



# JIDeTEV

Jornadas de Investigación y Desarrollo Tecnológico  
Extensión, Vinculación y Muestra de la Producción



JIDeTEV- Año 2021 -ISSN 2591-4219

## Diseño de fundaciones superficiales aplicando propiedades estadísticas y el método LFRD

Bogado GO<sup>a\*</sup>, Reinert H.O<sup>b</sup>, Schvezov CE<sup>c</sup>, Blech S<sup>b</sup>

<sup>a</sup> CONICET, Consejo de Investigaciones científicas y Técnicas, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>b</sup> Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Oberá, Misiones, Argentina.

<sup>c</sup> CONICET, Consejo de Investigaciones científicas y Técnicas  
e-mails: gustavobogado@fio.unam.edu.ar

---

### Resumen

Las zapatas superficiales son el tipo de fundación más utilizado en la región. El avance de los reglamentos argentinos dio lugar a la posible incorporación del dimensionamiento por factores de carga y resistencia (LFRD), utilizado en gran manera en diversos países. Para ello, es necesario el estudio para poder realizar una calibración del método y adaptarlo a nuestra región. En este trabajo se analiza un caso típico en la región en el cual se simula mediante números aleatorios gaussianos parámetros de suelos obtenidos en nuestro laboratorio. Los resultados indican que una baja probabilidad de falla de los mismos y la misma disminuye cuando se correlacionan los resultados.

**Palabras Clave** – suelos residuales, fundaciones superficiales, diseño de confiabilidad, método lfrd.

### 1 Introducción

Las zapatas rectangulares y cuadradas son el tipo de fundación más utilizado en la provincia, la misma puede estar apoyada en tanto en suelo como roca. El criterio de dimensionamiento actual, basado en cargas admisibles, se trabaja utilizando el  $F_s$  (factor de seguridad), el cual está asociado a la incertidumbre obtenida por el calculista, dada la siguiente ecuación

$$A = \frac{P_s}{Q_a} \quad (1)$$

Donde,  $A$ = área de la fundación,  $P_s$ =carga de servicio,  $Q_a$ =capacidad de carga admisible  $Q_u/F_s$ ,  $Q_u$ =capacidad de carga última.

La metodología de diseño geotécnico que se aplican en nuestro país desde hace más de 60 años, consiste en la aplicación de un único factor de seguridad,  $F_s$ , que para su determinación se basan en los siguientes criterios (Leoni,2019): -

- Metodología para obtener la resistencia nominal –
- Observación de los resultados –
- Utilización de modelos experimentales –
- Establecer el grado de confiabilidad de los parámetros de diseño

EL factor de seguridad puede tomar distintos valores comprendidos en el entorno de  $2 \leq F_s \leq 4$ . Por lo general, estos valores toman en cuenta no solo la falla del suelo, sino también, la magnitud de los asentamientos diferenciales que se pudieran generar. Si bien estos valores de  $F_s$  han demostrado que dan resultados confiables para los suelos de nuestro entorno, trabajando casi siempre con  $F_s = 3$ . No se han efectuado mediciones serias que justifiquen plenamente este valor frente al extremo inferior de,  $F_s = 2$ . (Leoni, 2019)

Los nuevos códigos que se están implementando en distintos países para el diseño geotécnicos, están reemplazando las metodologías anteriores, que se basaban en la aplicación de un único coeficiente de seguridad total ( $F_s$ ) Método Determinístico o metodología tradicional, por lo general toma un factor de seguridad ligado a la incertidumbre de los valores de entrada al problema. Las nuevas metodologías se basan en Métodos Probabilísticos que incluye factores parciales, de incremento de las cargas actuantes y de reducción de las resistencias disponibles. El método de estados limites o LFRD de sus siglas en inglés (coeficientes parciales de reducción de resistencias y de mayor ración de cargas). Este método de diseño ha sido ampliamente desarrollado internacionalmente por la AASHTO y los Euro código.

Las distintas organizaciones geotécnicas a nivel mundial como la (International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering) tratan el tema del diseño geotécnico en los diferentes congresos internacionales para mudar el uso tradicional a la metodología LFRD

En el país, la SAIG (Sociedad Argentina de ingeniería geotécnica) está trabajando para sacar un CIRSOC para el diseño mediante la metodología LFRD, la cual, ya está incorporada en los reglamentos CIRSOC 201- 401 para otros materiales como el hormigón.

### 1.1 Metodología LFRD

La metodología LFRD se basa en la mayoración de cargas y minoración de resistencia. Tal como lo indica la siguiente ecuación.

$$R_r = \phi R_n \geq \sum n_i \gamma_i Q_i \quad (2)$$

Dónde: ( $R_n$ ) Resistencia nominal,  $\phi$ =factor de reducción de resistencia,  $Q_i$ =multiplicador de cargas,  $\eta_i$ =factores de modificación,  $\gamma_i$ =factor de carga.

En el país, la SAIG (Sociedad Argentina de ingeniería geotécnica) está trabajando para sacar un CIRSOC para el diseño mediante la metodología LFRD, la cual, ya está incorporada en los reglamentos CIRSOC 201- 401 para otros materiales como el hormigón. Sin embargo, se deben realizar calibraciones de diferentes acordes a la variedad de suelos que existen en el país.

## 1.2 Suelos residuales

Los suelos residuales de la Provincia de misiones están ampliamente estudiados en el ámbito de la Facultad de ingeniería, dado las características de los suelos poseen una alta variabilidad en los parámetros. En la Figura 1 se muestran, las distribuciones de probabilidades para ambos para la cohesión y fricción, dos parámetros fundamentales en la resistencia al corte.

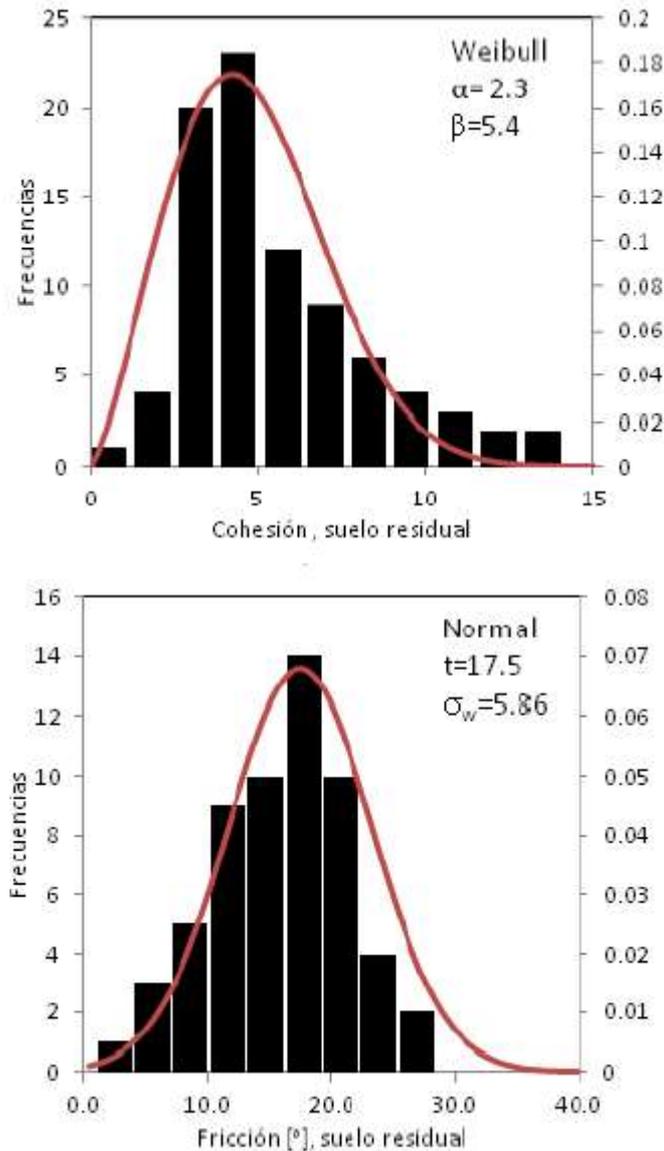


Fig. 1. Distribución de probabilidades suelos residuales

## 2 Materiales y métodos

### 2.1 Esquema de modelo empleado

Los modelos se realizaron sobre la fundación descrita en la Fig. 1, la cual es una base cuadrada de  $B=2\text{m}$  y a una profundidad de fundación de  $1\text{m}$ . La carga actuante ultima es de  $1200\text{ kN}$ , con lo cual se obtiene  $Q_s=1200\text{kN}/4=300\text{kN}$  como carga de servicio. Las propiedades utilizadas fueron realizadas mediante la simulación de Monte Carlos.

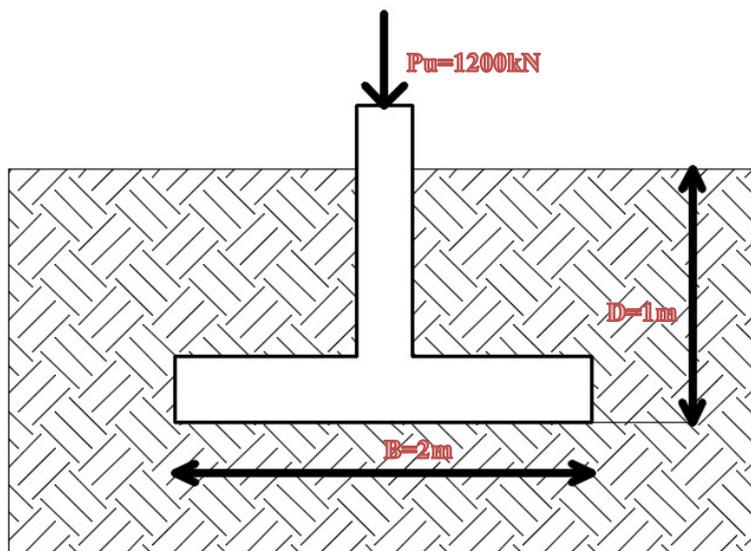


Fig. 2. Distribución de probabilidades suelos residuales

### 1.1 Propiedades de suelo y simulación de Monte Carlos

En la Tabla 1 se indica los valores de varianza promedios de una población de alrededor de 70 muestras, los cuales sirvieron para generar números aleatorios por el método de Monte Carlos. La simulación Monte Carlo sirve para la creación de modelos de posibles resultados mediante la sustitución de un rango de valores “una distribución de probabilidad”.

Tabla 1: Valores estadísticos en suelos residuales utilizados como distribución normal.

Página	Media	Varianza
Cohesión [kPa]	38	14
$\tan(\Phi')$	0.22	0.061

En la Fig.3 y 4, se grafican la generación de números aleatorios considerando la media y varianza de los parámetros. En un caso, se procedió a utilizar una correlación cruzada entre ambas variables y en el segundo caso sin correlacionar ambas. La totalidad de números generados es de 100.000 valores.

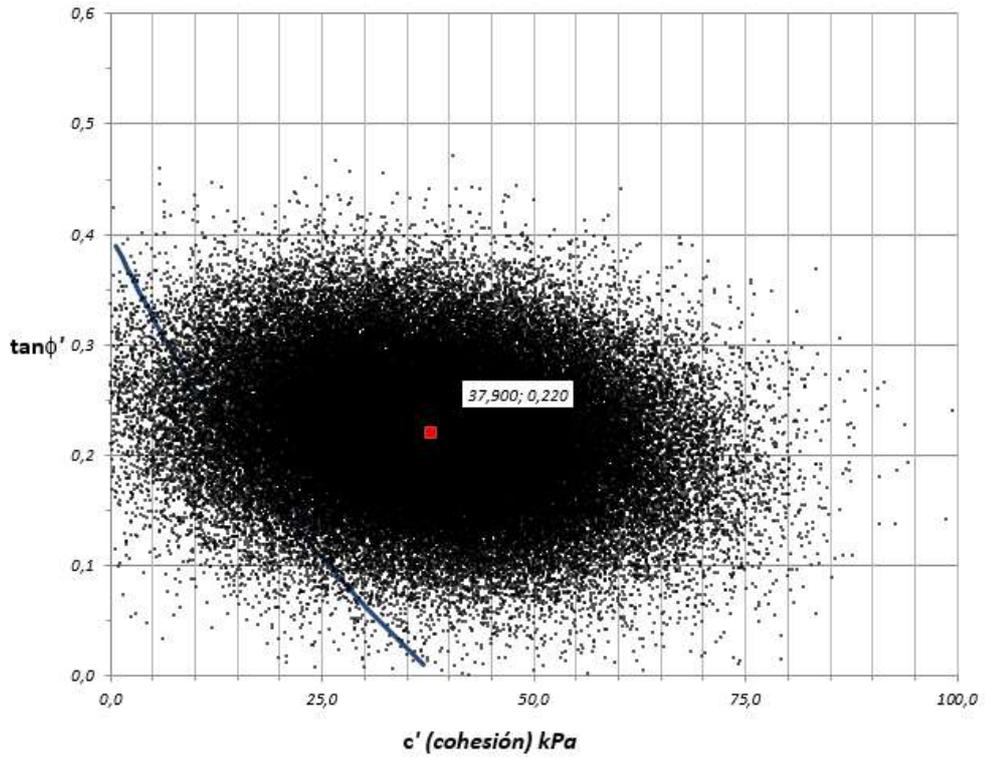


Fig. 3. Generación de números aleatorios, teniendo en cuenta una correlación entre ambas variables

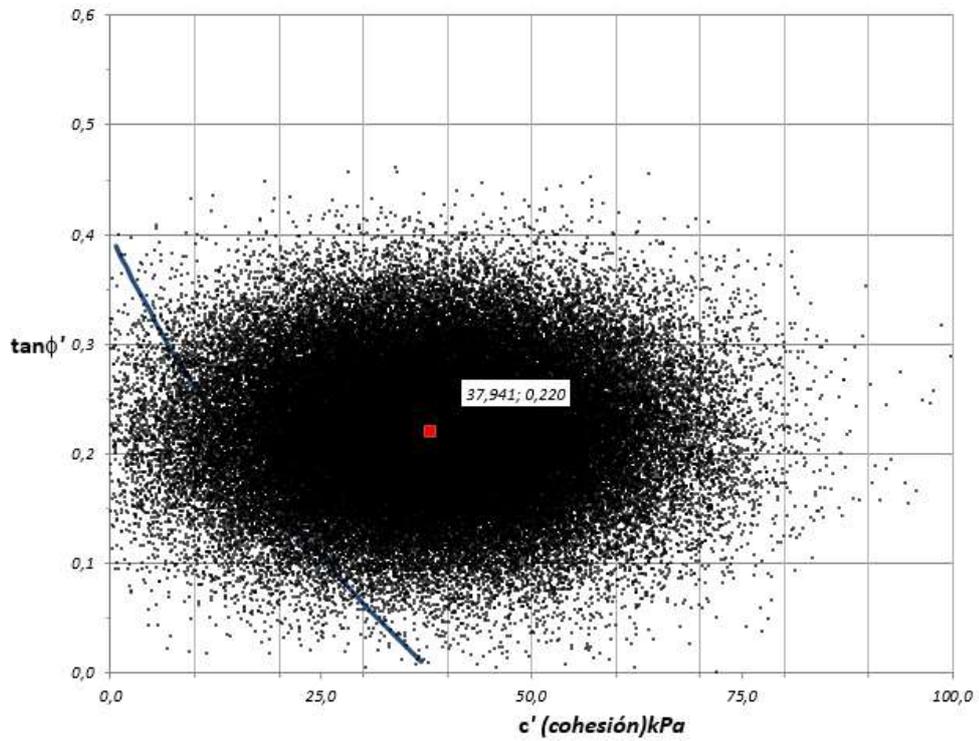


Fig. 4. Generación de números aleatorios sin correlacionar las variables.

### 1.1 Ecuación de capacidad de carga

Para determinar la capacidad de cargas se utilizó la ecuación 3 [3], la cual utiliza los factores de capacidad de cargas;  $N_q, N_c$  y  $N_\gamma$

$$q_{ult} = cN_cF_{cs}F_{cd} + qN_qF_{qs}F_{qd} + 0.5\gamma B * N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma d} \quad (3)$$

Donde

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi}{2}\right) e^{\pi \tan(\phi)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot(\phi)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \cot(\phi)$$

Factores de profundidad, forma, inclinación.

$$F_{cs} = 1 + \frac{N_q}{N_c} \quad F_{cs} = 1 + \frac{N_q}{N_c}$$

$$F_{qs} = 1 + \tan(\phi), \quad F_{qd} = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \frac{D}{B}$$

$$F_{\gamma s} = 0.6, \quad F_{\gamma d} = 1$$

## 3 Resultados

En la Tabla 2 se indican los resultados obtenidos del cálculo de la capacidad de carga, como se observa la salida posee un ajuste típico de una distribución normal, (Figura 4). Las capacidades de carga varían de 0 -1600 kN. Se observa como valor promedio 685 kN.

**Tabla 2:** Resultados de las simulaciones realizadas.

Cantidad de simulaciones	100003
Promedio	684,595
Desviación Estándar	254,897
Coefficiente de Variación	37,2332%
Mínimo	-275,244
Máximo	2517,14
Rango	2792,38
Sesgo Estandarizado	552,491
Curtosis Estandarizada	56,4748

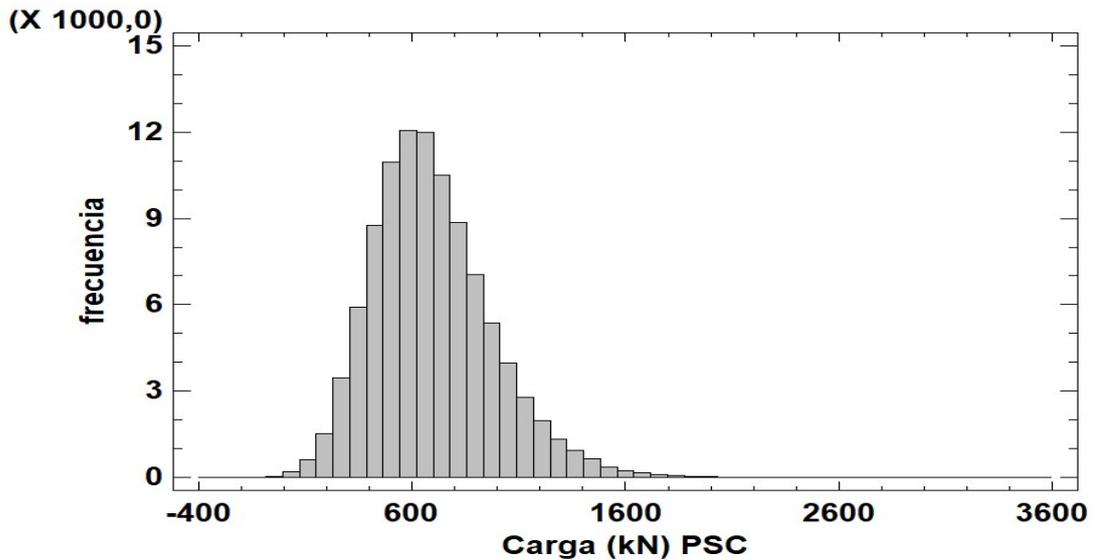


Fig. 4. Resultado obtenido a partir de las simulaciones de Monte Carlos

Para este caso particular, se tomó que la carga ultima actuante es  $P_u=1200$  kN, según el criterio de estado limites utilizando un factor de seguridad de  $F_s=4$ , el porcentaje de falla, es decir  $Q_u < 300$  kN, están determinadas en la Tabla 3. Se observa que la correlación entre propiedades disminuye la incertidumbre y por lo tanto la falla es del 4.42 %.

Tabla 2: Probabilidades de Fallas obtenidas

Página	Pf
Parámetros Sin correlacionar	5.26%
Parámetros correlacionados	4.42%

## 2 Conclusiones

En el presente se muestra una simulación numérica a través del método de Monte Carlos para el caso típico de una fundación superficial utilizada en el medio. Se pudo simular la capacidad de carga y determinar % de fallas para parámetros de resistencia al corte correlacionados y no correlacionados. Los resultados son un buen indicio para comenzar a trabajar en el tema considerando la aplicación a un reglamento. Como futuros trabajos se pretende determinar la distribución de probabilidades de cargas realizando un relevamiento de edificaciones, materiales y tipologías constructivas.

## Agradecimientos

Se agradece a la secretaria de ciencia y técnica por aprobar el proyecto de investigación y a todos los revisores anónimos que dieron sugerencias al mismo

## Referencias

- [1] BOGADO, G.O.; REINERT, H.O.; FRANCISCA, F. M. Geotechnical properties of residual soils from the North-east of Argentina. International Journal of Geotechnical Engineering. Londres: Taylor and Francis. 2018 vol. n°. p1 - 10. ISSN 1938-6362. EISSN 1939-7879
- [2] Diseño De Fundaciones Con El Método Tradicional Mediante Coeficientes De Seguridad Global Y Comparación Con El Método Lrfd, Con Coeficientes Parciales De Mayoración Y Con Reducción De Parámetros. Reporte Técnico, 2019
- [3] Meyerhof, G. G. (1963). Some recent research on the bearing capacity of foundations. Canadian geotechnical journal, 1(1), 16-26.