

Técnicas de Mejoramiento de Suelos aplicadas al proyecto Puente Industrial en Concepción, Chile

Soil Improvement Techniques applied to the Industrial Bridge project in Concepción, Chile.

Remi Chatte

Menard LATAM, Chile, remi.chatte@menard-mail.com

Angel Ramos Amaya

Jefe Oficina Técnica Aleatica, Puente Industrial, Chile

ABSTRACT: The Puente Industrial Project in Chile is a development initiative aimed at fostering economic growth and enhancing infrastructure in Concepción urban area. The project centers around the construction of a strategically located bridge that connects key areas in both sides of the river BioBio. In addition to the construction of a 2.5 km long bridge, the project includes the execution of roads to connect the future bridge with the existing infrastructures. Due to the proximity to the river, the soils on which the future connecting roads will be built present a variety of geotechnical challenges to be solved in order to guarantee the stability of the future roads. In this context, several soil improvement techniques were implemented to mitigate the risk of liquefaction of loose sands, increase the bearing capacity of clayey soils, and reduce settlement of anthropogenic fills under embankment loading. Dynamic compaction, and Controlled Modulus Columns were executed on a large scale within the scope of this project to ensure the stability of future roads.

KEYWORDS: mejoramiento de suelos, compactación dinámica, inclusiones rígidas, Columnas de Modulo Controlado, carreteras

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Infraestructura vial en la región de Concepción, Chile

La región urbana de Concepción es un importante centro industrial en Chile, con un tráfico intenso, especialmente en las horas pico. La construcción de un nuevo puente conectando las comunas de Talcahuano, Hualpén, Concepción y de San Pedro de la Paz proporcionará un vector para impulsar el crecimiento económico de la región al mejorar la conectividad entre diferentes áreas industriales y comerciales.

Además, la congestión vehicular de Concepción ha incrementado de forma significativa en los últimos años debido al flujo de carga pesada y vehículos particulares. El nuevo Puente Industrial ofrecerá una ruta alternativa, ayudando a descongestionar las vías principales de la ciudad.

1.2 Proyecto del Puente Industrial

El proyecto Puente Industrial incluye 3 sectores distintos:

- ✓ Sector A (Norte) – Hualpén – Km 0.000 a Km 1.830
- ✓ Sector B - Puente Industrial – Km 1.840 a Km 4.360
- ✓ Sector C (Sur) - San Pedro de la Paz – Km 3.900 a Km 6.200

Los sectores A y C consisten en la construcción de terraplenes de acceso y obras viales para conectar el futuro puente con las vialidades existentes. En estos dos sectores, se construirán también las obras civiles y los viaductos para asegurar las conexiones y los enlaces proyectados.

El sector del puente (B) consiste en la construcción de una estructura de 2.520m de longitud para conectar ambas riberas del río Biobío. La superestructura del puente está compuesta por 56 tramos de 7 vigas pretensadas. Cada tramo tendrá una luz de 45

m. Las cepas del puente vienen fundadas mediante 4 pilotes de 2.5 m de diámetro.

En los dos sectores con terraplenes y obras viales (sectores A y C), las condiciones geotécnicas no permitían la construcción de las futuras vialidades sin la ejecución de un mejoramiento de suelo previo.

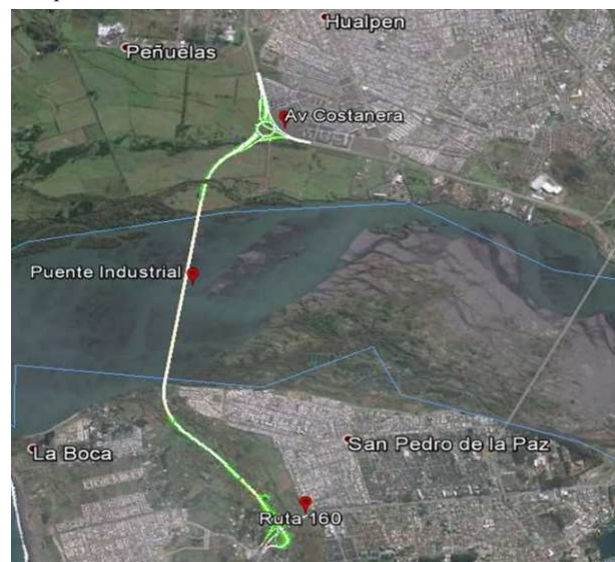


Figura 1. Ubicación del proyecto “Puente Industrial” en Concepción, Chile.

1.3 Condiciones geotécnicas del proyecto

Concepción está ubicada en una región geológicamente activa y variada, con suelos que pueden presentar una amplia gama de características. Además, dada la actividad sísmica en la región, era un requisito evaluar el potencial de licuefacción del suelo durante un terremoto.

1.3.1 Sector Norte (A)

En la ribera norte (sector A - Hualpén), el suelo está conformado por una arena potencialmente licuable hasta una profundidad máxima de 5 m. Bajo esta capa de arena se desarrolla una arena muy compacta atravesada por un horizonte de limo consistente de plasticidad baja a nula. Estas capas profundas no exhiben problemas de licuación.

1.3.2 Sector Sur (C)

Para el terraplén de acceso en el sector C (San Pedro de la Paz), el suelo se caracteriza por un horizonte superficial de arenas y limos arenosos blandos sin plasticidad con un espesor de 5 a 6 m. Se detectó un riesgo de licuación de las arenas hasta una profundidad entre 2 y 3 m.

En la parte sur de los rellenos de acceso (entre Km 5.480 y Km 5.664), los sondeos de investigación detectaron la presencia de una arcilla blanda con una resistencia de punta q_t con el CPT inferior a 1 MPa hasta una profundidad de 9 m. La carga aplicada por los futuros terraplenes, combinada con la presencia de suelos arcillosos con bajos valores de SPT y CPT, no permitía asegurar valores de asentamientos aceptables para el proyecto así que una capacidad portante mínima requerida para soportar los terraplenes.

2 COMPACTACIÓN DINÁMICA Y APLICACIÓN AL PUENTE EN CONCEPCIÓN

2.1 Definición de la Compactación Dinámica

El concepto de la técnica de Compactación Dinámica es mejorar las propiedades mecánicas de un suelo granular suelto mediante la transmisión de impactos de alta energía. Inicialmente con baja capacidad portante y altos potenciales de compresibilidad, los suelos se densifican con la propagación de ondas primarias y superficiales.

En suelos no saturados, las ondas desplazan los granos del suelo y los reorganizan en una configuración más densa, como en un ensayo Proctor. En suelos saturados, el suelo se licua localmente y los granos se reorganizan en un estado más compacto. En ambos casos, la disminución de los vacíos y el aumento del contacto granular interno conducirán directamente a una mejora de las propiedades del suelo.

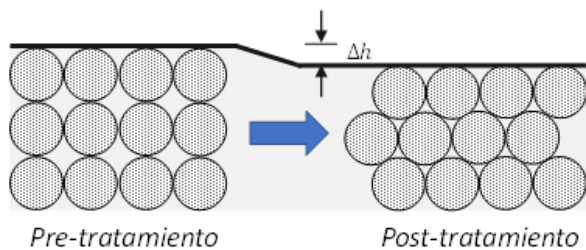


Figura 2. Efecto de la Compactación Dinámica sobre la estructura de un suelo granular.

La energía del impacto se obtiene dejando caer una masa de acero desde una altura entre 10 a 30 m. El peso de la masa suele oscilar entre 8 y 25 toneladas.

2.2 Método constructivo

La compactación dinámica consiste en dejar caer una masa varias veces desde una altura predeterminada siguiendo un patrón cuadrícula implementado sobre la zona de tratamiento. Se requiere una plataforma de trabajo adecuada a una altura de al menos 1,5 m por encima del nivel freático. El mejoramiento en las características del suelo debido al proceso de compactación depende de varios factores como:

- ✓ el patrón y el espaciamiento de la cuadrícula,
- ✓ la forma y el peso de la masa,
- ✓ la altura de caída,
- ✓ el número de fases y el número de caídas utilizadas en cada punto de la cuadrícula.

El proceso de compactación dinámica suele formarse mediante la realización de múltiples fases, comenzando con el espaciamiento primario (fase 1), que se rellena con fases secundarias (fase 2) y, posiblemente, si es necesario, con fases terciarias (fase 3). En la figura 3 se ilustra un patrón típico utilizado en la compactación dinámica.

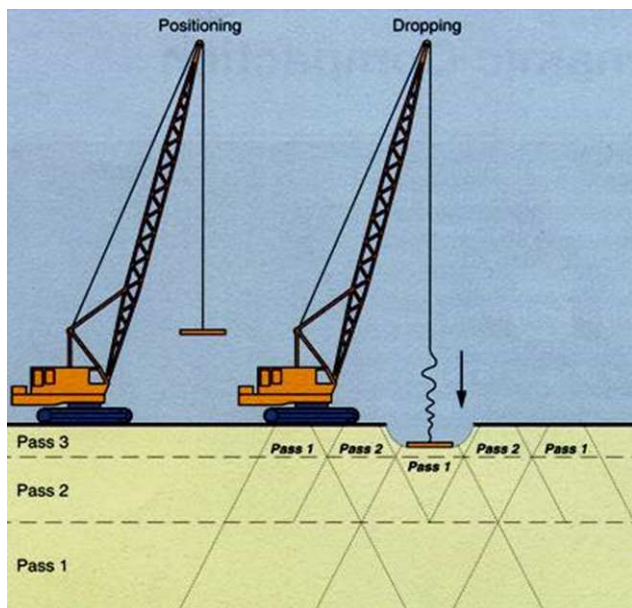


Figura 3. Aplicación de la Compactación Dinámica por fases.

La fase inicial del tratamiento se realiza en una cuadrícula primaria amplia con la máxima cantidad de energía de impacto por punto (huella). El objetivo de esta fase es tratar las capas de suelo más profundas. La segunda fase, cuyo objetivo es tratar la capa intermedia del suelo, puede llevarse a cabo con menos energía. Después de cada fase de compactación, las huellas deben rellenarse, utilizando material de la plataforma, o importando material de relleno.

Si es necesario, la fase final (planchado) consistirá en puntos de impacto poco espaciados con uno o dos golpes por huella para mejorar la capa superior del suelo.

El tratamiento final consiste generalmente en una compactación superficial convencional con rodillo de la capa superior.

2.3 Profundidades de influencia

Como el método de Compactación Dinámica se aplica desde la superficie, es obvio que tiene limitaciones que son función de la unidad de energía utilizada en la obra. La energía unitaria suele expresarse en toneladas x metros (peso de la masa W multiplicado por la altura de caída H).

No existe una fórmula teórica que permita calcular directamente la profundidad de eficacia, es decir, la profundidad de las capas significativamente mejoradas, en función de la energía unitaria. Sólo la experiencia adquirida en numerosos proyectos diferentes, mediante la comparación de ensayos in situ realizados antes y después del tratamiento, permite establecer correlaciones empíricas.

Menard y Broise (1975) y Mayne and Jones (1984) desarrollaron varias ecuaciones empíricas para definir la profundidad de influencia D .

$$D = c \alpha \sqrt{W \cdot H} \quad (1)$$

Donde:

- ✓ $c = 0.7$ a 0.9 para la caída con cable en función del tipo de malacate de la grúa
- ✓ $c = 1$ para caída libre
- ✓ $\alpha = 0.5$ para rellenos heterogéneos
- ✓ $\alpha = 0.7$ para materiales granulares

Desde un punto de vista práctico, se pueden considerar las profundidades de influencia en la siguiente tabla:

Tabla 1. Profundidades de influencia en función de la energía unitaria

Energía unitaria	Profundidad de influencia
200 t.m	5 a 6 m
300 t.m	7 a 8 m
400 t.m	9 a 10 m
600 t.m	11 a 12 m

2.4 Aplicación al proyecto de Puente Industrial

Para el tratamiento de los suelos arenosos sueltos identificados en los sectores norte y sur del proyecto Puente Industrial, se utilizó una masa de acero de 15 t con una sección de 2m x 2m. La altura de caída era del orden de 15m. Según la tabla 1, se puede alcanzar profundidades mayores a 5m con la energía unitaria desarrollada.

2.4.1 Ejecución de una cancha de pruebas

Con el fin de ajustar los parámetros de la compactación dinámica (número de golpes, altura de caída, separación entre huellas), se ejecutó una zona de calibración, o cancha de pruebas, previa al tratamiento general de las huellas de los futuros terraplenes.

Después de haber realizado un levantamiento topográfico de la zona de trabajo para determinar la cota inicial de la plataforma, se ejecutaron sondajes de referencia para determinar las características geotécnicas del suelo virgen, sin mejoramiento, de la cancha de prueba. Tres sondajes SPT y 3 sondajes CPT fueron realizados hasta una profundidad de 9m.

Tres subzonas fueron realizadas con una separación entre puntos de impactos de 4.0m, 4.5m y 5.0m. Para determinar el número óptimo de golpes en cada punto, se realizaron pruebas de levantamiento y penetración para cada zona de diferente espaciamiento de cuadrícula.

Una prueba de penetración/levantamiento consiste en dejar caer la masa en un único lugar y medir el volumen generado por a) la penetración de la masa y b) el posible levantamiento del suelo por encima del nivel inicial del terreno antes, durante y después de la prueba.

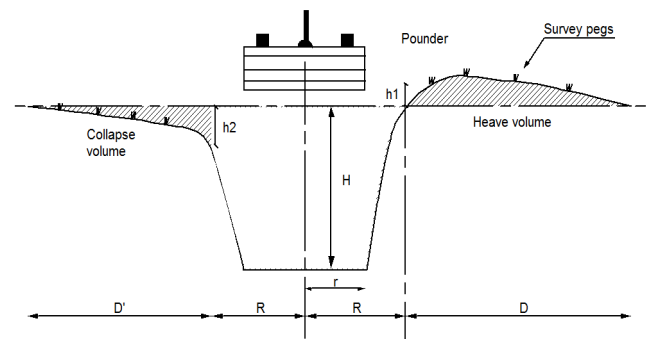


Figura 4. Principio del ensayo de penetración / levantamiento

Trazando el volumen neto de la huella (una vez deducido el volumen de levantamiento, si lo hubiera) en función del número de golpes, puede evaluarse el número óptimo de golpes cuando se alcanza una asíntota, como se muestra en la figura 5.

Figura 5. Determinación del número óptimo de golpes

En el caso del proyecto del puente en Concepción, se definió los tratamientos siguientes:

- ✓ número de golpes óptimo de 7 golpes con 18 m de altura para los sectores de 3m de profundidad
- ✓ número de golpes óptimo de 9 golpes con 18 m de altura para los sectores de 5m de profundidad

Una vez ejecutada la Compactación Dinámica en las zonas de canchas, se ejecutaron nuevos sondajes para determinar las características geotécnicas del suelo tratado. Esta nueva campaña geotécnica se realizó una semana después de la finalización de la Compactación Dinámica con el fin de asegurar la correcta disipación de las sobrepresiones intersticiales.

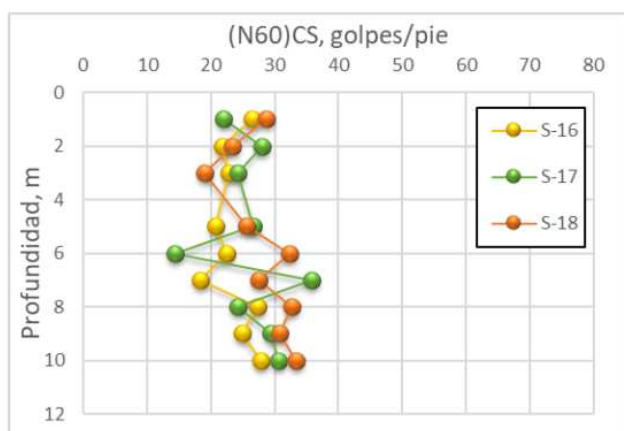


Figura 5. Resultados ensayos SPT corregidos previo al mejoramiento

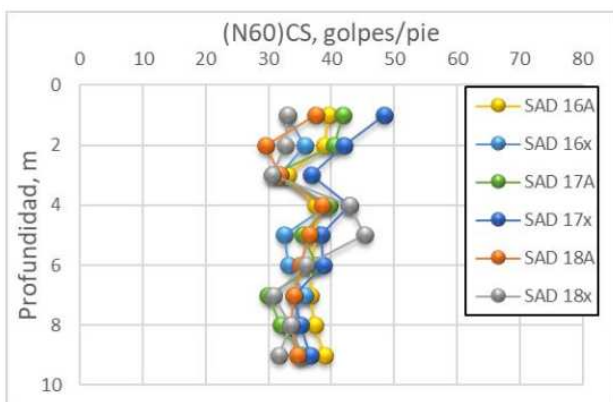


Figura 6. Resultados ensayos SPT corregidos posteriores al mejoramiento

Conforme a las figuras 5 y 6, los resultados de N_{SPT} corregidos muestran un aumento desde un rango de 20 a 30 golpes/pie a 30 a 40 golpes/pie luego de tratar el suelo con Compactación Dinámica.

Los resultados no permitieron apreciar una diferencia notable en la compacidad medida para el rango de grilla inicialmente planeado (4.0 m, 4.5 m y 5.0 m). Entonces, se decidió aplicar una separación promedia entre puntos de impacto de 4.5 m para la totalidad de las zonas por compactar.

Basado en lo anterior, se calcularon los factores de seguridad a la licuación antes y después de tratar el suelo con Compactación Dinámica. Los parámetros sísmicos utilizados son una aceleración PGA de 0.4 g y una magnitud M_w de 8.

Figura 7. Factor de seguridad a la licuación previo al mejoramiento

Figura 8. Factor de seguridad a la licuación posterior al mejoramiento

Gracias a las canchas de prueba, se concluyó que el proceso de Compactación Dinámica permite eliminar el riesgo de licuación en el subsuelo logrando una densificación mínima de los suelos granulares sobre las profundidades inicialmente definidas.

2.4.2 Aplicación a los sectores A y C del proyecto del Puente Industrial

Una vez definido el método constructivo mediante las canchas de pruebas, el mejoramiento de suelo mediante Compactación Dinámica fue aplicado de forma masiva en los sectores con arenas sueltas de los tramos norte y sur. En total, se mejoró una superficie de 75.000m² en el sector norte (Hualpén) y 26.000 m² en el sector sur (San Pedro de la Paz). Estas 10 hectáreas fueron compactadas durante un periodo no mayor a 6 meses.

Los trabajos de Compactación Dinámica fueron combinados con la ejecución de sondajes de control (tipo SPT y CPT) a razón de un punto de control cada 50m de avance lineal. Ubicados de forma alternada respecto al eje longitudinal, estos puntos de control permitieron concluir que el subsuelo fue densificado de

tal manera de no presenta riesgo de licuación.

3 COLUMNAS DE MODULO CONTROLADO (CMC) Y APLICACIÓN AL PUENTE EN CONCEPCIÓN

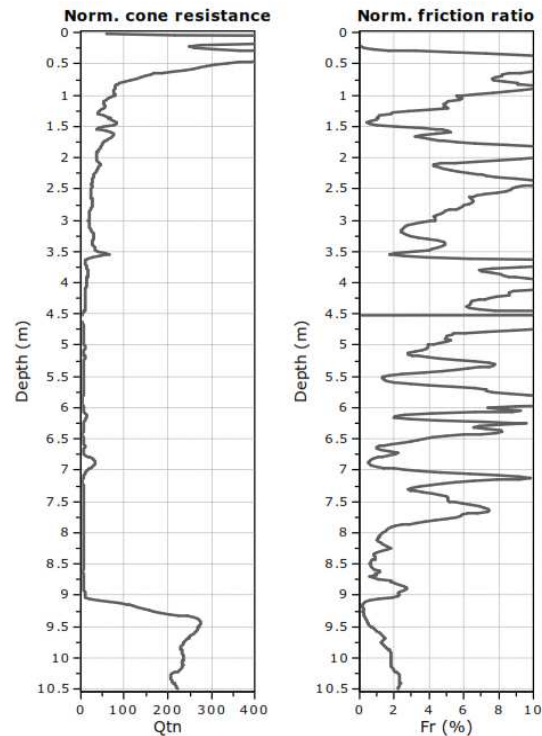
3.1 *Presentación de las Columnas de Modulo Controlado (CMC)*

Las Columnas de Modulo Controlado (CMC) es una técnica de reforzamiento del suelo consistente en la inserción de columnas semi-rígidas de mortero o hormigón que fue desarrollada por

3.2 *Procedimiento constructivo de las CMC*

Las CMC se ejecutan con una maquinaria con un alto torque y un importante empuje estático que dispone de una barrena especialmente diseñada para desplazar el terreno lateralmente, comprimiéndolo, y sin generar extracciones. Alcanzando la profundidad de diseño, las CMC están empotradas en el horizonte competente para proceder a continuación a la inyección del mortero o hormigón desde la punta.

La barrena de perforación es hueca, lo que permite inyectar el



primera vez por Menard en Francia a mediados de los noventa. El concepto se concibió inicialmente como una alternativa a las columnas de grava.

Las CMC son eficaces en todo tipo de suelos, pero especialmente en suelos arcillosos o limosos cohesivos blandos, para evitar asentamientos excesivos, pero también para proporcionar estabilidad y una capacidad de carga estructural adecuada. Se basa en un sistema de reparto de cargas entre el suelo y las columnas. Se suele utilizar debajo de estructuras con cargas uniformemente distribuidas, como almacenes, terraplenes, diques, turbinas eólicas y tanques de almacenamiento.

A diferencia de la Compactación Dinámica que consiste en un mejoramiento masivo de la estructura del suelo, las CMC pertenecen a la familia de las técnicas de reforzamiento. La inserción en el suelo de una inclusión de mayor rigidez provoca una redistribución de esfuerzos, de tal forma que gran parte de la carga lo absorbe el elemento introducido provocando una reducción de la carga aplicada al suelo deformable.

material conforme se produce la extracción. El mortero o hormigón empleado, con una preparación especial en planta, contiene aditivos especiales para controlar el módulo de deformación, se inyecta con una presión moderada que evita el colapso de la cavidad y con resistencias a compresión simple que pueden variar de 5 a 20 MPa, según los requerimientos del diseño de la solución. A diferencia del jet grouting o deep soil mixing, este mortero o hormigón no se mezcla con el suelo tratado.

Todas las fases de ejecución son monitoreadas por un ordenador a bordo de la máquina. Conforme avanza la perforación, se registra la velocidad de penetración, el par rotor, el empuje y la profundidad alcanzada. Durante la fase de extracción de la barrena se registra la velocidad de extracción, la presión y el volumen de mortero inyectado. Este control en tiempo real asegura que las CMC se ejecuten conforme al diseño.

3.3 *Aplicación al proyecto del Puente Industrial*

3.3.1 *Condiciones de suelo en el tramo Km 5.480 y Km 5.664*

El tramo Sur (C) del proyecto tiene un sector (entre Km 5.480 y

Km 5.664) con presencia de arcilla. La Compactación Dinámica no es efectiva en suelos cohesivos y por esta razón se tuvo que aplicar otro método de mejoramiento suelos. Los sondeos de exploración tipo CPT encontraron la presencia de una arcilla blanda con una resistencia de punta q_t menor a 1 MPa hasta una profundidad de 9m (ver figura 9).

Figura 9. sondaje representativo de la zona con arcilla en el sector C

Los espesores de terraplenes por construir en este sector alcanzaron los 6.2 m en la parte más alta. Sin mejoramiento de suelo previo, los asentamientos estimados eran del orden de 18 cm para una carga de 6.2 m de terraplén.

3.3.2 Diseño del mejoramiento de suelo con CMC

Se empleó el programa de elementos finos Plaxis 2D, en donde se obtuvieron los asentamientos con mejoramiento de suelos, así como, los esfuerzos internos en los elementos CMC de 420 mm de diámetro y un hormigón de 20 MPa de resistencia a los 28 días. Se pudo analizar el conjunto “terraplén - matriz de suelo mejorado” mediante un modelo de deformación plana. Se introdujo en el modelo plano 2D las CMC como elementos rígidos de comportamiento elástico (elementos placa), ver figura 10.

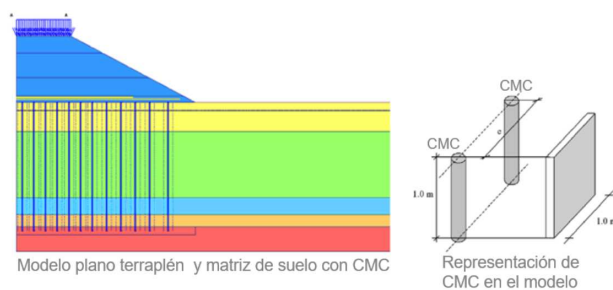


Figura 10. esquema de un cálculo de deformación plana

En la figura 11, se muestra el modelo plano longitudinal representando la estratigrafía basada en los sondeos de la zona y de igual manera se modeló la variación de las alturas del terraplén con respecto a los cadenamientos y las CMC con espaciamientos variables.

Es importante mencionar que entre el cadenamiento Km 5.460 al Km 5.500 se realizó mejoramiento de suelos empleando Compactación Dinámica, como parte de la primera fase del proyecto en cuestión.

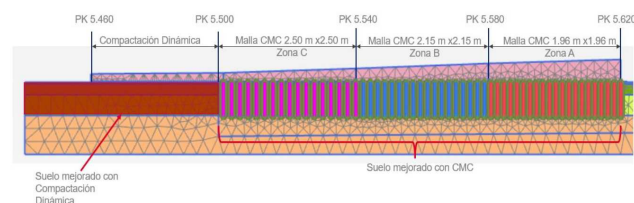


Figura 11. corte longitudinal de la matriz de suelo mejorado con CMC (modelo plano Plaxis 2D)

En las figuras 12 y 13 se muestran los resultados del análisis de deformación plana de un corte longitudinal, se observa que el

asentamiento máximo de la matriz de suelo mejorado con CMC es de 4.4 cm en el cadenamiento Km 5.620 correspondiente a un terraplén de 6.2 m (altura medida en el eje del proyecto), este valor de asentamiento comprueba la eficacia de las CMC, pues los asentamientos calculados sin mejoramiento superan los 18 cm.

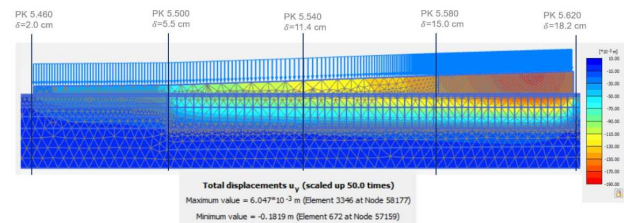


Figura 12. modelo plano longitud Plaxis 2D sin mejoramiento

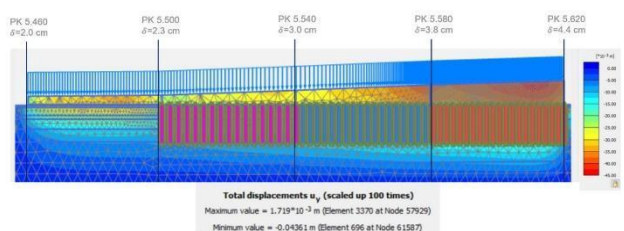


Figura 13. modelo plano longitud Plaxis 2D con mejoramiento

Esta etapa del diseño permite también determinar los desplazamientos horizontales que se producen en la parte superior de las CMC ubicadas en pie del talud. En el caso del proyecto del Puente Industrial, se verificó que las CMC no son sometidas a esfuerzos de tracción y se descartó la necesidad de reforzar las inclusiones.

El mejoramiento de suelo consiste en la inserción de elementos CMC de espaciamiento variado de acuerdo con los esfuerzos que transmite cada sección de terraplén. Esta solución permitió restringir los asentamientos y así obtener una relación de mejora del orden de 4.

Este análisis no considera la densificación del suelo entre columnas producido por el método constructivo por desplazamiento lateral. La mejora de las características del suelo no es fácil de estimar sin la ejecución de sondeos de control. Con el fin de realizar una estimación conservadora de los asentamientos, no se ha tomado en cuenta mejora del suelo entre las CMC.

3.3.3 Verificación de la integridad de las CMC en condiciones sísmicas

Con el fin de verificar la integridad de las CMC en condiciones sísmicas, se revisan los efectos sísmicos cinemáticos e inerciales. Del punto de vista cinemático, las ondas transmitidas por el subsuelo rocoso son transformadas en ondas que se difunden hacia la superficie por medio de las capas superficiales. El esfuerzo máximo asociado, toma la forma de un cuarto de curva sinusoidal, que tiene un desplazamiento máximo en superficie (d_{max}). Del punto de vista inercial de los efectos sísmicos, se generan cargas horizontales en las estructuras, definidas en el

cálculo estructural.

Conociendo el valor del desplazamiento de los suelos con la profundidad (cinemático + inercial o cinemático – inercial), es entonces posible calcular las solicitaciones aplicadas a las CMC a cada profundidad (ver figura 14) siguiendo la teoría de columnas bajo fuerzas laterales, haciendo un cálculo de diferencia finita elasto-plástica:

- valores de M (momento)
- valores de N_{ED} (fuerza axial)
- valores de e (excentricidad) y T (fuerza de cortante) en las CMC.

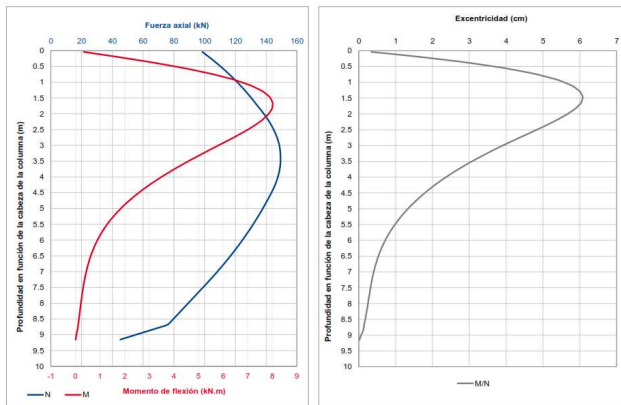


Figura 14. Solicitaciones aplicadas a las CMC del proyecto Puente Industrial

Se puede estimar la resistencia axial de las columnas no reforzadas en cada punto N_{RD} con una excentricidad $e = M/N$ con la relación siguiente:

$$N_{RD} = S_{ref} \cdot f_{cd,moy} \quad (2)$$

Donde:

- N_{RD} : fuerza normal resistente en kN
- S_{ref} : superficie de referencia en m^2
- $f_{cd,moy}$: esfuerzo medio de compresión admisible del hormigón en kPa

La superficie de referencia S_{ref} se define de acuerdo con la figura siguiente:

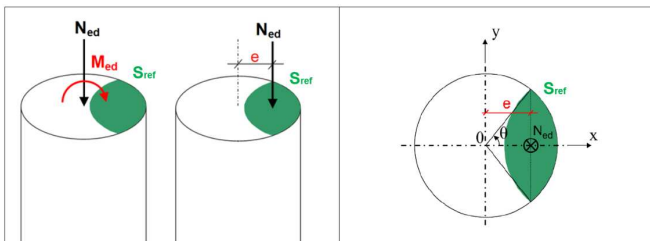


Figura 15. Definición de la superficie de referencia S_{ref}

Siguiendo el párrafo 12.6.1 del Eurocódigo 2, la fuerza axial N_{ED} en todo punto de la columna CMC es inferior a N_{RD} , se verifica entonces que las CMC del proyecto en Concepción resisten a las fuerzas horizontales del sismo con la resistencia del hormigón establecido y se puede garantizar su integridad.



Figura 16. Verificación de la integridad de las CMC en flexión compuesta

3.3.4 Trabajos en campo el proyecto Puente Industrial

En el marco del proyecto Puente Industrial, un total de 5.744 CMC fueron ejecutadas para un total de metros lineales de 49.700 ml. Como parte del control calidad de los trabajos realizados, se llevaron a cabo los controles siguientes:

- pruebas en laboratorio de resistencia del hormigón de CMC,
- pruebas de carga de hasta 25 toneladas, obteniéndose asentamientos menores a 2.5 mm,
- monitoreo de los parámetros de perforación e inyección del hormigón,
- seguimiento de avance y de profundidad mediante la plataforma en línea Omnibox (figura 17).

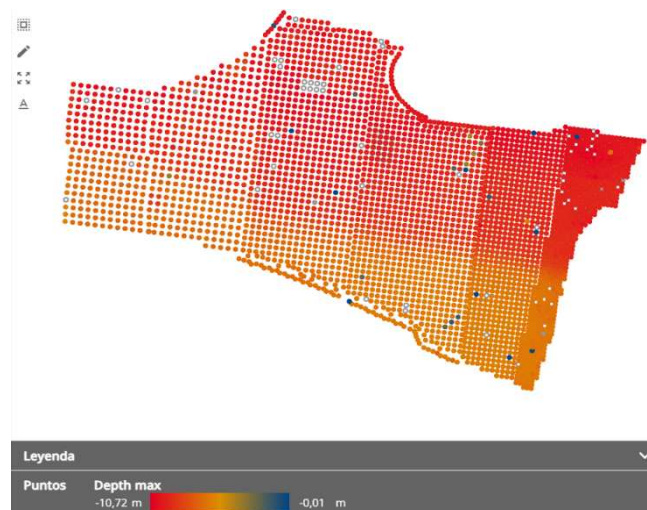


Figura 17. Seguimiento de la profundidad de las CMC mediante la plataforma Omnibox

4 CONCLUSIONES

El Puente Industrial es un ambicioso proyecto para mejorar la conectividad en la ciudad de Concepción y sus alrededores. Los terraplenes de conexión se construirán sobre suelos presentando diversos retos geotécnicos, tal como la licuación de arenas durante un evento sísmico, los asentamientos excesivos de arcillas blandas bajo altas cargas, alta sismicidad regional.

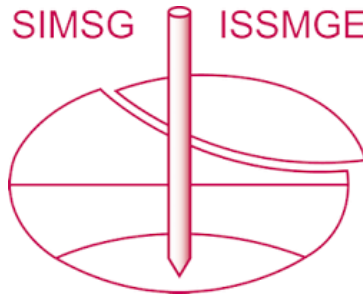
Las técnicas de mejoramiento de suelos ejecutadas han permitido solucionar cada reto para garantizar la correcta operación de las vialidades en el tiempo.

La Compactación Dinámica, al densificar las arenas sueltas, permitió garantizar un factor de seguridad contra licuación mayor a la unidad. Las inclusiones rígidas tipo CMC, al reforzar las arcillas blandas, han permitido limitar los asentamientos totales de los futuros terraplenes a valores aceptables.

5 REFERENCES

- ASIRI National Project. 2013. Recommendations for the Design Construction and Control of Rigid Inclusion Ground Improvements, Presses des Ponts, Paris.
- Cirión, Martínez (2016). Mejoramiento de suelos mediante inclusiones rígidas de desplazamiento como solución para el acondicionamiento de sitio para la construcción de las plantas DUBA en la refinería Francisco Madero. Reunión nacional de Ingeniería geotecnia SMIG. Cancún 2016.
- Coghlan, Plomteux, Racinais (2016). Execution & Engineering Principles of Control Modulus Column (CMC)
- Combarieu O. (1988). Amélioration des sols par des inclusions rigides verticales, application à l'édification de remblais sur sols médiocres. Revue française de Géotechnique, n°44, 57-79.
- Menard (1972). "La Consolidation Dynamique des Remblais Recents et Sols Compressibles", Travaux, November, 1972, pp 56-60
- Menard (1974). "La Consolidation Dynamique des Sols de Fondations." Revue des Sols et Fondations, 1974, pp 320
- Perez, Montejano (2012). Aplicación de tratamiento en la isla de Santa Lucía (Antillas). Asociación de Empresas de la tecnología del suelo y subsuelo.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR SOIL MECHANICS AND GEOTECHNICAL ENGINEERING



This paper was downloaded from the Online Library of the International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE). The library is available here:

<https://www.issmge.org/publications/online-library>

This is an open-access database that archives thousands of papers published under the Auspices of the ISSMGE and maintained by the Innovation and Development Committee of ISSMGE.

The paper was published in the proceedings of the 17th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVII PCSMGE) and was edited by Gonzalo Montalva, Daniel Pollak, Claudio Roman and Luis Valenzuela. The conference was held from November 12th to November 16th 2024 in Chile.