



Facultad De Ingeniería

Reparación de la Explanada Patio La Tosca – Complejo Portuario Puerto Lirquén

Obtención Grado de Ingeniero Civil Oceánico

Alumno: Roberto Born O.

Profesor Guía: Jaime Leyton Espoz



I.- Formulación del problema

Puerto Lirquén principal puerto privado de la VIII región.

El 27F/2010, terremoto de 8.8 de magnitud, tsunami.

Las defensas de la explanada operaron bien, pero las olas sobrepasaron éstas.

Licitación para reparación.

Especificaciones Aldunate Vázquez.

Se declara desierta, costos demasiados altos.

Producto de esto, se buscan nuevas propuestas y se negocia con cada uno de los oferentes, para ver cuál ofrecía la mejor solución.



2.- Preguntas de investigación:

Efectos sismo en la explanada Patio la Tosca.

¿Es la mejor ecuación técnica económica: pilotes de desplazamiento v/s compactación dinámica?

¿Cuales propuestas se presentaron?

¿Cómo se realizaron los trabajos?



3.- Relevancia del estudio

Desierta, problema de costos. Magnifico para grandes dimensiones.

La ventaja de la investigación alternativa a las posibilidades propuestas por el propietario.

Soluciones técnica económica factible. Eficiente.

Material útil para herramienta de estudio, pilotes de desplazamiento.

Limitaciones de información, al no ser relevante para la actividad portuaria, es un trabajo de ingeniería civil siendo solo los costos operacionales del Patio La Tosca.

4.- Marco Teórico

Que es una explanada (MOP).

Terreno ganado al mar.

Especificaciones técnicas:

Ensayes compactación dinámica.

Ensayes sectores a reparar.

Experiencias en obras similares, pilotes desplazamiento.



5.- Enfoque Metodológico

El estudio específico de un caso, no es necesariamente representativo para otros.

- Enfoque cuantitativo.
- Etapas:
 1. Análisis de la situación.
 2. Identificación de solución.
 3. Selección de la solución factible.
 4. Diseño e implementación de la solución.
- Recopilación de información que sustenta la solución.

A partir de estos datos se desarrolló la solución más adecuada.



6.- Objetivos

6.1 Objetivo general.

- Exponer la recuperación de la explanada fuera de servicio por el sismo del 27 de febrero del 2010.

6.2 Objetivos específicos.

- Comunicar la técnica de pilotes de desplazamiento, para resolver el problema.
- Identificar los equipos y tecnologías necesarias, para resolver el tema del asentamiento.
- Explicación práctica de la técnica de pilotes de desplazamiento, para lograr la recuperación de la explanada.



7.- Análisis de los datos.

Proyecto de reconstrucción de la explanada.

7.1. Relleno de primera etapa.

7.2. Utilización de arenas del Biobío.

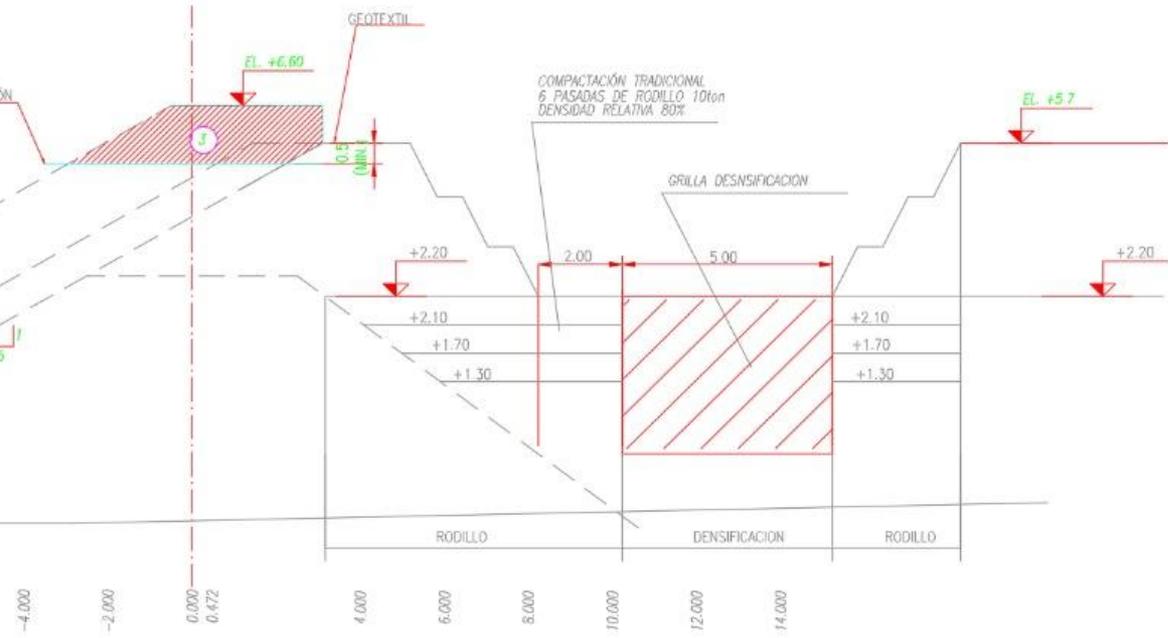
7.3. Material arenoso.

7.3.1. La arena del Biobío, es una arena muy estudiada un material muy barato en el sector.

7.3.2. Arena de grano fino y redondeado muy uniforme.

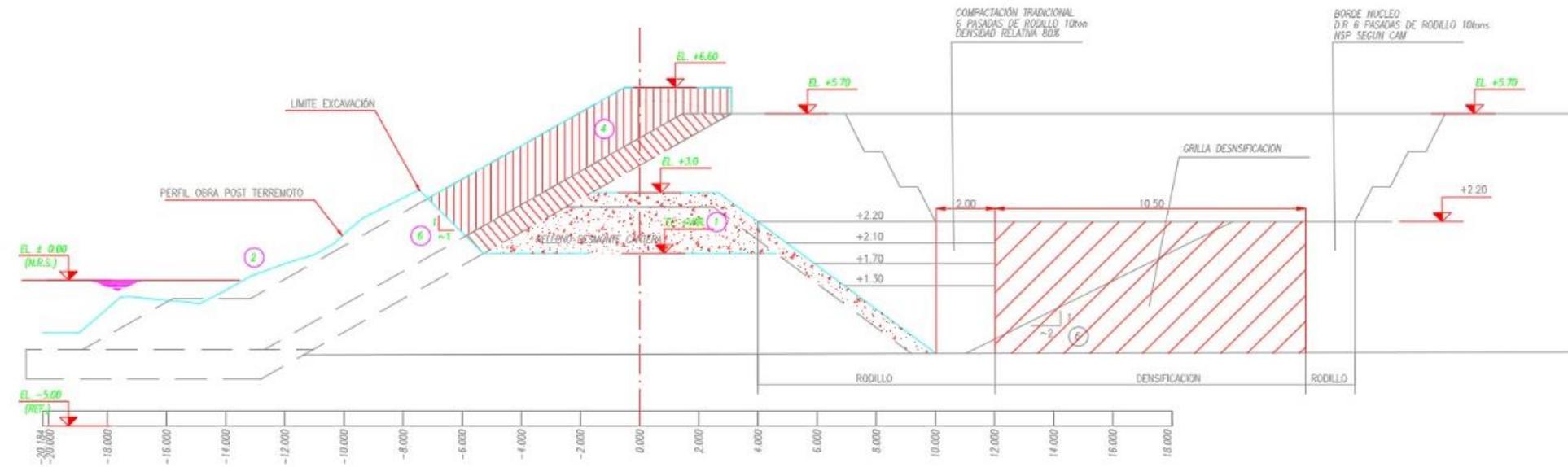
Corte Transversal

CORTE A-A



Corte Transversal

CORTE A-A



Características del terreno y Compactación

Los primeros metros del subsuelo marino sueltos o con baja compacidad, para esto se utilizó la compactación dinámica.

Los equipos a utilizar en la compactación dinámica son de muy gran envergadura, se realizó una cancha de prueba de 40 x 40 metros y se efectuaron 3 sondajes, para determinar la aceptación por rechazo de la compactación.

Se midió el NSPT y se determinó cual era el criterio de aceptación.

Posteriormente sobre la compactación de arena con equipos normales se echó un material arcilloso, perteneciente al patio La Tosca y sobre ello se confeccionó un pavimento flexible de adocretos.

Es muy importante para la determinación de la compactación del sector de arena el saber cual es el grado de flexibilidad del pavimento de arriba del sector de adocretos, porque no podemos utilizar un pavimento que sea mas rígido o menos rígido que el que aceptaba el criterio de aceptación determinado por la obra.

Luego de aceptado el criterio de aceptación, se realizó un adecuado programa de trabajo y se determinó que había que efectuar controles cada 1.000m² de sectores compactados.

Ese fue el trabajo que se desarrollo en base a las especificaciones técnicas desarrolladas por la empresa Aldunate Vázquez.



- **Criterios de Aceptación de la Compactación Dinámica**

- Se estableció como criterio de aceptación de la compactación dinámica a través de la medición del NSPT de 30 cm.
- Que debe ser $\geq a 10,7 + 2,32 z$
- Donde:
- N= numero de golpes del ensayo normalizado.
- SPT= Standar Penetración Test.
- Z= profundidad en metros, a partir de la cota en donde se hace el sondaje.
- Este criterio de compactación dinámica es el mismo criterio que se aplico a toda la explanada.

8.- Análisis de los sondeos posterior al sismo.

Cuando se produjo la licitación de la reparación post sismo. Se decidió. Como la compactación dinámica era extremadamente cara, por sus costos fijos. Analizar que sectores que se tenían que reparar.

Se analizó los sondeos posteriores al sismo con lo cual se encontró que solo había que reparar los sectores cuyas áreas eran muy pequeñas, por lo cual se comenzó a estudiar un criterio que nos llevasen a la solución del problema que teníamos.

9.- Análisis cuantitativos de los estudios.

Los sectores a reparar eran solo dos.

1. Que tenía un ancho de 5 metros y una longitud de 140 metros.
2. Que tenía un ancho de 10,5 metros y longitud de 230 metros.

Lo que la sumatoria de ambas áreas de $700 \text{ m}^2 + 1.365 \text{ m}^2$, lo que hace un total de 2.065 m^2



10.- Análisis de los costos fijos de la implementación de la compactación dinámica.

Implementar un sistema para la compactación dinámica hay que trasladar a faena equipos extremadamente pesados: Grúa de 200 Toneladas, Torre y una cantidad de estructura auxiliares. Así como la masa que debía impactar en este caso a en base a las especificaciones técnicas de Aldunate Vazquez.

Una masa de 25 toneladas que debía caer de 25 metros de altura, lo que producía un impacto de 625 tonelada por metro.

11.- Análisis de material del relleno compactado.

El material de relleno a compactar, es una arena de origen volcánico. Es arena de dragado del río Biobío,

Es una arena de grado redondeado, muy difícil de compactar. Sobre todo en condiciones bajo agua. Con muy bajo contenido de finos.

Esta arena tiene:

$$e_{\min} = 0,55$$

$$e_{\max} = 0,93$$

$$\gamma_{\min} = 1.400 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_{\max} = 1.800 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

e es el número de vacíos.

γ es el peso específico del elemento seco.

La arena del fondo del mar, es una arena suave con un alto contenido de fino, bien graduada, fácil de compactar.

11.- Análisis de material del relleno compactado.

Los análisis de las condiciones de compactación específicas de las especificaciones técnicas, se basan en el número N, que ya en 1948 lo habría definido Terzaghi y Peck, donde hace correlaciones en base a arena, donde sabemos que el número N, pueden ser: muy sueltas, sueltas, media, compactada o muy compactada

Si vemos el criterio de compactación aplicado

N	Compacidad
(0 - 4)	Muy Suelta
(4 - 10)	Suelta
(10 - 30)	Media
(30 - 50)	Compactada
(> 50)	Muy Compactada

En función del Número n y de la profundidad; donde, de acuerdo a los sondeos con los criterios de aceptación establecidos ya estamos hablando de una arena que es media, la cual puede ser compactada con muy poco esfuerzo.

12.- Estado del arte para métodos alternativos.

La ROM (Recomendaciones para Obras Marítimas) de España.

Tenemos diferentes formas de compactar un terreno nos vamos a dividir en dos:

- Sin incorporación de materiales adicionales.
 - Compactación dinámica, vibro-flotación, compactación con explosivos
- Con incorporación de materiales adicionales.
 - Vibro sustitución, Jet Grouting, inyecciones con micro-cemento o kip o hincado de pilotes de desplazamiento.

Para poder adoptar el criterio de cual método vamos a usar tenemos que verificar dos situaciones, la primera es respetar el criterio de aceptación, pero la segunda no menos importante es que la flexibilidad superior cuando se haya restituido la totalidad de la explanada tenga la misma flexibilidad en cuanto a su pavimento de adocreto.

De cada uno de los métodos, tenemos que ver las ventajas y las desventajas que presenta cada uno.

Ventajas y desventajas.

Las ventajas y las desventajas las vamos a mirar primero en cuanto a lo técnico de respetar las condiciones de aceptación o de rechazo. Y segundo la flexibilidad de luego de sustituido la totalidad de la explanada en cuanto a su pavimento, vamos a verificar la realidad económica de las ventajas y desventajas.

De cada uno de los métodos indicados vamos a revisar ventajas y desventajas en cuanto a lo técnico y económico.

La compactación dinámica: Es un método, el mas adecuado, pero de muy alto costo, por lo cual queda absolutamente descartado, de este análisis.

La vibro-flotación: Este método lamentablemente no se puede utilizar, ya que el árido utilizado es de origen volcánico, redondeado y con nulo contenido de finos.

La compactación con explosivo: Este método puede ser muy barato, pero existe muy poca experiencia nacional en el tema y nos llevaría a una situación no recomendable técnica y económicamente en su defensa.



Compactación con aporte de materiales.

Primero tenemos la vibro-sustitución: La cual sería muy adecuada en este caso para las arenas del Biobío, por que estaríamos, incorporando contenido de fino con lo cual lograríamos una muy buena compactación, pero habíamos visto que en los primeros metros bajo el fondo marino que también debe ser compactado ya tienen contenido de finos, por lo cual este método técnicamente sería desechable.

El Jet-Grouting: sería un método muy adecuado, pero tiene dos inconvenientes fundamentales, el primero es su alto costo y el segundo es que el contenido de fino va a quedar contenido por el tipo de material, por estar inyectando cemento quedaría muy rígido y no se asemejaría a la flexibilidad que se necesita.

Y por último como habíamos mencionado, tenemos el hincado de pilotes de desplazamiento que tiene desventajas por que no existe un método perfecto pero tiene grandes ventajas técnico económicas, para la empresa, por que la empresa dispone de esos equipos en la zona y el material a agregar es de muy bajo costo. Es chancado de cantera que existe en la misma zona donde se ejecutan los trabajos, y por eso decidimos que este era el método más adecuado, tanto en lo técnico como en lo económico.

Pilotes hincados de desplazamiento

Los inconvenientes que presentan es que generan una alta contaminación acústica, pero si bien eso es una limitante para el uso del terreno. No lo es en este caso, porque los dos sectores a compactar están muy lejos de las viviendas habitadas, por lo cual la contaminación acústica, no tiene ninguna relevancia, porque podemos formar con el mismo material de excavación de la arcilla superior una barrera acústica que va a impedir que se propaguen las ondas de ruido, sin que generen inconvenientes por el tema. Además en cuanto a la flexibilidad superior de la capa de rodado va a quedar exactamente igual, porque lo único que estamos haciendo es compactando las arenas de rellenos y las arenas existente bajo suelo marino y en la parte superior la reposición que se va hacer es con la misma arcilla que hemos excavado y es con la que se realizara la barrera acústica y el pavimento de adocretos es el mismo existente en todo el sector, con lo cual estaríamos absolutamente cumpliendo las condiciones técnico-económicas fundamental para el proyecto.

13.- Determinación de la grilla de trabajo.

Los sectores que se recomponen son dos áreas cuyos anchos son respectivamente:

$$A1 = 5 \text{ metros}$$

$$A2 = 10,5 \text{ metros}$$

Se diseñó una grilla, donde se fue hincando los pilotes desde el exterior hacia el interior en espiral de forma de ir movilizand el material hacia el centro de la grilla.

Utilizamos una separación de \varnothing 1,5 metros sabiendo que un pilote moviliza su suelo alrededor en un radio de 3 a 6 diámetros del pilote. En la separación de 1,5 m entre ejes de pilotes se tiene una separación de 1,10m entre pilotes es decir 2,66 diámetros del pilote utilizado; esto fue normalmente suficiente para lograr una adecuada compactación.

14.- Equipos de trabajo presentados.

La empresa decidió presentar los siguientes equipos de trabajo:

- martillo de hinca diésel D-12
- pilotes de \varnothing 16". En longitud suficiente.
- Se utilizó para extraer los pilotes, un martillo vibratorio MKT-VI 6
- Para el llenado se proveyó una excavadora propiedad de la empresa.

En la parte inferior de los pilotes se puso una tapa metálica de 16mm de espesor y se le soldó en su interior una cruz de refuerzo con pletina de igual espesor. La tapa se fabricaron de φ 420 mm, con el objeto que exista una pequeña holgura con respecto al diámetro externo del pilote.

Para el relleno se utilizó chancado de cantera que se compactó al 80 % – 85 % de DR% (densidad relativa), mediante la vibración sometida a la camisa metálica durante la extracción

15.- Determinación de la cuantía de pilotes y compactación generada.

Se consideró un volumen representativo de espesor unitario de 7,5 x 7,5 metros entre medio de los anchos de los dos sectores a reparar.

Es decir teníamos un volumen de 56,25 m³.

Donde se tiene: 16 pilotes al 100%

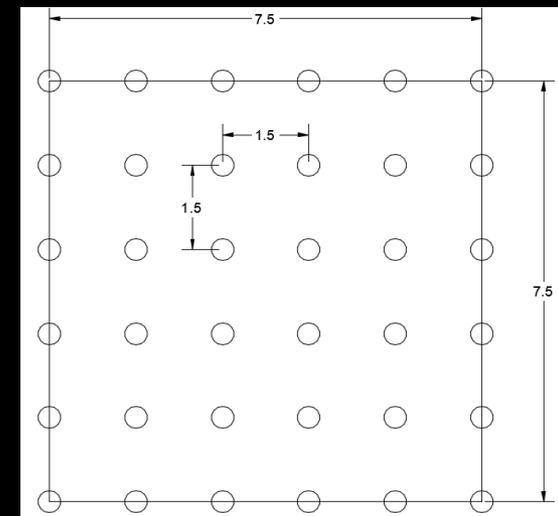
16 pilotes al 50%

4 pilotes al 25%

Realizamos el análisis del volumen total del sector, y le descontamos los volúmenes de los pilotes que teníamos y determinamos el $e_{\min.}$ y $e_{\max.}$ en cada uno de los casos.

En función de ello vemos que la movilización del material es mas que suficiente y se tiene una densidad relativa.

Como el material del Biobío es un material absolutamente estudiado, con estas densidad relativa estaríamos superando el criterio de aceptación y obtendríamos una compactación mas que adecuada.



16.- Cancha de prueba.

Se efectuó una cancha de prueba y se le hizo un sondaje previo y topografía del sector y se hincaron los pilotes para realizar un sondaje posterior al hincado de los pilotes.

De cada pilote se llevó un registro de hinca, donde se media el número de golpes de penetración en base a 30 cm igual condición que el NSPT.

Se fue hincando desde el exterior a interior. Se estableció como criterio de rechazo del pilote por experiencias previas de 80 golpes/pie.

Todos los pilotes se hincaron hasta que se produjo el rechazo y además se fue analizando la profundidad, para saber cuanto era la penetración en el suelo marino. Y luego de realizada la primer cancha de prueba constatamos a través del sondaje posterior, que se cumplían las condiciones de criterio de aceptación o rechazo establecidas en las especificaciones técnicas de Aldunate Vazquez .

17.- Ejecución de los trabajos.

Las áreas a reparar se dieron en dos sectores A1 y A2.

- Se juntaron sondajes post hincados, porque pre hincado ya lo había suministrado el cliente.

Se llevó un registro del hincado de cada uno de los pilotes y de acuerdo a lo establecido en el punto anterior se fue hincando desde fuera hacia dentro.

Se utilizo para hincar:

- Una pilotera Bauer BG7, con pilotes de 16 pulgadas, con un largo de 8m. Situación que era superior a la cota de relleno de arena, más el sector que debía penetrar a lo menos 2 metros primeros bajo el fondo marino.
- Un martillo de hinca Delmag D-12
- Para la extracción una grúa Link Belt HC78 de 35 toneladas de capacidad, con un martillo extractor MKTV-16.
- El relleno se realizo con una excavadora OYK, con motor Deutz de 5 cilindros.

17.- Ejecución de los trabajos.

Se contrato a la universidad de Concepción, para que hiciera sondajes SPT en cada una de las grilla. Además analizó la DR del relleno del interior del pilote.

Este relleno utilizamos chancado de cantera que tenia un porcentaje de hasta el 15% de finos, que provenía de la misma cantera donde se había extraído la roca del enrocado. O sea el costo de este material era nulo.

Aprovechando la fuerte vibración del martillo vibratorio en el proceso de extracción, se constato que la DR del relleno era superior al 80%, con lo cual estábamos absolutamente cumpliendo con el criterio de aceptación o rechazo.

Además se instaló un pequeño taller de soldadura, donde se fabricaban las tapas metálicas.

18.- Solución técnico económica adecuada.

En esta situación de post sismo donde la cantidad de terreno afectado para reparar es de menor magnitud, se hace inviable esta solución de compactación dinámica.

Es inviable por que hay que movilizar una grúa, torre pluma y equipos de gran envergadura,, superior a 200 toneladas. Varios camiones para poder trasladar la pluma, varios camiones para poder trasladar la grúa, un camión para poder trasladar la masa de 25 toneladas.

Mientras la compactación por pilotes de desplazamiento, ya la empresa había realizado trabajos similares en arenas del Biobío y había obtenido excelente resultados. Además disponía de los equipos en la zona y con el objeto de lograr una rigidez en el suelo de la capa superior del rodado, es decir a la cota 5,7 se debió eliminar las inclusiones rígidas como eran las del Jet-Grouting o las inyecciones de microcemento o todas esas alternativas del estado del arte que se podrían haber empleado, mientras que los pilotes de desplazamiento sabemos que solo afecta al sector de arena y que el estrato superior hasta la cota 6,7 se realiza con el mismo material de cantera y que se puede compactar con maquinas tradicionales obteniéndose lo mismo y posteriormente se efectúa la pavimentación con adocretos.

Por estas razones presupuestarias se adopto esta ultima solución que cumplía las condiciones técnicas y una mejor ecuación económica

19.- Estrategia Comercial.

Con el objeto de que el cliente tuviera una predisposición muy adecuada a aceptar el trabajo. Se ofreció hacer una grilla de prueba sin costo para el cliente si no daba los resultados adecuados.

Situación que para la empresa ejecutante no ameritaba ningún riesgo, por que ya sabíamos que había habido experiencias similares y los resultados habían sido óptimos.

Se realizo esa experiencia, se contrato a la Universidad de Concepción, se hicieron todos los ensayos tanto de SPT como de Densidad Relativa del relleno del pilote, por lo cual el cliente se mostró mas que satisfecho y nos encomendó la realización del trabajo.



20.- ¿Qué efectos tuvo el sismo en la explanada?

¿Es la mejor ecuación técnica - económica la reparación mediante pilotes de desplazamiento, en lugar de la compactación dinámica prevista en la construcción?

¿Cuáles fueron las alternativas de reparaciones que se presentaron?

¿Cómo se realizó las labores de reparación de la explanada?

21.- Con respecto a los objetivos.

Con respecto a los objetivos planteados en esta memoria, se ha descrito como se hizo la recuperación de la explanada del patio La Tosca.

Objetivos específicos:

Se ha comunicado de forma detallada la técnica de pilotes de desplazamiento.

Se han identificado las soluciones en equipamiento y tecnologías con los cuales se pueden resolver el problema.

Se ha explicado claramente como es la aplicación en la practica de la técnica de pilotes de desplazamiento.

El Patio La Tosca desde que se recupero ya lleva más de 10 años en perfecto funcionamiento.