

02-002

### **The influence of terrain anomalies in the construction of a logistics platform in Paterna (Valencia)**

José Luis Fuentes-Bargues<sup>1</sup>; Daniel Fuentes-Bargues<sup>2</sup>; Aurelio Sanchis-Llopis<sup>2</sup>; José Rafael Cámara-Vallés<sup>3</sup>; Manuel Sánchez-Aparicio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universitat Politècnica de València; <sup>2</sup>Insegma S.L.; <sup>3</sup>Alcalans Promotora S.L.;

Geotechnics is the branch of geology that studies the composition and the mechanical, hydraulic and engineering properties of the materials of the most superficial zone of the earth's crust in order to determine its properties for the analysis and design of the foundations in projects of Building and Civil Engineering.

The determination of the characteristics of the land by means of geotechnical studies in singular buildings or high-rise buildings (both residential and services) or in civil engineering works has been a normative requirement in the Spanish construction for a long time, being considered as a fact habitual. In industrial building, geotechnical studies before the entry into force of the Technical Building Code (2006) were not usual despite the economic importance of this type of buildings.

The aim of this paper is to present a case study of a logistics platform that it shows the influence of the terrain anomalies both in the technical aspect and in the economic aspect of the execution of a project.

**Keywords:** Geotechnics; Industrial Building; Technical Building Code; Logistics platform

### **La influencia de las anomalías del terreno en la edificación de una plataforma industrial en paterna (valencia)**

La geotecnia es la rama de la geología que estudia la composición y las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales de la zona más superficial de la corteza terrestre con objeto de determinar sus propiedades de cara al análisis y diseño de las cimentaciones en proyectos de edificación e ingeniería civil.

La determinación de las características del terreno mediante estudios geotécnicos en edificios singulares o en edificios de gran altura (tanto residenciales como de servicios) o en obras de ingeniería civil ha sido un requerimiento normativo en la construcción española desde hace mucho tiempo, considerándose como un hecho habitual. En edificación industrial la realización de estudios geotécnicos antes de la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (2006) no era habitual a pesar de la importancia económica de este tipo de edificaciones.

El objeto de esta comunicación es presentar un caso de estudio de una plataforma logística donde se muestra la influencia de las anomalías del terreno tanto en el aspecto técnico como en el aspecto económico de la ejecución de un proyecto.

**Palabras clave:** Geotecnia; Edificación Industrial; Código Técnico Edificación; Plataforma Logística

Correspondencia: José Luis Fuentes-Bargues; jofuebar@dpi.upv.es



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 4.0 Internacional. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

## 1.- Introducción

La geotecnia es la rama de la geología que estudia la composición y las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales de la zona más superficial de la corteza terrestre. El estudio geotécnico es el compendio de información cuantificada en cuanto a las características del terreno en relación con el tipo de edificio previsto y el entorno donde se ubica, información necesaria para el análisis y diseño de las cimentaciones en proyectos de edificación e ingeniería civil.

La determinación de las características del terreno mediante estudios geotécnicos en edificios singulares o en edificios de gran altura (tanto residenciales como de servicios) o en obras de ingeniería civil ha sido un requerimiento normativo en la construcción española desde hace mucho tiempo, considerándose como un hecho habitual. En edificación industrial la realización de estudios geotécnicos antes de la entrada en vigor del Código Técnico de la Edificación (España, 2006) no era habitual a pesar de la importancia económica de este tipo de edificaciones.

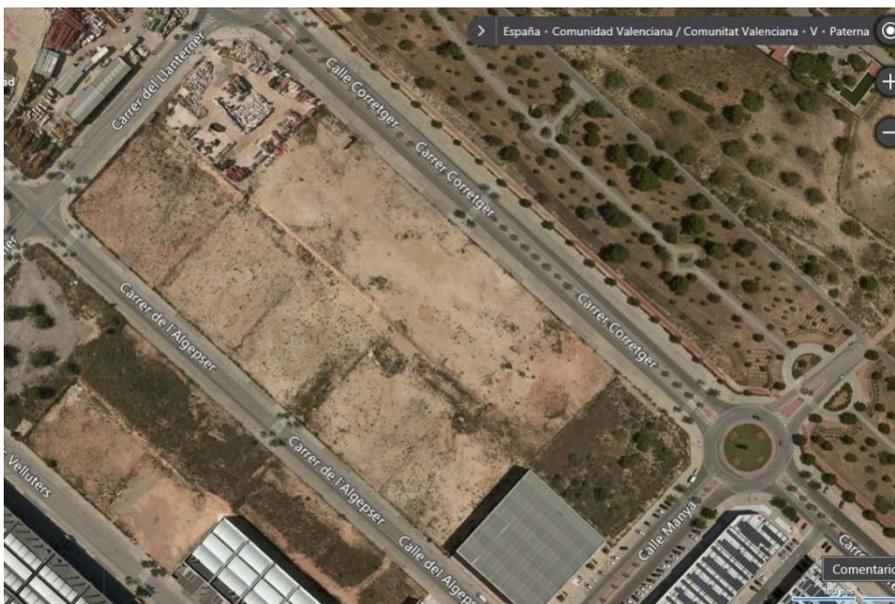
El objeto de esta comunicación es presentar un caso de estudio de una plataforma logística donde se muestra la influencia de las anomalías del terreno durante la ejecución de un proyecto, tanto en el aspecto técnico como en el aspecto económico.

## 2.- Caso de Estudio

### 2.1.- Descripción General del Proyecto y de las Características del Terreno

El edificio objeto de esta comunicación es el Centro de Almacenamiento y Distribución de Electrodomésticos de la empresa ELDISSER S.A. situado en el Polígono Táctica de la localidad de Paterna (Valencia). Este complejo logístico de 25.282,62 m<sup>2</sup> se proyectó en una parcela de 33.769 m<sup>2</sup>, la cual recae a tres calles (Algepser, Corretger y LLanterer) (Figura 1) con un desnivel máximo entre la calle Algepser (colindante con las naves construidas) y el chaflán entre las calles LLanterer y Corretger de 7,1 m. La parcela presenta dos niveles de terraplenado, una plataforma a nivel de la calle Algepser, siguiendo la pendiente de ésta, y la segunda plataforma a nivel de la calle Corretger, siguiendo la pendiente de ésta (Figura 2).

**Figura 1: Vista aérea parcela. Fuente: Google Maps**



**Figura 2: Estado Inicial Parcela. Fuente: Elaboración Propia**



Previo a la redacción del proyecto se realizó un Estudio Geotécnico (G2G Consultores, 2015) con ensayos de campo que definía tres unidades geotécnicas diferenciadas. La primera unidad geotécnica correspondía a un relleno antrópico, con una profundidad entre 0,8 y 1,0 m, que por sus características portantes debía ser eliminada de la base de cimentación.

La segunda unidad geotécnica se caracterizaba por materiales granulares, sin cohesión y de plasticidad muy baja, presentando potencias de hasta 10,0 m. En esta unidad geotécnica se podían distinguir dos tipos de materiales, en primer lugar un nivel de "Arenas y arenas limosas" con profundidades variables (entre 1,8 y 7,0 m) o formando lentejones según las diferentes zonas de ensayo. Estas arenas presentaban un color ocre, con algunos tramos más cementados y de mayor compacidad, definiéndose como un nivel de compacidad media. La segunda zona de esta unidad geotécnica estaba formada por "Calcarenitas y areniscas", en forma de lentejones de potencia variable en todo el solar, de color ocre oscuro, encontrándose muy cementado, lo que suponía un nivel de compacidad alta, sin plasticidad y seco.

La tercera unidad geotécnica estaba formada por "Arcillas con nódulos" y se observó que conformaba capas de espesores variables entre 0,6 metros y 1,8 metros. Litológicamente estaba formada por una arcilla de color marrón oscuro a marrón amarillento, con abundantes nódulos amarillentos y clastos de arenisca diseminados. En general, se trata de un nivel de compacidad media, plasticidad media, y de baja humedad.

Este estudio geotécnico recomendaba una cimentación superficial a base de zapatas aisladas arriostradas y/o zapatas continuas cuya base de cimentación se situaría a 1,5 m de la cota cero del terreno, tras la eliminación de la unidad geotécnica correspondiente a los rellenos antrópicos.

## **2.2.- Descripción del Problema**

Las obras de desmonte y terraplenado de la parcela para conseguir un plataforma uniforme para la construcción de la nave industrial se iniciaron en Septiembre de 2015. Durante la ejecución de los trabajos de acondicionamiento de la parcela se produjo el hundimiento parcial del terreno del terreno durante los trabajos de compactación (12/11/2015) y posteriormente, debido a las lluvias que se sucedieron en días posteriores (15-16/11/2015), se produjeron una serie de sumideros en la superficie del terreno (Figura 3).

**Figura 3: Problemática durante compactación Nov. 2015. Fuente: Elaboración Propia**



### **2.3.- Ensayos y pruebas de información**

Ante las anomalías detectadas se solicitaron ensayos complementarios. En este caso se realizaron una serie de ensayos mediante la técnica de georádar y unos perfiles tomográficos cercanos a la zona donde se había producido el colapso del terreno, así como una serie de catas mecánicas en varias zonas de la parcela (Figura 4).

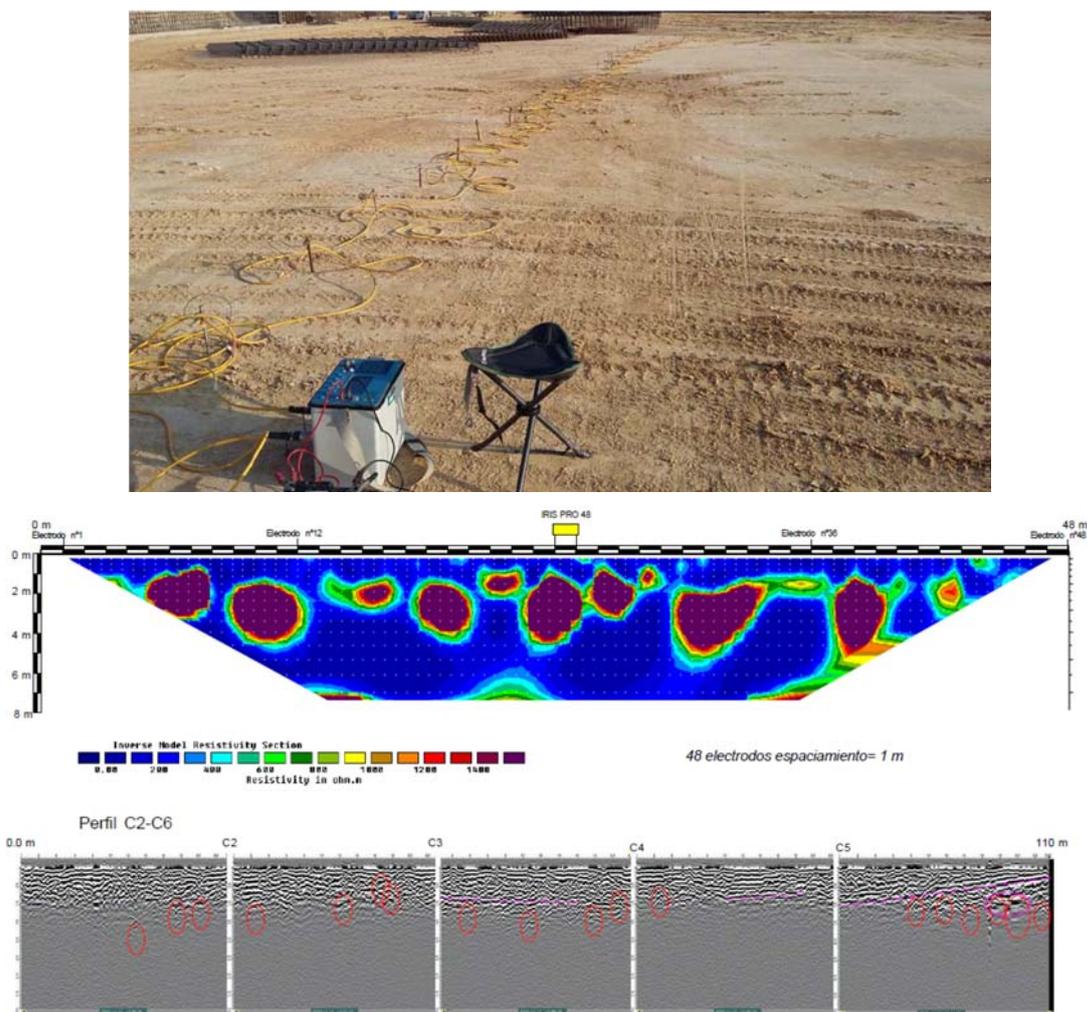
Los resultados del informe complementario indicaron que el terreno tenía una peligrosidad alta frente a la subsidencia, debido a que el agua se filtraba en el terreno con un flujo subsuperficial y erosionaba los niveles arenosos de menor compacidad, quedando en superficie un sustrato de areniscas generalmente de baja capacidad portante pero cementadas formando una especie de bóveda. Cuando se aplicaba una carga en superficie o por inundación (lluvias), esas capas cementadas podían ceder con el correspondiente colapso de las cavidades (Prodein, 2015). Este tipo de problemática es habitual en alguna zona de España, como Zaragoza, (Simon et al., 2009) y en líneas generales se ha incrementado en los últimos años en muchos terraplenes de infraestructuras lineales como autovías, autopistas, plataformas para el tren de alta velocidad y canales (De Justo, Durand y Justo, 2002; Montenegro Sanz y Pérez Rodríguez, 2013).

### **2.4.- Estudio de soluciones.**

A partir de la diagnosis realizada y mientras se finalizaban los trabajos de desmonte y terraplenado se analizaron las posibles soluciones con objeto de determinar aquella que resolviera la problemática detectada, supusiera un mínimo retraso en los plazos de ejecución, y ocasionara el menor sobrecoste económico posible al proyecto.

En primer lugar se planteó una solución integral para toda la parcela, consistente en una compactación dinámica de alta energía. Este proceso consiste en la mejora de la capacidad portante del terreno mediante la aplicación de esfuerzos dinámicos en superficie, basados en la caída desde una cierta altura (entre 15-25 metros) de una maza con un peso de varias toneladas (entre 10-20 toneladas). Este proceso se realiza en varias pasadas y según mallas intercaladas, con un número de golpes definidos por huella (Figura 5). La alternativa de la compactación dinámica suponía un incremento de presupuesto de ejecución de 427.200 euros y un plazo de ejecución de un mes aproximadamente, siempre que se dispusieran de dos equipos trabajando durante las 24h.

**Figura 4: Imagen de pruebas y resultados de tomografía y georádar. Fuente: Prodein**

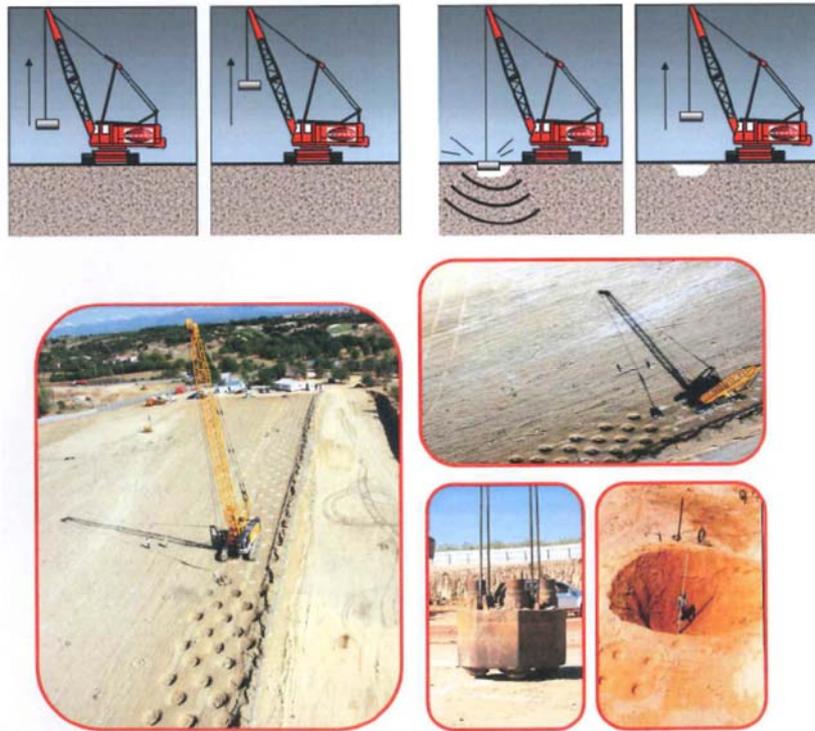


En segundo término se planteó la ejecución de una cimentación profunda mediante pilotaje y un recalde de la superficie de la solera mediante micropilotes. Los pilotes o micropilotes tienen como objetivo transmitir las cargas de la estructura al terreno a través del fuste (y a través de la punta si se llegará al firme). Respecto a la cimentación se plantearon dos opciones, la ejecución de pilotes in situ o mediante pilotes prefabricados (Figura 6).

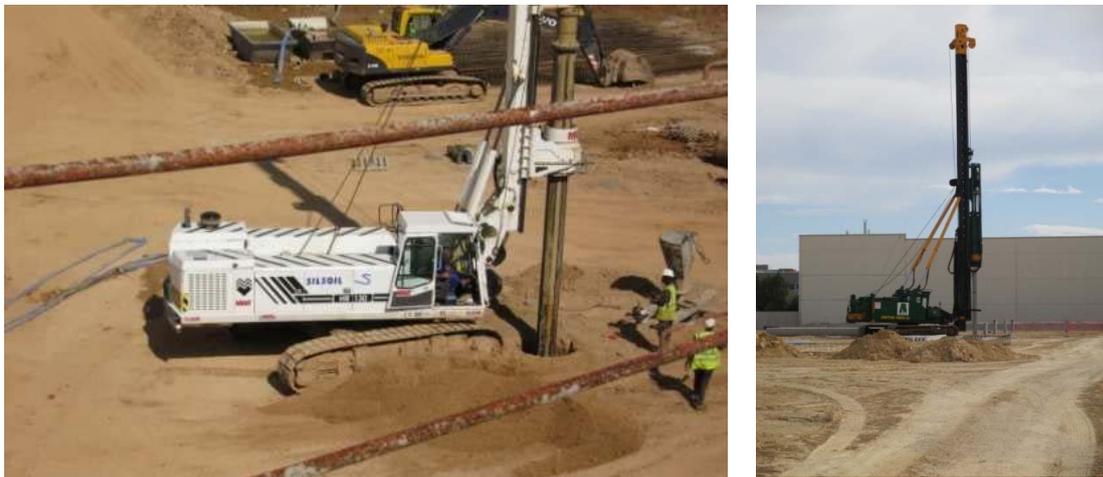
En tercer lugar se planteó una solución individualizada para las zonas que habían sido detectadas en los ensayos y para las zonas que se detectarán durante el proceso de excavación de la cimentación. Esta solución consistía en un saneo y retirada de los terrenos que presentaran descalcificaciones (éstas se encontraban teóricamente y aproximadamente en los 2,0 m más superficiales, extendiéndose puntualmente en

algún caso hasta los 4,0 m de profundidad), para posteriormente proceder al relleno de la cavidad resultante con hormigón pobre o ciclópeo hasta alcanzar la cota de apoyo de zapata prevista.

**Figura 5: Proceso de Compactación Dinámica. Fuente: Menard España S.A.**



**Figura 6: Proceso de Pilotaje in Situ y Prefabricado. Fuente: Silsoil y Elaboración Propia**



Para la solera se planteó una solución global que consistía en el cajeadado de toda la superficie de la parcela en una profundidad aproximada de 1,0 m (con respecto a la cota de relleno que se disponía en ese momento de la ejecución), la explanación de un suelo adecuado según el Pliego de Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG3) (Ministerio de Fomento, 2005), la instalación de una zavorra ZA-20 (según el PG3) de 25 cm de espesor, y la modificación de las características del pavimento industrial, incrementándolo el canto a 27 cm (frente a los 18 cm previstos) y la cuantía del armado a disponer.

## 2.5.- Solución adoptada

Tras el análisis de las diferentes soluciones técnicas planteadas, se rechazó en primer término la tercera alternativa planteada porque no generaba una seguridad de que se eliminaran completamente todas las anomalías del terreno, y se podría producir algún colapso del terreno cuando el edificio estuviera totalmente construido, con las graves consecuencias que ello acarrearía. De hecho, los colapsos del terreno siguieron produciéndose en fases posteriores del movimiento de tierras y de cimentación, tal y como se muestra en la Figura 7. Además ésta solución generaba una incertidumbre en cuanto a plazos y costes porque no era posible su estimación previa.

**Figura 7: Colapsos del terreno durante cimentación. Fuente: Elaboración propia**



Desde el punto de vista técnico la compactación dinámica eliminaría el problema, tanto para la cimentación como para la solera, porque se aplicaría a toda la superficie de la parcela. No obstante, era necesario analizar los posibles efectos secundarios que pudiera tener el uso de esta técnica sobre colindantes y sobre la infraestructura viaria del polígono, así como el posible incumplimiento de la Ordenanza Municipal de Ruidos y Vibraciones de Paterna en el horario nocturno. De hecho se realizó una consulta a los técnicos municipales, a los que no les pareció compatible con la normativa municipal en materia de ruidos y vibraciones.

Se optó entonces por la solución de cimentación profunda mediante pilotes y recalce por micropilotes de la solera del edificio industrial. Tras analizar diversas propuestas de empresas especializadas, se optó por una solución de cimentación profunda mediante pilotes prefabricados, ya que su tiempo de ejecución era inferior a la ejecución con pilotes in situ.

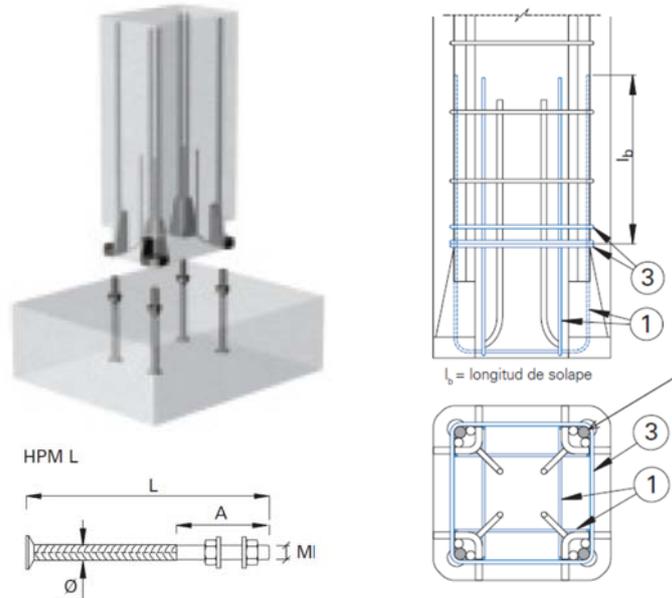
Se utilizaron pilotes prefabricados, verticales de hormigón HA-50, de sección recta y de Clase 1 según la norma UNE-EN 12.794 (AENOR, 2006). El tipo de pilote fue el P235 (forma cuadrada de 235x235 mm) de P14 Cimentaciones (P14 Cimentaciones, 2016), armados en toda su longitud mediante barras de acero corrugado de calidad B500SD con 4 barras de acero de diámetro 16 mm, y cercos cada 15 cm de diámetro 6 mm. La carga estructural máxima de compresión en servicio (tope estructural) de este tipo de pilotes es de 85 toneladas.

Dado que en las diferentes tomografías realizadas sobre el terreno se determinó la presencia de posibles zonas más resistentes (o dolomitas o bolos de mayor tamaño), se determinó realizar un preforo de asistencia previo al hincado de los pilotes para eliminar los posibles elementos y acelerar el proceso de hincado.

La ejecución del pilotaje supuso un ajuste de la cimentación. Según el tipo de zapata y el número de pilotes que soportaban a cada elemento estructural el encepado tenía

diferentes disposiciones y armados, pero todo ellos con un canto insuficiente para la ejecución de un anclaje posterior de los pilares prefabricados de hormigón sobre una cimentación tipo cáliz (prevista inicialmente). Dados los condicionantes, se optó por una conexión entre el elemento de cimentación y el pilar prefabricado mediante un sistema Peikko tipo HPM-\*/L, es decir tornillos cortos tipo L, los cuales transfieren las fuerzas de compresión y tracción mediante la adherencia de las barras corrugadas y la parte cónica de su zona inferior (Figura 8). En la Figura 9 se puede ver una secuencia de imágenes del proceso de cimentación.

**Figura 8: Sistema Peikko en cimentación. Fuente: Peikko**



Con objeto de prever posibles colapsos del terreno debajo del pavimento industrial que debe soportar el almacenamiento en altura (en apilamiento en bloques hasta una altura de 6 m y en estanterías hasta una altura de 10 m) se optó por la ejecución de una solera de hormigón estructural apoyada sobre una malla de micropilotes prefabricados hincados formando una cuadrícula de 5x5 m (Figura 10).

Sobre los pilotes hincados se ejecutó un capitel de 60x60x15 cm y posteriormente el pavimento industrial sin juntas de retracción, realizándose únicamente juntas de construcción en pastillas aproximadamente de 3.000 m<sup>2</sup>. En las zonas perimetrales y en puntos singulares (pilares, muelles de carga, arquetas) se realizaron refuerzos con mallazo 15x15x6. La solera se realizó con hormigón armado HA-30 de 23 cm de espesor, armada con fibras metálicas Rinol Twinoplate (Rinol, 2016) con una dosificación de 45 kg/m<sup>3</sup>, y acabado fratasado con una capa de rodadura de cuarzo-corindón con una dosificación de 4 kg/m<sup>2</sup> (Figura 11).

## 2.6.- Seguimiento del Proyecto

El presupuesto inicial del proyecto, incluyendo algunas instalaciones que directamente ejecutaría el promotor con sus propios medios o con industriales habituales ascendía a la cantidad de 6.386.513,5 euros. Se presenta a continuación en la Figura 12 las curvas de seguimiento correspondientes al presupuesto y a la certificación (datos cedidos por la Dirección Facultativa), no disponiendo de los costes reales de la ejecución ya que se trata de datos confidenciales de la empresa constructora.

En color azul se muestra la planificación inicial de costes donde la fecha de finalización del proyecto se estimaba en la segunda quincena de Junio. Tras la detección de los problemas del terreno (16-11-2015), transcurrió un mes y tres semanas entre la

diagnosis del problema, análisis de las soluciones, selección de la alternativa y contratación de ésta, empezando los trabajos correspondientes a la cimentación profunda el 13 de Enero de 2016. En amarillo se muestra la certificación correspondiente a los meses de Septiembre a Diciembre, donde se puede ver la falta de producción como consecuencia del problema. El Índice de Rendimiento de Plazo (IRP) a fecha 31-12-2015 era de 0,283 y el retraso previsto con estos datos sería de cuatro meses y medio aproximadamente (finalización prevista 31/10/2016).

**Figura 9: Ejecución de la cimentación. Fuente: Elaboración propia**

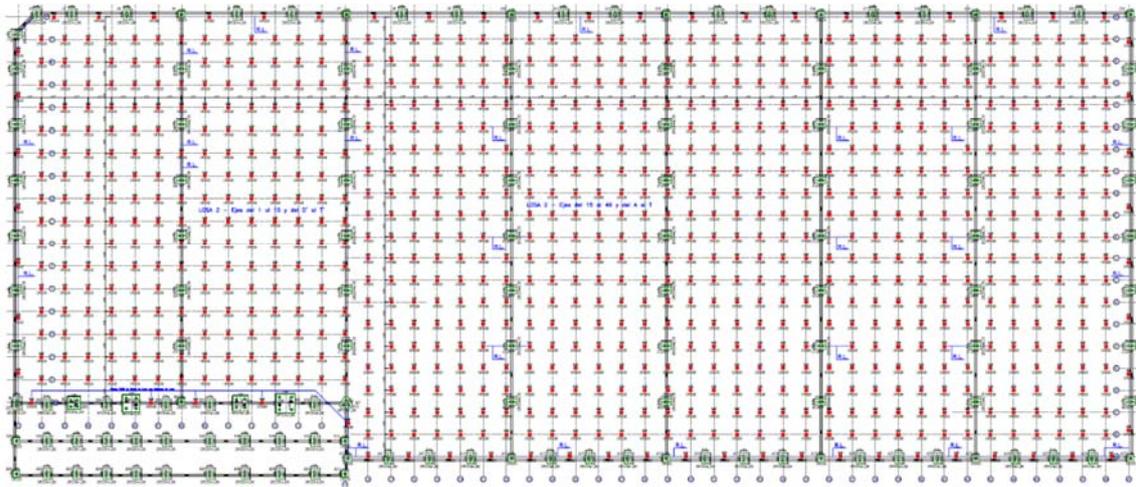


El importe de la solución planteada de cimentación profunda y refuerzo inferior de la solera ascendió a la cantidad de 360.447,3 euros, ampliándose el plazo por requerimiento de la propiedad en solo dos meses y medio (finales de Agosto 2016), reajustándose los plazos de las tareas y solapando su ejecución, con el consiguiente

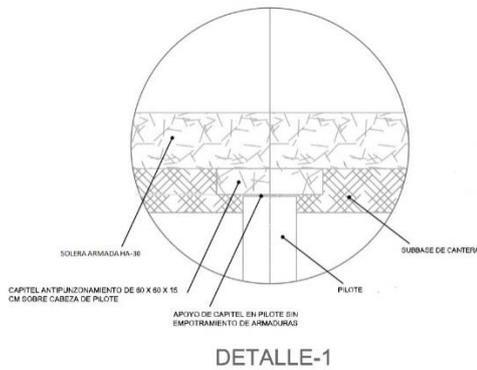
trabajo posterior de coordinación en obra. Se estableció la nueva línea base (curva roja) tomando los valores certificados como parte de la planificación. En color morado se muestra la certificación del proyecto, dónde se puede ver cómo hasta el mes de Mayo de 2016 el proyecto seguía la planificación perfectamente.

Las curvas de planificación y certificación no coinciden en su punto final porque la propiedad modificó calidades de los materiales y subcontrató directamente algunas de las instalaciones y acabados, no ajustándose la línea base que se había creado en Enero de 2016. El proyecto finalizó con un mes de retraso donde se fueron intercalando actividades de acabado de oficinas, con pruebas de puesta en marcha de las diversas instalaciones. En la Figura 13 se muestran algunas imágenes del Centro de Almacenamiento y Distribución de Electrodomésticos finalizado.

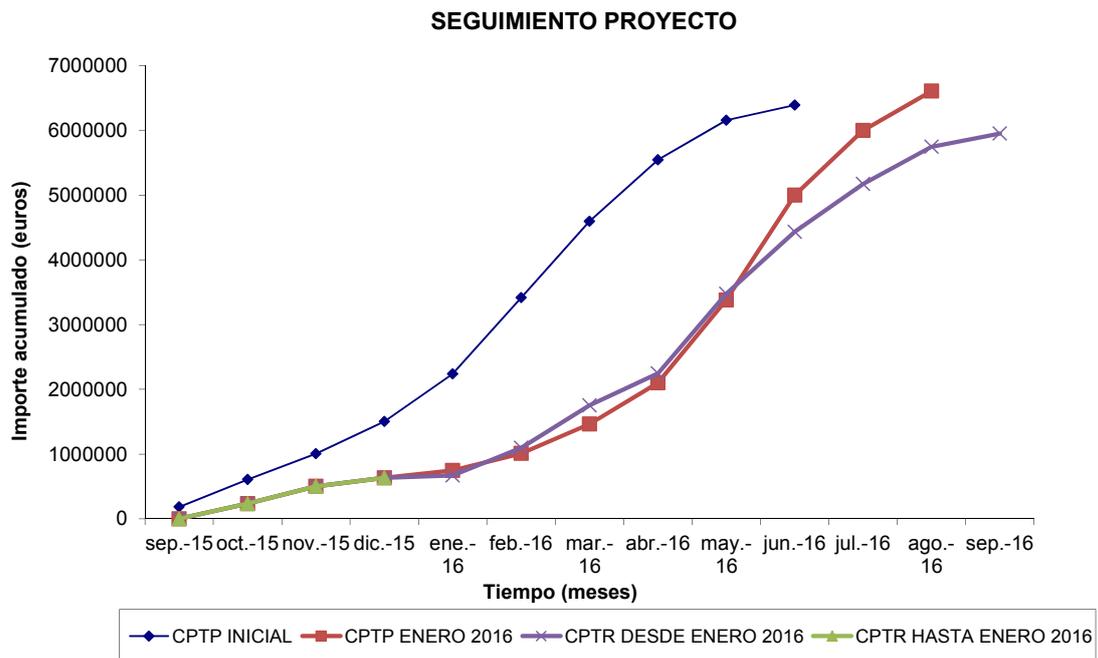
**Figura 10: Malla de micropilotes para el apoyo del pavimento industrial. Fuente: P14 y Elaboración propia**



**Figura 11: Ejecución del pavimento industrial. Fuente: Elaboración propia**



**Figura 12. Seguimiento del Proyecto. Fuente: Elaboración propia**



**Figura 13: Centro de Almacenamiento y Distribución finalizado. Fuente: Elaboración propia**



### 3.- Conclusiones.

En la presente comunicación se analiza el caso de estudio de una edificación industrial donde la presencia de dolinas susceptibles de colapso han supuesto importantes cambios en el diseño técnico de la cimentación, estructura y pavimento industrial. Estos cambios realizados durante la ejecución del proyecto han supuesto una modificación y ajuste del presupuesto del proyecto, así como una modificación de la planificación temporal del mismo.

El proyecto finalizó cumpliendo los requisitos funcionales del sistema productivo del cliente, con un retraso mínimo en plazos y con un ajuste de calidades y elementos constructivos que permitieron finalizar con un presupuesto global inferior al inicialmente estimado.

Los autores, en función de la experiencia adquirida en este proyecto, recomiendan para plataformas logísticas de este tamaño (dada su gran superficie y el alto presupuesto del proyecto) aumentar el número de penetraciones y sondeos a realizar

en el ensayo geotécnico, así como la combinación con técnicas como georádar y la realización de catas mecánicas.

#### 4.- Referencias

- Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). (2006). UNE-EN 12794:2006+A1:2008. Productos prefabricados de hormigón. Pilotes de cimentación.
- España. Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, núm. 74, 28 de Marzo de 2006, 11816-11831.
- De Justo Alpañales, J.L., Durand Neyra, P. & Justo Moscardó, E. (2002). Construcción de infraestructuras en terrenos expansivos y colapsables. *Revista de Obras Públicas*, 3422, pp. 39-49.
- G2G Consultores S.C.P. (2015). Estudio Geotécnico Nave Logística en C/ Corretger, C/ Algepser, C/ Llanterner de Polígono Industrial Fuente del Jarro. Paterna (Valencia).
- Google Maps [En línea]. C/ Algepser 68-84. Polígono Táctica de Paterna (Valencia). Disponible en: <<https://www.google.es/maps/place/Eldisser+S.A./@39.5216586,-0.4606801,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0xd605aa467f6dc1d:0xe19a2a40acda18d5!8m2!3d39.5216586!4d-0.458486>> Acceso: Febrero 2017.
- Menard España S.A. (2015). Oferta de Tratamiento por Medio de Compactación Dinámica de Alta Energía. Nave Logística Martí Pons e Hijos S.A. de Paterna (Valencia).
- Ministerio de Fomento (2005). Guía para el proyecto y la ejecución de micropilotes en obras de carretera. Ed: Ministerio de Fomento. 142 p.
- Montenajo Sanz, J.C., Pérez Rodríguez, T. (2013). Aplicaciones de técnicas de densificación de suelos en edificación. Tratamiento de los rellenos de cimentación del Hotel Vela en Barcelona y la nueva escuela alemana en Madrid. *45ª Jornada Técnica Obras de Interés Geotécnico ejecutadas por los constructores españoles*. Organizada por la Sociedad Española de Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica (SMSIG). Madrid.
- P14 Cimentaciones. Descargas / Catálogo [En línea]. Disponible en: <<https://drive.google.com/file/d/0BygcQUjuo77NcWfXlXFzZ3kyRFk/view>>. Acceso: Enero 2016.
- Peikko Group. Productos / Conexiones Atornilladas / Pies de Pilar. [En línea]. Disponible en: <[www.peikko.es/product-group-es/group=Pies+de+pilar](http://www.peikko.es/product-group-es/group=Pies+de+pilar)>. Acceso: Enero 2016.
- Prodein Ingeniería y Geotecnia (2015). Resultados Ensayos Proyecto Nave Industrial Pascual Martí.
- Rinol Roeland Suesco. Soluciones y Productos / Fibras / Twinplate [En línea]. Disponible en: <<http://www.rocland.es/index.php?s=3&n=3-1-3>>. Acceso: Febrero 2016.
- Silsoil. Obras [En línea]. Disponible en: <<http://silsoil.es/obras/index.php?tipo=1>>. Acceso: Febrero 2017.
- Simon, J.L., Soriano, M<sup>a</sup>. A., Pocoví, A., Arlegui, L.E., Casas, A.M., Liesa, C.L., Luzón, A., Pérez, A., Pueyo, O., Pueyo, E., Mochales, T., Gracia Abadías, F.J. & Anson, D. (2009). Riesgo de subsidencia kárstica en áreas urbanas: el caso de Zaragoza. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(3), 303-315.