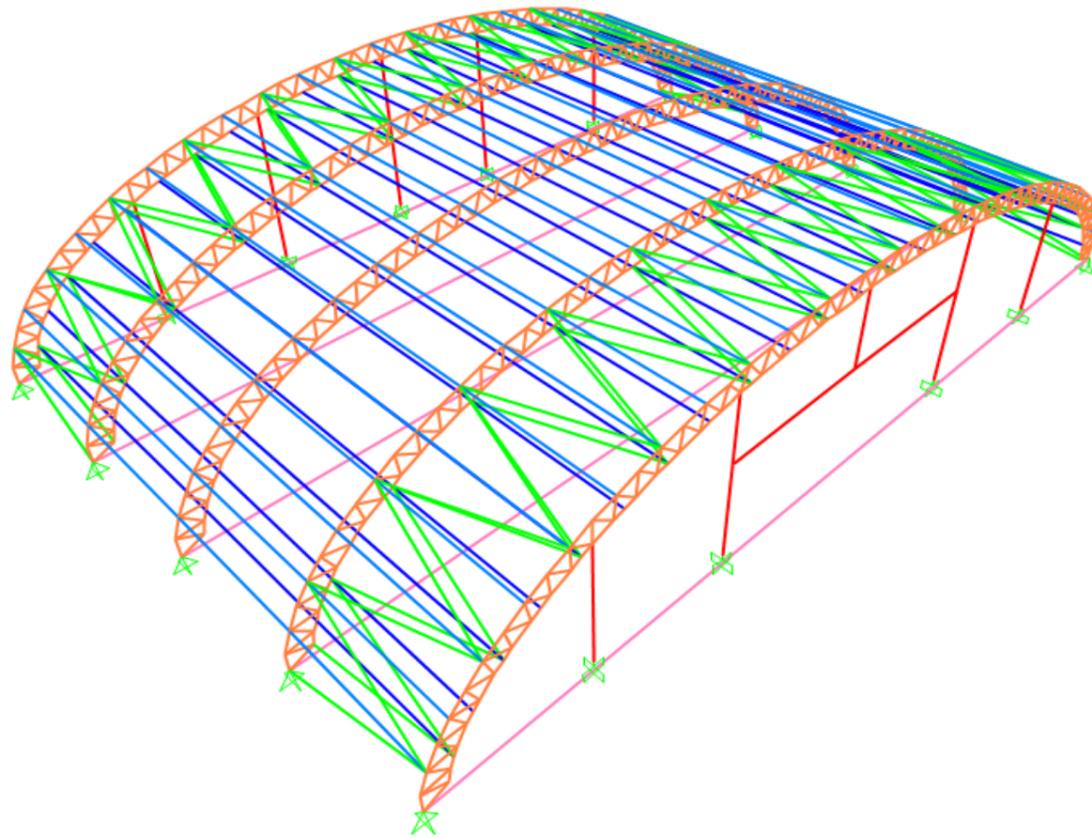


Figura 6.3. Modelo estructural de la solución mediante arco semielíptico de acero

La superestructura está conformada por 5 arcos de acero idénticos. Cada uno de los arcos esta materializado por una celosía tipo Warren que presenta los siguientes elementos:

- Cordón superior: perfiles HEB 120, dispuestos geoméricamente con el alma en el plano del arco.
- Cordón inferior: perfiles HEB140, dispuestos geoméricamente con el alma en el plano del arco.
- Diagonales: conformada por dos perfiles metálicos diferentes a lo largo de su longitud. Perfiles UPN 160, en la zona de arranque de los arcos, ya que estos soportan esfuerzos notablemente superiores al resto de zonas. Y perfiles UPN 120, para la mayor parte de las diagonales del arco.

Cabe decir que las uniones entre estos 3 elementos son rígidas debido a que el momento transmitido es muy pequeño, y articularlas supondría una mayor dificultad a la hora de construirlo.

Las correas y riostras del viento forman una especie de efecto diafragma tanto en el plano del cordón superior como en el inferior de la celosía, que arriostra los arcos y limita las longitudes de pandeo de estos elementos. Este hecho es importante debido a que los cordones deben soportar grandes esfuerzos de compresión. Ambos elementos están materializados por perfiles tubulares ya que a lo largo de la longitud del arco varía la inclinación de los mismos y conviene que tenga la misma inercia en ejes principales.

Los pilares hastiales de la estructura están conformados por perfiles metálicos HEB 260, limitados por la esbeltez de la pieza ya que el pilar mayor alcanza una longitud de 11 metros.

### 6.3 Alternativa 3: Solución mediante arco parabólico de hormigón armado

El caso particular que vamos a tratar en este epígrafe consiste en un arco de hormigón armado con una luz entre apoyos de 42 metros, con una inclinación de 47° medidos respecto a la horizontal, y 12 metros de altura en el punto central.

Las condiciones iniciales necesitaban salvar una luz de 42 metros, y es por esto por lo que se ha decidido elegir el arco como diseño ya que trabajará a compresión principalmente. Debido a que el arco está concebido como una parábola de ecuación

$$y = -\frac{4}{147}x^2 + \frac{8}{7}x$$

el arco no es antifunicular de cargas por lo que la línea de empujes se saldrá de la línea que define la parábola y por tanto aparecerá el fenómeno de la flexión en el arco, lo que hará necesaria la armadura para poder resistir los esfuerzos a los que estará sometido. Por tanto, el arco se ha diseñado mediante una sección rectangular de base de 0,5 m y una altura de 0,7 m cuya directriz es la parábola anteriormente mencionada.

En los apoyos, se ha modelado un arco articulado en un extremo, y mediante un carrito en el otro extremo, unidos ambos extremos por un cable trabajando a tracción para poder llevarse la componente horizontal del esfuerzo a compresión que le llega al arco en la base, ya que el



valor de la misma sería muy similar al valor de la componente horizontal por estar inclinado  $47^\circ$  y obligaría a construir zapatas de grandes dimensiones.

Los arcos se han dispuesto cada 5,6 metros para cubrir los 28 metros que tiene el hangar en la otra dirección, por lo que la estructura estará formada por 6 arcos entre los cuales se dispondrán correas cada 2 metros medidos en la proyección horizontal cuya función principal es la de servir de sujeción al cerramiento de cubierta pero además también colaborarán en dar estabilidad a la estructura en el plano perpendicular a los pórticos frente a la acción horizontal generada por el viento en la fachada.

En los huecos que quedan entre los arcos extremos, se dispondrán UPN que será el elemento que resistirá mayoritariamente los esfuerzos horizontales que el viento genera en la fachada.

La unión del arco a la cimentación se ha diseñado mediante dos chapas metálicas a modo de orejeras que quedan embebidas en el arco durante su construcción y que transmiten los esfuerzos mediante un bulón pasador a la placa de anclaje que se encuentra en la cimentación.

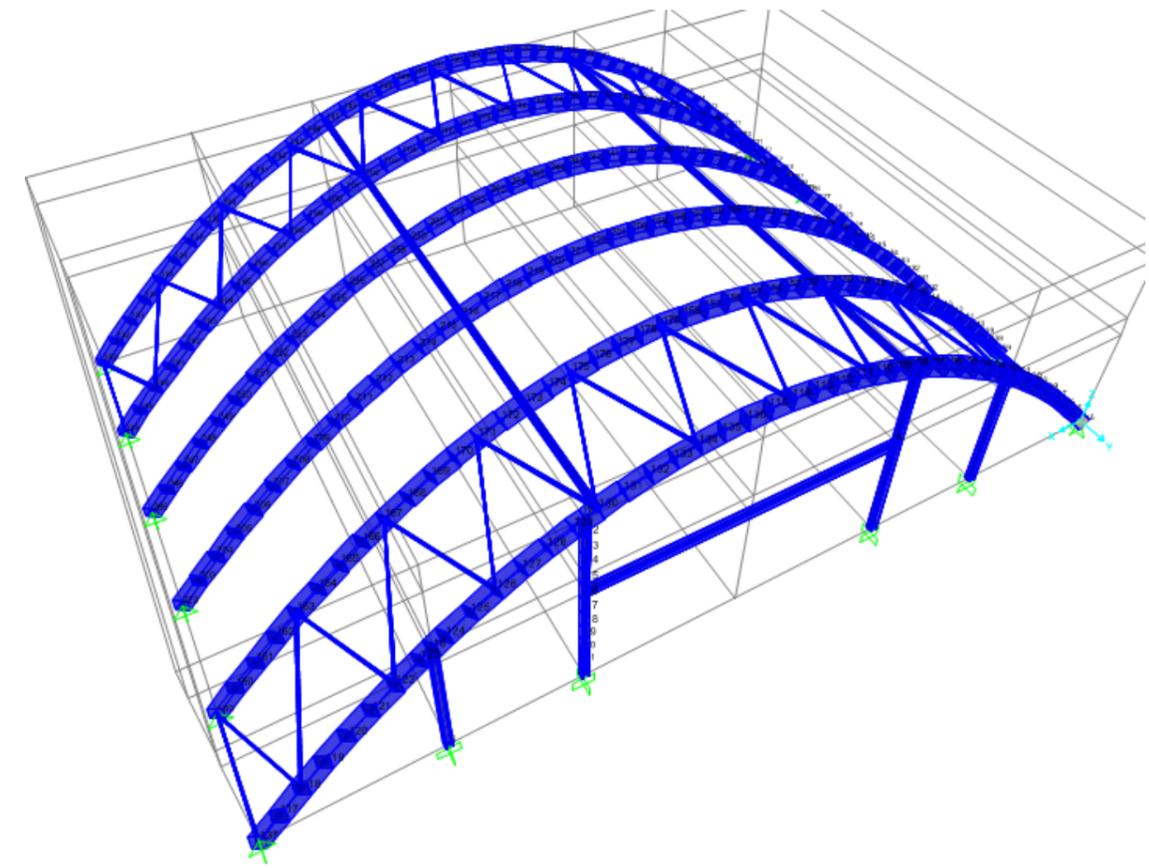


Figura 6.4. Modelo estructural de la solución mediante arco parabólico de hormigón armado

#### 6.4 Alternativa 4: Solución mediante pórticos mixtos con celosía metálica Pratt

El caso que vamos a tratar a continuación consiste en una estructura mixta de acero y hormigón armado que cubre un espacio diáfano de 1.176 metros cuadrados (42x28). Presenta una luz principal entre apoyos de 42 metros de longitud, que se ha salvado mediante una cercha metálica curva tipo Pratt.



Figura 6.5. Alzado de la estructura

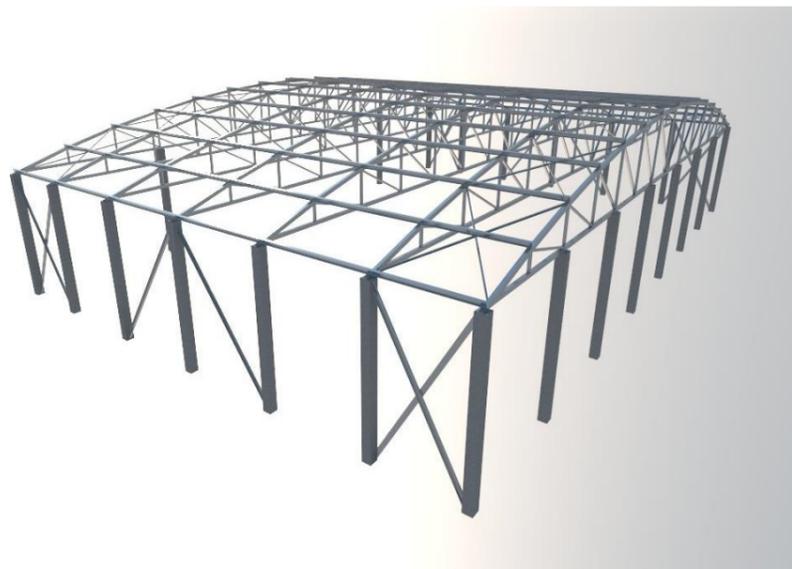


Figura 6.6. Diseño estructural de la solución mediante pórtico mixto con celosía metálica Pratt

Los pilares de la estructura son de hormigón armado, a diferencia del resto de los elementos estructurales que son de acero. Se ha optado por esta solución debido a diversos factores:

- En cuanto a aspectos relacionados con el cálculo, los riesgos de pandeo son más propios en los pilares metálicos, pues en el hormigón es muy poco frecuente.
- En caso de problemas de humedades, los problemas de corrosión son menos importantes en el hormigón que en el acero.
- También en el caso de incendio, el hormigón asegura mayor protección al fuego que el acero.
- En el aspecto económico, resulta más ventajoso la construcción en hormigón que en acero.

- En el aspecto estético es una solución bonita, donde el contraste llama la atención para bien. Además, al tratarse de un estudio de soluciones, ésta que se plantea es diferente a todas las demás, entre las que no hay ninguna estructura mixta.

La estructura va empotrada a la cimentación y cabe mencionar que se han desconectado todos los momentos flectores en la cabeza de cada pilar.

Entre los pórticos extremos y en los intermedios se han dispuesto cruces de San Andrés verticales de pilar a pilar para impedir movimientos horizontales causados por la acción del viento. Esta misma solución se ha ejecutado también entre los cordones superiores de los pórticos 1-2 y 6-7, siendo en este caso cruces de arriostamiento dispuestas en una posición sensiblemente horizontal, pues realmente lleva la misma inclinación con respecto a la horizontal que lleva el cordón superior de los pórticos.

También entre los pórticos 1-2, comenzando a nombrar por la fachada principal que tiene el hueco donde se colocará la puerta, existen unos perfiles tubulares que van del cordón inferior del pórtico extremo al superior del siguiente. Estos perfiles inclinados sirven para repartir los esfuerzos causados por las acciones horizontales del viento que repercuten directamente contra la puerta. Esto es así puesto que la puerta va colgada directamente del cordón inferior del pórtico, como ya se explicará más adelante.

Existen también correas en la cubierta y en los paramentos verticales. Las primeras están colocadas cada tres metros en proyección horizontal mientras que las segundas se distribuyen cada dos metros; estando colocada la superior y la inferior respectivamente a medio metro de los extremos de cada pilar.

Todo el cerramiento del hangar, incluyendo la cubierta, va constituido por paneles sándwiches. El resto de características estructurales se exponen en el Anejo II. Análisis estructural.

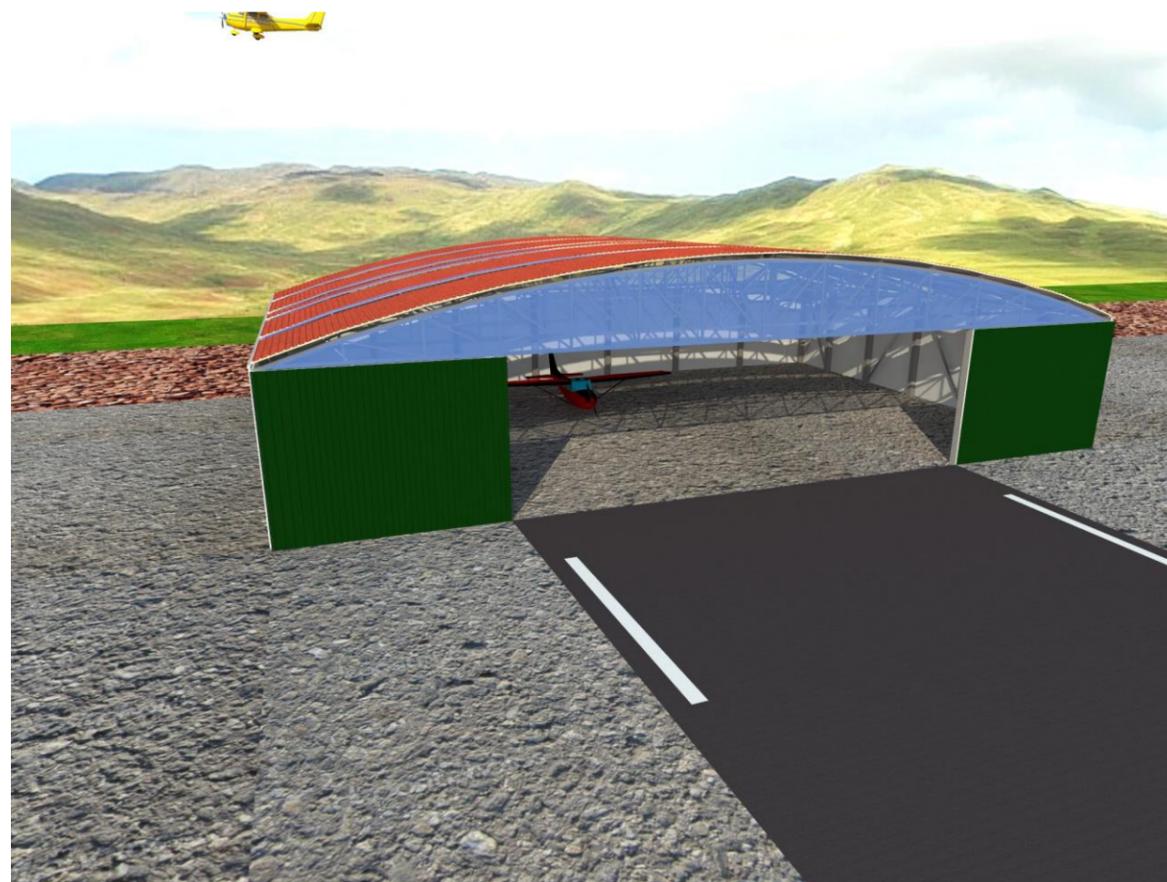


Figura 6.7. Fotografía virtual del aspecto de la cuarta alternativa

Los perfiles y secciones que componen cada uno de los elementos estructurales son los siguientes:

- Cordón superior: 2UPN200
- Cordón inferior: 2UPN180
- Montantes y diagonales: 2UPN120
- Correas de cubierta: IPE200
- Correas de paramentos verticales: IPE160
- Cruces de San Andrés (horizontales entre cordones): L80x80x10
- Diagonales puerta: 2UPN100
- Cruces de San Andrés (verticales entre pilares): UPN200
- Pilares 50x50 de HA-25

## 7. Resumen del presupuesto

CAP 01	LIMPIEZA Y TRABAJOS PREVIOS .....	3,864.00	0.84
CAP 02	ACONDICIONAMIENTO DE TERRENOS.....	16,242.93	3.54
CAP 03	CIMENTACIÓN.....	11,232.40	2.45
CAP 04	ESTRUCTURA .....	128,666.06	28.01
CAP 05	CERRAMIENTO .....	102,755.49	22.37
CAP 06	URBANIZACIÓN.....	184,464.00	40.16
CAP 07	SEGURIDAD Y SALUD .....	12,101.24	2.63
<b>TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL</b>		<b>459,326.12</b>	

## 8. Documentos que se adjuntan

Para esta solución en concreto, la comentada como alternativa 4, se adjuntan los siguientes documentos:

- DOCUMENTO Nº1. MEMORIA
- ANEJO I. ESTUDIO GEOTÉCNICO
- ANEJO II. ANÁLISIS Y CÁLCULO GEOTÉCNICO
- ANEJO III. ANÁLISIS Y CÁLCULO ESTRUCTURAL
- ANEJO IV. PLAN DE OBRA
- ANEJO V. INFOGRAFÍA
- DOCUMENTO Nº2. PLANOS
- DOCUMENTO Nº3. PRESUPESTO



ESTUDIO DE SOLUCIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN HANGAR EN EL AERÓDROMO DE EL REBOLLAR. REQUENA  
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA. ETSICCP

---

