



## *Mejoramiento de suelos blandos con columnas de RDC para la ejecución de fundaciones en la Central Térmica de Ensenada Barragán*

O. N. Ledesma y A. O. Sfriso

*onledesma@srk.com.ar; asfriso@srk.com.ar*

SRK Consulting y Universidad de Buenos Aires

N. Buonarcorso

*nbuonarcorso@isoluxiecsa.com.ar*

UTE Isolux - Iecsa

RESUMEN: La Central Termoeléctrica Ensenada Barragán está ubicada en el partido de Ensenada, La Plata, Buenos Aires. El perfil geotécnico característico de la zona registra un estrato superior de suelos arcillosos de mediana y alta plasticidad, característicos de la Formación PostPampeano, en un espesor aproximado de 5.0m, y apoyados sobre suelos cementados de la Formación Pampeano. Para muchas de las estructuras de la planta se optó por la realización de fundaciones superficiales sobre suelo mejorado reemplazando, de manera sectorizada, el material arcilloso con Rellenos de Densidad Controlada (RDC) hasta el techo del Pampeano. Esta alternativa resultó óptima en cuanto al movimiento de suelos necesario y al costo de las fundaciones. En este documento se resume la experiencia adquirida en el diseño y ejecución de este sistema de fundación. Se incluyen los cálculos de capacidad de carga y estimación de asentamientos de las fundaciones sobre el suelo mejorado. Se discuten algunos aspectos constructivos y se presentan las especificaciones técnicas RDC.

Palabras clave: RDC, FUNDACIONES, MEJORAMIENTO DE SUELO

ABSTRACT: Ensenada Barragán Thermoelectrical Power Station is located in Ensenada, La Plata, Buenos Aires. Geotechnical profile on site includes an upper 5m-thick layer of medium to high plasticity clays from the PostPampeano Formation, resting on top of the cemented silts of the Pampeano Formation. Several structures of the plant were supported by footings placed on top of a replacement of soft soils by CLSM columns down to the Pampeano layer. This was a cost-efficient alternative to deep foundations, reducing both earthworks and foundation costs. Some aspects of the design and constructability of these foundations are presented in this paper. Bearing capacity and settlement estimations are discussed together with technical specification and constructability issues.

KEYWORDS: CLSM, FOUNATIONS, SOIL IMPROVEMENT



## 1 INTRODUCCIÓN

La central termoeléctrica Ensenada Barragán se localiza en el Partido de Ensenada, en la provincia de Buenos Aires, a una distancia aproximada de 10 km de la ciudad de La Plata y 50 km de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. El predio se encuentra en las cercanías de la margen sur del Río de la Plata, con coordenadas 34° 51' 3,1" Latitud Sur y 57° 56' 52" Longitud Oeste. La central está emplazada en una llanura de inundación del Río de La Plata y está rodeada por un terraplén perimetral de contención de inundaciones (Figura 1).



**Figura 1.** Central Termoeléctrica Ensenada Barragán.

En este trabajo se presentan aspectos constructivos y de diseño de las fundaciones de la mayoría de las estructuras y equipos auxiliares de la central. Estos elementos fueron fundados sobre zapatas y plateas superficiales, las que fueron apoyadas sobre reemplazos locales de suelos blandos por RDC.

## 2 CONDICIONES GEOTÉCNICAS DEL SITIO

El perfil geotécnico del sitio está compuesto por un manto superior de rellenos fluviales característicos de la Formación PostPampeano en un espesor variable entre 4.0m y 5.0m. Predominan limos y arcillas de alta plasticidad normalmente consolidados a ligeramente preconsolidados, saturados. A partir de los 4.0|5.0m de profundidad se detecta la presencia de suelos cementados característicos de la Formación Pampeano, el horizonte típico de fundación para estructuras principales en el área. Las características mecánicas de ambas formaciones han sido estudiadas extensivamente con anterioridad [1][2][3][4].

En la Tabla 1 se resumen las características del sitio en particular, para los espesores de interés de este trabajo. en la Figura 2 se muestra un perfil estratigráfico típico del sitio.

**Tabla 1.** Características geotécnicas del sitio.

Profundidad [m]	$\gamma$ [kN/m <sup>3</sup> ]	USCS	$\omega$ [%]	LL [%]	IP [%]	(N <sub>1</sub> ) <sub>60</sub>
0.0 a 5.0	16.0-17.0	CH-MH	40-80	50-80	30-50	1-3
5.0 a 15.0	18.5-20.0	CL-ML	20-30	20-40	2-15	15-60

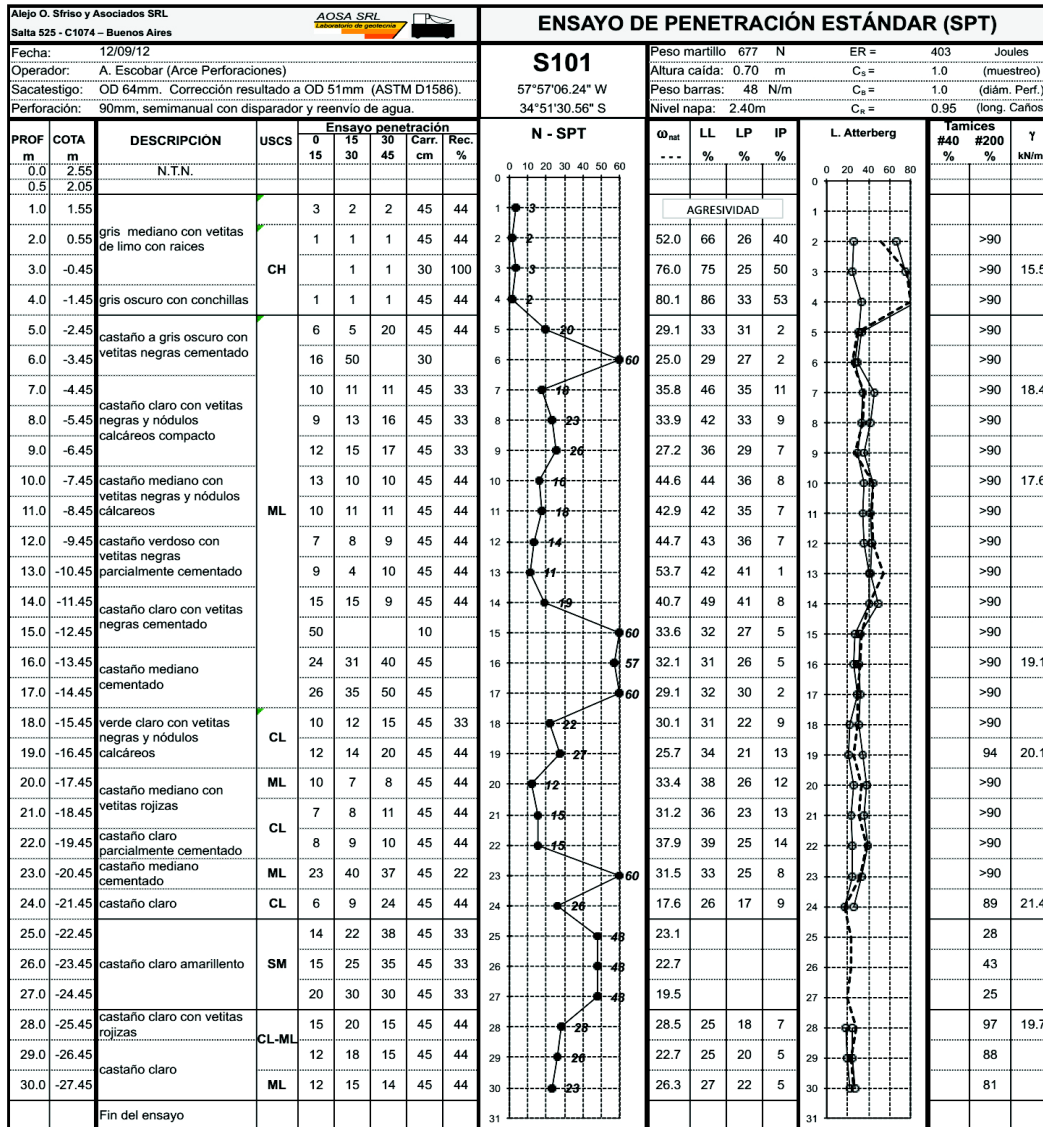


Figura 2. Perfil estratigráfico típico de la zona.

### 3 TIPOLOGÍA DE FUNDACIONES

Los suelos superiores de la Formación Postpampeano no son adecuados para soportar las cargas de las estructuras y equipos de la planta, por lo que la ingeniería básica y de licitación contemplaba la ejecución de miles de pilotes, necesarios para tomar las cargas de todas las instalaciones y equipos.

Se analizaron alternativas de fundación, incluyendo pilotes hincados, pilotes perforados, reemplazos masivos de terreno y otras, y finalmente se propuso la ejecución de reemplazos localizados de los suelos blandos por columnas de Relleno de Densidad Controlada (RDC o CLSM por sus siglas en inglés), excavadas hasta el techo de la Formación Pampeano.

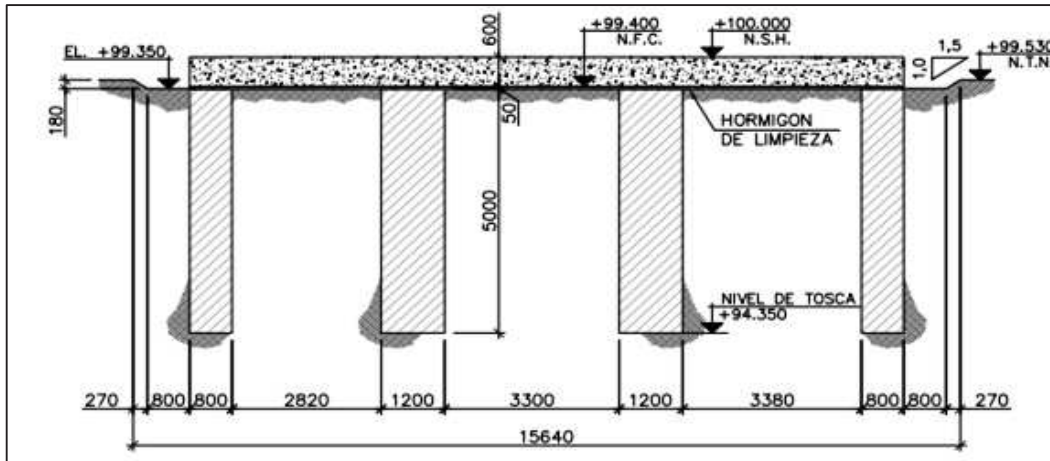
Para garantizar la factibilidad de la solución se efectuaron algunas calicatas a cielo abierto con retroexcavadora. Estas calicatas permitieron demostrar que los cortes y zanjas de hasta 6m de profundidad tenían un tiempo de apertura estable del orden de los 10 a 40 minutos, suficientes para rellenar las excavaciones con RDC.

Sobre las columnas de RDC se ejecutaron fundaciones superficiales, típicamente plateas, sleepers y zapatas. En la Tabla 2 se indican las dimensiones y la relación entre el área de las fundaciones y el área tratada para varias de las estructuras del proyecto. En la Figura 3 se muestra un corte de una sección típica de reemplazo, mientras que en la Figura 4 se muestra un ejemplo de la distribución en planta.

La relación de reemplazo dependió en cada caso de las cargas a soportar. En general, el reemplazo se realizó mediante la ejecución de zanjas, lo cual resultó óptimo para el diseño estructural de las fundaciones superficiales y para el procedimiento de ejecución mediante retroexcavadora.

**Tabla 2.** Fundaciones y área de reemplazo.

Estructura	Dimensiones en planta [m]	Área [m <sup>2</sup> ]	Relación de reemplazo [%]
Transformador	11.7 x 15.7	183.7	100
Transformador	7.1 x 8.9	63.2	100
Interruptor de generación	5.4 x 9.0	48.6	44
Contenedores eléctricos	19.7 x 28.5	561.5	44
Caldera	11.5 x 13.5	155.3	54
Rack	4.5 x 1.5	6.8	75
Rack	5.5 x 1.5	8.3	75



**Figura 3.** Sección transversal típica de reemplazo.

#### 4 DISEÑO DE LAS FUNDACIONES

##### 4.1 Capacidad de carga

Para el cálculo de la tensión de contacto admisible de las fundaciones superficiales se realizaron las siguientes consideraciones: i) el 100% de la carga superficial debe ser tomada por el RDC; ii) se verifica la capacidad a compresión simple de la columna de RDC; iii) se verifica la capacidad de carga del suelo de fundación de las columnas de RDC. La tensión de compresión admisible de las columnas de RDC, sin ningún tipo de refuerzo, se calcula como [5]

$$f_c = q_c / 6 \quad (1)$$

donde  $q_c$  es la resistencia a compresión simple del RDC a 28 días. Para el proyecto se establecieron valores mínimos de resistencia a la compresión a 28 días de 2.0MPa, resultando en presiones admisibles de compresión de 333kPa.

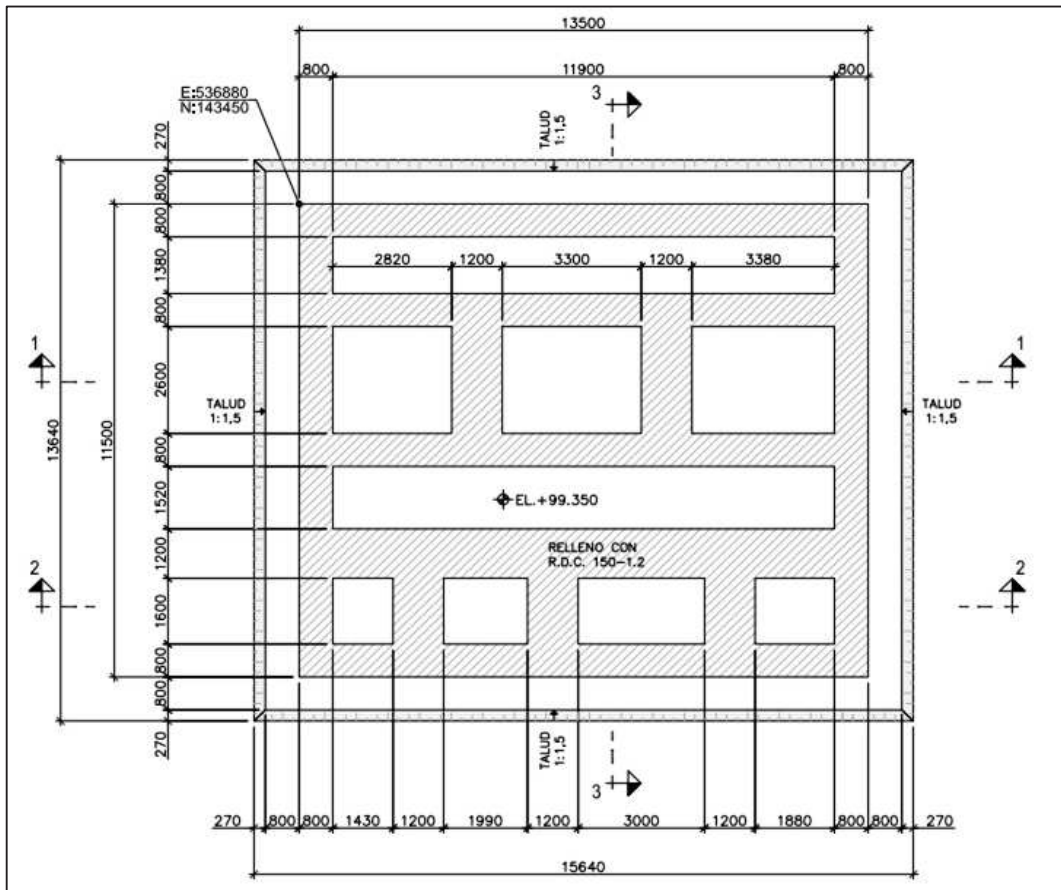


Figura 4. Esquema en planta de distribución de zonas a tratar bajo las fundaciones.

La capacidad de carga geotécnica se calculó de manera tradicional, utilizando las fórmulas de Brinch-Hansen [6]. Se adoptó un coeficiente de seguridad de 3.0 y se obtuvieron valores de tensiones admisibles de 400kPa a 500kPa sobre las columnas de RDC. Las presiones medias admisibles sobre las fundaciones superficiales dependen de la relación entre el área tratada y el área sin tratar, resultando en valores típicos de 200kPa a 300kPa.

#### 4.2 Asentamientos

Los valores calculados de acortamiento de las columnas de RDC fueron del orden de 0.5mm. Se calcularon los asentamientos a nivel de fundación de las columnas de RDC utilizando el método de Schmertman y se obtuvieron valores entre 5mm y 10mm.

### 5 RELLENOS DE DENSIDAD CONTROLADA

#### 5.1 Descripción

El ACI define al Controlled Low-Strength Material (CLSM), llamado comercialmente RDC como un material cuya resistencia a la compresión simple es menor o igual 8.3MPa [7]. En el proyecto se utilizó un material con las siguientes características: i) Contenido unitario de cemento: 150kg/m<sup>3</sup>; ii) relación agua/cemento: 1.0; iii) granulometría de arena: P#40 < 80%, P#100 < 50%, P#200 < 5%; iv) resistencia a la compresión simple a 28 días: 2.0MPa.



### 5.2 Ventajas en el uso de RDC

Algunas de las ventajas conocidas en la utilización del RDC para reemplazo de fundaciones incluyen [7]: i) colocación fácil y rápida; ii) es autonivelante y no requiere de la utilización de equipos de compactación lo que permite reducir el ancho de las zanjas; iii) puede colocarse bajo agua por lo que no requiere extraer el agua de las zanjas; iv) no requiere acopio en obra; v) la colocación es segura ya que se realiza desde la superficie sin necesidad de bajar al fondo de la excavación.

### 5.3 Metodología constructiva

El estrato de suelos superior registra valores de resistencia al corte no drenado de  $s_u \approx 10kPa - 15kPa$ . Esto es suficiente para realizar una excavación en zanja hasta 5.0m de profundidad sin sostenimiento y sin bombeo, durante el tiempo necesario para volcar el RDC dentro de la zanja. Durante el vertido, el RDC desplaza el agua freática y estabiliza la excavación.

En la Figura 5 se muestran fotografías de la ejecución de una de las columnas, y el vertido de RDC directamente desde el camión mezclador. Se puede apreciar que el terreno es una arcilla de alta plasticidad, saturada. La excavación tiene agua durante el vertido del RDC. Como la maniobra de vertido es rápida, la mezcla y dilución del RDC es mínima: el agua sube y rebalsa la excavación cuando ésta se llena con RDC.



**Figura 5.** Esquema en planta de distribución de zonas a tratar bajo las fundaciones.

## 6 CONCLUSIONES

En este documento se presentaron aspectos de diseño y construcción relacionados con la ejecución de columnas de RDC para transferir la carga de fundaciones superficiales a estratos competentes mas profundos. El caso de estudio es la Central Termoeléctrica Ensenada Barragán, ubicada en Provincia de Buenos Aires.

El reemplazo parcial de los suelos de la Formación PostPampeano por RDC, hasta el techo superior de los suelos del Pampeano, resultó en una economía importante de la obra, reduciendo el volumen de movimiento de suelo necesario, permitiendo la construcción de fundaciones superficiales por arriba del nivel freático, acelerando la velocidad de construcción y eliminando totalmente el empleo de pilotes.

Este procedimiento resulta muy interesantes para estratigrafías como la analizada, típicas de la ribera del Río de La Plata, en la que el estrato superior está conformado por materiales cohesivos de baja resistencia en espesores no mayores a 6.0m.

## 7 AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a ISOLUX-IECSA por su colaboración y autorización para publicar el material de este trabajo. En particular, a Alberto Schwartzman por su permanente colaboración a lo largo del proyecto.

## 8 REFERENCIAS

- [1] Bolognesi, A. y O. Moretto (1959). Propiedades del subsuelo del Gran Buenos Aires. 1Er CPMSC, I, 303-314.
- [2] Núñez, E. 1986. Geotechnical conditions in Buenos Aires City. V Intern. Congress IAEG, IV,2623-2630.
- [3] Larrague, J. y Sfriso, A. 2001. Ground improvement in Zárate. Foundations and Ground Improvement, ASCE. pp. 514-523
- [4] Ledesma, O. y Sfriso, A. 2008. Calibración del Cam Clay para suelos del PostPampeano. XIX CAMISG 2008. La Plata.
- [5] Bowles, J. E., 1998. Foundation Analysis and Design. 4th Edition, McGraw-Hill.
- [6] Hansen, J. B. 1961. A general formula for bearing capacity. Bulletin of the Danish Geotechnical Institute, (11).
- [7] ACI Committee 229. Controlled Low-Strength Materials. Farmington Hill, MI: American Concrete Institute 2005.