



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE GRADO

Estudio técnico-económico para la rehabilitación del Autódromo de Terramar, T.M.
Sant Pere de Ribes (Barcelona).

Presentado por

Motos Puchades, Onofre

Para la obtención del

Grado de Ingeniería Civil.

Curso: 2017/2018

Fecha: septiembre de 2018

Tutor: Víctor Martínez Ibáñez

MEMORIA.

ÍNDICE

1. Objeto.....	1
2. Localización.	2
3. Antecedentes históricos.....	2
4. Estudios previos.....	4
4.1. CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA.....	4
4.2. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA.....	4
4.2.1. Marco geológico general.....	4
4.2.2. Figuras de protección medioambiental.....	5
4.2.3. Estratigrafía.....	5
4.2.4. Sismicidad y distribución de zonas tectónicas.....	6
4.2.5. Características geomecánicas.....	7
4.3. PLANEAMIENTO URBANÍSTICO.....	7
5. Actuaciones proyectadas.	7
5.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.	7
5.2. REHABILITACIÓN DEL FIRME.....	8
5.2.1. Descripción del estado actual.....	8
5.2.2. Patologías detectadas.....	8
5.2.3. Actuaciones de reparación.	10
5.3. DISEÑO DE LA GRADA.	10
5.3.1. Descripción del estado actual.....	10
5.3.2. Geometría de la grada.	12
5.3.3. Alternativas estructurales.....	13
6. Ejecución de las obras.	15
6.1. PROGRAMA DE TRABAJOS.	15
6.2. CONTROL DE CALIDAD.	15
6.3. GESTIÓN DE RESIDUOS.	15
6.4. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y SALUD.	16
6.5. VALORACIÓN ECONÓMICA.	17
7. Documentos de los que consta el proyecto.....	17
8. Consideraciones finales.....	18



1. Objeto.

Con el presente *Estudio Técnico-Económico* se procede a la definición de los trabajos necesarios para la *Rehabilitación del Autódromo de Terramar, en el Término Municipal de Sant Pere de Ribes, provincia de Barcelona*, con el objetivo de reanudar la explotación de las instalaciones en las mejores condiciones de seguridad tanto para las personas que quieran conducir por la pista como para las personas que vayan a ver las distintas actividades que allí se realicen.

Con el *Estudio Técnico-Económico* se considera que se alcanza el nivel exigido en un Trabajo de Fin de Grado para la obtención del título de **Graduado en Ingeniería Civil**.

2. Localización.

El *Autódromo de Terramar* se encuentra situado entre Sitges y Sant Pere de Ribes, más próximo al primer municipio, aunque pertenece al término municipal del segundo. Estas poblaciones se encuentran dentro de la provincia de Barcelona, perteneciente a la comunidad autónoma de Cataluña, España. En la siguiente imagen se puede ver la localización del autódromo, viéndose con mayor detalle en los planos correspondientes a la localización.

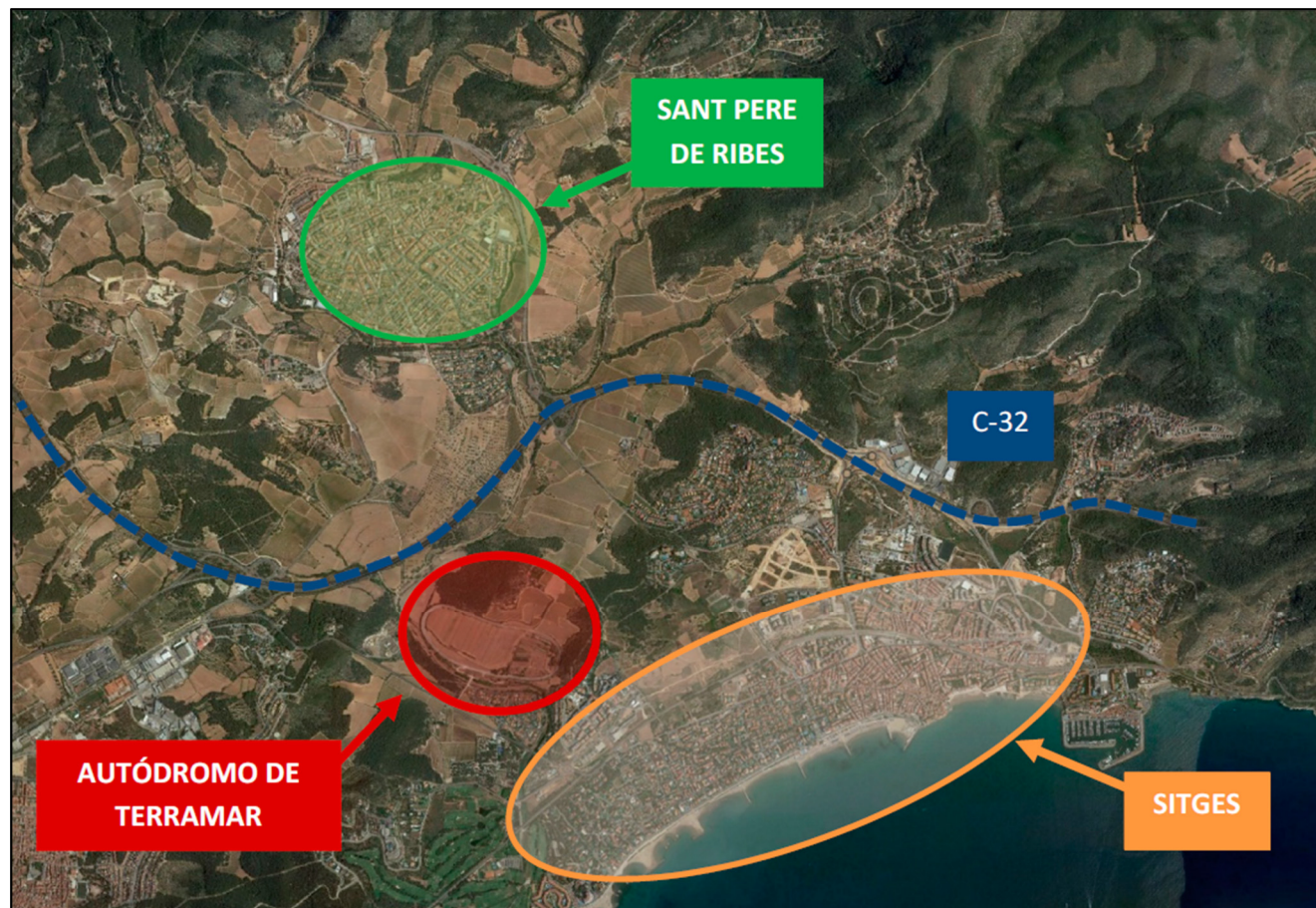


Ilustración 1 - Localización autódromo.

3. Antecedentes históricos.

A principios del siglo XX el crecimiento económico de Sitges y de las poblaciones colindantes atrajo a personas de distinta índole y poder adquisitivo medio-alto que tenían en común la creciente pasión por los deportes de motor. De esta pasión surgieron las primeras carreras oficiales de la época, como:

- *Copa Sportmen's Club*, disputada por los tramos que unían Sitges con Sant Pere de Ribes el 23 de febrero de 1908.
- *Copa Catalunya*, disputada entre Sitges-Sant Pere de Ribes-Canyelles-Vilanova i la Geltrú-Sitges y que contó con dos ediciones, la primera en mayo de 1908 y la segunda en mayo de 1909.

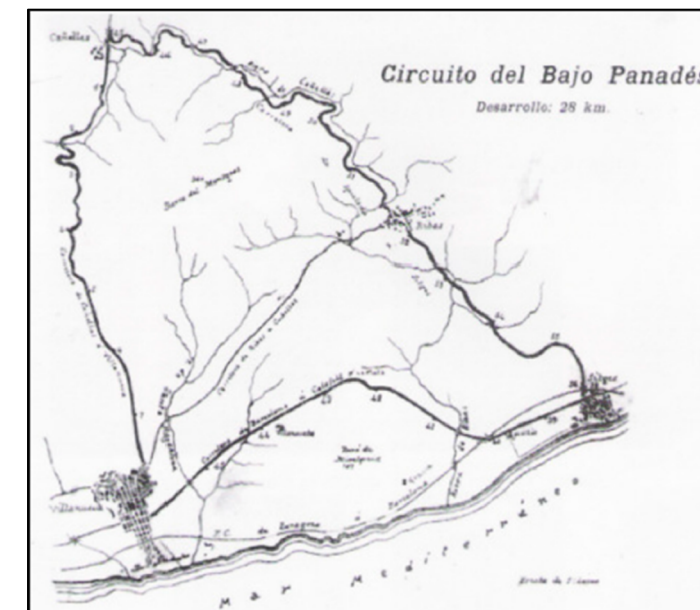


Ilustración 2 - Itinerario Copa Catalunya.

La decisión de realizar la tercera edición de la *Copa Catalunya* en otras poblaciones, por motivos básicamente económicos, dejó huérfana la región de pruebas de motor que satisficieran a los amantes del motor. Es aquí cuando aparece la figura de *Francesc Armengol i Durán* que, junto con diversos entusiastas del motor, idearon construir un recinto donde poder albergar competiciones de motor que mantuviesen a Sitges en el punto de mira del mundo automovilístico.

No es hasta el 28 de abril de 1922 cuando se inicia el proyecto del *Autódromo de Terramar* con la obtención de los terrenos, previo pago, *Clot dels Frares* y *Clot d'en Sidós* por parte de la Sociedad Anónima "*Autòdrom Nacional*". La elección de estos terrenos se encontraba estratégicamente ubicada en las afueras de Sitges, por lo que si esta crecía el autódromo no condicionaría el crecimiento, y cerca de la actual C-246 y del paso del ferrocarril, que facilitarían la llegada del público.

El proyecto inicial del autódromo constaba de las siguientes instalaciones:

- La pista del propio autódromo.
- Pista de tierra para caballos en el interior.



- Pista para motocicletas.
- Pista de aterrizaje para avionetas.

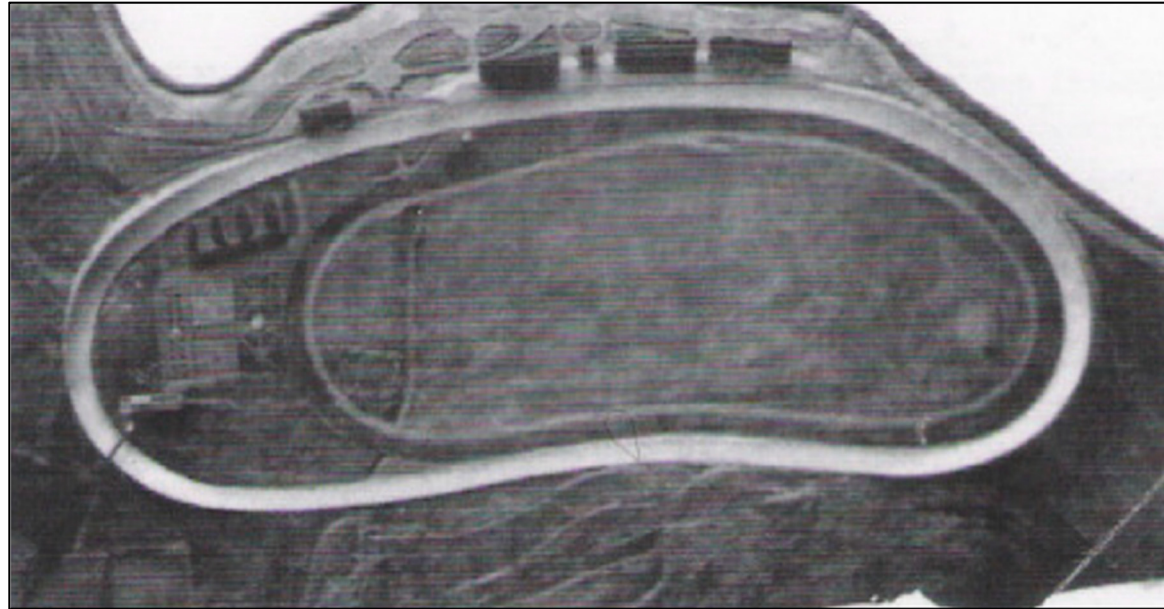


Ilustración 3 - Maqueta del Autódromo de Terramar.

La concepción del autódromo fue obra del arquitecto *Jaume Mestres i Fosas*, que lo diseñó con las siguientes características:

- 2 km de longitud.
- 18 metros de ancho en las rectas que se ampliaban hasta 22 metros en los virajes.

Su construcción duró un total de 300 días y tubo un coste final de 4 millones de pesetas.

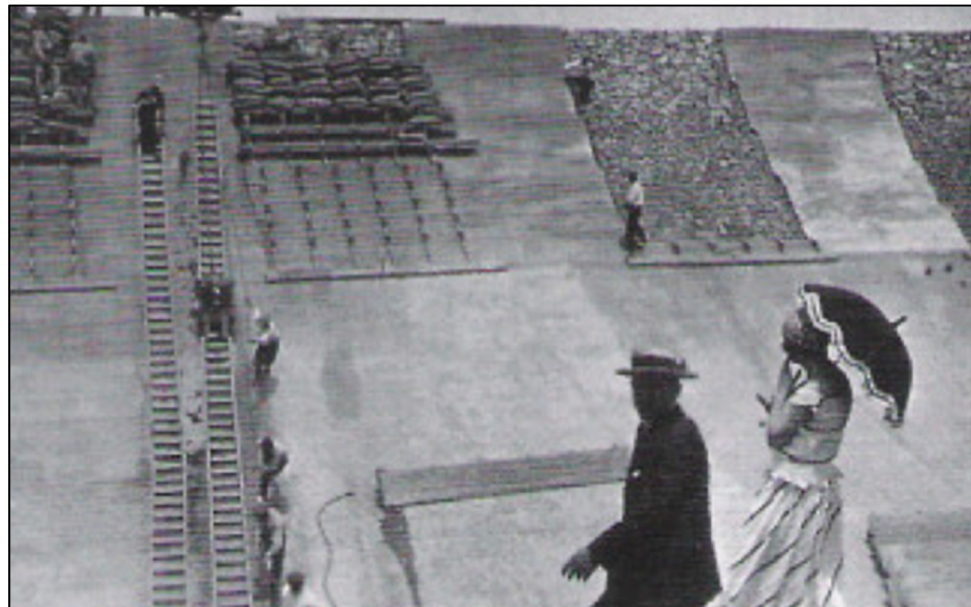


Ilustración 4 - Construcción del firme.

El encargado del diseño de las dos tribunas fue el arquitecto *Josep María Martino Arroyo* y fueron construidas por la constructora de la época *Tanner & Eigenheer*. Cada tribuna tenía un largo de 90 metros y supusieron un costo de 101.300 pesetas cada una.

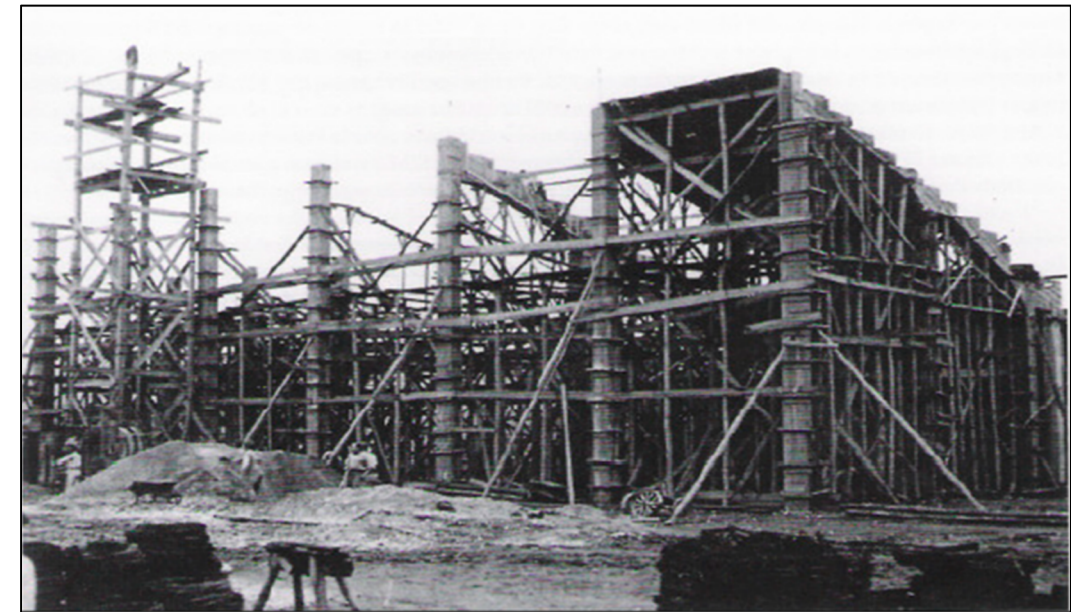


Ilustración 5 - Construcción de las tribunas.

La inauguración del Autódromo de Terramar fue el 28 de octubre de 1923 y a este acudieron grandes figuras de la época, entre ellas el infante Don Alfonso de Borbón y Battenberg en representación del rey Alfonso XIII.

Desde su inauguración hasta el año 1929 se van celebrando diversos campeonatos, al principio más importantes a nivel internacional y en los últimos años carreras menores. Este descenso de la importancia de las competiciones es debido a los diversos problemas económicos del autódromo que acaban suponiendo el cierre.

En 1930 aparece la figura de *Edgar Morawitz*, aristócrata y piloto, que adquiere el circuito por un total de 200.000 pesetas. Entre las diversas medidas que toma se encuentran la de aunar las parcelas y registrarlas como una sola y la de añadir una fábrica de piezas de coches de carrera.

En 1932 se vuelven a realizar carreras en el autódromo, entre las que destacan el *Campeonato de España de Motociclismo*. También organizó carreras espectáculo entre avionetas y coches.

A pesar de aportar nuevas ideas y la realización de diversas carreras no se obtenía beneficio económico alguno, esto unido a la posición antifranquista de la región y la utilización de los terrenos del autódromo como cuartel republicano supuso que el nuevo dueño lo vendiese ante la posibilidad de represalias.

Tras pasar de mano en mano durante unos cuantos años es finalmente *José Emilio Ferrer Dalmao* y su esposa quienes se hacen con la propiedad de los terrenos con el objetivo de explotarlos mediante la agricultura y la ganadería en 1946.

En 1955 se realiza la última carrera en el Autódromo de Terramar, que fue ganada por el mismo piloto que ganó la primera carrera realizada en la inauguración.

Esta fue la última carrera que se realizó en el autódromo, el primer autódromo de España y tercero de Europa quedó olvidado, condenado a la decadencia por el paso de los años desapareciendo del ámbito deportivo.

4. Estudios previos.

4.1. CARTOGRAFÍA Y TOPOGRAFÍA.

Para la definición gráfica de las estructuras y de las obras auxiliares se ha utilizado como base cartográfica para los diferentes estudios asociados a la redacción del presente proyecto se ha empleado la cartografía oficial disponible propiedad del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de l'*Institut Cartogràfic de Catalunya (ICGC)*.

Dicho esto, la cartografía empleada es la siguiente:

- Mapa Topográfico Nacional 1:50.000.
- Mapa Topográfico Nacional 1:25.000.
- Mapa Topogràfic 1:5000.

El sistema de referencia empleado en dicha cartografía es el actualmente vigente ETRS-89.

En cuanto a la topografía, no se cuenta con los planos topográficos de la zona por lo que será necesario realizar un levantamiento topográfico de los terrenos del autódromo.

4.2. GEOLOGÍA Y GEOTECNIA.

Las fuentes de información consultadas para el desarrollo de este anejo son las siguientes:

- Mapa Geológico de España 1:200.000. Hoja 42-Tarragona. Instituto Geológico y Minero de España.
- Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 447-Vilanova y la Geltrú. Instituto Geológico y Minero de España.
- Mapa geológico comarcal de Cataluña 1:50.000. Cartografía Temática. Serie Geológica, Garraf. Instituto Geológico de Cataluña.
- Mapa de grupos litológicos de Cataluña 1:250.000. Instituto Geológico de Cataluña.
- Sitio web del Instituto Geológico de Cataluña.
- Código Técnico de la Edificación, Documento Básico, Seguridad Estructural-Cimientos.
- Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación. (NCSE-02)

4.2.1. Marco geológico general.

Situado en la provincia de Barcelona, el *Autódromo de Terramar* pertenece al término municipal de Sant Pere de Ribes, situado al suroeste del *Macizo del Garraf*, aunque se encuentra muy cercano al centro urbano de Sitges. Es por ello que se va a analizar la geología próxima a Sitges. Este *Macizo del Garraf* se levanta entre el valle del Llobregat, la falla meridional de la depresión miocénica del Penedés y el mar Mediterráneo.

Para caracterizar la geotecnia del terreno donde se encuentra el autódromo se ha consultado estudios geotécnicos de proyectos cercanos a este, como el del Proyecto de la “Variante Ferroviaria en el Municipio de Sitges”.

4.2.2. Figuras de protección medioambiental.

En cuanto a las zonas protegidas por la legislación medioambiental de la comarca del Garraf, como se puede ver en la siguiente imagen, se encuentra el parque natural del Garraf.

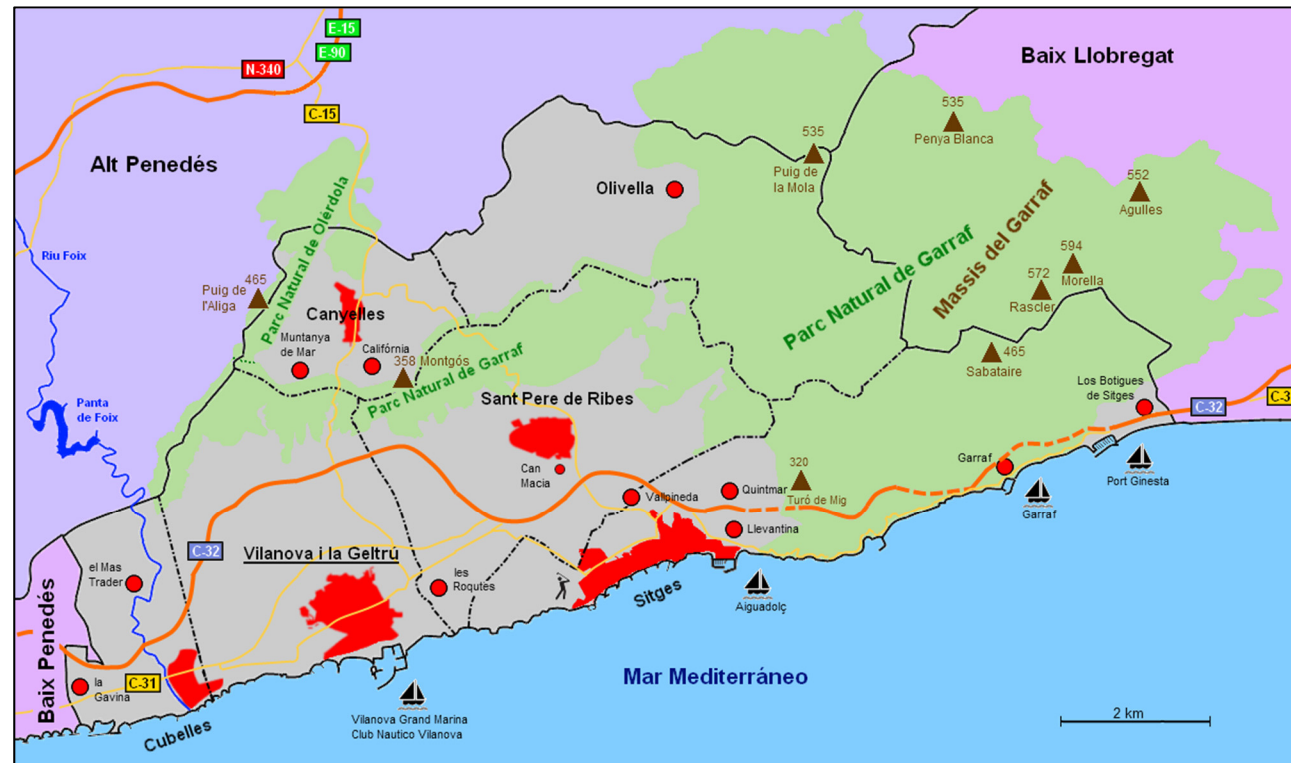


Ilustración 6 - Parque natural del Garraf.

Este parque natural posee una legislación propia conocida como “Plan especial de protección del medio físico y del espacio natural del Garraf”. Esta legislación opera como norma interpretativa general para el establecimiento de un régimen de protección y conservación del medio físico, el paisaje, los sistemas naturales y la diversidad biológica del espacio natural de Garraf, compatible con el aprovechamiento sostenible de sus recursos y la actividad de sus habitantes, así como la ordenación del uso público y el fomento del conocimiento y el respeto al medio.

Como se puede observar en la imagen anterior el Autódromo de Terramar, más próximo a Sitges que a San Pere de Ribes, se encuentra fuera de la zona de protección del parque natural del Garraf.

4.2.3. Estratigrafía.

Para caracterizar el terreno en el que se encuentra situado el autódromo de Terramar es necesario determinar la estratigrafía de la zona.

Como se puede observar en el mapa geológico siguiente, los materiales del terreno no se distribuyen de manera homogénea por área que ocupa el autódromo, si no que hay distintos estratos, de mayor o menor antigüedad, distribuidos por la zona.

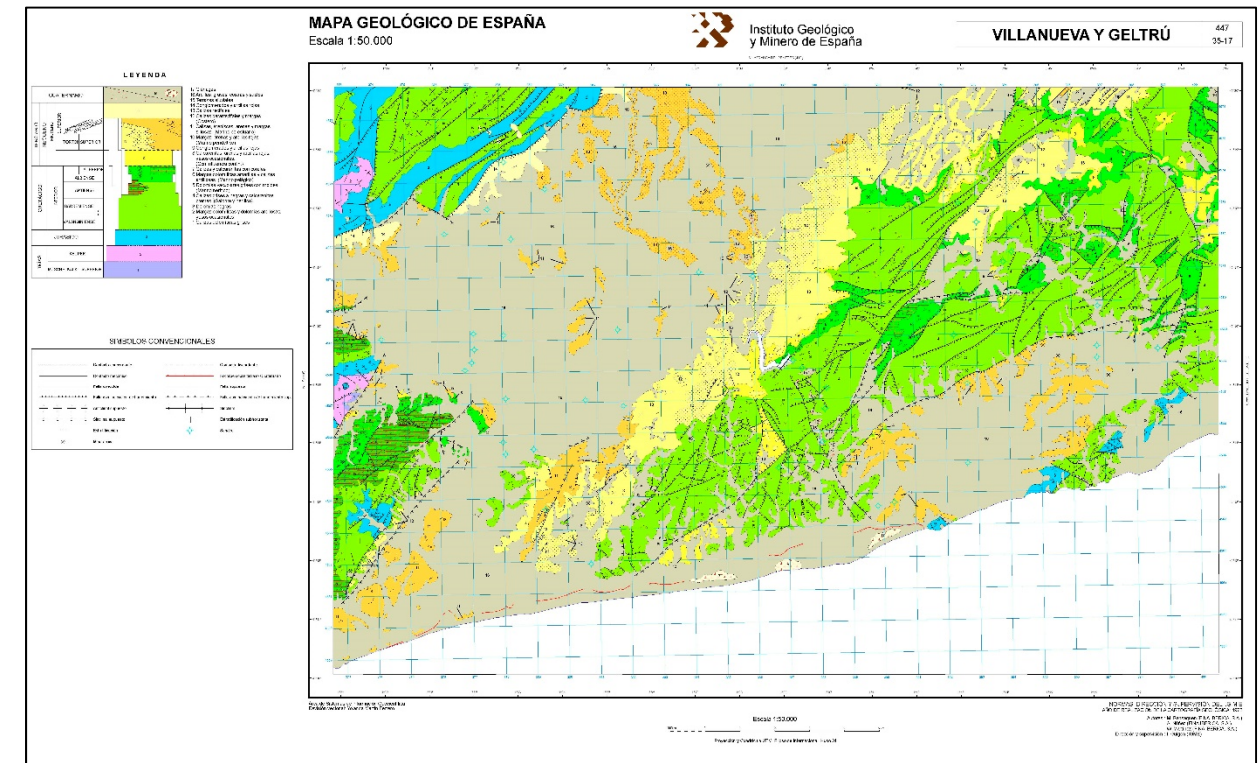


Ilustración 7 - Mapa Geológico de España 1:50.000. Hoja 447-Vilanova y la Geltrú.

Entrando más al detalle, se puede observar que la constitución estratigráfica del macizo del Garraf registra de forma clara los materiales del Jurásico-superior (dolomías) y del Cretácico (calcáreas, margas y biocalcareniticas).

Concretamente en la zona que ocupa el autódromo se encuentran las siguientes formaciones rocosas:

Materiales jurásicos-cretácicos

- Jd: Dolomías y calcáreas. Jurásico-Cretácico inferior.

Materiales cretácicos

- CVBcd: calcáreas con intercalaciones dolomíticas. Valanginiense-Barreniense.

Materiales cuaternarios

- Qg: Pie de monte (derribos de pendiente y facias proximales de abanicos aluviales). Pleistoceno.
- Qpa: llanura aluvial. Gravias, arenas y lutitas. Holoceno superior.
- Qp: Sedimentos de playa. Holoceno superior.
- Qt1: Terraza fluvial. Gravias, arenas y lutitas. Holoceno.
- Qr: Depósitos de los lechos actuales de rieras y torrentes. Holoceno.

- Q: Sedimentos recientes de fondos de valles, rieras y pie de monte. Holoceno.

No existen afloramientos de materiales paleozoicos, dado el marcado carácter monoclin que, acompañado por una fracturación con innumerables reajustes antitéticos, impide el afloramiento de términos estratigráficos antiguos.

El macizo del Garraf se presenta como un enorme bloque de materiales mesozoicos que a grandes rasgos están dispuestos subtabularmente y ligeramente basculados hacia el suroeste. Esta disposición se complica por la existencia de una fracturación muy desarrollada. Lo más relevante desde el punto de vista estructural es la existencia de fallas normales de bajo ángulo y de edad probablemente miocénica. Estas fallas dan lugar a casquetes con omisión de parte de la serie sedimentaria a la vez que en la base se produce una intensa brechificación por el mecanismo de cizalla frágil.

También hay que destacar que el Macizo del Garraf presenta una morfología kárstica de las más importantes a nivel nacional, ya que recoge todas las formas típicas de la morfología kárstica fósil y un sistema de karst activo profundo.

4.2.4. Sismicidad y distribución de zonas tectónicas.

1. Tectónica.

Como se puede observar en el esquema tectónico, adjunto al final de este punto, al oeste de la falla de transformación en cizalla del Baix Llobregat, y teniendo por base la línea Martorell-Cornellá, un triángulo cuyo vértice se sitúa en el Vendrell, constituye la parte visible de un gran bloque de zócalo basculado en dirección NO, con hundimiento axial hacia el Suroeste, SO a partir de ahora. Este dispositivo, en combinación con el recorte topográfico del valle del Llobregat, hace que en el Macizo del Garraf aparezcan términos sedimentarios cada vez más jóvenes a medida que nos desplazamos al SO, pasando del Paleozoico en Sant Feliu al Mioceno en el Vendrell.

La depresión del Penedés corresponde a un surco disimétrico, comprendido entre la Dorsal del Penedés y su posible prolongación hacia Sant Sadurn d'Anoia y el relieve del Garraf. El substrato mesozoico del graben presenta la misma estructura en teclas de piano que la del bloque del Garraf.

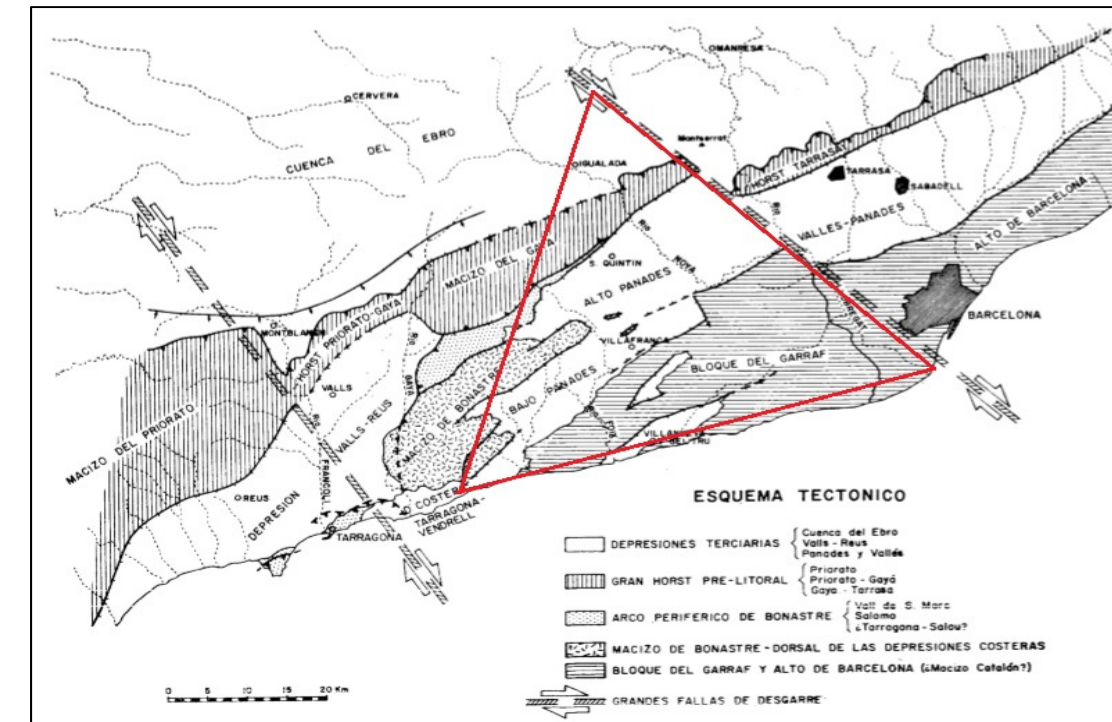


Ilustración 8 - Esquema tectónico de la zona 1.

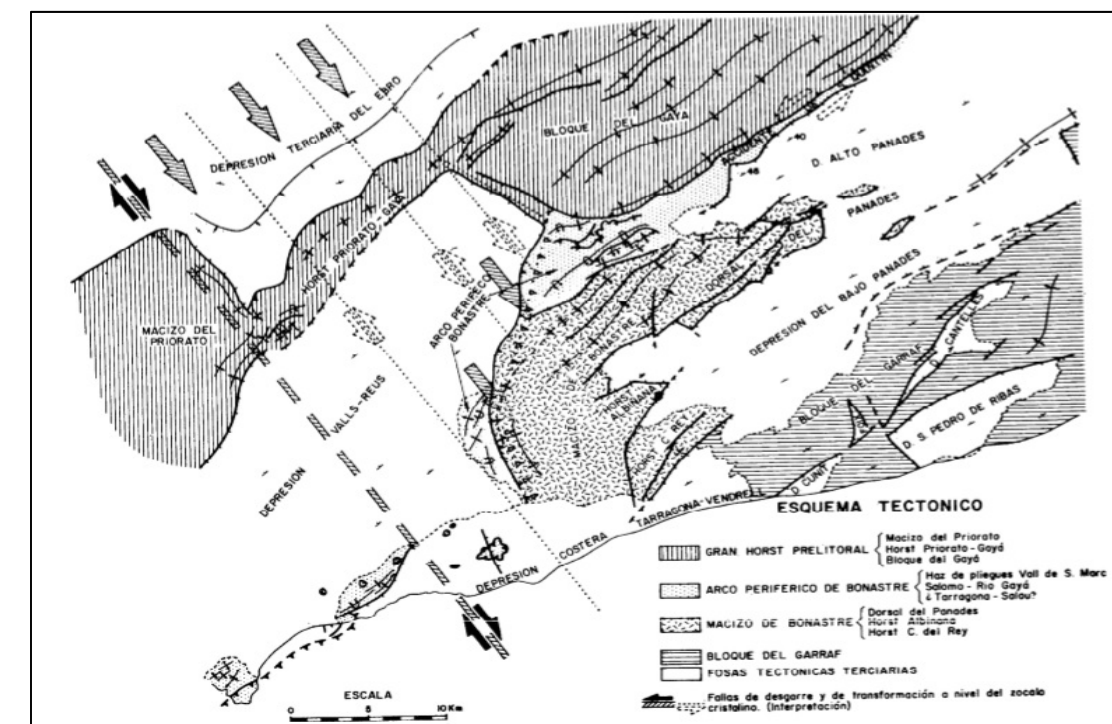


Ilustración 9 - Esquema tectónico de la zona 2.

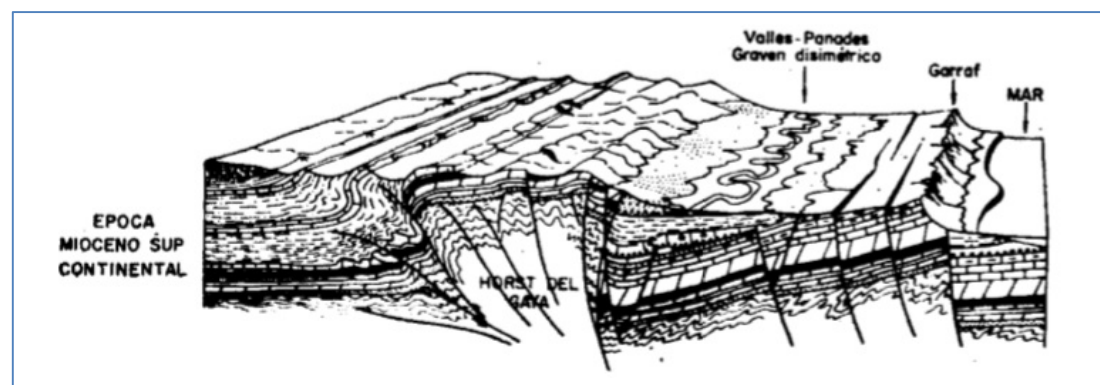


Ilustración 10 - Perfil tectónico de la zona.

2- Clasificación de la obra.

Según la NCSE-02, la rehabilitación del autódromo de Terramar se considera una obra de importancia NORMAL, ya que si se produjese un sismo la destrucción que provocaría puede ocasionar víctimas o provocar importantes pérdidas económicas, sin que en ningún caso se trate de un servicio imprescindible ni pueda dar lugar a efectos catastróficos.

4.2.5. Características geomecánicas.

En cuanto a la naturaleza geomecánica de los materiales, es diferenciable el comportamiento del macizo rocoso (y a su vez que sea este carbonatado, yesífero o salino) y el de los materiales de relleno de las paleoformas (cavidades, dolinas, chimeneas, etc.). En el primer caso, las rocas carbonatadas son mucho más resistentes y con mayor capacidad portante que los yesos y las sales, estos, además de poseer características geotécnicas menos resistentes, presentan comportamientos plásticos y halocinéticos.

En concreto, para la zona próxima al autódromo el terreno formado principalmente por roca caliza presenta las siguientes características:

- Densidad: 2.200 kg/m³.
- Resistencia a compresión: 80 Kp/cm².
- Ángulo de rozamiento interno: 30°.
- Cohesión: 10,20 Kp/m².
- Permeabilidad nula.

4.3. PLANEAMIENTO URBANÍSTICO.

El Plan de Ordenación Urbana de Sant Pere de Ribes clasifica los suelos del terreno como *Terciario-Parque Temático, de intensidad II*. La realización de las obras de rehabilitación del autódromo no va a suponer un cambio en este planeamiento urbanístico, no viéndose afectado el uso y la gestión del suelo.

5. Actuaciones proyectadas.

5.1. ANÁLISIS DE LA DEMANDA.

Para el análisis de la demanda, y Predimensionamiento posterior de la grada, se ha realizado una recopilación del número de espectadores que pueden albergar los principales circuitos ubicados en España. A continuación, se ofrece un listado con estos circuitos y el número de espectadores que pueden albergar en sus gradas.

CIRCUITO.	ESPECTADORES.
Circuito de Jerez.	125.000
MotorLand Aragón.	110.000
Circuito Ricardo Tormo.	120.000
Circuito de Catalunya.	140.700
Circuito del Jarama.	80.000
Circuito de Almería.	-
Circuito de Albacete.	7.200
Circuito Ascari Resort.	-
Circuito de velocidad Monte Blanco.	-
Circuito urbano de Valencia.	45.000
Circuito de Lluçmajor.	1.500

Tabla 1 - Capacidad de los espectadores de los principales circuitos de España.

Como se puede observar en el listado anterior, en los circuitos donde se desarrollan las principales pruebas oficiales de los distintos mundiales de automovilismo los espectadores rondan entre los 80.000 y los 140.000, mientras que en los circuitos donde no se desarrollan estas pruebas de nivel mundial y sirven para pruebas de categorías inferiores, nacionales, pruebas de pretemporada o uso de particulares la capacidad ronda entre los 1.500 y los 7.200, habiendo circuitos que directamente no tienen construidas gradas permanentes.

Teniendo esto en cuenta, la rehabilitación del *Autódromo de Terramar* está pensada para realizar eventos, para el uso de particulares, pruebas menores de coches de época, etc. por lo que las dimensiones de las gradas estarán pensadas para albergar pocos espectadores.

Se cogerá como ejemplo el *Circuito de Lluçmajor*, que con 3,20 kilómetros de largo tiene una capacidad de 1.500 espectadores. Teniendo esto en cuenta, y sabiendo el *Autódromo de Terramar* tiene una longitud de 2,00 kilómetros, se ha decidido que las gradas del autódromo tendrán una **capacidad de 1.000 espectadores**.

En cuanto al tráfico que rodará por el autódromo existe en la normativa propia de la F.I.A. un cálculo para la obtención del Número Máximo de Coches en una Carrera. Aun no realizando el estudio de la rehabilitación del *Autódromo de Terramar* para el desarrollo de carreras oficiales, se ha aplicado esta normativa para el cálculo, que a continuación se expone, de este número máximo de coches.

$$N=0,36 \times L \times W \times T \times G$$

Siendo:

- N: el número de coches, redondeado siempre hacia arriba.
- L: coeficiente que depende de la longitud del circuito. En este caso, al tener una longitud de 2 km, el valor será de 5.
- W: coeficiente que depende del ancho mínimo del circuito. El autódromo excede el máximo permitido por la normativa, por lo que se va a coger el menor de los valores por razones de seguridad siendo este 7.
- T: coeficiente que depende de la duración del circuito. Se va a suponer, en caso de que se realizase una competición menor, que esta no superase la hora, por lo que el valor correspondiente a este coeficiente es de 1.
- G: coeficiente que depende del grupo de coches que compiten en la carrera. Este coeficiente va a tener un valor de 0,60, pues los coches a los que se les permitirá competir son coches históricos y monoplazas de hasta 2.000 cm³.

Obtenido los valores de cada uno de los coeficientes, el número de coches máximo permitido en pista es:

$$N=0,36 \times 10 \times 9 \times 1 \times 0,80 \approx 8 \text{ vehículos.}$$

El porcentaje de pesados que se permitirá entrar en la pista es del 0%.

5.2. REHABILITACIÓN DEL FIRME.

5.2.1. Descripción del estado actual.

En la visita realizada al *Autódromo de Terramar* se obtuvo información de que desde la última carrera disputada en 1955 hasta mediados del año 2000 el firme construido se ha mantenido en total desuso viendo pasar el tiempo, mientras el resto de los terrenos pertenecientes al autódromo se han utilizado para la explotación agraria.

Según el guía del autódromo, es a mediados del ya nombrado año 2000 cuando se lleva a cabo un reacondicionamiento limpiando gran parte de la vegetación crecida entre las juntas y fracturas del hormigón, sin llegar a ejecutar ningún trabajo de rehabilitación estructural. Es por ello que el trazado mantiene su firme original, deteriorado por el paso del tiempo.

Se informó también que desde que el último comprador del autódromo cerrase el autódromo a las carreras automovilísticas la única zona de firme por la que han circulado vehículos fue la recta junto a las tribunas. Sobre ella los distintos camiones y maquinaria utilizados para la explotación agropecuaria alcanzaban el perímetro interior del autódromo. Es por ello que esta es la zona donde existen más losas de hormigón fracturadas. A lo largo de toda la traza la vegetación ha aflorado, tanto por estas fracturas como por las juntas de dilatación que se dejaron entre las losas de hormigón para evitar la rotura de estas por la dilatación. Lo mismo pasa en la recta más alejada de las tribunas, aunque esta presenta muchas menos fracturas al no haber pasado sobre ella tanta maquinaria y camiones. En general, las zonas de la traza que presentan mejor estado son los virajes, ya que desde que se cerró el autódromo

a la competición no se han vuelto a utilizar más que esporádicamente. Por último, también se pudo observar en la visita, que en la arista exterior del trazado existen zonas de terraplén que han perdido material, lo que ha llevado a la rotura de las losas de hormigón al perder el cemento donde se apoyaban.

En general, como se podrá observar en el reportaje fotográfico anexo al final de este anejo, el **Autódromo de Terramar** se conserva en buen estado, considerando que su construcción se llevó a cabo hace casi 100 años, y lleva en desuso y dejado sin ningún tipo de protección al paso del tiempo y a las inclemencias climáticas.

Los principales daños y alteraciones en el firme que se pueden observar son los siguientes:

- **Rotura de los cantos** de las losas situadas en la arista exterior del trazado por pérdida de material donde apoyarse.
- **Hundimiento de losas** por pérdida de material de la explanada sobre la que apoya.
- **Fractura de las losas** por el paso de maquinaria pesada.
- **Afloramiento de vegetación** a través de las juntas de dilatación y de las fisuras, producidas por la fracturación de losas.
- **Existencia de vegetación en los límites exterior e interior** del trazado que invaden o cubren parte de las losas de hormigón.

5.2.2. Patologías detectadas.

A continuación, se presentan las principales patologías detectadas en el firme de la traza del *Autódromo de Terramar* durante su visita.

- 1- **Crecimiento de vegetación** en los márgenes de la pista.





2- **Crecimiento de vegetación** entre las grietas de las fisuras y las juntas de dilatación.



3- **Rotura de losas** por pérdida del material de apoyo en los peraltes.



4- **Desconchado superficial** de las losas de hormigón.



5- **Hundimientos de losa de hormigón** por pérdida de material de apoyo.



5.2.3. Actuaciones de reparación.

Las principales actuaciones de reparación que se ejecutarán en el autódromo son:

- **Reparación de fisuras y grietas:** este tipo de reparación dependerá de la entidad de la fisura o grieta y del estado de deterioro de sus labios, siendo los más frecuentes para firmes rígidos:
 - *Sellado de la fisura* con materiales flexibles, pudiendo ser necesario realizar un cajeadado previo de la fisura mediante corte o fresado.
 - *Reconstrucción de los labios de la grieta o reparación de la misma*, en losas de hormigón, a espesor completo de la losa, en caso de estar muy deteriorados dichos labios, mediante mortero de resina o cemento, después de haberlas saneado convenientemente, creando una nueva junta.
 - *Unión de los bordes de la grieta*, en losas de hormigón, mediante grapas de acero (esta opción se descartará por completo para el autódromo).
- **Sellado de juntas de losas de hormigón:** se llevan a cabo cuando estas están excesivamente abiertas por movimientos del terraplén o cuando existen problemas en las capas subyacentes, con objeto de evitar el paso de agua. También se llevan a cabo como paso previo a la inyección con lechada de cemento. El material utilizado para el sellado de las juntas es *masilla elastómera monocomponente a base de poliuretanos* que se coloca previa *imprimación incolora a base de poliuretano*.
- **Reposición de losas de hormigón:** cuando una losa o un grupo de losas tiene roturas múltiples con hundimiento parcial de alguna parte de la misma, se procede a su reposición por una nueva losa de hormigón, previa demolición y retirada de las losas de firme dañado.
- **Inyección de lechada de cemento bajo las losas:** operación realizada en zonas con un fuerte deterioro producido por el pumping (antes de llegar al estado de necesitar sustituir la losa), con objeto de rellenar los huecos existentes entre ellas y la base de apoyo, estabilizando su movimiento al paso de vehículos. Esta inyección se realiza mediante taladros con una profundidad como la de la losa (12 cm) repartidos en número de 5 ó 6 en la losa. Es fundamental para la eficacia de la inyección un enérgico soplado previo por los orificios hasta que solamente salga por los mismos aire sin finos ni agua y una atención especial para que no se produzcan movimiento de losas debidos a la presión de la inyección. La lechada está formada por agua y cemento en proporción 1 a 2 en peso y aditivo para evitar la retracción en un 0,7% del peso de cemento.

Los principales resultados de la inyección son:

- Eliminación de huecos bajo las losas.
- Recuperación de la capacidad de soporte del firme.
- Aumento de los coeficientes de transmisión de cargas entre losas.
- Reducción de las tensiones en losa ante los mismos esfuerzos.

Una vez terminadas las operaciones los trabajos de reparación se ejecutará una regeneración del firme para obtener una mejora en el confort del usuario de la pista así como una mejora de las resistencias al deslizamiento y macrotextura. Para ello se va a ejecutar un **sistema antirreflexión de fisuras**, con el

objetivo de controlar la propagación de las fisuras producidas por movimientos horizontales. Se ha optado por esta solución ya que al aplicar las operaciones de conservación expuestas en el apartado anterior se obtienen movimientos verticales muy reducidos. Este tratamiento se aplicará a lo largo de toda la traza del autódromo. Además, con el objetivo de no emplear geotextiles impregnados, morteros bituminosos, se dispondrá de una capa de mezcla bituminosa de **6 cm de espesor**.

Teniendo en cuenta la categoría de explanada supuesta (T4) se opta por extender un única capa de, como ya se ha dicho, 6 cm de espesor. Esta capa se consistirá en una mezcla bituminosa **MBC AC16 surf b50/70**, compuesta por un betún **PMT 45/80-75**, que resulta ser una mezcla muy rica en áridos (6,3% sobre los áridos).

5.3. DISEÑO DE LA GRADA.

5.3.1. Descripción del estado actual.

Una vez que se accede al *Autódromo de Terramar* lo primero que se ve son las tribunas, de una de ellas solo queda el esqueleto, con numerosas armaduras al aire, bajo el que se ha construido una vivienda.



Ilustración 11 - Esqueleto de la grada bajo la que se ha edificado.

Estas tribunas, como ya se ha dicho, fueron diseñadas por el arquitecto *Josep María Arroyo Martino* y construidas por la empresa constructora *Tanner & Eigenheer*. Cada tribuna contaba con un largo de 90 metros. Desde estas tribunas se podía contemplar el espectáculo automovilístico a una distancia comprendida entre 500 metros para el primer asiento y 900 metros para el último.

Al contemplar la tribuna que sigue todavía en pie sorprende, a pesar de presentar varios desconchones del enlucido en la fachada como se puede ver en las imágenes que siguen a continuación, el buen estado general que presenta teniendo en cuenta que se trata de una edificación de casi 100 años.



Ilustración 12 - Perfil de la grada que se ha reutilizado como granero.



Ilustración 14 - Acceso tapiado.



Ilustración 13 - Desconchón en la fachada de la grada.

El motivo por el que esta grada se encuentre en buen estado es su reconversión en granero por parte del último propietario; que decidió cerrar el autódromo para la explotación agraria y ganadera del terreno. Para su conversión a granero se realizaron cerramientos verticales entre los pilares que conformaban la estructura de la grada sin importar, como se puede observar en la siguiente foto, que parte de la escalera que daba acceso quedase fuera.

Durante la visita guiada se tuvo acceso al interior de la grada, en ella se pudo ver el estado de la estructura. Dentro de la grada se pudo observar que los pilares que sostienen la estructura se encuentran con las armaduras al aire cerca de su base, estando esta armadura corroída por el ambiente húmedo de la zona. También se puede observar que la estructura de la escalera sigue intacta y que el acceso a lo que es la grada en sí se encuentra tapiado.



Ilustración 15 - Pilares con las armaduras al aire.



Ilustración 16 - Escalera que daba acceso a la zona de gradas.

Durante la visita, el guía explicó que la grada está cubierta con planchas con contenido en **amianto** que han hecho que el hormigón que hay bajo estas se conserve en buen estado estructural. Sin embargo, los años que han pasado desde la colocación de estas planchas en el año 1.955 hasta la actualidad sobrepasan el tiempo estimado de vida útil de este material, comprendido según la *Resolución del 14 de marzo del 2013 del Parlamento Europeo* entre 30 y 50 años, y si a eso se le suman las inclemencias del tiempo que es muy probable que hayan filtrado partículas de este material altamente cancerígeno al hormigón de la estructura, hace que se decida demoler la estructura por la alta peligrosidad que supone para la salud de las personas.

A la decisión de la demolición de la estructura por la existencia de amianto, hecho que por sí solo ya justifica tal decisión, hay que sumarle que la actual grada no cumple gran parte de las medidas de seguridad estructural y de la propia *F.I.A.*

El procedimiento para la retirada de las planchas con contenido de amianto y la demolición de la estructura viene explicado en el Anejo 5: Organización de la Obra y Programa de Trabajos y en el Anejo 6: Gestión de Residuos.



Ilustración 17 - Vista de los cerramientos de uralita.

5.3.2. Geometría de la grada.

Como ya se ha comentado, la grada se ha predimensionado para para una **capacidad de 1.000 espectadores.**

Para el dimensionado de los *espacios para espectadores* se han utilizado las **condiciones de diseño del Consejo Superior de Deportes**. A continuación, se exponen estos condicionantes a tener en cuenta:

- El ancho para cada asiento será de 0,50 metros y la separación entre cada asiento será de 0,05 metros.
- Los asientos, independientemente de si son los propios escalones de la grada o asientos individuales, estarán numerados.
- Se dispondrá una zona para espectadores minusválidos. El orden de magnitud establecido por el *Consejo Superior de Deportes* es de una plaza (1) de minusválidos por cada doscientos (200) espectadores, esto da un total de cinco (5). Esta cifra se considera insuficiente, por lo que se destinarán cuarenta (40) plazas.
- La dimensión de estas plazas reservadas para minusválidos será de 1 metro de ancho por 1,25 de fondo, y estarán señaladas con el símbolo de accesibilidad.

Teniendo estas directrices en cuenta, las dimensiones aproximadas que tendrá (en planta) la grada será de 66 metros de largo y 10 metros de ancho, que darán cabida a las 1000 personas.

Además de las directrices especificadas anteriormente, también se han tenido en cuenta las siguientes para el diseño de las gradas:



- Como se expone en el APPENDIX 0 de la F.I.A., la primera línea de la grada tendrá al menos 4 metros de alto sobre el suelo, para garantizar la correcta visualización de todos los espectadores.
- Los espacios de visión, este aspecto es el que tiene en cuenta la visibilidad de todos los espectadores sin ningún tipo de obstrucción de la pista, en este caso, Para ello la pendiente de las gradas debe ser reducida (*inclinación máxima* de 35°), para no incrementar demasiado la altura de la estructura, pero a la vez suficiente para que cada escalón de la grada no interfiera con la visibilidad del escalón posterior. Para que esto se cumpla la *contrahuella máxima* recomendada es de 450 mm , siendo el valor recomendado de 400 mm , y la *huella mínima* debe ser de 700 mm , siendo el valor recomendado de la *huella* de 800 mm . A continuación, se puede ver un esquema gráfico.

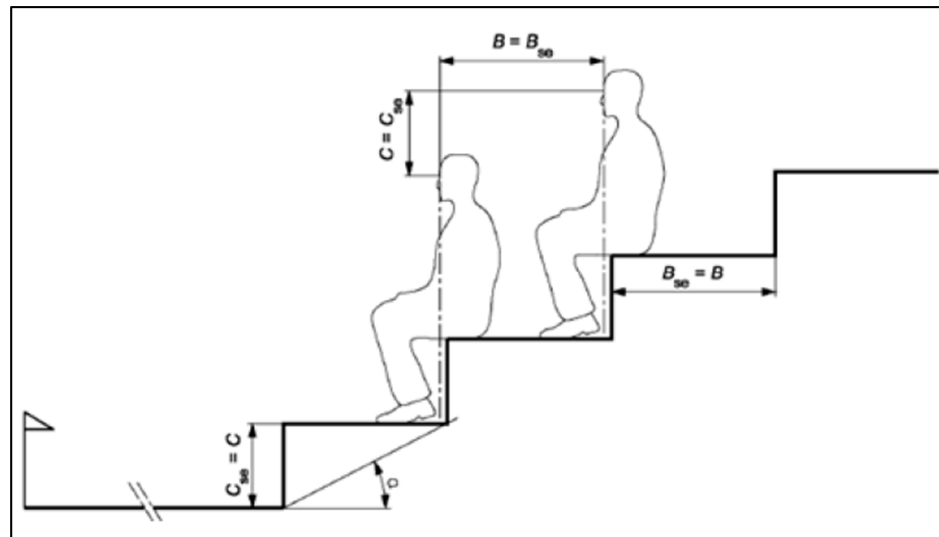


Ilustración 18 - Esquema de huella y contrahuella en gradas.

Donde:

- B_{se} , es la dimensión de la huella.
- C , es la dimensión de la contrahuella.
- α , es el ángulo de inclinación de la base.

Como ya se ha dicho, la línea de visión debe permitir que todos los espectadores tengan una visión clara del evento, en este caso de la pista del autódromo, sin que las personas situadas en las gradas delanteras obstruyan la visión de las que hay detrás. A continuación, se adjunta un esquema en el que se muestran todas las variables que intervienen para obtener la línea de visión óptima, obtenida de la normativa del Consejo Nacional del Deporte.

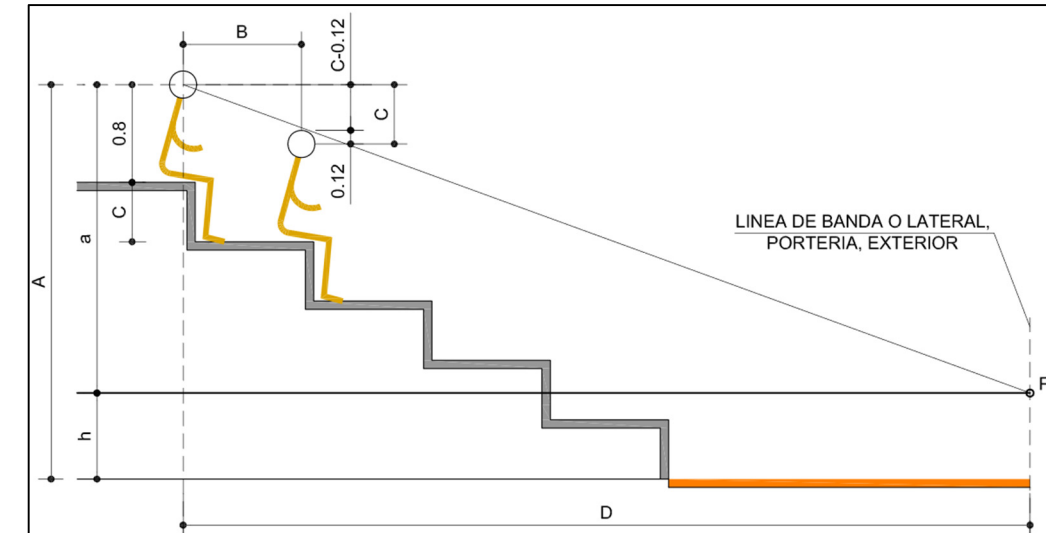


Ilustración 19 - Esquema de línea de visión.

Donde:

- A es la altura de los ojos.
- B, la distancia desde un espectador a otro.
- C, la dimensión de la contrahuella del escalón.
- h, altura del punto de interés.
- D, distancia horizontal entre los ojos del espectador y el punto de enfoque P.
- P, punto de enfoque más cercano.
- Por último, se tiene una serie de medidas recomendadas/preestablecidas a continuación explicadas:
 - $0,12$ metros de distancia vertical desde los ojos del espectador hasta la parte superior de la cabeza.
 - $0,80$ metros de distancia entre los ojos de un espectador sentado y su plano de asiento.

Con estas consideraciones se ha decidido establecer los siguientes valores de diseño:

Huella	0,80 metros.
Contrahuella.	0,44 metros.

Tabla 2 - Valores de diseño en los espacios de visión.

5.3.3. Alternativas estructurales.

Se han planteado tres alternativas estructurales para la construcción de la grada. Al tratarse de un análisis de las alternativas en el método de construcción de la grada, los factores que han determinado cuál de estas alternativas es la mejor son:

- El tiempo necesario para la construcción.
- La facilidad de montaje.
- El coste que supone llevar a cabo cada método constructivo.



A continuación, se expone cada una de las alternativas.

- **ALTERNATIVA 1: CONSTRUCCIÓN IN SITU.**

Esta alternativa se basa en la construcción de la grada por los métodos tradicionales. Para el desarrollo de esta alternativa habrá que reservar una zona de acopio de materiales de obra como armaduras, tierra, encofrados, etc.

El tiempo necesario para la ejecución de los trabajos será más largo y además será necesario realizar un control estadístico de la calidad de los hormigones puestos en obra. Este tipo de construcción requiere de más medios auxiliares (cimbras y encofrados), más recursos humanos debido al mayor trabajo manual (ferrallado, encofrado, puesta en obra del hormigón, etc.), la dependencia de que exista una planta de hormigón cercana y que garantice un buen suministro, y en general peores acabados que en el caso de elementos prefabricados por la existencia de juntas de trabajo, elementos mal vibrados o zonas de hormigón segregado.

El coste se prevé más elevado al necesitar medios auxiliares, un mayor número de recursos humanos y plazos más dilatados para la construcción que repercutirán en los costes frente a otras alternativas constructivas.

- **ALTERNATIVA 2: CONSTRUCCIÓN MIXTA.**

Esta alternativa combina la ejecución in-situ de parte de la estructura con piezas prefabricadas. La combinación de estos dos métodos acorta tiempos de ejecución, pues mientras se ejecuta la estructura se va fabricando las piezas necesarias, transportando estas a obra en el momento indicado, evitando tener las piezas apiladas en la obra y reduciendo el tiempo de ejecución.

Al no necesitar encofrados especiales, pues las vigas portagradas y las vigas de grada se ejecutan en fábrica, el coste se reduce. El tiempo de ejecución también se verá reducido al estar las piezas de la viga portagrada y de viga de grada ya ejecutadas.

- **ALTERNATIVA 3: CONSTRUCCIÓN PREFABRICADA.**

En esta alternativa la ejecución se realiza exclusivamente con piezas prefabricadas. La ventajas de esta ejecución es la flexibilidad temporal, que reduce los tiempos de ejecución, no se necesita un espacio muy amplio para su ejecución pues no son necesarios ni cimbras ni encofrados y se reducen los medios en obra, mejores acabados, menor necesidad de mano de obra y medios auxiliares que implica un menor riesgo de accidente.

La ejecución con elemento prefabricados exclusivamente hace que se reduzcan los costos de ejecución al no necesitar de elementos auxiliares como encofrados o puntales.

- **ALTERNATIVA ELEGIDA.**

La ALTERNATIVA 3 se considera que es la más óptima desde el punto de vista de un menor coste por el uso de piezas prefabricadas estándar, menor plazo de ejecución, mejores acabados, menor disponibilidad de medios auxiliares y humanos, lo que conlleva un menor riesgo de accidente laboral. Además, al utilizar elementos prefabricados es más fácil modular por zonas las gradas abriendo las puertas a distintas posibilidades de diseño.

Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, se ha optado por emplear los productos prefabricados de hormigón se han seleccionado utilizando las fichas técnicas de una empresa fabricante de prefabricados de hormigón a partir de los resultados del análisis estructural.



6. Ejecución de las obras.

6.1. PROGRAMA DE TRABAJOS.

Se ha planificado la ejecución de la rehabilitación del *Autódromo de Terramar* en un total de **12 meses**, optándose por una fecha teórica de inicio de las obras en el **lunes 1 de octubre de 2018** y finalizando el **25 de septiembre de 2019**, resultando en un total de **258 días efectivos de trabajo**.

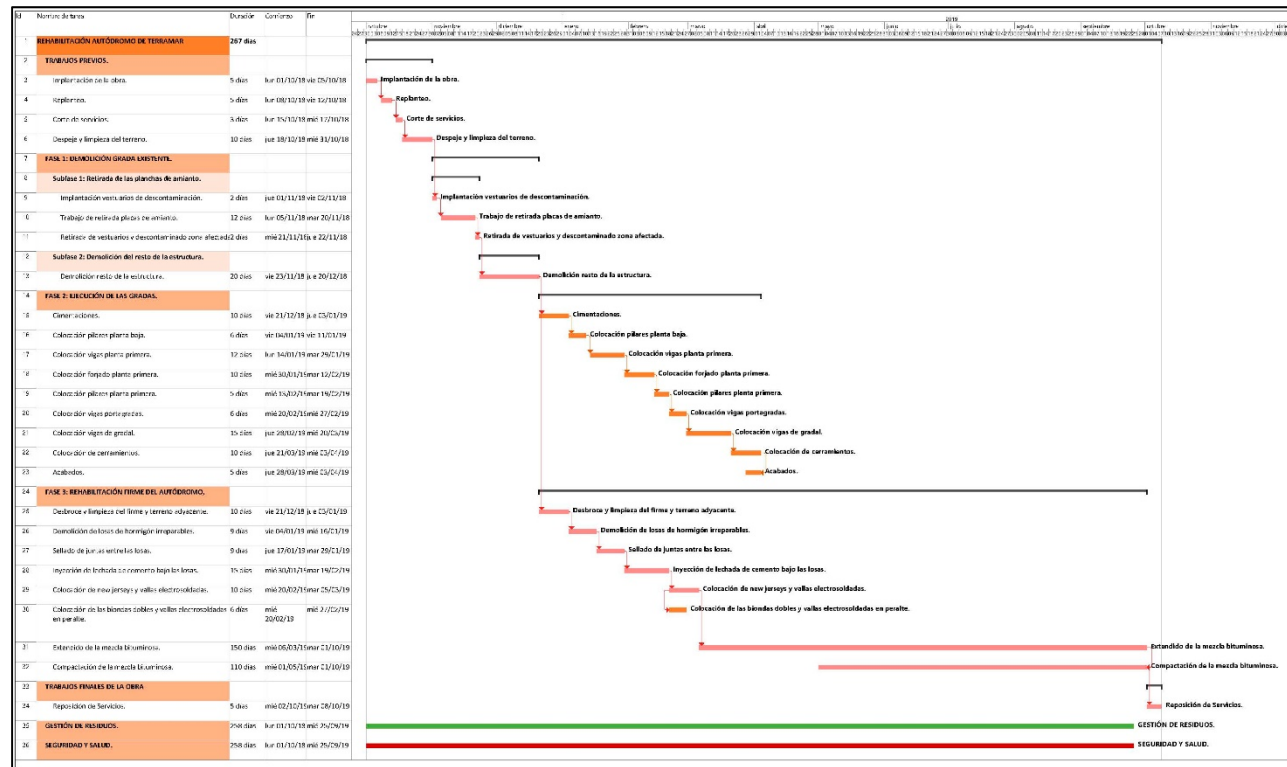


Ilustración 20 - Programa de trabajos.

6.2. CONTROL DE CALIDAD.

El control de la calidad se iniciará desde el propio inicio de los trabajos de rehabilitación y estará basado en:

- Control de recepción de productos.
- Control de la ejecución.
- Control de obra terminada.

Para llevar a cabo estos controles se recopilará la documentación del control realizado, verificando que es conforme con lo establecido en el proyecto sus anejos y planos.

Se recabarán información de los suministradores de productos y facilitará al director de obra y al director de la ejecución de los trabajos de rehabilitación del autódromo la documentación de los productos anteriormente señalada, así como sus instrucciones de uso y mantenimiento, y las garantías correspondientes cuando proceda; y

Finalizados los trabajos de rehabilitación, la documentación del seguimiento del control será depositada por el director de la ejecución de la obra en el Colegio Profesional correspondiente o, en su caso, en la Administración Pública competente, que asegure su tutela y se comprometa a emitir certificaciones de su contenido a quienes acrediten un interés legítimo

Para el **Control de la Recepción de los Productos** se realizarán:

- 1- *Control de la documentación de los suministros*: documentación de origen, hoja de suministro, etiquetado, certificados de garantía, etc.
- 2- *Control mediante distintivos de calidad*: revisión de distintivos de calidad de los distintos productos, evaluaciones técnicas para el uso previsto de estos, etc.
- 3- *Control mediante ensayos*: se ejecutarán todos los ensayos pertinentes a la recepción de los materiales con los que se ejecutarán los trabajos. Estos controles se ejecutarán previo al suministro y durante el suministro. Para la ejecución de los ensayos se aplicarán sus normativas correspondientes (EHE, IC 6.1, ...).

6.3. GESTIÓN DE RESIDUOS.

La ejecución de la rehabilitación del *Autódromo de Terramar* generará los siguientes residuos:

CÓDIGO LER.	RESIDUO.	PESO (Tn).
17 01 01	Hormigón.	1.073,66
17 01 03	Cerámicos.	283,43
17 06 05	Planchas con amianto.	126,25
17 08 02	Materiales de construcción a base de yeso.	173,96
17 02 01	Madera.	26,60
17 02 02	Vidrio.	3,29
17 02 03	Plásticos.	201,87
03 03 08	Papel-Cartón.	3,11
15 01 05	Envases compuestos	0,54
15 01 10	Envases vacíos.	0,48
15 02 02*	Absorbentes contaminados.	0,20
17 04 07	Metales mezclados.	731,96
17 09 04	Otros residuos de construcción y demolición.	132,88
20 03 01	Basura generada por los operarios.	14,01
TOTAL		2.772,14

Tabla 3 - Listado de residuos totales estimados para la rehabilitación del autódromo.

Siendo el más problemático de todos estos residuos el amianto de las planchas que cubren una de las antiguas gradas y que hace que hasta que no se acabe el proceso de retirada de este no se ejecute ningún otro trabajo. Las medidas aplicadas para la gestión de los residuos de amianto serán el embalaje del material de plástico de suficiente resistencia mecánica, y se identificarán tal y como se especifica en el *RD 1406/89 (BOE 278)*. Los residuos de amianto se recogerán separados del resto de residuos que se puedan generar.



Ilustración 21 - Empaquetado residuos materiales con amianto.

Las placas con amianto se empaquetarán en Sacas de Placas específicas para este tipo de residuos y el resto de material se empaquetará en sacos tipo Big-Bag específicos para residuos de amianto. Todo estará debidamente señalizado con el anagrama internacional de amianto.



Ilustración 22 - Etiqueta reglamentaria de identificación de materiales con amianto.

Previo al traslado del material al vertedero autorizado se realizará un depósito (almacenamiento) temporal. Las pautas a seguir para este depósito temporal son:

- Aunque el material se encuentre ya perfectamente empacado, los trabajadores utilizarán todos los EPI's adecuados.
- En el punto destinado al almacenamiento del material con amianto estará terminantemente prohibido almacenar otras sustancias, materiales o residuos.

El lugar escogido para el depósito del material con amianto tendrá fácil acceso para los vehículos que tienen que llevar los residuos al vertedero autorizado.

Una vez terminado los trabajos de desmontaje de la cubierta, retirado el materia con amianto, llevado a vertedero autorizado y descontaminado la zona donde se realizaron los trabajos y se depositaron los residuos, se continuará con los trabajos de rehabilitación del Autódromo de Terramar.

Una vez se puedan continuar los trabajos de rehabilitación del autódromo se ejecutará el plan de gestión de residuos mediante la recogida, gestión y almacenamiento de forma selectiva y segura, de los residuos y desechos, sólidos o líquidos generados en las obras, para evitar la contaminación de las aguas superficiales o subterráneas, así como de los suelos del lugar. De esta manera se permitirá su traslado a plantas de reciclado o de tratamiento. Para ello se establecerán:

- *Puntos limpios*, para la gestión de los residuos sólidos generados durante las obras (maderas, plástico, papel, etc.), se prevé la instalación de un punto limpio. Se entiende por puntos limpios aquellas zonas de almacenamiento temporal de residuos, desechos, aguas sucias o similares.
- *Contenedores*.

Tipo de residuo	Color
Metal, plástico y brick	Amarillo
Madera	Marrón
Tóxicos	Rojo
Neumáticos	Negro
Papel y cartón	Azul
Vidrio	Verde
Restos orgánicos	Blanco

Tabla 4 - Esquema de colores para cada contenedor.

- *Localización de puntos limpios*, que se localizará en la zona de instalaciones auxiliares.
- *Segregación de residuos inertes y no peligrosos*.

6.4. CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y SALUD.

La realización de un Estudio de Seguridad y Salud queda fuera del ámbito de este Estudio Técnico-económico. Aun así, se ha incluido una partida estimativa para la implantación de medidas relativas a este concepto, y se adjunta a continuación la normativa básica sectorial, con objeto a que pueda servir de base para la realización de un Estudio, o Estudio Básico, de Seguridad y Salud a incluir en un futuro Proyecto de Construcción.

- **Real Decreto 1627/1997**, de 24 de octubre, que establece las *Disposiciones Mínimas en materia de Seguridad y Salud en las obras de construcción*.
- **Real Decreto 604/2006**, de 19 de mayo, que modifica el RD anterior.
- **Real Decreto 2177/2004**, de 21 de noviembre.
- **Real Decreto 396/2006**, de 31 de marzo, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y salud aplicables a los trabajos con riesgo de exposición al amianto.



6.5. VALORACIÓN ECONÓMICA.

En el documento de “Valoración económica” se descomponen los precios aplicados a las distintas unidades de la obra, teniendo en cuenta la legislación laboral vigente y los costes de maquinaria y materiales.

Aplicando los precios unitarios a las mediciones obtenidas se ha obtenido un presupuesto general de:

- **Presupuesto de Ejecución Material: 1.013.266,52 €.**
- **Presupuesto de Ejecución para Contrato: 1.205.787,16 €.**
- **Presupuesto de Ejecución para Contrato más IVA: 1.418.573,13 €.**

7. Documentos de los que consta el proyecto.

MEMORIA

ANEJOS:

ANEJO 1 Antecedentes históricos.

ANEJO 2 Situación y accesibilidad.

ANEJO 3 Rehabilitación del firme.

ANEJO 4 Predimensionamiento estructural de la grada.

ANEJO 5 Organización de las obra y programa de trabajos.

ANEJO 6 Gestión de residuos.

PLANOS

1. Situación y localización.
2. Planta de estado actual.
3. Planta general de las obras.
4. Rehabilitación del firme.
 - 4.1. Planta de patologías.
 - 4.2. Actuaciones de rehabilitación del firme.
 - 4.3. Secciones tipo.
 - 4.3.1. Secciones tipo.
 - 4.3.2. Detalles.
5. Grada.
 - 5.1. Planta de distribución.
 - 5.2. Alzado y secciones.
 - 5.3. Detalles de cimientos, pilares y sus apoyos.
 - 5.4. Vigas.
 - 5.5. Escaleras y escalón.

VALORACIÓN ECONÓMICA



8. Consideraciones finales.

Considerando que el presente Trabajo Final de Grado ha sido redactado de acuerdo a la Normas Técnicas y Administrativas vigentes, y que con los documentos que integran este estudio técnico-económico quedando sentadas las bases para valorar técnica y económicamente la posibilidad de rehabilitación del *Autódromo de Terramar*, se somete a trámite para su aprobación si procede.

Valencia, septiembre 2018.

EL ALUMNO AUTOR DEL TRABAJO DE FIN DE GRADO

Fdo: D. Onofre Motos Puchades.

