Universidad de los Andes

Análisis probabilístico de estabilidad de taludes con mecanismos de falla compuestos

Alejandro Kerguelen Argumedo

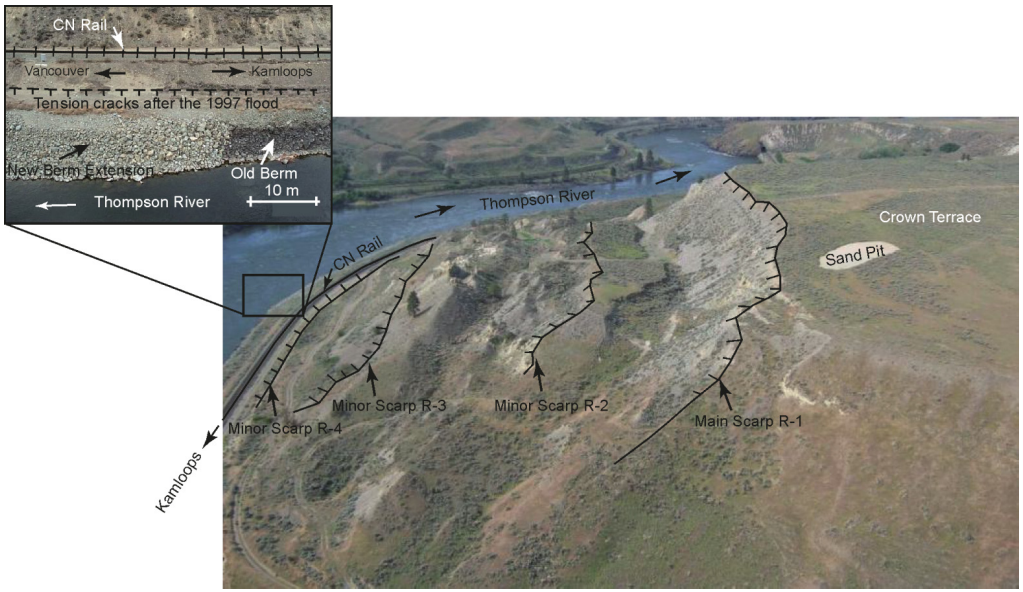
Grupo de Investigación en Geotecnia
Universidad de Los Andes-Bogotá, Colombia
***C**entro de **E**studios **I**nterdisciplinarios **B**ásicos y **A**plicados en Complejidad*
-CeiBA-

uniandes

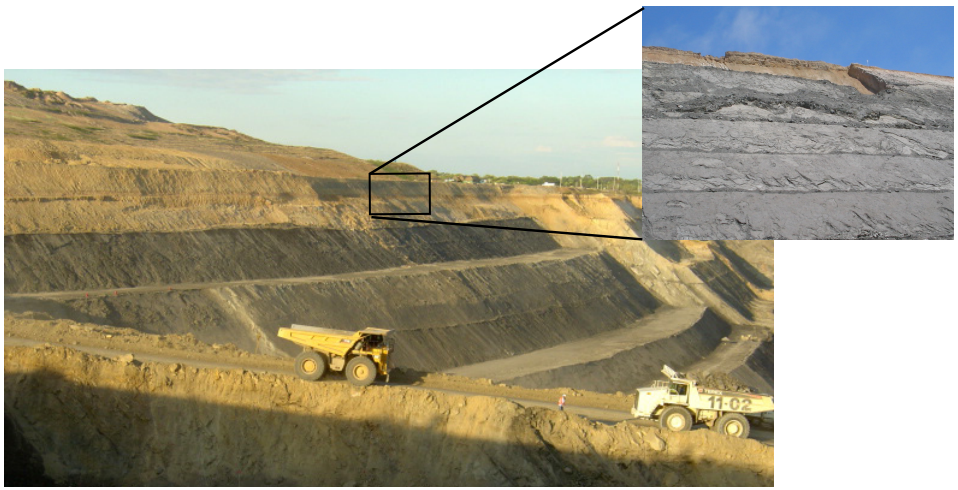
3 de abril de 2009

CeiBA

Motivación

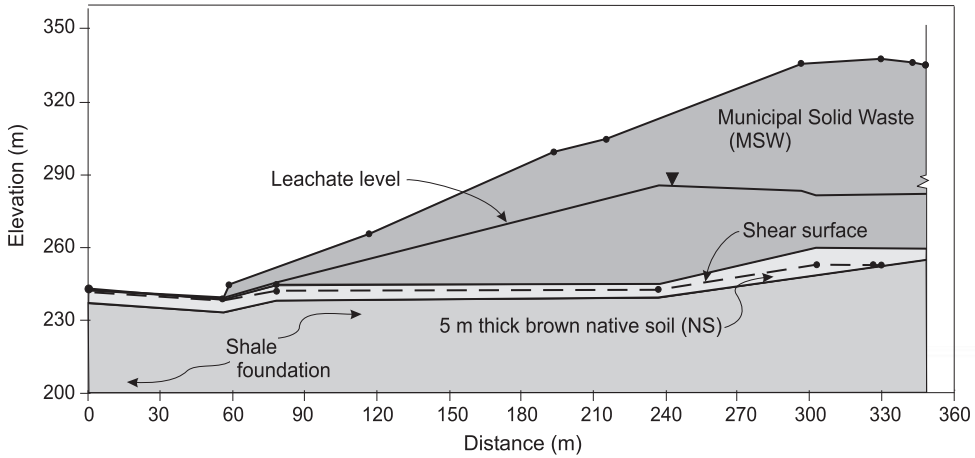


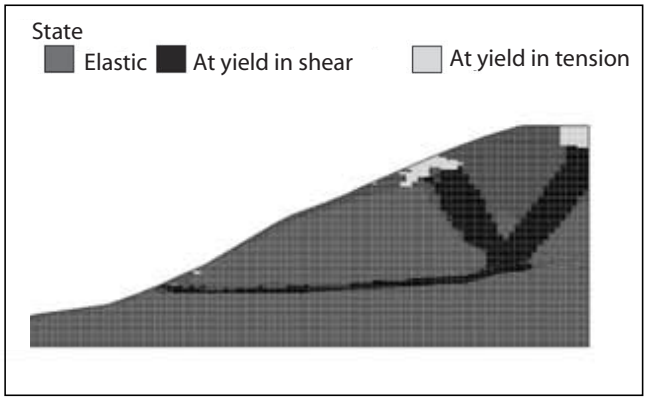
Thompson River Valley, B.C., Canada
Eshraghian et al. 2008



Mina La Francia, Colombia

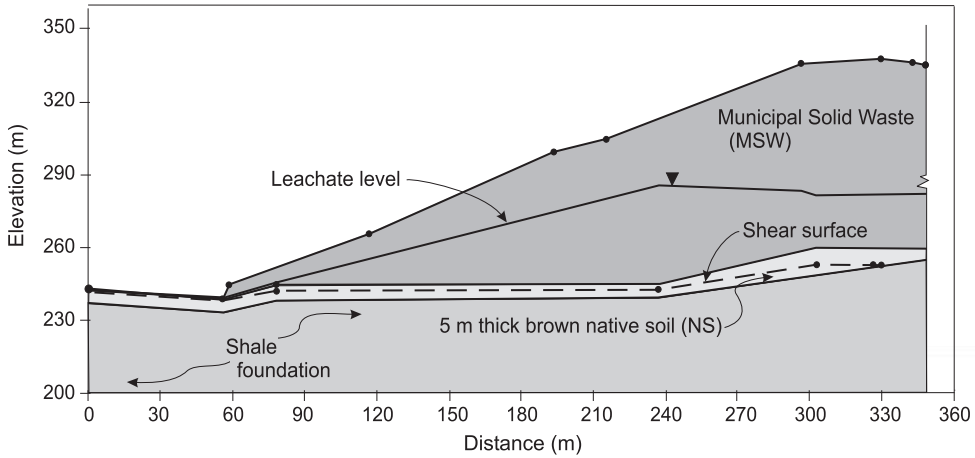
Motivación

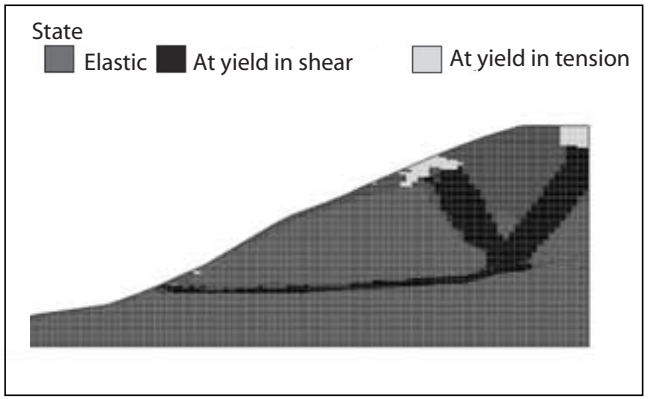




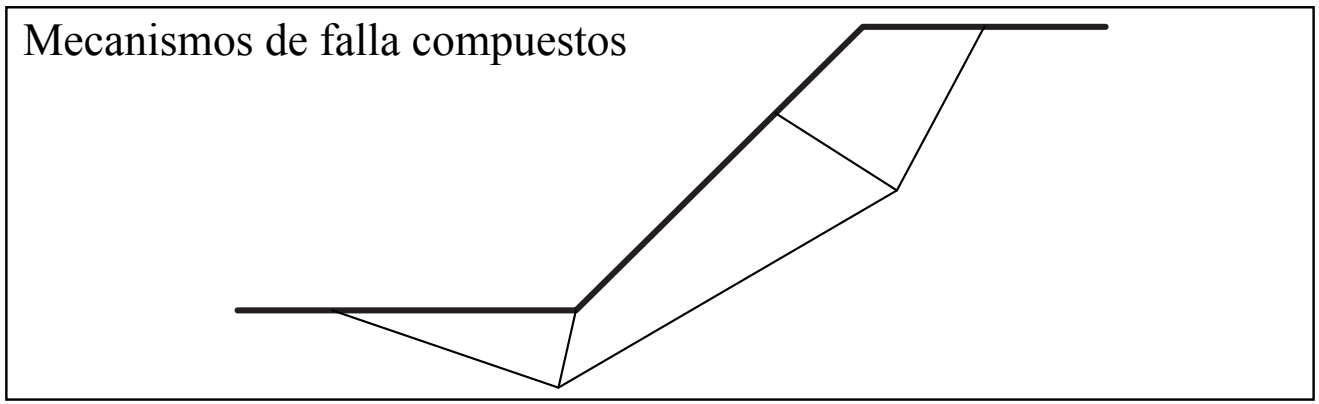
Chugh et al. 2007

Motivación





Chugh et al. 2007



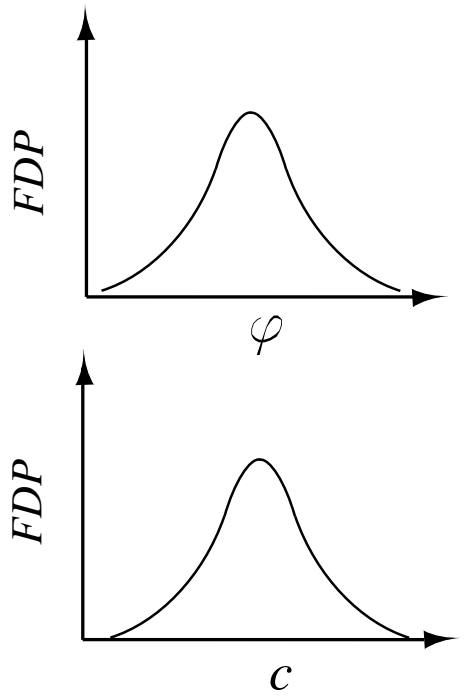
Gudehus, 1970

Motivación

Descripción determinística de los parámetros del suelo:

- $\varphi \longrightarrow Constante$
- $c \longrightarrow Constante$

Descripción probabilística de los parámetros del suelo:



Contenido

1. Mecanismos de falla Compuestos
   - Introducción
   - Cinemática
   - Estática
   - Grado de indeterminación
   - Programación del método
2. Metodología desarrollada
3. Resultados
4. Conclusiones
5. Agradecimientos

uniandes

CeIBA

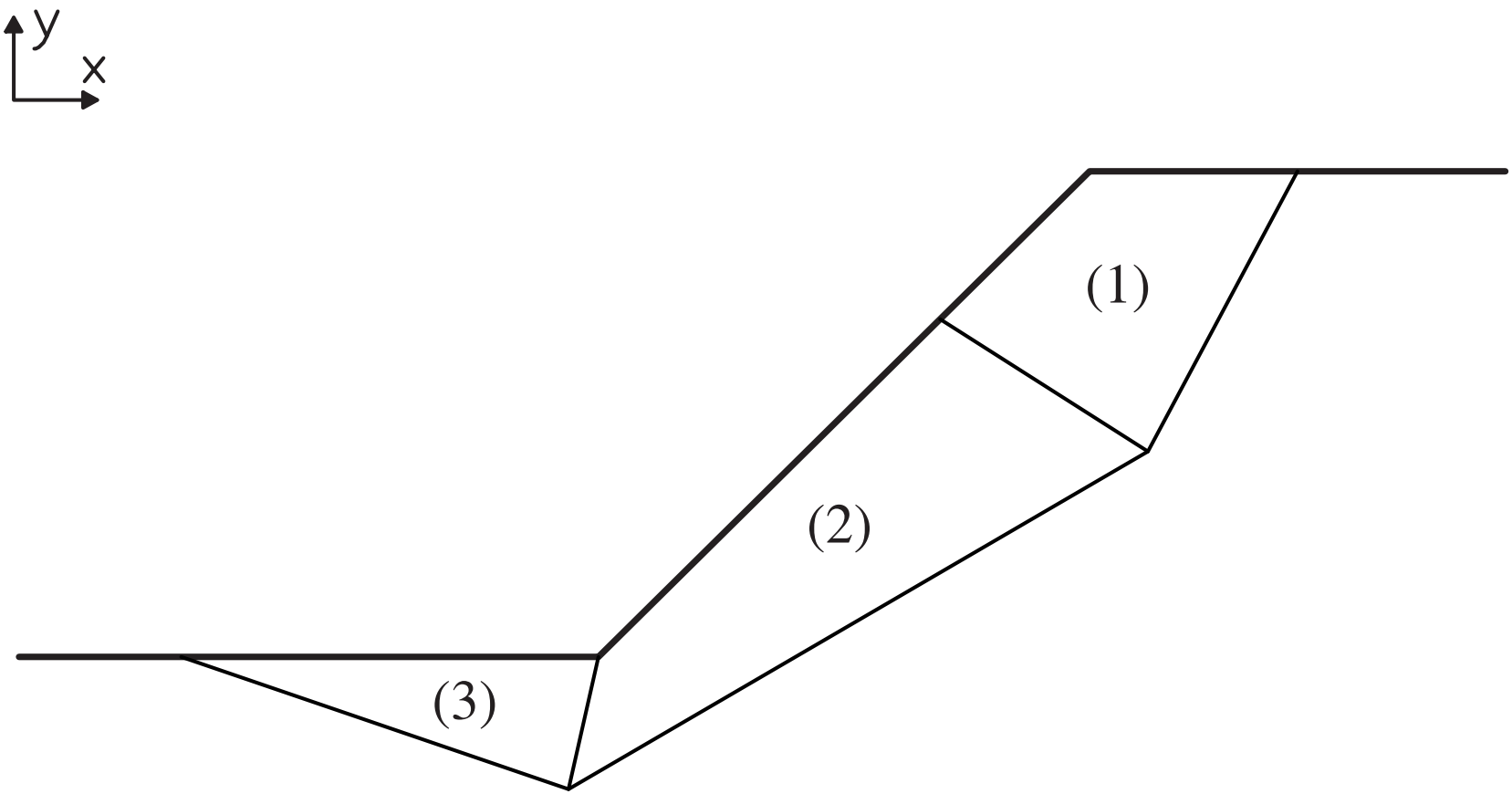


Figura: Mecanismos de falla Compuestos para análisis de estabilidad de taludes con superficie de falla plana [Gudehus,1970].

$$\vec{v}_i = \vec{v}_i + \vec{v}_{ij}$$

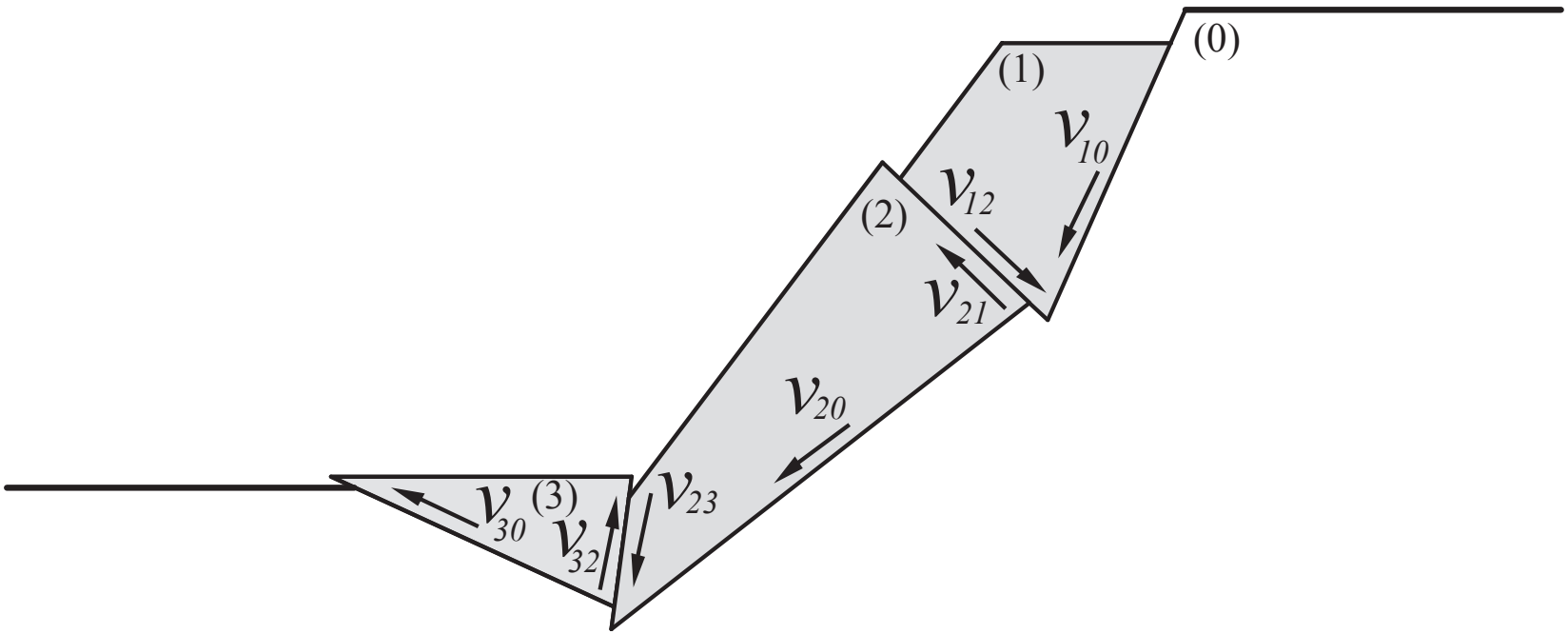


Figura: Cinemática del mecanismo de falla compuesto para 3 cuerpos

$$\vec{v}_i = \vec{v}_i + \vec{v}_{ij}$$

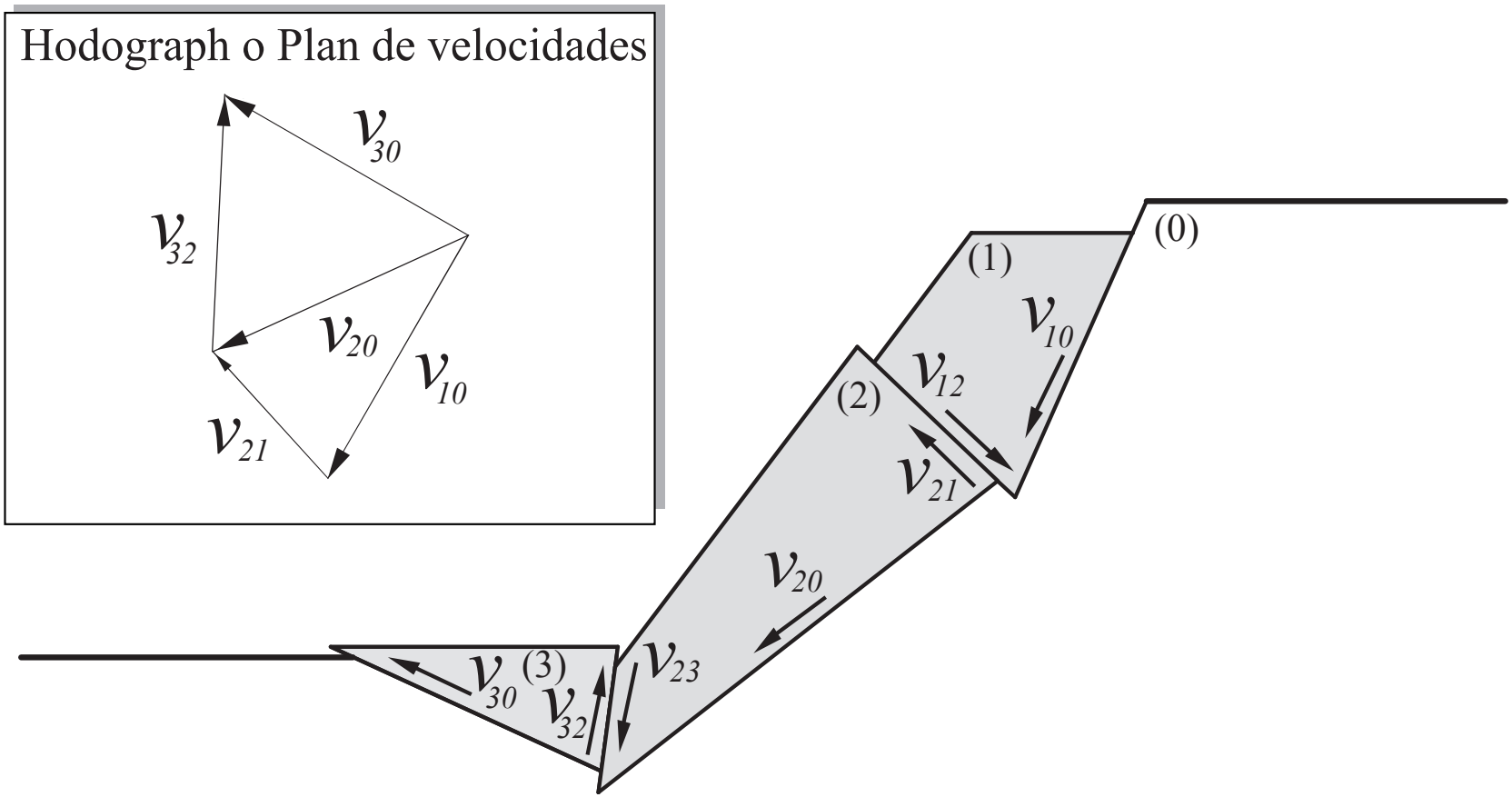


Figura: Cinemática del mecanismo de falla compuesto para 3 cuerpos

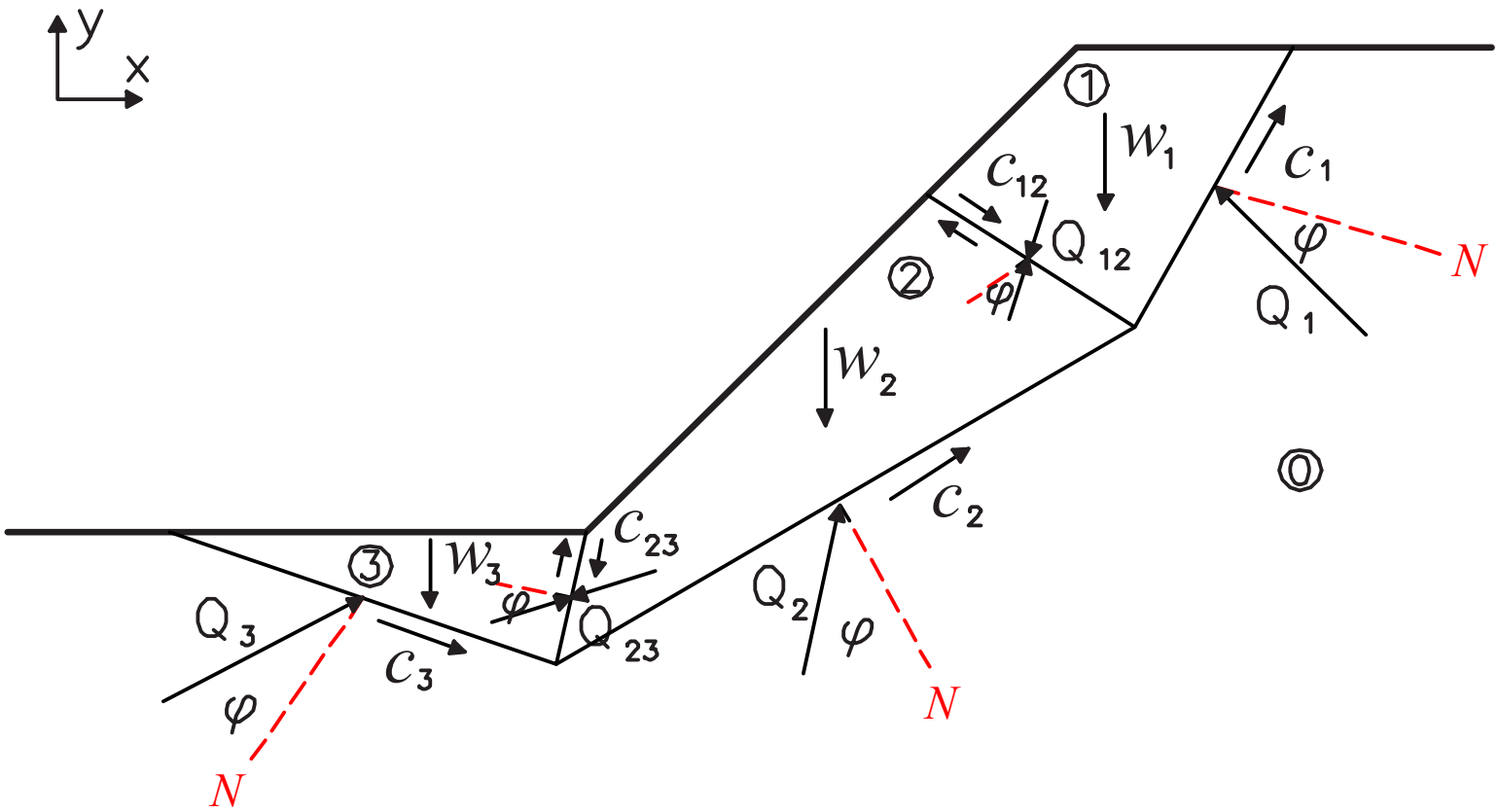
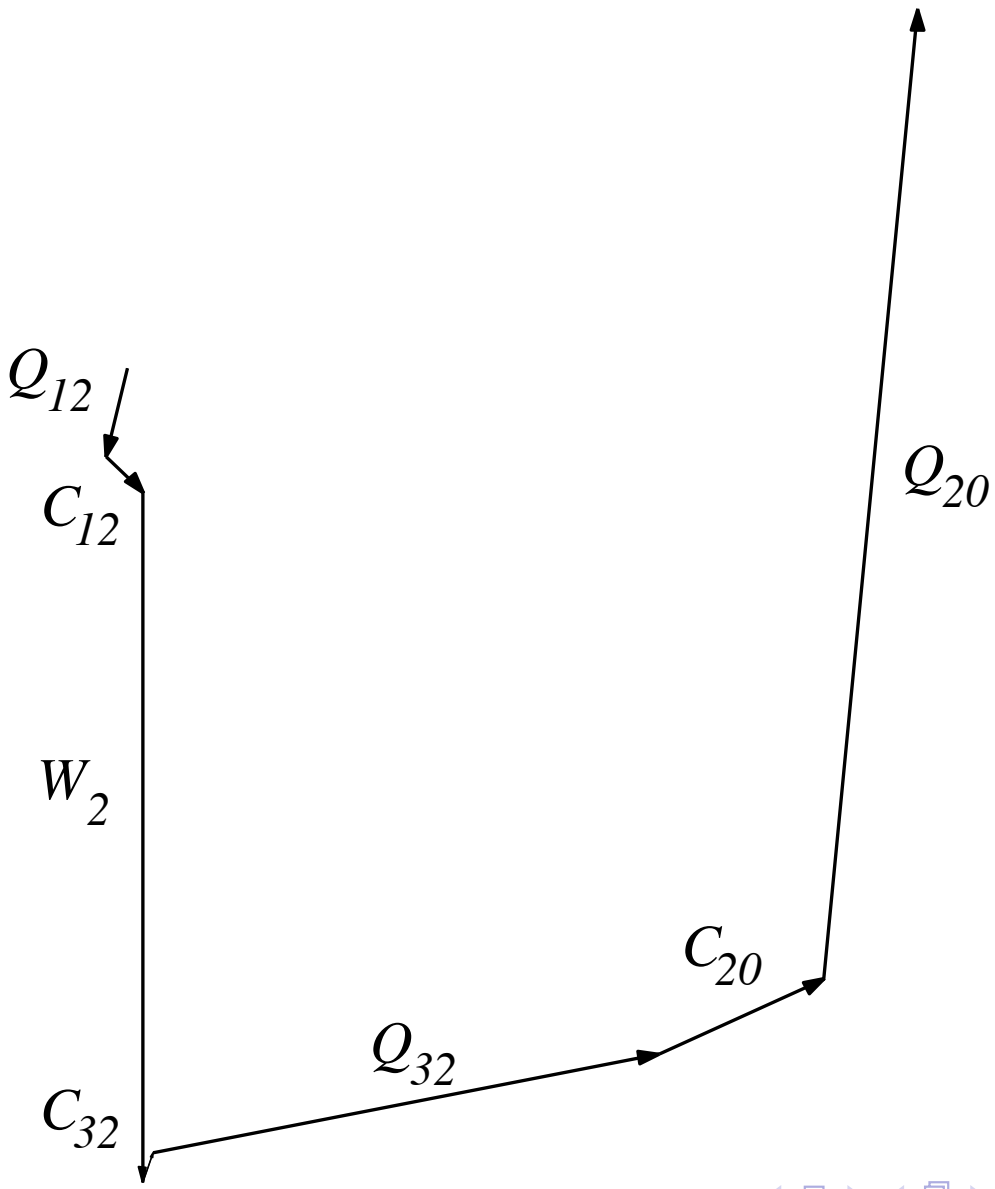
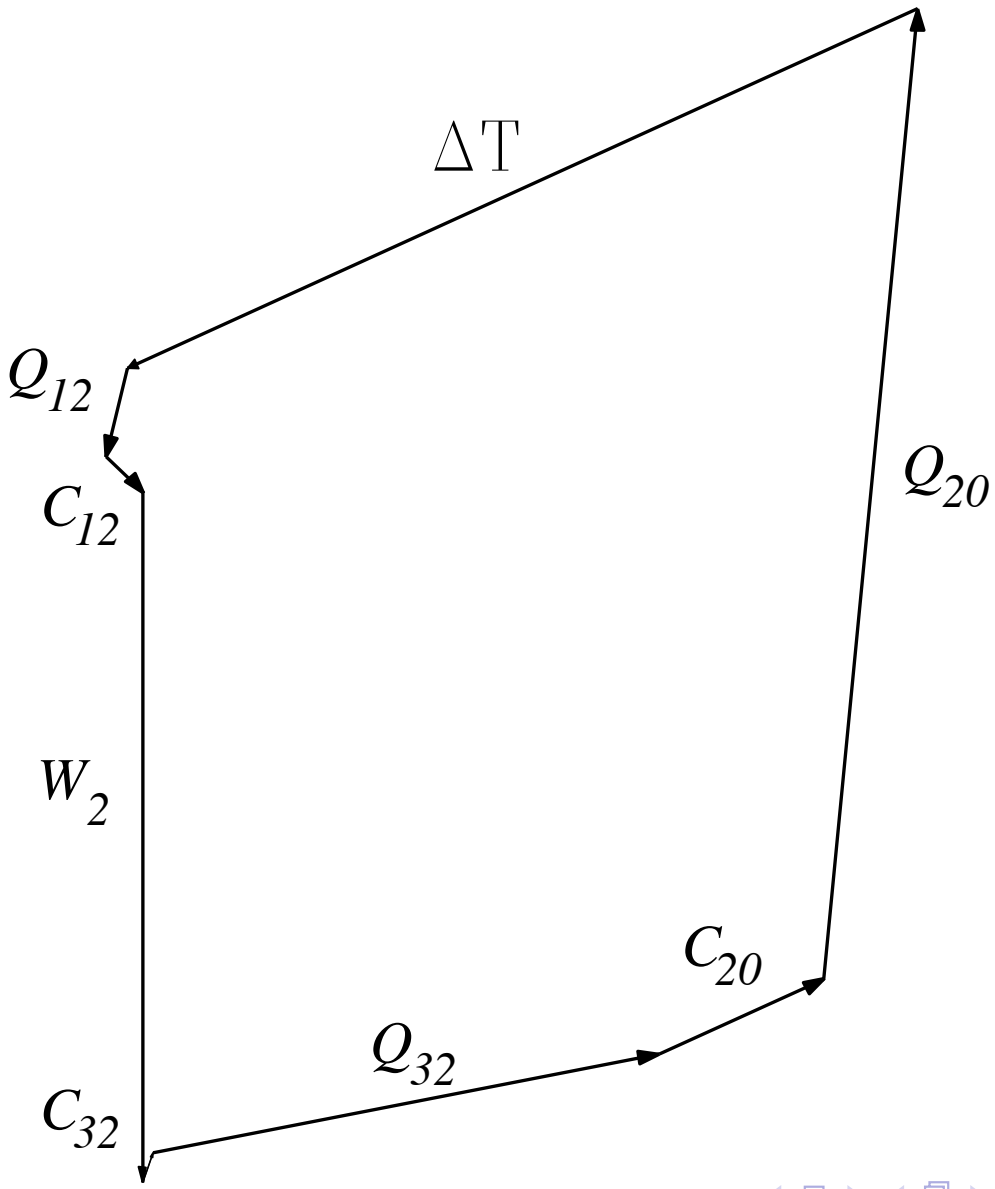


Figura: Estática del mecanismo de falla compuesto para 3 cuerpos


Q_{12}
C_{12}
W_2
C_{32}
Q_{32}
C_{20}
Q_{20}


ΔT
Q_{12}
C_{12}
Q_{20}
W_2
C_{20}
Q_{32}
C_{32}

$$\vec{W}_i = A_i \gamma_i \vec{g}_z \tag{1}$$

$$\vec{C}_i = c_i l_i (-\vec{v}_i) \tag{2}$$

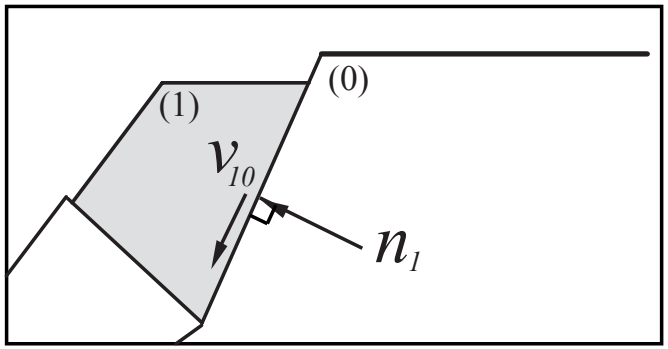
$$\vec{q}_i = \frac{\vec{n}_i + (-\vec{v}_i)\tan\varphi_i}{\sqrt{1+\tan^2\varphi_i}} \tag{3}$$

$$\vec{q}_{ij} = \frac{\vec{n}_{ij} + (-\vec{v}_{ij})\tan\varphi_{ij}}{\sqrt{1+\tan^2\varphi_{ij}}} \tag{4}$$

$$\vec{Q}_i = Q_i \vec{q}_i \tag{5}$$

$$\vec{Q}_{ij} = Q_{ij} \vec{q}_i j \tag{6}$$

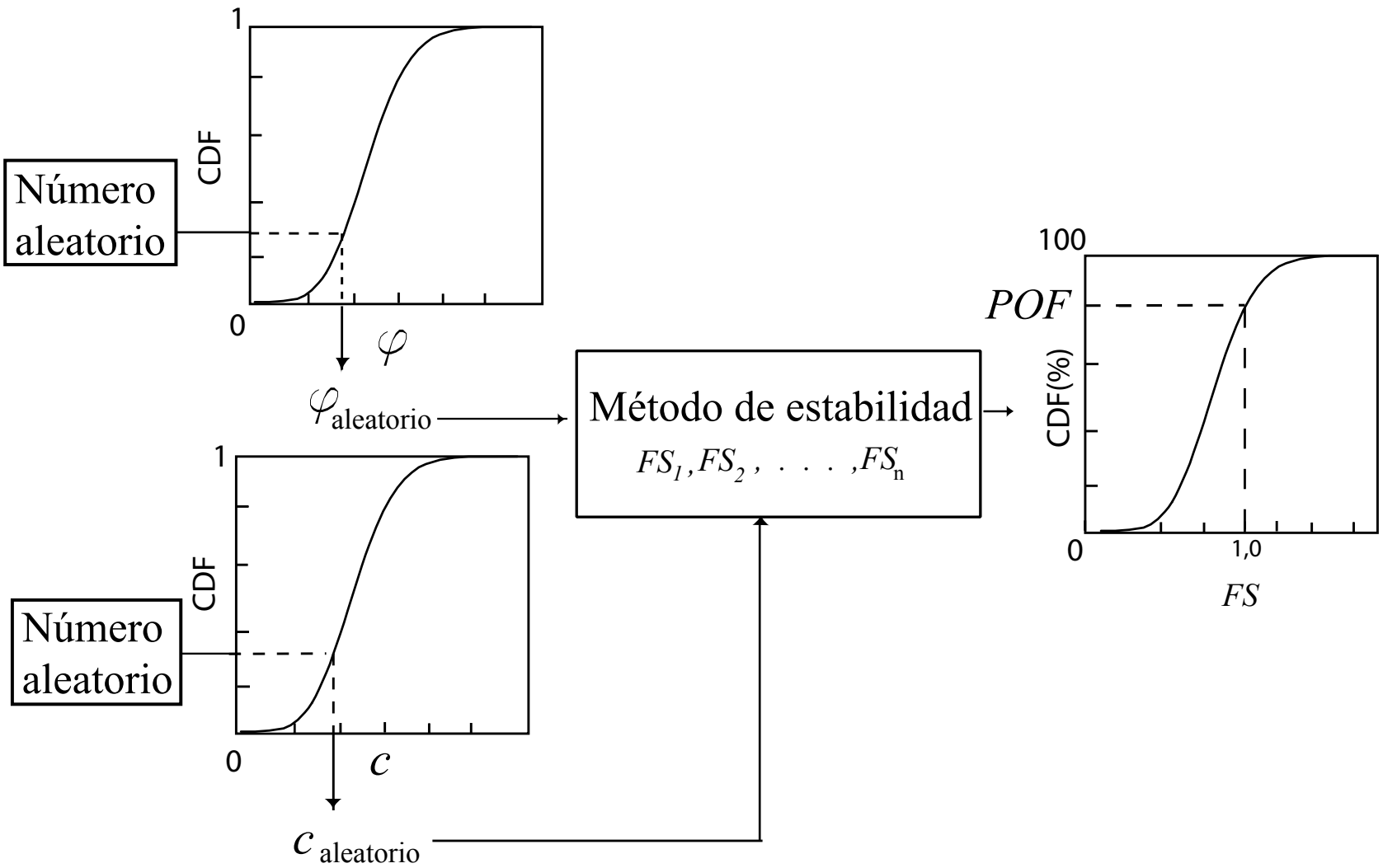
$$\hat{n}_{ij} \times \vec{v}_{ij} = 1 \tag{7}$$



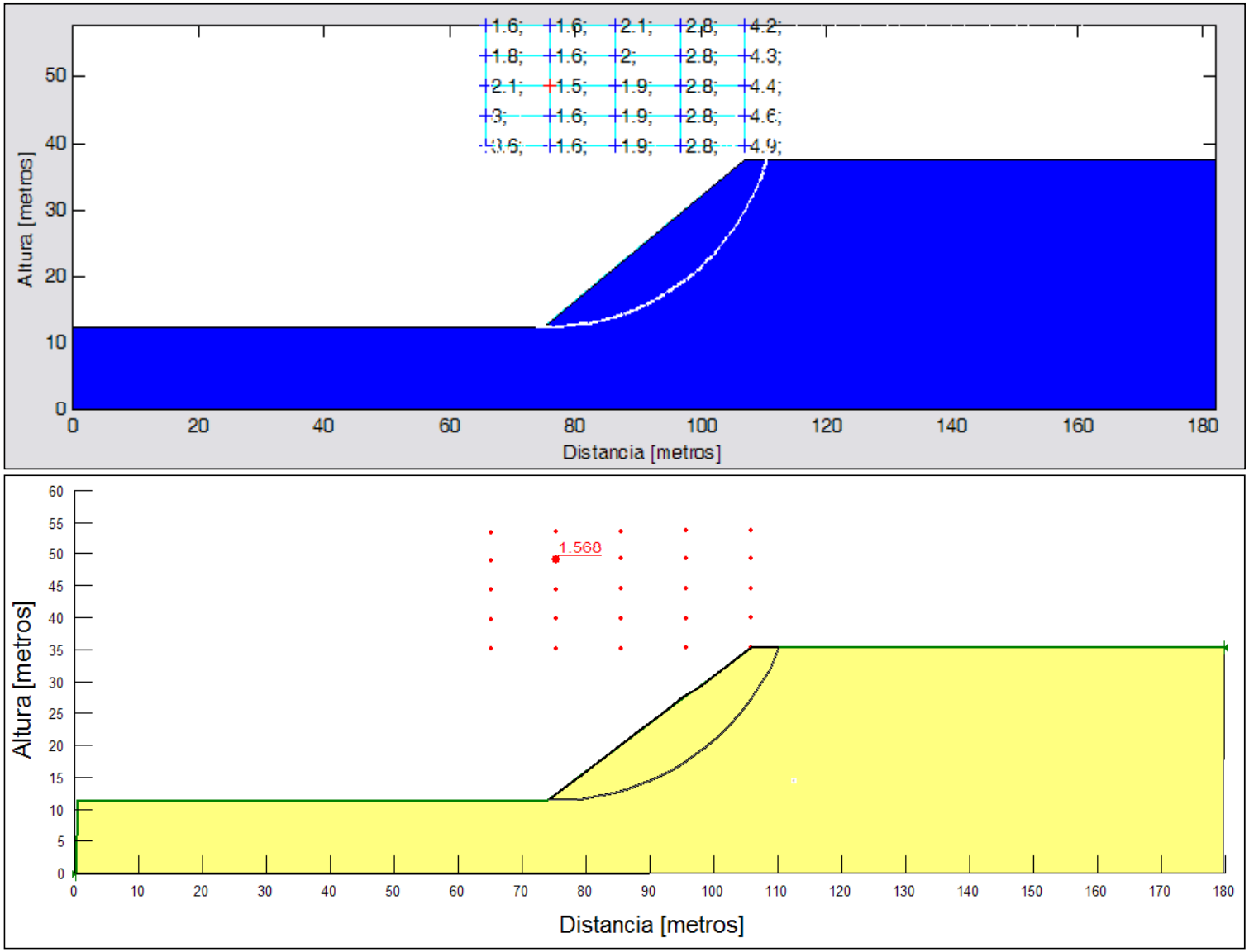
$$(n_{ij}x.v_{ij}y - n_{ij}y.v_{ij}x)\hat{k} = 1 \tag{8}$$

$$\sqrt{n_{ij}x^2 + n_{ij}y^2} = 1 \tag{9}$$

$$n_{ij}y = \pm v_{ij}x \tag{10}$$


Número aleatorio
1
CDF
0
φ
φ aleatorio
Método de estabilidad
FS1, FS2, . . . , FSn
100
POF
CDF(%)
0
1,0
FS
Número aleatorio
1
CDF
0
c
c aleatorio

Validación Monte-Carlo
GeoStudio™ [Slope/W]



Datos de Entrada	**Valor**
μ_c[kPa]	5
σ_c[kPa]	0,5
Distribución de c	N
μ_φ[°]	35
σ_φ[°]	3.5
Distribución de φ	N
No. de Simulaciones de Monte-Carlo	2000

	Probabilidad de falla
GeoStudio™	1,30 %
APET	1,25 %

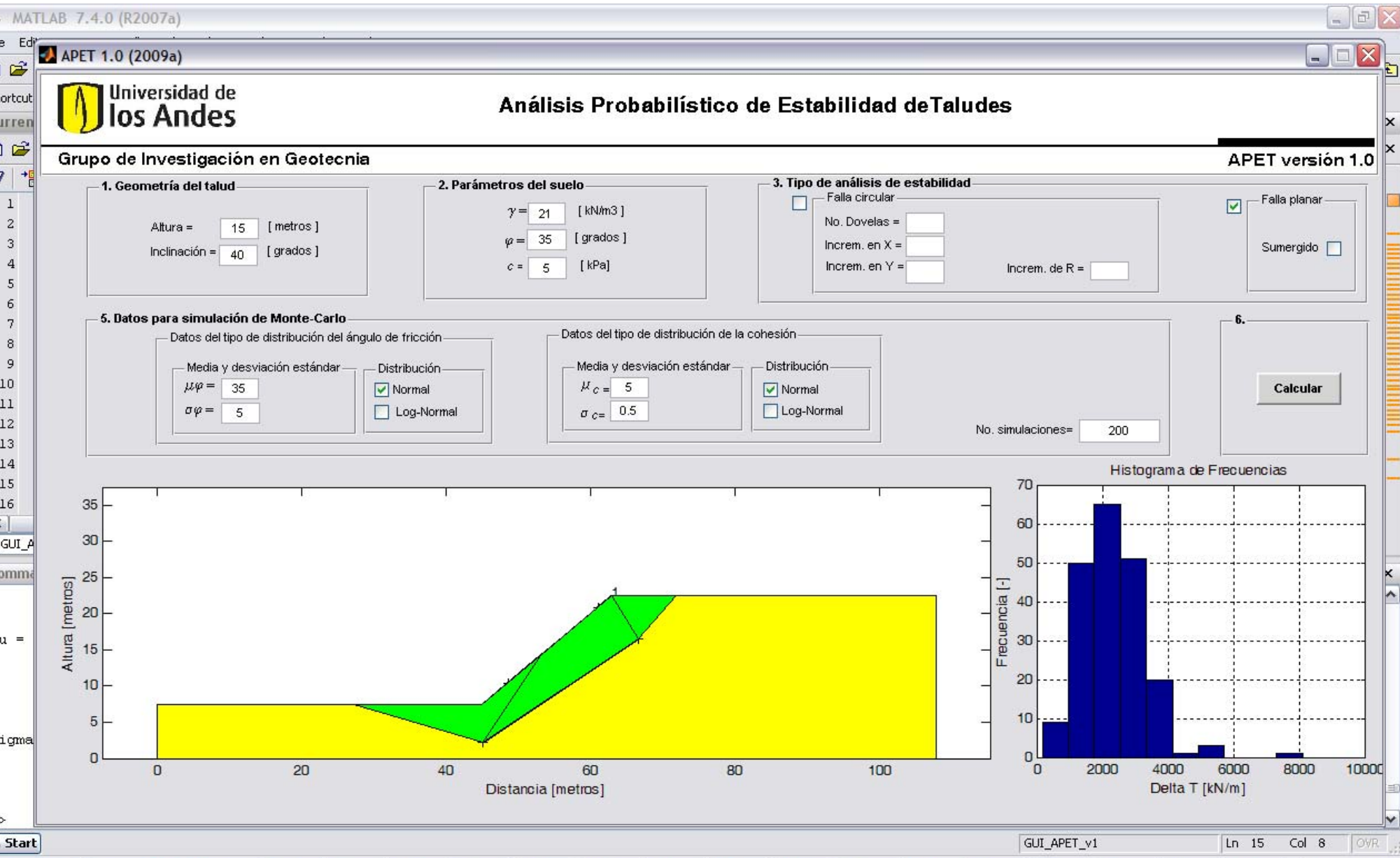
Resultados

Interfaz gráfica [MATLAB®]

```
function varargout = GUI_APET_v1(varargin)
%GUI_APET_v1 M-file for GUI_APET_v1.fig
%      GUI_APET_v1, by itself, creates a new GUI or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = GUI returns the handle to a new GUI or the handle to
%      the existing singleton*.
%
%      GUI('Property','Value',...) creates a new GUI using the
%      given property value pairs. Unrecognized properties are passed via
%      varargin to GUI_OpeningFcn.  This calling syntax produces a
%      warning when there is an existing singleton*.
%
%      GUI('CALLBACK') and GUI('CALLBACK',hObject,...) call the
%      local function named CALLBACK in GUI.M with the given input
%      arguments.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help GUI

% Last Modified by GUIDE v2.5 25-Feb-2009 10:20:33

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @GUI_APET_v1_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @GUI_APET_v1_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [], ...
                   'gui_Callback',   []);
```

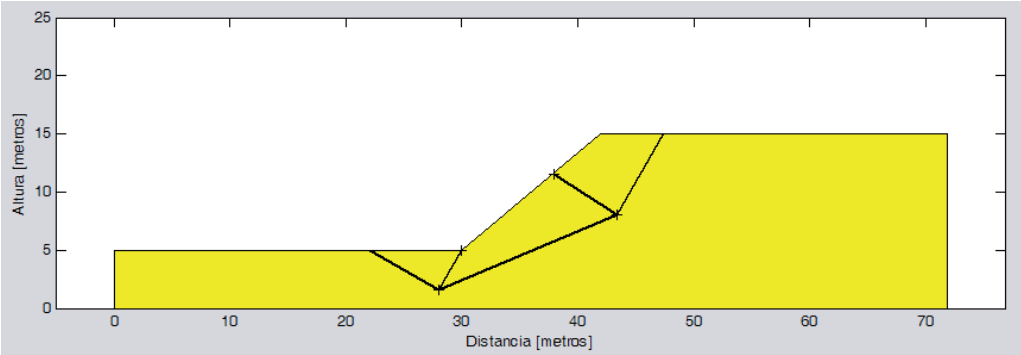
Resultados

Interfaz gráfica [MATLAB®]



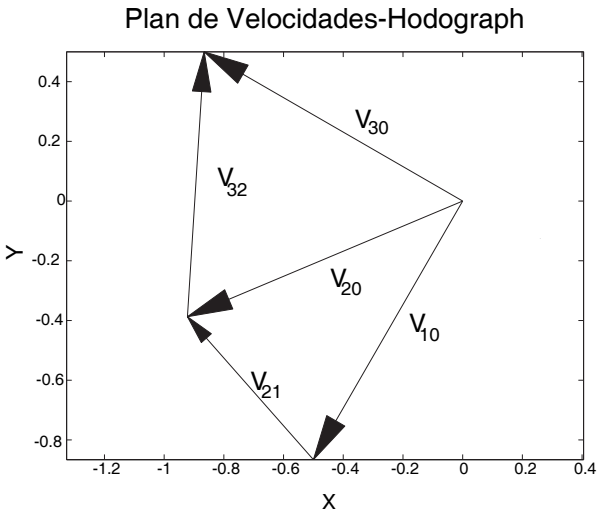
Geometría del talud:

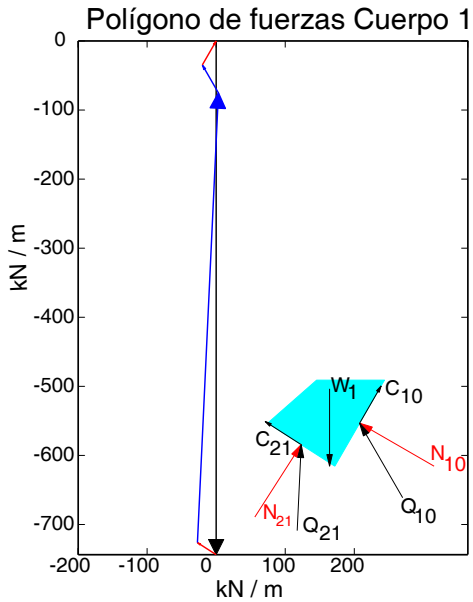
- $h = 10\text{m}$
- $\beta = 40°$

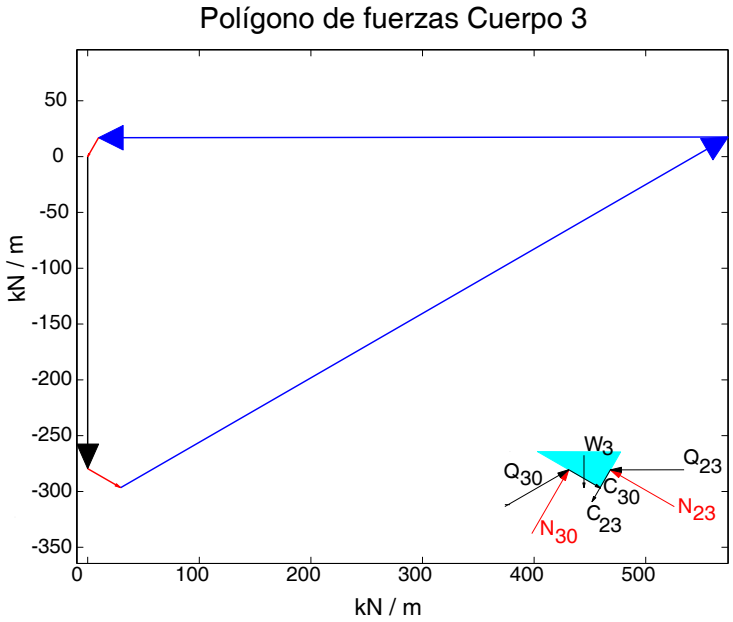


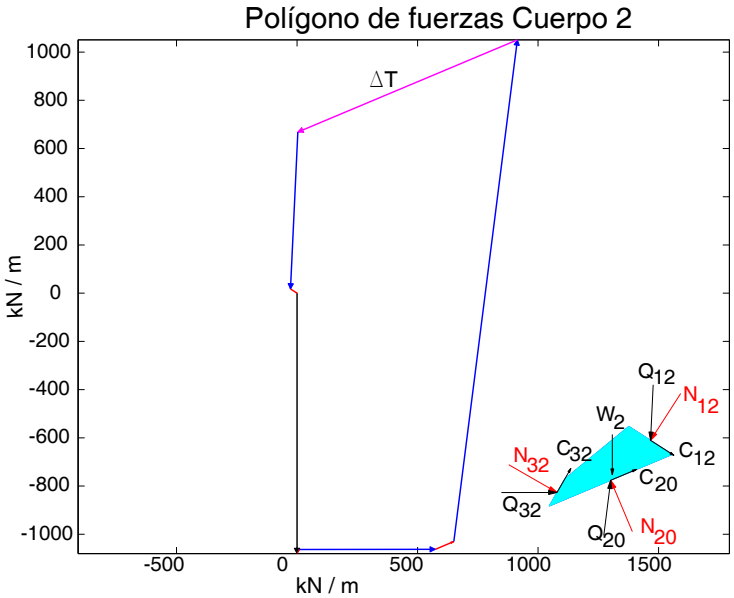
Parámetros geotécnicos:

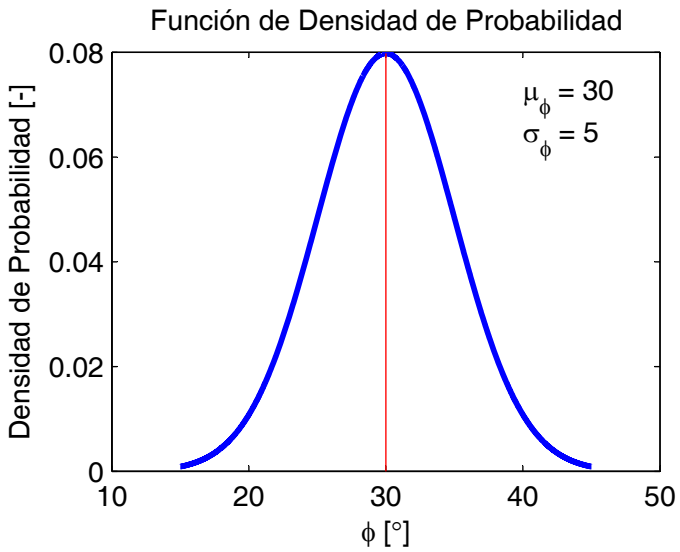
- $\gamma = 21\ \text{kN/m}^3$
- $\varphi = 30°$
- $c = 5\ \text{kPa}$

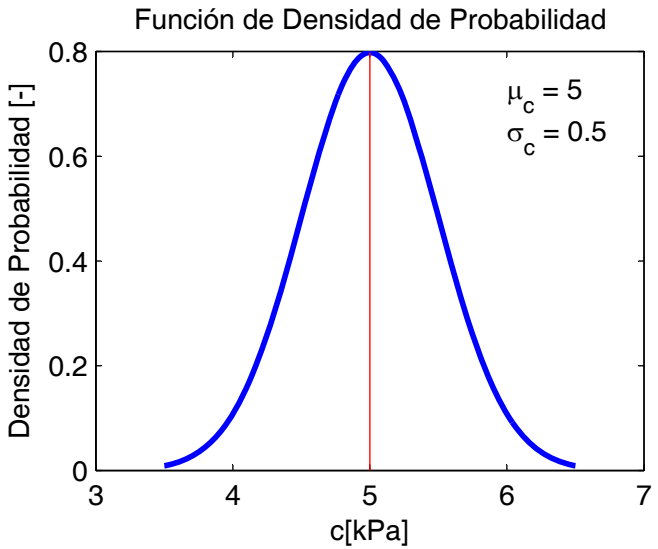



Polígono de fuerzas Cuerpo 1
kN / m
kN / m
W1
C10
C21
N10
N21
Q21
Q10

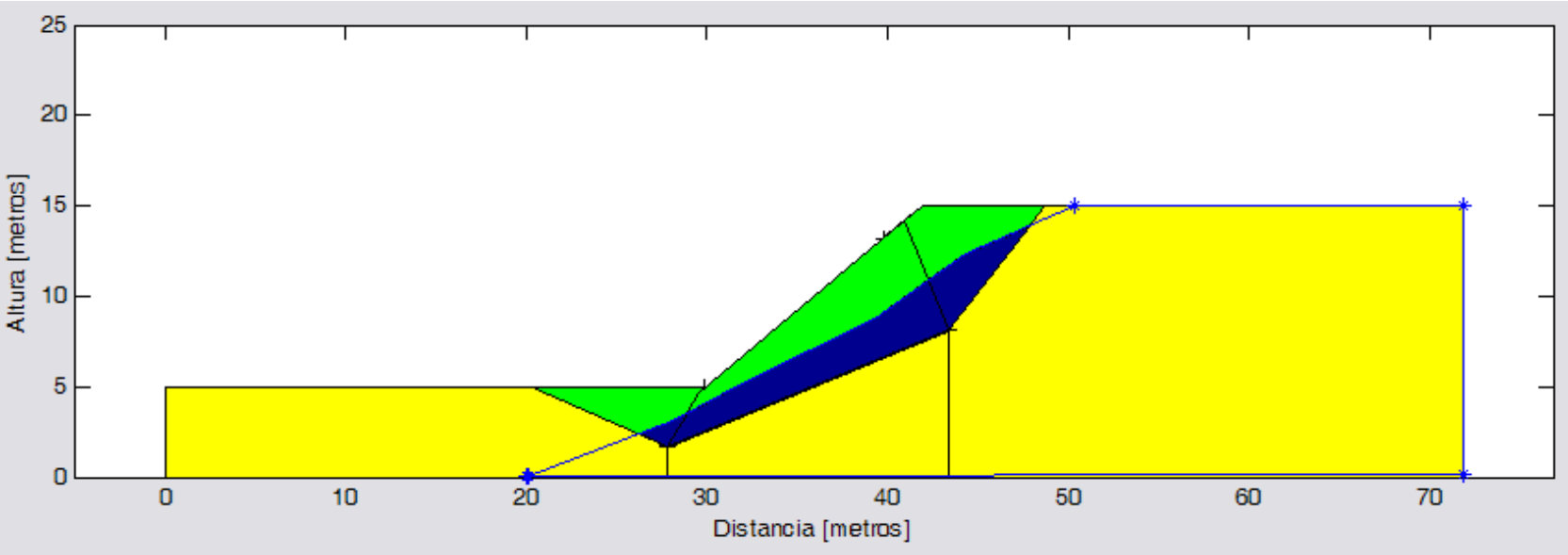

Polígono de fuerzas Cuerpo 3
kN / m
kN / m
W3
Q30
Q23
C30
C23
N23
N30

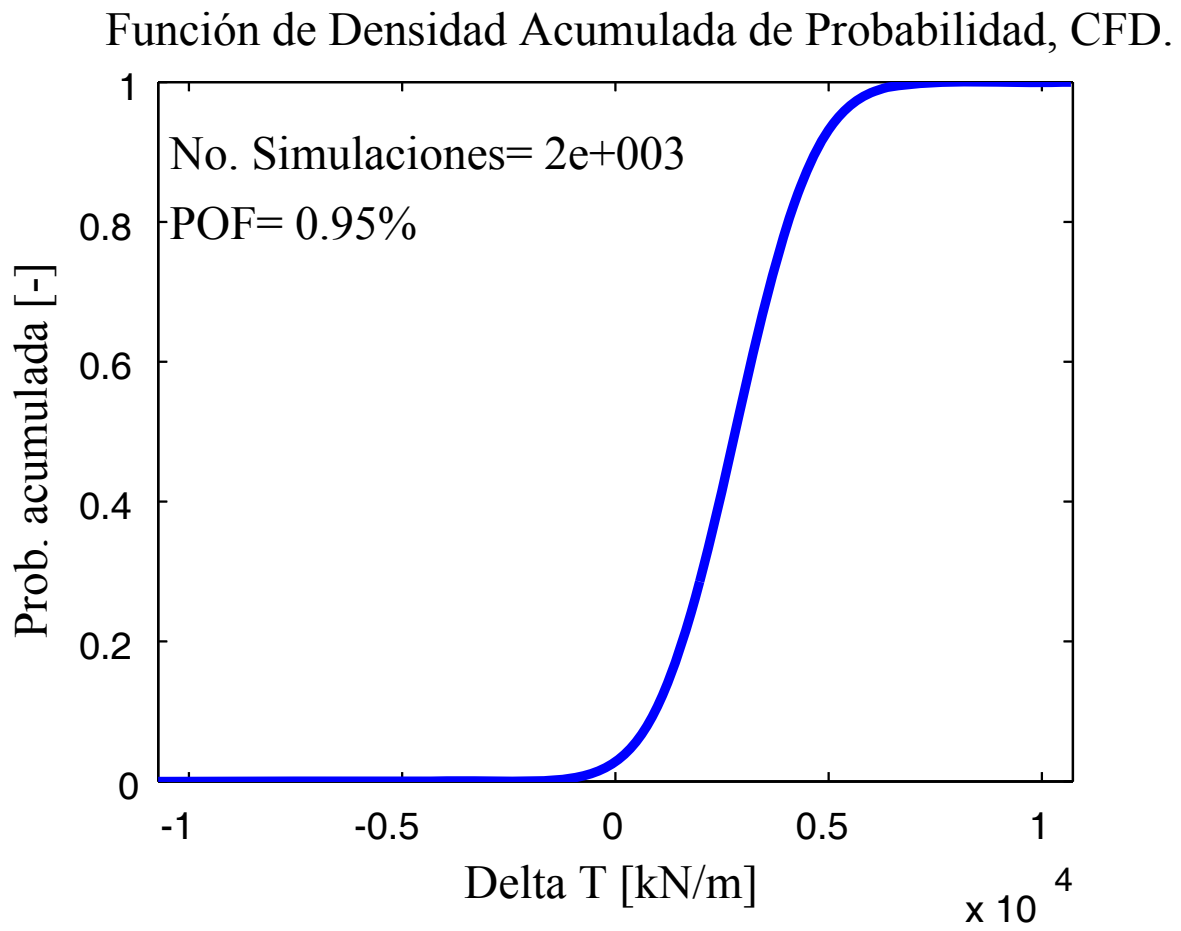

Polígono de fuerzas Cuerpo 2
kN / m
kN / m
ΔT
Q12
N12
W2
N32
C32
C12
C20
Q32
Q20
N20

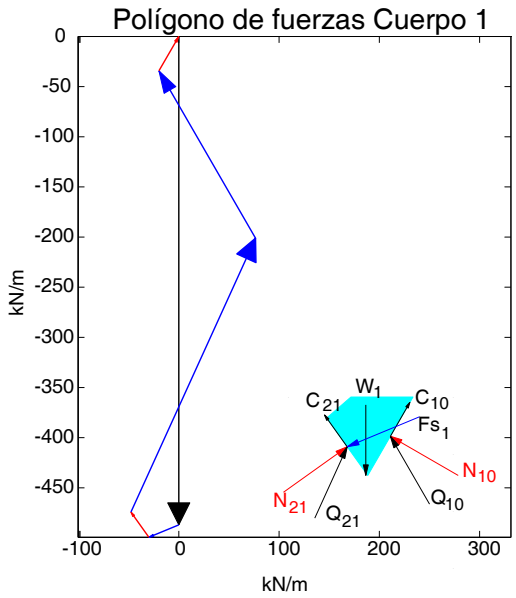


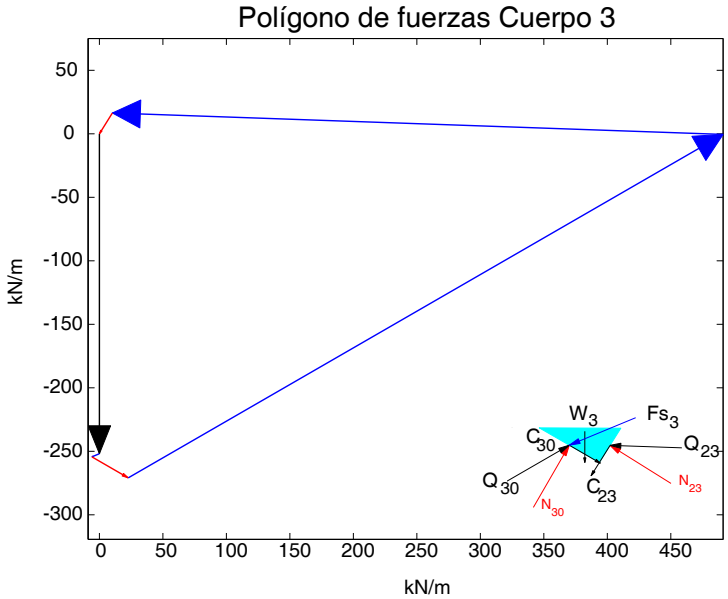


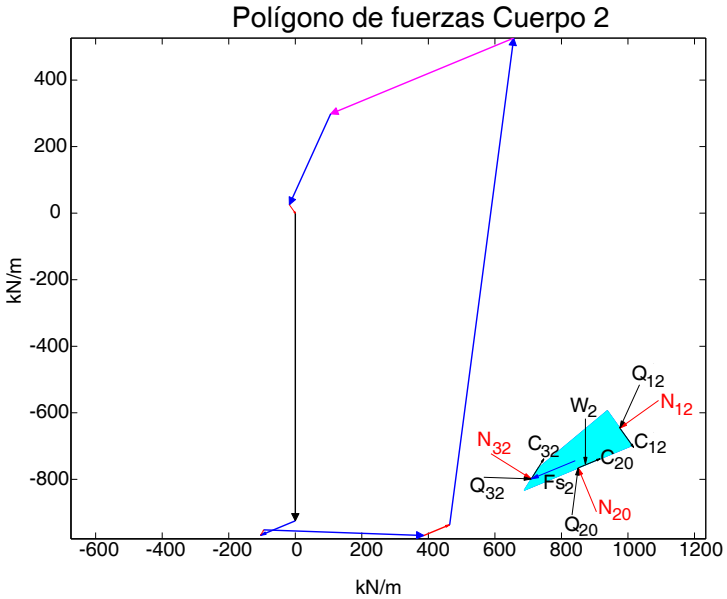
- No. de simulaciones de Monte-Carlo: 2000
- Probabilidad de falla del talud : 0.7 %

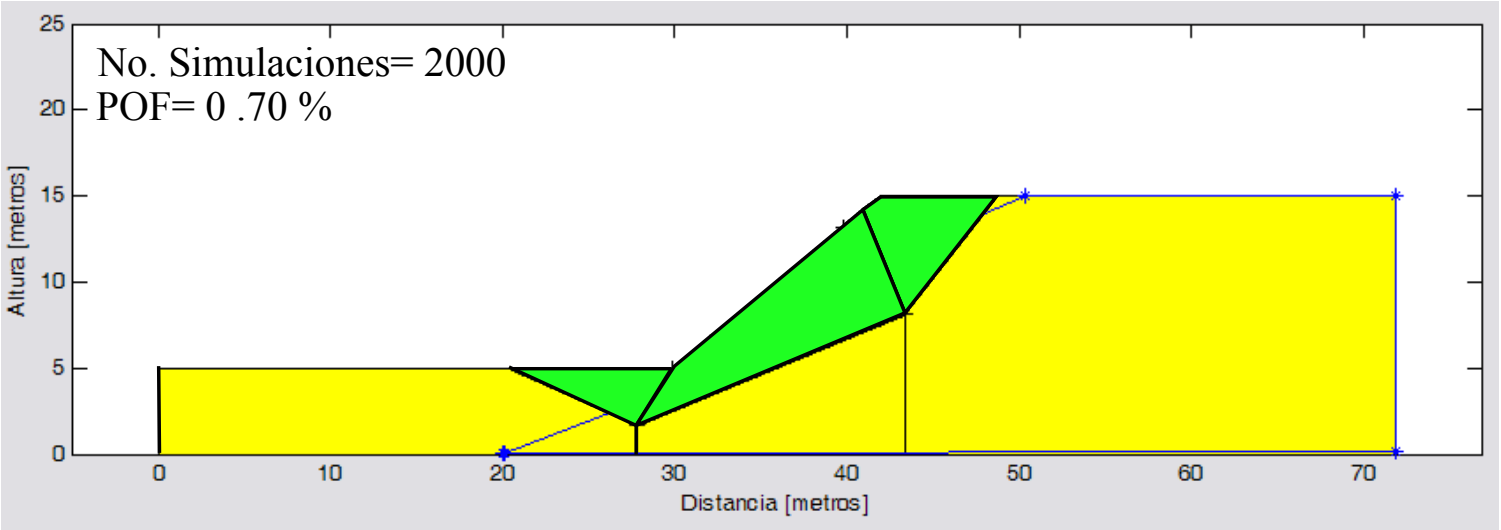

25
20
15
10
5
0
Altura [metros]
0
10
20
30
40
50
60
70
Distancia [metros]

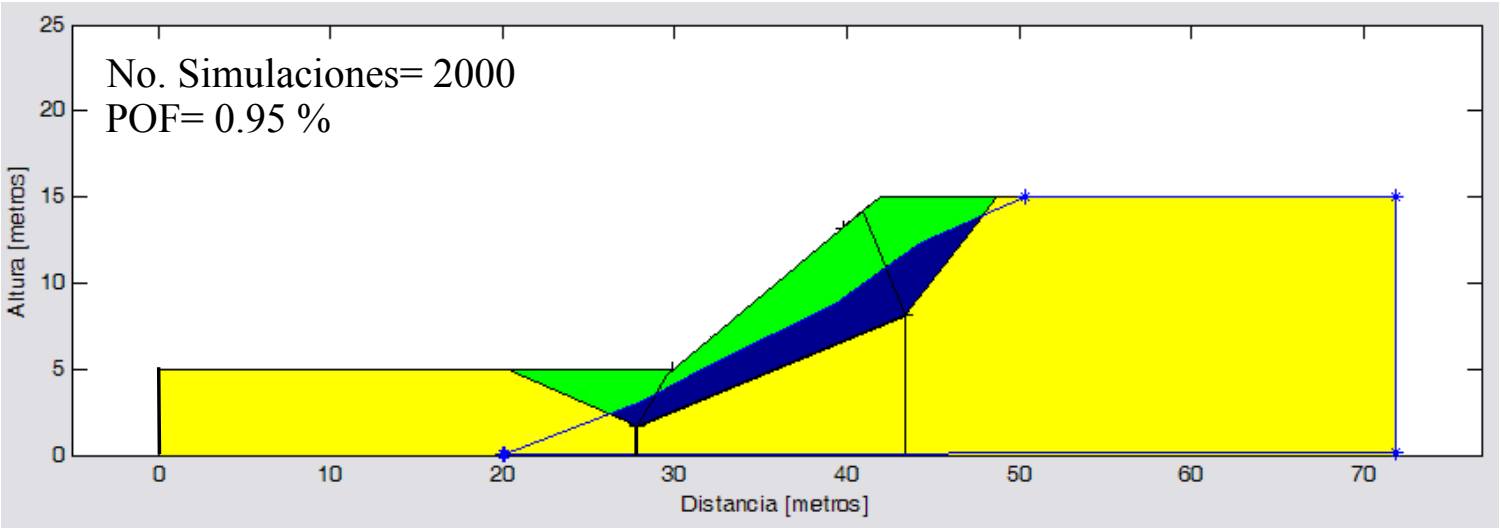

Función de Densidad Acumulada de Probabilidad, CFD.
No. Simulaciones= 2e+003
POF= 0.95%
Prob. acumulada [-]
Delta T [kN/m]
x 10^4
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
-1
-0.5
0
0.5
1


Polígono de fuerzas Cuerpo 1
kN/m
kN/m
W1
C21
C10
Fs1
N10
N21
Q21
Q10


Polígono de fuerzas Cuerpo 3
kN/m
kN/m
W3
Fs3
C30
Q23
Q30
C23
N23
N30


Polígono de fuerzas Cuerpo 2
kN/m
kN/m
Q12
W2
N12
N32
C32
C12
C20
Q32
Fs2
N20
Q20


No. Simulaciones= 2000
POF= 0 .70 %
Altura [metros]
Distancia [metros]
0
5
10
15
20
25
0
10
20
30
40
50
60
70


No. Simulaciones= 2000
POF= 0.95 %
Altura [metros]
Distancia [metros]
0
5
10
15
20
25
0
10
20
30
40
50
60
70

En la literatura se pueden encontrar valores de probabilidades de falla aceptables:

Año	Autor	POF(%)
1977	Piteau	10
1982	Meyerhof	1-0,001
1983	Priest	0,3-20
1988	Hantz	15-30
1991	Hoek	10-15
1991	Genske	0,1-1
1993	Sandroni	2
1995	Wittlestone	0,5
		...

En minas a cielo abierto en China, la POF aceptable llega hasta 0,3 %, en América se reportan casos de 3,9 %.
Wang et al., 2000.

Conclusiones

- Los análisis de estabilidad de taludes con superficies de falla plana y movimiento traslacional son aptos para tratamiento probabilístico.
- Este tipo de enfoque proporciona mayor información sobre el nivel de seguridad del diseño que los análisis determinísticos.
- El cálculo de la probabilidad de falla de los taludes permite la adopción de análisis de riesgo.

uniandes

CeIBA

Agradecimientos

- Prof. Arcesio Lizcano
- Universidad de Los Andes, Colombia
- Grupo de Investigación en Geotecnia-Uniandes
  `http://geotecnia.uniandes.edu.co`

Muchas Gracias !!!