



UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Comparación de la probabilidad de falla y el factor de seguridad aplicado en el diseño de zapatas aisladas aplicadas a edificaciones inmobiliarias de Lima utilizando métodos probabilísticos basados en el coeficiente de confiabilidad y el método de Monte Carlo

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Para optar el grado de bachiller en Ingeniería Civil

AUTOR(ES)

FERRANDO SANCHEZ, ABEL JUNIOR (0000-0002-4865-1262)

HIMURO VALDEZ, MARCELO EDUARDO (0000-0001-8527-063X)

ASESOR

VÁSQUEZ NAJARRO, JIMMY (0000-0003-4699-9502)

Lima, 06 de enero del 2021

DEDICATORIA

A todas las personas que nos han acompañado a través de este largo camino, en las buenas y en las malas, en especial a nuestros padres y hermanas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Julio Eduardo Himuro y Ana Marcela Valdez por su constante apoyo durante mi etapa universitaria; asimismo, quiero agradecer a mis hermanas y a Carmen García por siempre ser un pilar emocional para mí.

Por último, agradezco a mi compañero Abel Ferrando por recorrer este camino conmigo.

Eduardo Himuro

Agradezco a mi familia, a mi madre Olga Sanchez, a mis hermanas Karla y Jhoanna Ferrando, por todo el apoyo y comprensión que me han brindado durante la carrera.

A mis amigos Cinthya, Cristina, Liz, Lea y Javier por acompañarme en mi camino universitario y lograr con éxitos nuestras metas.

Al capítulo estudiantil de geotecnia GeoUPC y cada uno de sus miembros por enseñarme a cumplir mis más grandes sueños, y que aún al día de escrito esta tesis me sigue acompañando.

A nuestro asesor Jimmy Vásquez por acompañarnos de principio a fin en nuestra investigación.

Finalmente, agradezco a mi compañero Himuro por lograr con éxito cada trabajo y proyecto que nos hemos propuesto desde el primer ciclo.

Abel Ferrando

RESUMEN

Se presenta la propuesta de un factor probabilístico para determinar el porcentaje de falla que se puede presentar en cimentaciones superficiales, en nuestro caso zapatas. En este artículo presentaremos una comparación entre el factor de seguridad (F.S), definido por la norma E050 Suelos y Cimentaciones, y la probabilidad de falla. Este método se ejecutará a través de la simulación de datos de entrada, tales como peso específico, cohesión, ángulo de fricción y sollicitación de carga. Para este proceso de simulación se aplicará el método Monte Carlo. Una vez obtenido los valores de la resistencia del suelo, teniendo en cuenta su distribución normal, y la sollicitación, se comenzará a analizar las probabilidades de fallar mediante las curvas de densidad de la resistencia y sollicitación. Finalmente analizaremos la relación que se dará entre el F.S y la probabilidad de falla para observar su comportamiento al aumentar los parámetros para la resistencia

Palabras clave: probabilidad de falla; simulación de Montecarlo; zapatas aisladas; cimentaciones superficiales

[Título del trabajo en inglés]

ABSTRACT

The proposal of a probabilistic factor is presented to determine the percentage of failure that can occur in shallow foundations, in our case footings. In this article we will present a comparison between the safety factor (F.S), defined by the standard E050 Soils and Foundations, and the probability of failure. This method will be executed through the simulation of input data, such as specific weight, cohesion, angle of friction and load stress. For this simulation process, the Monte Carlo method will be applied. Once the soil resistance values have been obtained, considering its normal distribution and the stress, the probabilities of failure will begin to be analyzed using the strength and stress density curves. Finally, we will analyze the relationship that will occur between the F.S and the probability of failure to observe the behavior when increasing the parameters for resistance

Keywords: probability of failure; Monte Carlo Simulation; isolated footings; superficial foundations

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ESTADO DEL ARTE.....	2
2	METODOLOGÍA	2
2.1	MÉTODO	2
2.2	HERRAMIENTAS	2
2.3	METODOLOGÍA.....	3
3	RESULTADOS	10
3.1	ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN LA BASE.....	10
4	CONCLUSIONES	14
5	RECOMENDACIONES	15
6	[REFERENCIAS]	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	14
---------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 Diagrama de flujo	4
Ilustración 2 Código de prueba de bondad	5
Ilustración 3 Código de probabilidad de falla	5
Ilustración 4 Código de probabilidad de falla	6
Ilustración 5 Código de evaluación de la base según metodología de Meyerhoff	8
Ilustración 6 Código de evaluación de la base según metodología de Meyerhoff	9
Ilustración 7 Código de evaluación de la base según metodología de Meyerhoff	10
Ilustración 8 Código de generación de desviación estándar de la Resistencia.....	11
Ilustración 9 Código de generación de desviación estándar de la Resistencia.....	12
Ilustración 10 Gráfico de Factor de Seguridad y Probbabilidad de Falla por ancho de base	13

1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de la estadística en la ingeniería revolucionó las soluciones que se podían plantear otorgándole una perspectiva innovadora a los distintos métodos de análisis. En este caso utilizaremos los conceptos de probabilidad, variable aleatoria, simulación y estadística de orden. Para este estudio simularemos las variables aleatorias que intervienen en el cálculo de carga última de una cimentación superficial, las simulaciones a través de la metodología de Monte Carlo que nos otorgan situaciones aleatorias para analizar la resistencia del suelo y las cargas máximas transmitidas.

Las medidas de control para el diseño de cimentaciones que se ejecutan actualmente en el Perú están relacionadas con el factor de seguridad; sin embargo, se debería ser más exhaustivo en cuanto a la seguridad y estabilidad de las cimentaciones. Para Nelson Aoki (2001) el factor de seguridad no mide la probabilidad de falla en la fundación de pilotes [1]. Los casos analizados en su tesis de probabilidad de falla muestran que existen algunas obras de construcción con cimentaciones que presentan un factor de seguridad alto que tienen una probabilidad de falla superior al 40% [1]. Esto evidencia la carencia que puede presentar un análisis determinístico aplicado a la estabilidad y seguridad de una cimentación. Es por ello que se considera que la seguridad en las cimentaciones debe pasar por un proceso más riguroso donde se pueda incluir un análisis probabilístico [1].

Para este análisis probabilístico se analizará la carga de solicitación y la resistencia del suelo. Las cargas de solicitación dependerán de variables aleatorias como, la carga muerta, carga viva y cargas por sismo, esto quiere decir que tienen un coeficiente de variación. La resistencia del suelo también presenta variables aleatorias como el peso específico, la cohesión y el ángulo de fricción, además, la base es un dato determinístico que interviene en el planteamiento de la carga última para hallar la resistencia del suelo.

A partir de esto, los análisis de confiabilidad empiezan a tomar más importancia; la ingeniería de confiabilidad implica análisis probabilísticos, los cuales determinaran el riesgo de falla de un producto. Es importante mantener estos riesgos al mínimo, ya que puede causar efectos negativos a lo largo de su ciclo de vida.

1.1 ESTADO DEL ARTE

confiabilidad en los diseños geotécnicos (2016) concluye que utilizar los métodos probabilísticos otorgan un mérito extra en el análisis de proyectos y asegura que este puede ser un complemento perfecto para las normas propuestas en la geotecnia [2] [3].

A su vez, el autor Das y Hedge en el artículo una comparativa entre el análisis de estabilidad determinístico y probabilístico de una presa de relaves de relleno rocoso (2019) indica que los resultados obtenidos mediante los métodos probabilísticos son mejores; no obstante, ambos métodos (determinísticos y probabilísticos) resuelven el problema. Asegura que es de mayor utilidad poseer ambos análisis [4].

Es por ello que es necesario encontrar la probabilidad de falla, ya que esta nos dará una mejor confiabilidad al momento de diseñar una cimentación. Esto se traduce en una mayor estabilidad y una optimización de medidas de la estructura [5].

2 METODOLOGÍA

2.1 MÉTODO

En el presente estudio, se plantea una comparación de la probabilidad de falla y el factor de seguridad. La evaluación de la probabilidad de falla es resultado de una simulación utilizando la simulación de Monte Carlo y el análisis de variables aleatorias y el factor de seguridad viene de un análisis determinístico donde involucra la resistencia y la carga última. Con ello se pretende determinar la independencia de ambos parámetros y lograr así una mejor evaluación de estabilidad.

2.2 HERRAMIENTAS

Para realizar el estudio detallado de las variables aleatorias como peso específico, cohesión, ángulo de fricción se realizaron ensayos de corte directo y ensayos de peso específico. Este ensayo debe ser efectuado doce veces para poder obtener una media y una desviación estándar representativa para esta investigación. Para las simulaciones de Monte Carlo se utilizó el software MATLAB donde se codificó cada uno de los procesos efectuados. Esto permitió manipular libremente cada detalle de la simulación y de los procesos de validación de los datos. Se utilizó las pruebas de Kolmogorov-Smirnov para la validación de los datos. Finalmente, para la comparación de los resultados del factor de seguridad y probabilidad de falla se utilizó el gráfico de chi cuadrado el cual se ha desarrollado en el software.

2.3 METODOLOGÍA

Esta investigación comienza con el análisis de la probabilidad de falla. Se inicia con la recopilación de datos tales como cargas puntuales, cohesión, ángulo de fricción y peso específico. Estos datos se separarán en resistencia y sollicitación. Se hará una verificación de todos los datos para ver si todos están correctamente tomados y proseguir con el procedimiento.

Una vez obtenido todos los datos estos se tratarán para trabajar con las medias, desviaciones estándar y valores máximos y mínimos. Una vez que cada uno de estos valores estén listo se creará las curvas de densidad de la resistencias y sollicitación. Las curvas de resistencia y sollicitación tendrán una distribución estándar y media, y éstas tendrán como propósito restarse para generar una nueva curva, denominada la curva de margen de seguridad [6].

Finalmente, con la curva de Margen de Seguridad, esta posee una distribución normal al igual que las curvas que comprende. Es en esta curva que podemos analizar la probabilidad de falla, ya que es igual a la probabilidad que esta no suceda.

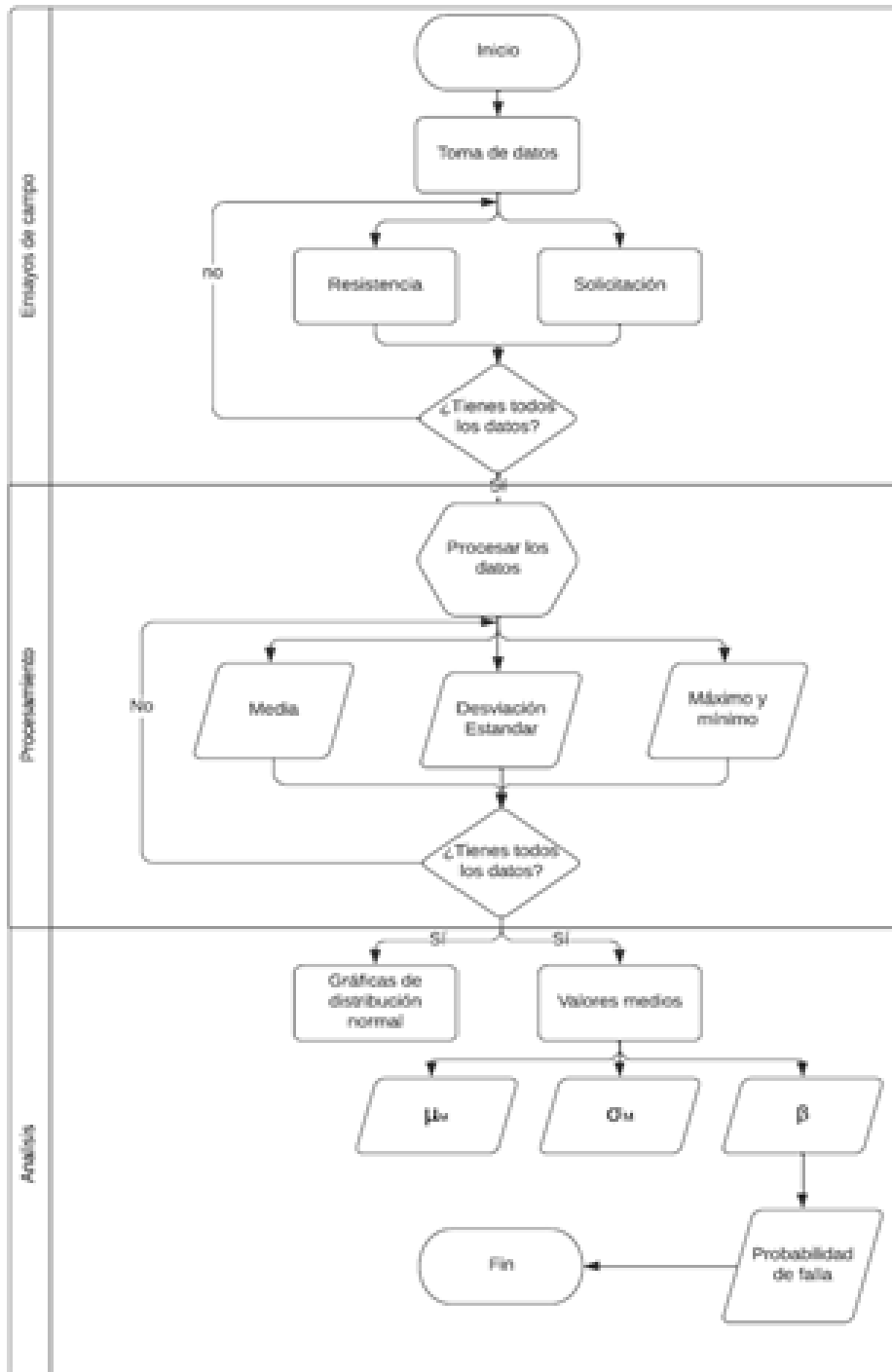


Ilustración 1 Diagrama de flujo
Fuente: elaboración propia

Para la evaluación de las variables aleatorias se tuvo que validar mediante las pruebas de Kolmogorov-smirnov, prueba de bondad elegida para esta investigación.

A continuación, se presenta la codificación de la prueba.

```

Prom1=mean (MAT) ;
Desv1=std (MAT) ;

Prom2=mean (MATi) ;
Desv2=std (MATi) ;

xi= (MAT-Prom1) /Desv1;
hi=kstest (xi)

```

Ilustración 2 Código de prueba de bondad
Fuente: Elaboración propia

Al tener esta verificación se rechaza la hipótesis acerca de la distribución muestral es del mismo que la hipotética, entonces se acepta la hipótesis. Con esta prueba se comprueba la normalidad de los datos utilizados.

Los resultados que podemos obtener aquí nos dan la información necesaria para emplear los métodos de probabilidad de falla basados en las simulaciones de Monte Carlo validados por las pruebas de Kolmogorov-Smirnov.

```

s=400;

x=785.14;

z=1876.14;

contar=0;

count=0;

pocopoco=0;

for a=1:300

    r=x+(z-x)*rand(1);

    pocopoco=pocopoco+1;

```

Ilustración 3 Código de probabilidad de falla
Fuente: Elaboración propia

```

MATi(pocopoco,1)=r;

end

Prom1=s;

Desv1=0;

Prom2=mean(MATi)

Desv2=std(MATi)

xii=(MATi-Prom2)/Desv2;

hii=kstest(xii)

cdfplot(xii)

hold on

xi_values = linspace(min(xii),max(xii));

plot(xi_values,normcdf(xi_values,0,1),'r-')

legend('Empirical CDF','Standard Normal CDF','Location','best')

if hii==0

    Um=Prom2-Prom1;

    Tm=(Desv1^2+Desv2^2)^0.5;

    beta=Um/Tm

    pf=normpdf(beta,0,1)

end

```

Ilustración 4 Código de probabilidad de falla
Fuente: Elaboración propia

Para describir la probabilidad de falla, definiremos los siguientes elementos, sollicitación y resistencia. En términos generales, la probabilidad de falla es el evento cuando la sollicitación llega a sobrepasar a la resistencia máxima de la estructura, generando así fallas o imperfectos.

Como conocemos, las propiedades del suelo son anisotrópicas, por lo que pueden variar dependiendo de la situación en la que se encuentre; debido a esto podemos asumir que la resistencia podrá variar a lo largo del tiempo y a la situación a la que se encuentre sometida.

Como ya se mencionó anteriormente, la probabilidad de falla es cuando el evento de la sollicitación sobrepasa a la resistencia; sin embargo, podemos relacionar la variabilidad de la resistencia y sollicitación con nuestra probabilidad de falla a través de los denominados coeficientes medios.

$$X_M = X_R - X_S$$

$$\sigma_M = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}$$

Donde:

X: Media

σ : desviación estándar

Entonces, a partir de estos datos hallaremos un coeficiente beta del resultado de dividir el promedio medio entre la desviación estándar media.

Con este nuevo coeficiente hallaremos la probabilidad de falla con la siguiente formula (Ang y Tang 1930).

$$P_F = \int_0^1 f_\beta(\beta) d\beta = F_\beta(1.0)$$

Una vez obtenido la probabilidad de falla vamos a obtener la base según el factor de seguridad. Utilizaremos la metodología de Meyerhoff para hallar una base que cumpla con el ángulo de fricción, cohesión, peso específico, cargas actuantes [6].

$$q_u = c' N_c F_{cs} F_{cd} F_{ci} + q N_q F_{qs} F_{qd} F_{qi} + \frac{1}{2} \gamma B N_\gamma F_{\gamma s} F_{\gamma D} F_{\gamma i}$$

c' = cohesión

q = esfuerzo efectivo al nivel del fondo de cimentación

λ = peso específico del suelo

B = ancho de la cimentación

$F_{cs}F_{qs}F_{\lambda s}$ = factores de forma

$F_{cd}F_{qd}F_{\lambda d}$ = factores de profundidad

$F_{ci}F_{qi}F_{\lambda i}$ = factores de inclinación de la carga

$N_c'N_q'N_\lambda$ = factores de capacidad de carga

Mediante la elaboración de un código en el software Matlab, iteraremos hasta encontrar una base ideal que responda a las propiedades mecánicas del suelo y cargas actuantes.

```
Qv=129680; %kgf CARGA VERTICAL
Qh=0; %kgf CARGA HORIZONTAL
M=30900; %kgf MOMENTO
NF=0; %m NIVEL FREATICO
Dfz=1.5; %m fondo de zapata
ex=M/Qv; %excentricidad
y1=1650; %kgf/m3
y1sat=1870; %kgf/m3
beta=radtodeg(atan(Qh/Qv));
FS=3.5; %factor de seguridad
y2sat=1980; %kgf/m3
c=0.0566; %kgf/cm2 cohesion
Es=493.17; %kgf/cm2
u=0.27;
phi=degtorad(27.5);
Nq=(exp(pi*tan(phi)))*tan(0.5*phi+(pi/4))^2;
Nc=(Nq-1)/(tan(phi));
```

Ilustración 5 Código de evaluación de la base según metodología de Meyerhoff

Fuente: Elaboración Fuente propia

```
Ny=(Nq-1)*tan(1.4*phi);  
q=(NF*y1+(Dfz-NF)*(y1sat-1000))/10000; %kgf/cm2  
% se considera falla local y el criterio de Meyerhoff  
B=1;  
while B>0  
    B=B+0.0001;  
    L=1.25*B;  
    qtrans=Qv/((B-2*ex)*L)/10000;  
% factores de forma  
    fcs=1+((B-2*ex)*Nq)/(L*Nc);  
    fqs=1+((B-2*ex)/L)*tan(phi);  
    fys=1-0.4*((B-2*ex)/L);  
% factores de profundidad  
    fqd=1+2*tan(phi)*((1-sin(phi))^2)*(Dfz/B);  
    fcd=fqd-(1-fqd)/(Nc*tan(phi));  
    fyd=1;  
% factores por inclinación de carga  
    fci=(1-(beta/90))^2;  
    fqi=fci;  
    fyi=(1-(beta/radtodeg(phi)))^2;  
% capacidad de carga última
```

Ilustración 6 Código de evaluación de la base según metodología de Meyerhoff
Fuente: Elaboración propia

```

qu=c*Nc*fcs*fci+q*Nq*fqs*fqd*fqi+0.5*((y2sat-1000)/10000)*(B-
2*ex)*Ny*fys*fyd*fyi

qadm=qu/FS;

if qadm>qtrans

break

```

Ilustración 7 Código de evaluación de la base según metodología de Meyerhoff
Fuente: Elaboración propia

En este código se aplica las fórmulas de los factores de forma, factores de profundidad, factores de inclinación de carga y factores de capacidad de la carga. Haciendo permutar las bases hasta que el esfuerzo transmitido y la carga admisible sean iguales. Entonces tendremos la base mínima para que pueda ser aceptable para el factor de seguridad.

Para la evaluación se utiliza criterios basados en la norma técnica peruana.[8]

3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO SEGÚN LA BASE

Para la comparación de resultados evaluamos la base por el método de Meyerhoff con las siguientes características:

- Carga Vertical: 129680 Kg
- Carga Horizontal: 0Kg
- Momento: 30900 Kg.m
- Nivel Freático: 0m
- Fondo de zapata: 1.5m
- Peso específico: 1650 kg/m³
- Cohesión: 0.0566 kg/cm²
- Ángulo de fricción: 27.5°

Con estos datos se empieza a evaluar las distintas bases obtenidas al permutar los factores de seguridad. Las bases y el factor de seguridad tienen una relación directamente proporcional, además que también aumenta las cargas últimas que puede soportar el suelo.

Las cargas verticales y el momento se mantendrán para todas las evaluaciones que se hagan en esta investigación. Estas han sido obtenidas a través de una medición de cargas de un edificio multifamiliar.

La probabilidad de falla es obtenida mediante la evaluación de la sollicitación y la resistencia del suelo. La desviación estándar de la resistencia del suelo lo obtuvimos mediante el siguiente código.

```
A=[26;26.5;27;27.5;28;28.5;29;29.5;30]; %nuestros phis
for i=1:9
    x=A(i,1);
    phi=degtorad(x);
    Nq=(exp(pi*tan(phi))*tan(0.5*phi+(pi/4)))^2;
    Nc=(Nq-1)/(tan(phi));
    Ny=(Nq-1)*tan(1.4*phi);
    q=(NF*y1+(Dfz-NF)*(y1sat-1000))/10000; %kgf/cm2
    %se considera falla local y el criterio de Meyerhoff
    B=2.8;
    L=1.25*B;
    qtrans=Qv/((B-2*ex)*L)/10000;
    %factores de forma
    fcs=1+((B-2*ex)*Nq)/(L*Nc);
    fqs=1+((B-2*ex)/L)*tan(phi);
    fys=1-0.4*((B-2*ex)/L);
```

Ilustración 8 Código de generación de desviación estándar de la Resistencia
Fuente: Elaboración propia

```

%factores de profundidad

fqd=1+2*tan(phi)((1-sin(phi))^2)(Dfz/B);

fcd=fqd-(1-fqd)/(Nc*tan(phi));

fyd=1;

%factores por inclinación de carga

fci=(1-(beta/90))^2;

fqi=fci;

fyi=(1-(beta/radtodeg(phi)))^2;

%capacidad de carga última

qu=c*Nc*fcs*fci+q*Nq*fqs*fqd*fqi+0.5*((y2sat-1000)/10000)*(B-
2*ex)*Ny*fys*fyd*fyi;

qadm=qu/FS;

pocopoco(i,1)=qu;

qu;

end

promedio=mean(pocopoco)

desviacion=std(pocopoco)

```

Ilustración 9 Código de generación de desviación estándar de la Resistencia
Fuente: Elaboración propia

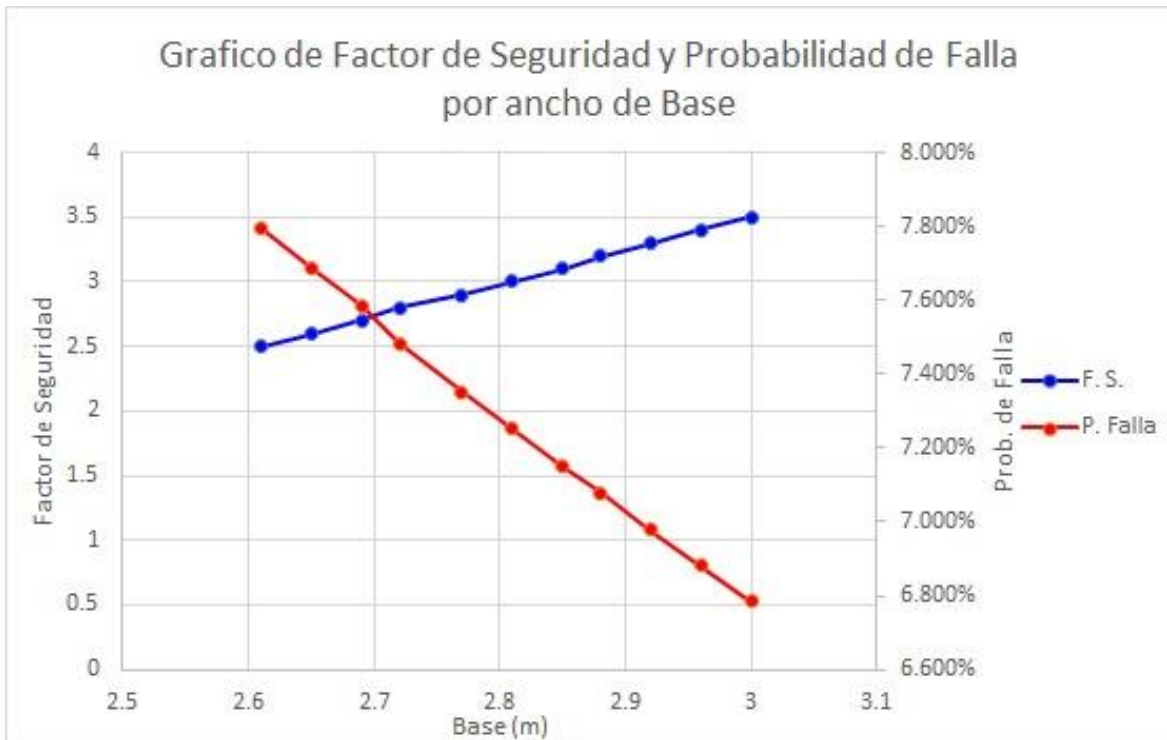


Ilustración 10 Gráfico de Factor de Seguridad y Probabilidad de Falla por ancho de base
Fuente: Elaboración propia

Finalmente se obtendrá el valor de BETA para poder hallar la probabilidad de falla mediante la distribución normal, tal como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1

Gráfico de Factor de Seguridad y Probabilidad de Falla por ancho de base

FS	Peso específico (kg/m ³)	Carga Vertical (t)	Momento (t.m)	Solicitud (tf/m ²)	Qu(kg/cm ²)	Qu(tf/m ²)	Desviación	B (m)	beta	Pf
2.5	1650	129680	30900	42.86	5.9022	59.697	9.221	2.59	1.844659174	7.278%
2.6	1650	129680	30900	42.86	5.9888	59.888	9.384	2.64	1.814578005	7.690%
2.7	1650	129680	30900	42.86	6.0022	60.022	9.419	2.68	1.82206179	7.586%
2.8	1650	129680	30900	42.86	6.0155	60.155	9.453	2.72	1.829577912	7.482%
2.9	1650	129680	30900	42.86	6.0323	60.323	9.495	2.77	1.839178515	7.352%
3	1650	129680	30900	42.86	6.0457	60.457	9.529	2.81	1.84667856	7.251%
3.1	1650	129680	30900	42.86	6.0592	60.592	9.563	2.85	1.854229844	7.150%
3.2	1650	129680	30900	42.86	6.0693	60.693	9.589	2.88	1.859735113	7.078%
3.3	1650	129680	30900	42.86	6.0829	60.829	9.623	2.92	1.867297101	6.978%
3.4	1650	129680	30900	42.86	6.0965	60.965	9.657	2.96	1.87480584	6.881%
3.5	1650	129680	30900	42.86	6.1101	61.101	9.691	3	1.882261892	6.785%

4 CONCLUSIONES

Las zapatas cumplen con el requisito de factor de seguridad de la norma E 050; no obstante, estas presentan una probabilidad de falla.

Si bien el factor de falla está presente en las zapatas superficiales, este valor no es muy elevado para los casos estudiados.

Se observa que la relación entre el factor de seguridad y la probabilidad de falla será inversamente proporcional, ya que, al aumentar los parámetros, en este caso la base, se dará una disminución a la probabilidad de fallar de la cimentación.

Realizar un análisis de probabilidad de falla aumentaría en la seguridad global de la estructura.

Si bien se debe realizar un análisis probabilístico, también se debe analizar el impacto económico que tendrá sobre el proyecto total.

Como se ve en el gráfico de la figura 8, para el caso de Factor de Seguridad en función al ancho de base, se observa una relación positiva. mientras que, la probabilidad de falla muestra una relación negativa.

5 RECOMENDACIONES

Se recomienda ampliar la investigación sobre la probabilidad de falla existente, y a su vez generar nuevas estrategias para mitigar sus efectos.

Este estudio fue realizado en suelos gravosos de Lima, sin embargo, se recomienda analizar, también, el comportamiento de la probabilidad de falla en suelos sueltos.

6 [REFERENCIAS]

- [1] Da Silva, J.L., Aoki, N., Franco, Y.B. (2016). Use of the order statistics when predicting pile foundation failure probability. DYNA (Colombia), 84, 247-252.
- [2] Kok-Kwang Phoon. (2016). Role of reliability calculations in geotechnical design. Georisk, 11, 1-18.
- [3] Kok-Kwang Phoon. (2019). The story of statistics in geotechnical engineering. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 14, 3-25.
- [4] Tanmoy Das and A. Hegde. (2019). A Comparative Deterministic and Probabilistic Stability Analysis of Rock-Fill Tailing Dam. Advances in Computer Methods and Geomechanics, 13, 607-617.
- [5] ANG A. y TANG W. (1984). Probability Concepts in Engineering Planning and Design. Canada: John Wiley & Sons. Inc.
- [6] Jefferson Lins da Silva, Nelson Aoki & Yara Barbosa Franco. (2015). Use of the order statistics when predicting pile foundation failure probability1. DYNA, 200, 247 - 252.
- [7] Braja M., D. (2001). Fundamentos de ingeniería de cimentaciones. México: International Thomson Editores. Obtenido de https://www.academia.edu/18553128/Principios_De_Ingenier%C3%ADa_De_Cimentaciones_-_Braja_M._Das_4ta_Edici%C3%B3n_

[8] Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). NORMA TÉCNICA E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES. 2020, de Instituto de la Construcción y Gerencia
Sitio web: <http://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>