

DEPÓSITO LEGAL ZU2020000153

ISSN 0041-8811

E-ISSN 2665-0428

Revista de la Universidad del Zulia

Fundada en 1947
por el Dr. Jesús Enrique Lossada



Ciencias

Exactas,

Naturales

y de la Salud

79
ANIVERSARIO

Año 17 N° 49
Mayo - Agosto 2026
Tercera Época
Maracaibo-Venezuela

Técnica doble aleatoria para evaluar la incertidumbre de factor de seguridad en suelos de métodos de equilibrio límite

Manuel Felipe Brito Quijada *

RESUMEN

En este artículo se propone una técnica doble aleatoria que permite el uso de factor de seguridad aleatorio, evaluando los efectos de la incertidumbre de los parámetros geotécnicos en el análisis de estabilidad de taludes en suelos, no considerados en los métodos de equilibrio límite. En la técnica propuesta se utilizan criterios de las Redes Neuronales Artificiales de topología Feedforward (paso hacia adelante). La data de trece sitios de estudio es usada para el análisis de factor de seguridad promedio (FSP); a este factor de seguridad se le aplica factor de significancia o nivel de confianza para obtener finalmente, el factor de seguridad mínimo (FSM). Los resultados obtenidos, indican que la técnica propuesta da resultados consistentes del FSM al hacer la comparación con los factores de seguridad publicados en las referencias citadas.

PALABRAS CLAVE: Estabilidad de talud, Red neuronal artificial Feedforward, Números aleatorios, Análisis de factor de seguridad, Factor de seguridad mínimo.

*Profesor. Facultad de Ingeniería, Postgrado “Mantenimiento Vial”. Universidad Central de Venezuela. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8304-2002>. E-mail: manuelbritophb@gmail.com

Double Random Technique to Evaluate the Uncertainty of Safety Factor in Soils of Limit Equilibrium Methods

ABSTRACT

This article proposes a double random technique that allows the use of a random safety factor, evaluating the effects of uncertainty in geotechnical parameters in the stability analysis of slopes in soils, not considered in limit equilibrium methods. The proposed technique uses criteria from Artificial Neural Networks with Feedforward topology. Data from thirteen study sites are used for the average safety factor (ASF) analysis; a significance factor or confidence level is applied to this safety factor to ultimately obtain the minimum safety factor (MSF). The results indicate that the proposed technique provides consistent MSF results when compared with the safety factors published in the cited references.

KEYWORDS: Slope stability, Feedforward artificial neural network, Random numbers, Factor of safety analysis, Minimum safety factor.

Introducción

El objetivo principal de esta investigación es el diseño de una red neuronal artificial o red conexionista multicapa tipo feedforward (RNAf; paso hacia adelante) para evaluar la Incertidumbre de los Factores de Seguridad en Suelos obtenidos con los Métodos de Equilibrio Límite (MEL). Se determina el factor de seguridad mínimo (FSM) en suelos mediante la RNAf utilizando como datos de entrada, factor de seguridad en condiciones aleatorias tomando en consideración la incertidumbre de las propiedades geotécnicas del suelo que no son consideradas en los métodos tradicionales de análisis de estabilidad de taludes, como es el caso de los MEL. El análisis determinístico, que requiere de un programa de exploración del subsuelo y ensayos de laboratorio, supone que todas las propiedades del suelo son constantes en toda la extensión de la superficie de deslizamiento, pero las propiedades mecánicas de los suelos pueden variar de un sitio a otro dentro de las masas en movimiento; esta variabilidad genera incertidumbre, lo que exige la aplicación de herramientas probabilísticas en el análisis de estabilidad en condiciones aleatorias. El Perceptrón Multicapa (MLP) es uno de los tipos de redes neuronales artificiales (RNAs) más utilizados. Las RNA son modelos matemáticos formados por un conjunto de unidades llamadas “neuronas artificiales”, que se conectan entre sí

Manuel F. Brito Quijada // Técnica doble aleatoria para evaluar la incertidumbre de factor de seguridad... 206-226 para transmitirse señales simulando el proceso de aprendizaje del cerebro humano. Estas estructuras de procesamiento están integradas por una capa de entrada (datos de entrada (2.....n)), que reciben señales del exterior; dos o más capas ocultas (neuronas ocultas (2.....n)) que reciben y emiten salidas dentro del sistema y una capa de salida con una o más neuronas de salida (1.....n)) que emite (n) salida (s) fuera del sistema.

La técnica doble aleatoria basada en criterios de la RNAf (paso hacia adelante), es un procedimiento técnico diseñado en una hoja electrónica de calculo que permite determinar la sumatoria de los factores de seguridad a la salida (FSO), la sumatoria de los factores de seguridad diferencial (FSD), la sumatoria de los factores de seguridad medio cuadrático (FSDmc) y el factor de seguridad promedio (FSP); a este FSP se le aplica, a juicio del Ingeniero Geotécnico, un nivel de significancia o un nivel de confianza para obtener el factor de seguridad mínimo (FSM), siendo este el objetivo principal de la investigación para contrastar el FSM con los FS obtenidos y publicados por otros profesionales.

Existen diferentes tipos de funciones de activación que son importantes en las RNAs debido a que introducen la no linealidad en el modelo neuronal o red conexionista. Entre las funciones de activación clásicas se citan: lineal, escalón, gaussiana, la sigmoide o función logística, tangentes hiperbólicas, ReLU, Leaky ReLU y Softman Sin la función de activación, una RNA sería solo una representación lineal, lo que limitaría su capacidad para resolver problemas no lineales. Todas las funciones de activación son importantes y su selección depende del problema a resolver, del problema específico y de la naturaleza de los datos. En el caso del artículo en referencia, durante la fase de desarrollo se ensayaron diferentes funciones de activación evaluando su desempeño y, finalmente la que mejor dio resultados fue la función sigmoide o función logística; esta función, incluida la tangente hiperbólica es muy utilizada en múltiples modelos de aprendizaje profundo y de retropropagación.

En la Figura 1 a continuación, se puede observar una red neuronal cuya arquitectura es de tres capas con varias neuronas, una capa de entrada (dendritas) cuyos vectores se conectan mediante pesos aleatorios a las neuronas de la capa oculta que también se conectan a la ó a las neuronas de la capa de salida mediante pesos aleatorios. Entre cada capa hay una matriz de peso W_i , un vector Bías (b) con su respectivo peso y una salida que puede estar representada por una

Manuel F. Brito Quijada // Técnica doble aleatoria para evaluar la incertidumbre de factor de seguridad... 206-226
 o más vectores de salidas. Cada neurona en la (s) capa (s) oculta (s) y la capa de salida recibe la entrada de los nodos de las capas previas y calculan un valor de salida para la siguiente capa con una función de transferencia no lineal siendo seleccionada la función sigmoide.

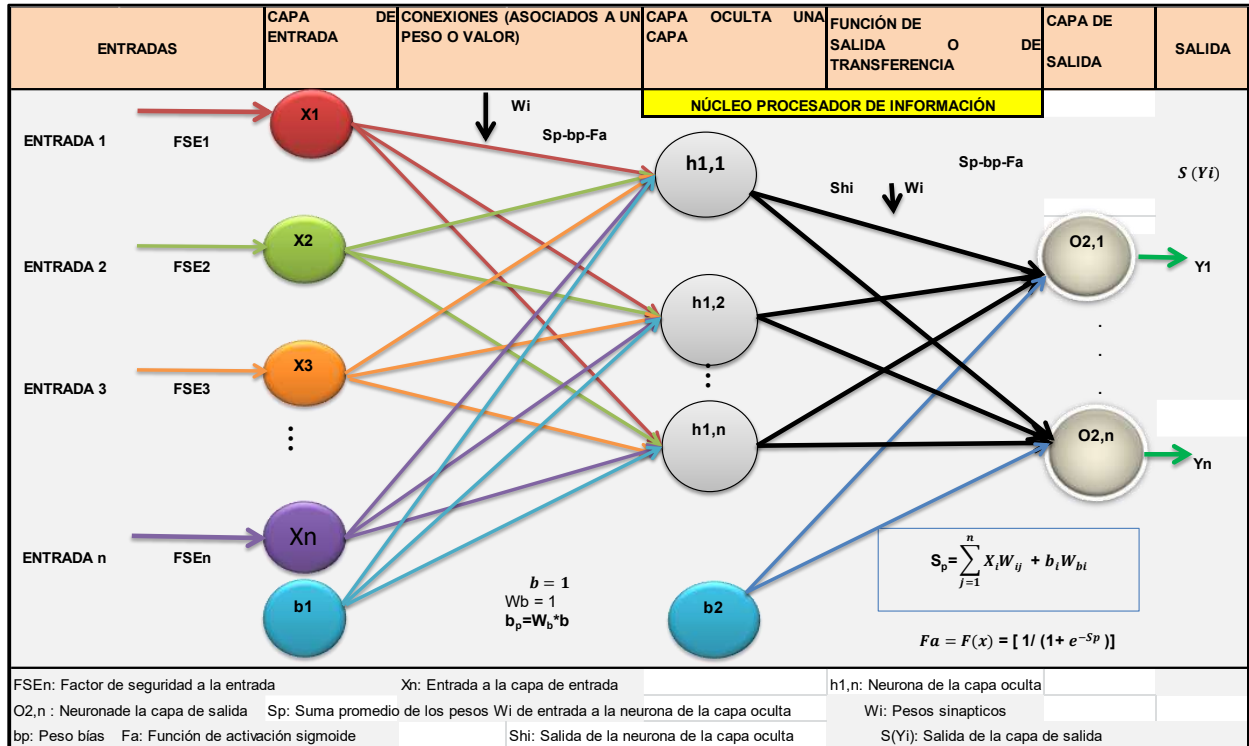


Figura I: Red Neuronal Artificial-Perceptrón Multicapa

1. Antecedentes

Dentro del campo de las RNAs existen varios modelos de redes neuronales y diferentes arquitecturas, entre ellas: el modelo neuronal de McCulloch y Pitts (1943). Frank Rosenblatt (1958) desarrolló el perceptron con tres capas, capa de entrada, capa de salida y la capa intermedia denominada capa de asociación. Los modelos ADALINE y MADALINE, que son un tipo de red neuronal artificial desarrollada por Bernie Widrow y Marcian Hoff en la Universidad de Standford en 1959. Igualmente, se tiene el Perceptron Multicapa (MLP) que es una red neuronal formada por múltiples capas que incorpora una nueva capa llamada capa oculta: La topología de esta red permite que se puedan tener dos o más capas ocultas. Después de varios años de falta de interés científico por las RNAs, a partir de los años 80 surgen avances

Manuel F. Brito Quijada // Técnica doble aleatoria para evaluar la incertidumbre de factor de seguridad... 206-226

importantes que motivan el interés científico en el campo de las RNAs. Kohonen (1982) estableció según la topología, las redes **Feedforward**, **Backforward** que son dos tipos de redes de propagación hacia adelante o acíclicas en las que las señales o procesamiento de datos van desde la capa de entrada hacia la de salida en una sola dirección sin existir ciclos ni conexiones entre neuronas de la misma capa y, su estructura puede ser monocapa (Perceptron o Adeline) o multicapa (MLP). Con el desarrollo del perceptrón, surgen las RNAs. Actualmente los progresos de la investigación en este campo han sido tan extensos que han surgido modelos neuronales muy avanzados para la resolución de problemas complejos.

2. Procedimiento Metodológico

En el análisis de estabilidad de taludes como técnica de la inteligencia artificial es muy común el uso de la red neuronal multicapa backpropagation o retropropagación de errores; en esta técnica, en primer término, se propagan los datos de entrada hacia adelante hasta obtener una salida. El valor o valores de salida se comparan con el valor prefijado o deseado y la diferencia entre ellos que representa el error, se distribuye hacia atrás para el ajuste de las sinapsis o pesos y umbrales que conectan las neuronas de cada capa del modelo. La actualización de los pesos se hace mediante el método del gradiente descendente que permite minimizar el error total hasta el final del aprendizaje. Existen dos métodos de aprendizaje principales: aprendizaje supervisado y aprendizaje no supervisado.

El uso de factor de seguridad en condiciones aleatorias para evaluar la incertidumbre generado por los MEL se enmarca dentro de un análisis probabilístico-estadístico que permite una estimación más precisa de factor de seguridad en comparación con el factor de seguridad determinístico obtenido por los MEL. El muestreo aleatorio reduce el riesgo de sesgo aumentado así la validez y fiabilidad de los resultados del estudio y se garantiza la representatividad de la muestra, inferir y generalizar conclusiones con mayor grado de precisión.

La técnica propuesta para determinar el FSM de taludes en suelos mediante una hoja electrónica de cálculo está basada en criterios que se aplican en las redes neuronales artificiales. Se plantea una red de tres capas con igual número de neuronas en la capa de entrada, en la capa oculta y en la capa de salida; es un perceptrón multicapa totalmente conectado. La técnica se

Manuel F. Brito Quijada // Técnica doble aleatoria para evaluar la incertidumbre de factor de seguridad... 206-226

aplica en el presente estudio con fines comparativos a taludes analizados y publicados según las referencias indicadas; esta técnica tiene como datos de entradas los factores de seguridad aleatorizados (FS_{input}) obtenidos con la aplicación de métodos de equilibrio límite; en el presente caso, se utilizó el método de Fellenius y el método simplificado de Bishop en correspondencia con lo publicado según referencias. De los factores de seguridad aleatorizados de la capa de entrada (FS_{input}) y con el valor mínimo y el máximo se obtienen números aleatorios que representan a los pesos (W_i) o sinapsis entre la capa de entrada y la capa oculta y, entre la capa oculta y la capa de salida. *En esta técnica doble aleatoria se propagan los datos de entrada (FS_{input}) hacia adelante (feedforward) hasta obtener una salida.* Para las salidas de las neuronas de la capa oculta y las salidas de las neuronas de la capa de salida se aplican una función sigmoide. Las salidas de las neuronas de la capa oculta se suman (S_{chj}) a la que se le aplica una función sigmoide para obtener la salida única de la capa oculta (S_{uch}). En la Fig. 2, se presenta la arquitectura de la red neuronal en donde se resalta la salida única de la capa oculta (S_{uch}). Definida la matriz de pesos entre la capa oculta y la capa de salida, se multiplica S_{uch} por el peso promedio de la sinapsis entre neuronas de la capa oculta y neuronas de la capa de salida obteniéndose cada una de las entradas a la capa de salida y, con la aplicación de una función sigmoide se determinan los factores de seguridad en la capa de salida (FS_{O_i}). Finalmente, se procede a determinar el factor de seguridad promedio (FSP) y el factor de seguridad mínimo (FSM) de acuerdo al procedimiento indicado en la Tabla 1. En la Tabla 2, se incluyen los Parámetros Geotécnicos y Características Generales de los taludes, publicadas según referencias, utilizados en la aplicación de la técnica propuesta.

3. Resultados y Discusiones

La técnica doble aleatoria propuesta para calcular el factor de seguridad mínimo (FSM) en suelos basado en criterios de las redes neuronales artificiales (paso hacia adelante) con la aplicación de una función sigmoide es validada por comparación de los resultados obtenidos con los valores de factor de seguridad publicados (ver referencias) por otros profesionales.

Los resultados de FSM97% obtenidos con la técnica propuesta son muy similares a los valores obtenidos por el método Bishop reportados según las referencias, 2, 4, 6, 9,11,12; así

Manuel F. Brito Quijada // Técnica doble aleatoria para evaluar la incertidumbre de factor de seguridad... 206-226
 mismo, los valores obtenidos con la técnica propuesta son muy similares a los valores obtenidos por el Método de Spencer según referencias, 6, 7, 8, 9; igualmente, se obtiene poca diferencia entre los valores de FSM97% y los valores obtenidos por el Método de Fellenius según referencias: 1, 5, 10, 11 y 12.

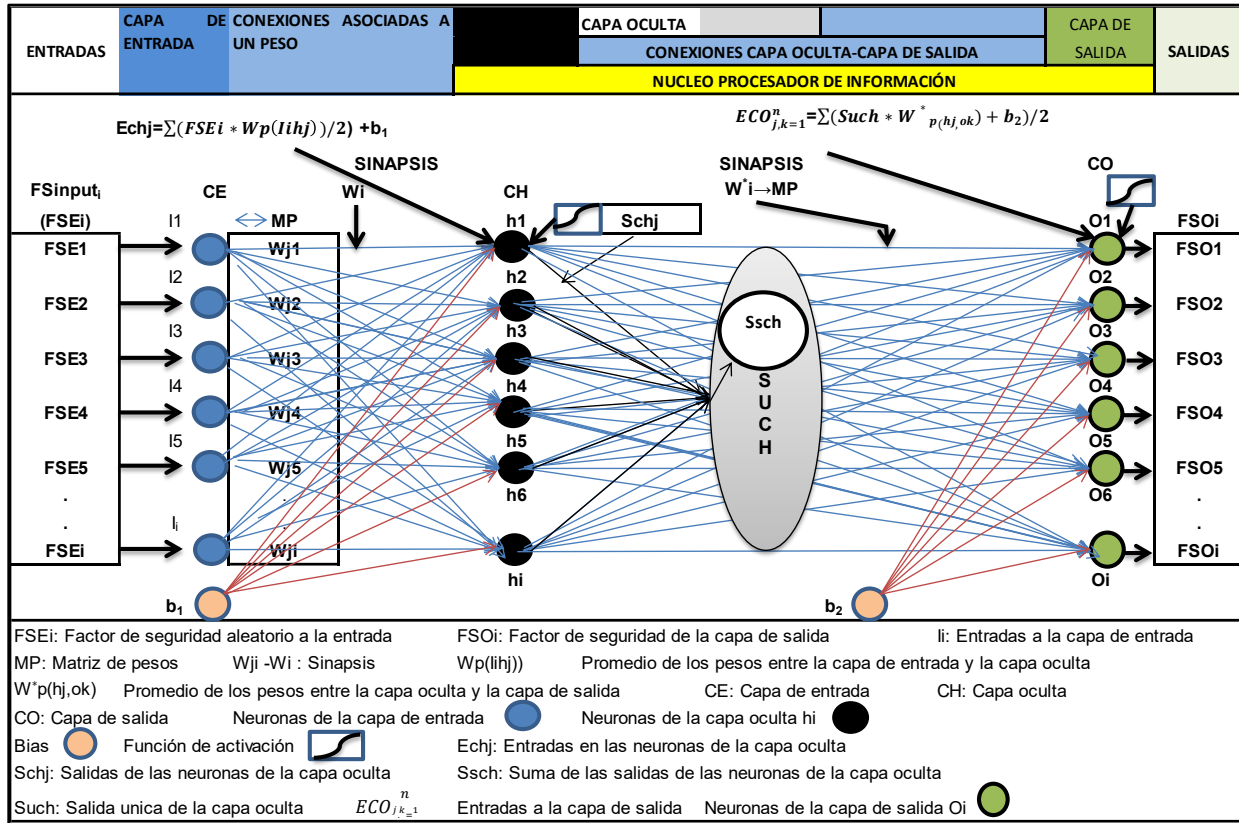


Figura 2: Red Neuronal Artificial-Perceptrón Multicapa

Los valores de FSM_{97%} en comparación con los valores obtenidos por los métodos FOSM y MCS son iguales, existiendo una diferencia de una centésima con el valor obtenido por el método PEM según referencia trece (13).

En la tabla 3 se resumen los resultados-comparación de los trece (13) casos de taludes tal como han sido publicados según las referencias y los resultados de los valores de factor de seguridad mínimo (FSM_{97%}) obtenidos al aplicar la técnica doble aleatoria propuesta.

Las Figuras (3-4-5) son tres de los trece casos de talud analizados; se tiene la comparación gráfica entre los resultados de factores de seguridad publicados según referencias citadas y los valores del factor de seguridad calculados con la técnica propuesta.

Las tablas 4, 5 y 6 son tres de las trece (13) hojas electrónicas de cálculo resultante del procedimiento de la aplicación de la técnica propuesta; se puede observar las variables involucradas en el proceso o procedimiento para determinar el $FSM_{97\%}$.

Tabla I: Procedimiento Metodológico para determinar el Factor de Seguridad Mínimo.

Datos de entrada (FSinput)	Son los valores aleatorizados del FS
Matriz de pesos	Se obtienen de los valores aleatorios del valor máximo y mínimo de los FSinput
Promedio de los pesos entre la capa de entrada y la capa oculta	$Wp(i, h_j)$
Promedio de los pesos entre la capa oculta y la capa de salida	$Wp(h_j, k_i)$
Entradas en las neuronas de la capa oculta	$Ech_j = Input_i * (Wp(i, h_j))$
Salidas de las neuronas de la capa oculta	$Sch_j = \frac{1}{1 + e^{-Ech_j}}$
Suma de las salidas de las neuronas de la capa oculta	$Ssch = \sum_{i=1}^n Sschi$
Salida Única de la capa oculta	$SUch = \frac{1}{1 + e^{-Ssch}}$
Entradas a la capa de salida	$ECO_{j,k=1}^n = SUch \times Wp(h_j, k)$
Factores de seguridad de la capa de salida	$FSO_i = \frac{1}{1 + e^{-ECO_{j,k=1}^n}}$
Suma de los factores de seguridad de la capa de salida	$SFSCO = \sum_{i=1}^n FSO_i$
Factores de seguridad diferencial	$FSD_i = (I_i - FSO_i)$
Suma de los factores de seguridad diferencial	$SFSD = \sum_{i=1}^n FSD_i$
Suma de los factores de seguridad diferencial cuadrático medio	$SFSDcm = \sum_{i=1}^n FSDcm_i / 2$
Coefficiente de Variación del factor de seguridad a la salida	$CV_{FSO} = \frac{\sigma_{FSO}}{PROM_{FSO}}$
FACTOR DE SEGURIDAD PROMEDIO	
$FSP = \frac{n * [\sum_{i=1}^n FSO_i + \sum_{i=1}^n FSD] + \sum_{i=1}^n FSDc}{n^2}$	
FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO	
$FSM = FSP \times (1 - \alpha) = FSP \times NC$	
$\alpha : Ej: 0, 1. 0, 05. 0, 03. \quad NC: Ej: 90 \%. 95 \%. 97 \%$	

Tabla 2. Parámetros Geotécnicos y Características Generales publicadas según Referencias

R1	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
				30	20	18	0	1
R2	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	
				17,17	20	17,95	3,846	1
				17,17	20	17,95	13,047	1
				17,17	20	17,95	21,621	1
				17,17	20	17,95	25,898	1
	Ladera			17,17	20	17,95	30,872	1
				17,17	20	17,95	34,100	1
				17,17	20	17,95	33,580	1
				17,17	20	17,95	25,398	1
				17,17	20	17,95	5,248	1
R3	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	
	Terrap. (SC)	10	1,75:1 (H:V)	28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
				28	18	19,61	0	1
R4	Suelo	Altura	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	
	SM			4,8	35	17,3	0	2
	CL			35,9	0	17,3	0	8
R5	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Wtajada (kN)	U (kN/m ²)	
				0,036	5	0,04	0	1
				0,036	5	0,10	0	1
				0,036	5	0,16	0	1
	suelo 1			0,036	5	0,22	0	1
				0,036	5	0,28	0	1
				0,036	5	0,32	0	1
				0,036	5	0,31	0	1
				0,036	5	0,25	0	1
	suelo 2			0,005	30	0,17	0	1
	suelo 3			0,003	35	0,04	0	1
R6	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	
	Terrap. (S)	30,48	2:1 (H:V)	0	40	6,28	0	3
	Arcilla Sat.	15,24	Subsuelo	119,70	0	21,99	0	8
R7	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	
	Dique (S)	12	3:1 (H:V)	0	30	20	0	1
	Arcilla	4	Subsuelo	41	0	20	0	1
	Arc. Marina	8	Subsuelo	34,5	0	18,8	0	1
	Arc. Lacust.	6,5	Subsuelo	31,5	0	20,3	0	6
	Arc.		Subsuelo	34,5	0	20,3	0	1
	Lacust.		Subsuelo	41	0	20,3	0	1

Tabla 2-continuación. Parámetros Geotécnicos y Características Generales publicadas según Referencias

R8	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	
	Terraplen	14,63	2,5:1 (H:V)	4,79	30	15,71	0	1
	Homogeneo			4,79	30	15,71	33,46	1
	(SC)			4,79	30	15,71	80,90	1
				4,79	30	15,71	104,15	1
				4,79	30	15,71	117,03	1
				4,79	30	15,71	118,76	1
				4,79	30	15,71	105,72	1
				4,79	30	15,71	75,71	1
			4,79	30	15,71	28,43	1	
R9	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Wtajada (kN)	U (kN/m ²)	
	PT-Terraplen	60,96	2,75:1 (H:V)	0	38	163,06	0	1
	shell			0	20	957,09	69,43	1
				0	20	3040,33	114,62	1
	core		1,5:1 (H:V)	0	20	3977,36	165,47	1
				0	20	6256,49	179,26	1
				0	20	7331,55	102,37	1
				0	20	1402,84	34,43	1
	shell		2,75:1 (H:V)	0	38	4695,82	38,59	1
				0	38	3860,45	21,55	1
					440,32	0	1	
R10	Suelo	Altura	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	14
	SC		2:1 (H:V)	5	20		0	
R11	Suelo	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	U (kN/m ²)	Dovelas
	OH	11		58,86	6	10	0	14
	SC-SM			34,34	10		0	
	OH	Densidad:	12,16 (kN/m ³)	Densid. Saturada:	16,48 ((kN/m ³)			
	SC-SM	Densidad:	18,44 (kN/m ³)	Densid. Saturada:	20,07 ((kN/m ³)			
R12	Suelo-T	Altura (m)	Talud	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Wtajada (kN)	U (kN/m ²)	
	S			0	40	0,63571	0	1
	S	10,06	2:1 (H:V)	0	36	0,17387	0	1
	S			0	36	0,37817	7,182	1
	C			52,668	0	1,23922	-	1
	C			52,668	0	1,65552	-	1
	C			52,668	0	1,85172	-	1
	C			52,668	0	1,89262	-	1
	C			52,668	0	1,76637	-	1
	C	10,67		52,668	0	1,59566	-	1
	C			52,668	0	1,39650	-	1
	C			52,668	0	1,17264	-	1
	C			52,668	0	0,98889	-	1
	C			52,668	0	0,72018	-	1
	C			52,668	0	0,43863	-	1
G			0	36	14,66850	7,182	1	
G			0	36	4,88950	0	1	
R13	Suelo	Altura	Talud (°)	Coh. (kN/m ²)	Ang. Fricc.	Ym (kN/m ³)	Coh. (kN/m ²)	1 a 16
	SC		20	10	28	20	18,99	
La determinación del FS calculado con la Red Conexionista propuesta, se realizó tomando los datos de los factores de seguridad en condiciones aleatorias reportados en el artículo, según la Referencia R13.								

Tabla 3: Factor de Seguridad Publicados según referencias versus Factor de Seguridad Calculados.

Ref.	Bishop	Fellenius	Janbu	Morgensterns-Price	Spencer	Stb-2001	FS (*Ref.: 7 y 10)	FSM _{97%}	Nº Datos
1		2,060						2,19	9
2	1,35	1,21	0,95					1,22	9
3	Aproximación Semigráfica						2,00	2,09	11
4	1,52	1,43						1,54	
5		1,74						1,91	10
6	PROCEDIMIENTO		UTEXAS4	SLOPE/W	SLIDE	PHASE²		1,32	11
	Spencer		1,19	1,20	1,20				
	Bishop Simplificado		1,22	1,22	1,23				
	Janbu Simplificado (no corrección)		1,16	1,16	1,17				
	Janbu Simplificado con corrección								
	7	PROCEDIMIENTO		UTEXAS4	SLOPE/W	SLIDE			
SUPERFICIE DE FALLA CIRCULAR									
Spencer		1,45	1,45	1,45					
SUPERFICIE DE FALLA NO CIRCULAR									
Spencer				1,16					
SUPERFICIE DE FALLA COMPUESTA									
Spencer			1,17	1,17					
Elemento Finito (SRF)					1,26				
Equilibrio de Fuerza					1,17				
8	PROCEDIMIENTO-SPENCER (PRESIÓN DE PORO)		UTEXAS4	SLIDE	SLOPE/W	PHASE²	MFBQ: Método de Fellenius: FS=1,19	1,22	9
	SUPERFICIE DE FALLA CIRCULAR								
	Elemento Finito		1,19	1,19	1,19	1,11			
	Linea Piezometrica		1,16	1,16	1,16	1,07			
	Linea Piezometrica con S.F.		1,24	1,22	1,22	N/A			
9	PROCEDIMIENTO-SPENCER (PRESIÓN DE PORO)		UTEXAS4	SLIDE	SLOPE/W	PHASE²	MFBQ: Método de Bishop: FS=1,61	1,69	10
	SUPERFICIE DE FALLA CIRCULAR								
	Elemento Finito		1,69	1,70	1,67	1,57			
	Linea Piezometrica		1,67	1,69	1,67	1,56			
Linea Piezometrica Ajustada		1,70	1,70	1,62	N/A				
10	1,36	1,18	1,16	1,112	1,14			1,18	14
11	0,70	0,65	0,67					0,67	14
12	1,63	1,36						1,60	16
13	Point Estimate Method						1,47	1,47	16
	First Order Second Moment						1,46		
	Monte Carlo Simulation						1,46		

Figuras (3- 4- 5) -.Contraste de Factor de Seguridad (FS) de Métodos

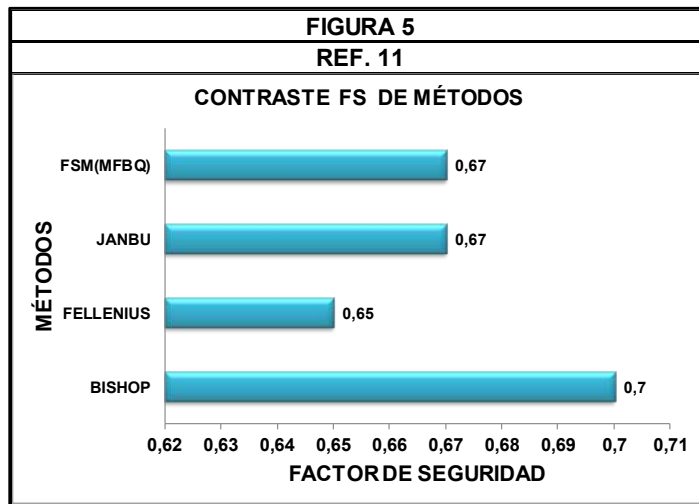
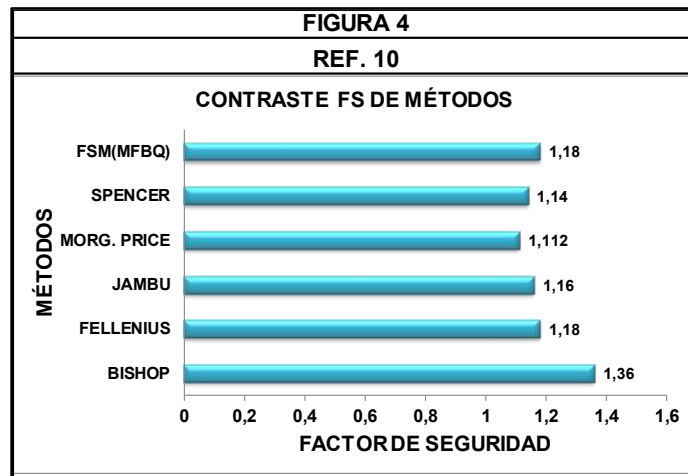
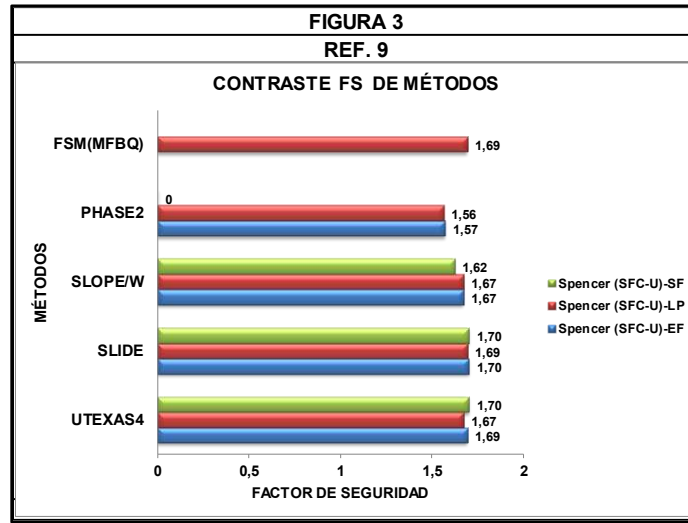


Tabla 4: Técnica Doble Aleatoria de Análisis de Estabilidad de Taludes en Suelos, basada en Criterios de las Redes Neuronales Artificiales (Paso hacia Adelante). Talud de Terraplén con Fricción y Filtración. Los FSinput se calcularon con el Método de Bishop.

REF.									9
DATOS DE ENTRADA (INPUT)									
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X8	X10
2,39	1,61	2,57	0,97	1,36	0,94	2,15	1,12	1,81	1,42
PESOS: CAPA DE ENTRADA - CAPA OCULTA									
W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10
1,77417	1,39404	2,16997	2,30311	1,72701	1,95328	1,47123	1,94961	2,16870	1,95044
W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20
1,46784	2,04102	1,58310	1,61741	1,41373	2,35115	2,05378	1,34628	1,90073	1,64315
W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28	W29	W30
1,27465	2,15512	2,33266	2,18556	1,61607	1,57939	1,25860	2,20571	2,23809	1,28070
W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37	W38	W39	W40
1,35246	1,23338	2,13473	1,34907	1,38169	1,65732	1,51589	1,30033	1,64377	2,19591
W41	W42	W43	W44	W45	W46	W47	W48	W49	W50
1,21357	1,56335	1,27865	1,79231	1,83239	1,99116	1,38642	1,65919	2,19437	1,55592
W51	W52	W53	W54	W55	W56	W57	W58	W59	W60
1,93071	1,65552	1,54024	1,87547	1,35072	2,10592	1,95540	2,22681	1,60565	1,38738
W61	W62	W63	W64	W65	W66	W67	W68	W69	W70
2,28964	1,18403	1,80270	2,13731	1,37138	1,83129	1,55298	1,26319	2,02011	1,62670
W71	W72	W73	W74	W75	W76	W77	W78	W79	W80
1,77141	2,33991	2,33778	1,53628	1,98796	1,72638	1,96717	2,38350	1,72034	1,59324
W81	W82	W83	W84	W85	W86	W87	W87	W89	W90
1,65572	1,93878	1,79921	1,72530	1,85627	1,63753	1,70687	1,55887	1,96639	2,24353
W91	W92	W93	W94	W95	W96	W97	W98	W99	W100
1,83118	2,13777	1,58872	1,39026	1,87194	2,17186	2,22772	1,74443	1,92808	1,50966
PESO PROMEDIO DE LA CAPA DE ENTRADA-CAPA OCULTA (Wp(Ih))									
Wp1	Wp2	Wp3	Wp4	Wp5	Wh6	Wh7	Wh8	Wh9	Wh10
2,88616	2,74182	2,81266	2,57646	2,64673	2,76338	3,73787	2,93640	2,80885	2,84016
ENTRADA A LA CAPA OCULTA (Ech)									
Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10
6,8979	4,4143	7,2285	2,4992	3,5996	2,5976	8,0364	3,2888	5,0840	4,0330
Bías	1	Wb	1,00					n	10,00
SALIDA DE LA CAPA OCULTA (Sch)									
Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	Sh6	Sh7	Sh8	Sh9	Sh10
0,99899	0,98804	0,99927	0,92408	0,97339	0,93071	0,99968	0,96404	0,99384	0,98259
Ssch	9,75464			Such	0,99994				

CONTINUACIÓN REFERENCIA 9									
PESOS: CAPA OCULTA - CAPA DE SALIDA (Wp (h0))									
W101	W102	W103	W104	W105	W106	W107	W108	W109	W110
1,43091	1,88520	1,26180	1,60864	2,06417	2,04102	2,00406	1,69818	1,46866	1,57630
W111	W112	W113	W114	W115	W116	W117	W118	W119	W120
1,26945	2,14851	2,26176	2,12108	2,27923	2,09209	1,71721	1,69537	2,19064	1,44792
W121	W122	W123	W124	W125	W126	W127	W128	W129	W130
1,62297	1,70177	2,22580	1,65210	1,46877	1,53102	1,49985	1,81538	1,43922	1,23469
W131	W132	W133	W134	W135	W136	W137	W138	W139	W140
1,96654	1,55210	1,50574	2,18996	2,36505	1,49176	1,85915	2,07977	1,97166	2,32441
W141	W142	W143	W144	W145	W146	W147	W148	W149	W150
2,02649	1,22023	1,98894	1,63704	1,92022	2,35587	1,41748	1,57078	1,85823	2,33059
W151	W152	W153	W154	W155	W156	W157	W158	W159	W160
1,43933	2,06086	2,28994	2,02992	1,57709	2,17246	1,65967	2,23051	2,23155	1,26473
W161	W162	W163	W164	W165	W166	W167	W168	W169	W170
1,83300	2,32077	1,45714	1,38919	1,91740	1,91456	1,40860	1,41230	1,23321	1,62137
W171	W172	W173	W174	W175	W176	W177	W178	W179	W180
1,76558	2,09784	1,85123	1,29318	2,00113	1,84732	1,60893	1,82323	1,33612	2,21671
W181	W182	W183	W184	W185	W186	W187	W187	W189	W190
2,21484	1,22217	1,53738	1,70388	2,37685	1,19051	1,22845	1,40326	1,89557	2,12808
W191	W192	W193	W194	W195	W196	W197	W198	W199	W200
1,83138	1,75671	1,32736	1,20603	2,29189	1,58392	1,88496	2,19580	2,37553	1,83588
PESO PROMEDIO DE LA CAPA OCULTA-CAPA DE SALIDA (Wp (ho))									
Wp1*	Wp2*	Wp3*	Wp4*	Wp5*	Wp6*	Wp7*	Wp8*	Wp9*	Wp10*
2,70389	2,92233	2,61916	2,93061	2,83259	2,89561	2,65076	2,78413	2,69010	2,82895
ENTRADA A LA CAPA DE SALIDA (ECO)									
ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ECO7	ECO8	ECO9	ECO10
2,7037	2,9222	2,6190	2,9304	2,8324	2,8954	2,6506	2,7840	2,6899	2,8288
FACTORES DE SEGURIDAD A LA SALIDA (FSO)									
FSO1	FSO2	FSO3	FSO4	FSO5	FSO6	FSO7	FSO8	FSO9	FSO10
0,93725	0,94893	0,93207	0,94933	0,94440	0,94762	0,93405	0,94180	0,93643	0,94421
FACTOR DE SEGURIDAD DIFERENCIAL (FSD)									
FSD1	FSD2	FSD3	FSD4	FSD5	FSD6	FSD7	FSD8	FSD9	FSD10
1,45275	0,66107	1,63793	0,02067	0,41560	-0,00762	1,21595	0,17820	0,87357	0,47579
FACTOR DE SEGURIDAD DIFERENCIAL CUADRÁTICO (FSDc)									
FSDc1	FSDc2	FSDc3	FSDc4	FSDc5	FSDc6	FSDc7	FSDc8	FSDc9	FSDc10
2,11049	0,43701	2,68280	0,00043	0,17272	0,00006	1,47854	0,03175	0,76312	0,22637
ΣFSO	9,41610	ΣFSD	7,86570	ΣFSDcm	8,65970	FSP	1,89343	NC	97%
DESVFSO	0,00631	PROMFSO	0,94161	CVFSO	0,00670	CV<0,1	BAJA DISPERSIÓN		
FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO							FSM97%	1,83663	
RESULTADOS EN LA PUBLICACIÓN: REF. 9								PROPUESTA TÉCNICA	
PROCEDIM.-SPENCER (PRESIÓN DE PORO)	UTEXAS4	SLIDE	SLOPE/W	PHASE ²	M. BISHOP			MFBQ	
SUPERFICIE DE FALLA CIRCULAR					1,61			1,69	
ELEMENTO FINITO	1,69	1,70	1,67	1,57					
LÍNEA PIEZOMÉTRICA	1,67	1,69	1,67	1,56					
LÍNEA PIEZ. CON S.F	1,70	1,70	1,62	N/A					

Tabla 5: Técnica Doble Aleatoria de Análisis de Estabilidad de Taludes en Suelos, basada en Criterios de las Redes Neuronales Artificiales (Paso hacia Adelante). Talud con Cohesión y Fricción. Los FSinput se calcularon con el Método de Fellenius.

DATOS DE ENTRADA (INPUT)													REF.	10
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	
1,86	1,76	1,33	1,11	0,50	0,79	0,63	2,10	0,77	1,63	1,34	1,76	0,48	0,47	
PESOS CAPA DE ENTRADA-CAPA OCULTA (Wp (lh))														
W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	
1,6207	1,78053	1,25136	1,09694	0,93218	1,70499	1,40412	1,82919	0,72387	1,95128	1,76654	0,65793	1,62793	0,88932	
W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28	
1,75634	1,10026	2,03973	0,66492	1,48143	1,42554	0,77558	1,58932	1,60618	1,65997	2,05658	1,76905	1,92306	0,88540	
W29	W30	W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37	W38	W39	W40	W41	W42	
1,21237	1,71989	0,96810	1,13313	1,49460	1,09061	1,66106	2,06783	1,60081	2,01152	0,81768	1,31126	2,08688	1,06940	
W43	W44	W45	W46	W47	W48	W49	W50	W51	W52	W53	W54	W55	W56	
1,81787	1,48440	0,96766	0,89337	1,06822	0,47906	1,03100	0,75785	0,50255	1,73356	1,05879	1,83217	1,97133	1,63192	
W57	W58	W59	W60	W61	W62	W63	W64	W65	W66	W67	W68	W69	W70	
0,94996	1,18722	1,32349	1,58860	1,25500	1,16546	0,52709	1,95359	1,30978	1,87781	1,90805	0,57387	1,49393	0,70224	
W71	W72	W73	W74	W75	W76	W77	W78	W79	W80	W81	W82	W83	W84	
1,22170	1,91288	1,69564	1,71502	0,48912	1,83758	1,56995	1,19052	1,47350	0,67019	2,02196	2,04303	2,03783	1,67472	
W85	W86	W87	W88	W89	W90	W91	W92	W93	W94	W95	W96	W97	W98	
1,15402	2,06273	1,78499	0,71270	1,09465	0,70798	0,98690	1,09118	1,20402	0,63079	2,08512	1,01093	1,55307	1,86516	
W99	W100	W101	W102	W103	W104	W105	W106	W107	W108	W109	W110	W111	W112	
1,09914	1,34631	1,04997	1,71975	0,66009	1,61825	1,69435	0,95519	1,08492	0,74673	1,13241	1,33536	0,71201	1,73733	
W113	W114	W115	W116	W117	W118	W119	W120	W121	W122	W123	W124	W125	W126	
2,09803	1,05113	1,51681	0,96488	1,31231	1,73216	1,77342	1,80292	1,26044	0,83908	2,00100	1,12824	1,11864	1,57432	
W127	W128	W129	W130	W131	W132	W133	W134	W135	W136	W137	W138	W139	W140	
1,61026	2,05870	1,62834	0,55020	1,71957	1,39494	2,02207	1,98150	1,89249	1,61043	0,72303	0,84932	0,97228	1,24942	
W141	W142	W143	W144	W145	W146	W147	W148	W149	W150	W151	W152	W153	W154	
1,73544	1,99495	1,50911	0,74187	0,64160	0,78258	1,09988	1,83726	0,73822	1,70384	0,54428	1,87333	1,53624	0,50106	
W155	W156	W157	W158	W159	W160	W161	W162	W163	W164	W165	W166	W167	W168	
0,88819	1,15611	1,84867	0,88490	1,52352	1,77018	0,78944	0,60526	1,14065	1,67670	1,41872	1,31629	1,48207	1,46536	
W169	W170	W171	W172	W173	W174	W175	W176	W177	W178	W179	W180	W181	W182	
0,70426	1,60976	1,82722	0,59223	0,86893	1,45845	1,33525	1,63834	1,96761	0,59319	1,80471	1,61224	1,02617	1,19801	
W183	W184	W185	W186	W187	W188	W189	W190	W191	W192	W193	W194	W195	W196	
1,53620	1,39806	1,68058	1,34787	1,90151	1,97281	1,19385	1,51590	1,37565	1,67818	1,69453	1,31680	2,02661	1,61291	
PESOS PROMEDIO DE LA CAPA DE ENTRADA - CAPA OCULTA (Wp (lh))														
Wp1	Wp2	Wp3	Wp4	Wp5	Wp6	Wp7	Wp8	Wp9	Wp10	Wp11	Wp12	Wp13	Wp14	
2,37406	2,48095	2,44608	2,23070	2,27258	2,53955	2,28173	2,20656	2,44096	2,44733	2,23140	2,28329	2,30260	2,58939	
ENTRADA A LA CAPA OCULTA (Ech)														
Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11	Ech12	Ech13	Ech14	
4,41576	4,36648	3,25329	2,47607	1,13629	2,00624	1,43749	4,63377	1,87954	3,98914	2,99008	4,01859	1,10525	1,21701	
Bias	1,00	Wb	1,00									n	14,00	
SALIDA DE LA CAPA OCULTA (Sch)														
Sch1	Sch2	Sch3	Sch4	Sch5	Sch6	Sch7	Sch8	Sch9	Sch10	Sch11	Sch12	Sch13	Sch14	
0,98806	0,98746	0,96279	0,92245	0,75700	0,88145	0,80807	0,99038	0,86756	0,98182	0,95212	0,98234	0,75124	0,77154	
Ssch	12,60427			Such	1,0000									

CONTINUACIÓN REFERENCIA 10																
PESOS : CAPA OCULTA - CAPA DE SALIDA (Wp (h0))																
W197	W198	W199	W200	W201	W202	W203	W204	W205	W206	W207	W208	W209	W210			
0,75303	1,84248	0,86111	0,67649	1,05427	0,90975	1,14779	1,25788	0,81746	2,07785	0,73640	1,07503	1,54182	1,48097			
W211	W212	W213	W214	W215	W216	W217	W218	W219	W220	W221	W222	W223	W224			
0,51148	1,05198	1,80847	1,77762	2,09689	1,11655	0,66356	0,75966	0,50109	1,14024	1,61255	0,75805	0,76852	1,46495			
W225	W226	W227	W228	W229	W230	W231	W232	W233	W234	W235	W236	W237	W238			
1,21079	1,70467	0,50041	1,04572	1,97155	1,46839	1,58077	1,13380	1,65675	1,49296	1,19373	1,45497	0,84887	2,06560			
W239	W240	W241	W242	W243	W244	W245	W246	W247	W248	W249	W250	W251	W252			
1,67681	2,05873	1,98568	0,52005	1,22870	1,49000	0,86802	1,79174	1,22756	2,06180	1,60286	1,25363	0,50759	0,58550			
W253	W254	W255	W256	W257	W258	W259	W260	W261	W262	W263	W264	W265	W266			
0,63060	0,95875	1,73790	1,60326	0,99061	2,07669	0,58325	1,84520	0,71719	2,05074	0,80759	1,03928	0,74580	1,49117			
W267	W268	W269	W270	W271	W272	W273	W274	W275	W276	W277	W278	W279	W280			
0,61817	0,71088	1,49218	0,78851	0,70615	1,03846	0,71131	1,60187	1,14174	0,51036	0,51976	0,59177	1,09145	0,69187			
W281	W282	W283	W284	W285	W286	W287	W288	W289	W290	W291	W292	W293	W294			
1,84134	1,61529	0,92501	1,42592	1,92636	1,93093	1,82273	0,50466	0,75744	2,04624	0,56085	1,28090	1,30198	1,43796			
W295	W296	W297	W298	W299	W300	W301	W302	W303	W304	W305	W306	W307	W308			
0,67464	1,19998	0,58836	1,40854	0,91521	1,63672	1,34319	0,73374	0,63089	1,98791	1,45927	0,63485	1,26714	1,94551			
W309	W310	W311	W312	W313	W314	W315	W316	W317	W318	W319	W320	W321	W322			
1,41030	0,68970	1,40618	1,14935	2,01554	1,47440	1,02526	1,49492	0,47522	1,44218	1,50277	1,40221	1,28115	1,74261			
W323	W324	W325	W326	W327	W328	W329	W330	W331	W332	W333	W334	W335	W336			
1,28938	1,34052	1,68607	0,95800	0,91684	1,34591	1,52063	1,24402	1,64019	1,71739	0,66757	1,80969	1,12095	0,89825			
W337	W338	W339	W340	W341	W342	W343	W344	W345	W346	W347	W348	W349	W350			
1,71349	0,62917	1,52094	0,64394	1,32465	1,44563	1,71726	1,58522	1,26221	1,32508	2,05945	0,93072	1,48717	1,05889			
W351	W352	W353	W354	W355	W356	W357	W358	W359	W360	W361	W362	W363	W364			
1,71349	0,62917	1,52094	0,64394	1,32465	1,44563	1,71726	1,58522	1,26221	1,32508	2,05945	0,93072	1,48717	1,05889			
W365	W366	W367	W368	W369	W370	W371	W372	W373	W374	W375	W376	W377	W378			
1,66623	2,00014	1,41024	0,63794	1,04626	1,89361	0,60250	0,81575	0,94543	1,70747	1,43025	0,96839	0,62777	1,08250			
W379	W380	W381	W382	W383	W384	W385	W386	W387	W388	W389	W390	W391	W392			
1,65220	0,67852	1,89185	2,04495	0,83331	0,53575	0,73090	1,97340	1,69998	1,80172	1,99194	1,20126	1,16266	0,71505			
PESOS PROMEDIO DE LA CAPA OCULTA-CAPA DE SALIDA (Wp (ho))																
Wp1*	Wp2*	Wp3*	Wp4*	Wp5*	Wp6*	Wp7*	Wp8*	Wp9*	Wp10*	Wp11*	Wp12*	Wp13*	Wp14*			
2,15945	2,14512	2,38064	2,34705	2,23414	1,87246	2,38411	2,17328	2,32227	2,29682	2,33599	2,33599	2,20246	2,35096			
ENTRADA A LA CAPA DE SALIDA (ECO)																
ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ECO7	ECO8	ECO9	ECO10	ECO11	ECO12	ECO13	ECO14			
2,15945	2,14511	2,38063	2,34704	2,23414	1,87246	2,38411	2,17327	2,32226	2,29681	2,33598	2,33598	2,20245	2,35096			
FACTORES DE SEGURIDAD A LA SALIDA (FSO)																
FSO1	FSO2	FSO3	FSO4	FSO5	FSO6	FSO7	FSO8	FSO9	FSO10	FSO11	FSO12	FSO13	FSO14			
0,89655	0,89521	0,91534	0,91270	0,90327	0,86674	0,91561	0,89782	0,91070	0,9086	0,91181	0,91181	0,90047	0,91301			
FACTOR DE SEGURIDAD DIFERENCIAL (FSD)																
FSD1	FSD2	FSD3	FSD4	FSD5	FSD6	FSD7	FSD8	FSD9	FSD10	FSD11	FSD12	FSD13	FSD14			
0,96345	0,86479	0,41466	0,19730	-0,40327	-0,07674	-0,28561	1,20218	-0,14070	0,72139	0,42819	0,84819	-0,42047	-0,44301			
FACTOR DE SEGURIDAD DIFERENCIAL CUADRÁTICO																
FSDc1	FSDc2	FSDc3	FSDc4	FSDc5	FSDc6	FSDc7	FSDc8	FSDc9	FSDc10	FSDc11	FSDc12	FSDc13	FSDc14			
0,92824	0,74786	0,17194	0,03893	0,16263	0,00589	0,08157	1,44523	0,01980	0,52040	0,18334	0,71942	0,17679	0,19626			
ΣFSO	12,65967		ΣFSD	3,87033	ΣFSDcm	2,69915	FSP	1,21423		NC		97%				
DESVFSC	0,01295	PROMFSO	0,90426	CVFSO	0,01432	CV<0,1	BAJA DISPERSIÓN									
FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO										FSM97%						
RESULTADOS DE LA PUBLICACIÓN: REF. 10										PROPUESTA TÉCNICA						
MÉTODOS	FELLENIOUS			BISHOP			JAMBU			SPENCER			MORGEN-PRICE		MFBO	
	1,18			1,36			1,16			1,14			1,112		1,18	

Tabla 6: Técnica Doble Aleatoria de Análisis de Estabilidad de Taludes en Suelos, basada en Criterios de las Redes Neuronales Artificiales (Paso hacia Adelante). Talud con Cohesión y Fricción. Los FSinput se calcularon con el Método de Fellenius.

													REF:	11
DATOS DE ENTRADA (INPUT)														
X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	
0,72	0,61	0,89	0,52	0,72	0,65	0,67	0,43	0,49	1,09	0,93	0,82	0,81	0,43	
PESOS CAPA DE ENTRADA-CAPA OCULTA (Wp (Ih))														
W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	
0,90942	0,56616	0,94338	0,78571	0,96109	0,78617	0,52323	0,60064	0,76785	0,60739	0,77948	0,60841	0,83717	0,47501	
W15	W16	W17	W18	W19	W20	W21	W22	W23	W24	W25	W26	W27	W28	
0,81544	0,97818	0,96594	0,58697	0,99028	0,61088	0,91004	0,72152	0,89979	0,60488	0,99793	0,52371	0,84146	0,98648	
W29	W30	W31	W32	W33	W34	W35	W36	W37	W38	W39	W40	W41	W42	
0,71529	0,69159	0,48511	0,47837	0,79571	0,76925	0,98772	0,54135	0,53761	0,72521	0,83761	0,61763	0,58539	0,48710	
W43	W44	W45	W46	W47	W48	W49	W50	W51	W52	W53	W54	W55	W56	
0,87376	0,99518	0,88531	0,73936	0,72966	0,77841	0,62345	0,67794	0,54515	0,86003	0,65462	0,68577	0,56843	0,74531	
W57	W58	W59	W60	W61	W62	W63	W64	W65	W66	W67	W68	W69	W70	
0,53428	0,80789	0,81259	0,74832	0,65870	0,49293	0,66577	0,96067	0,55805	0,58405	0,62900	0,70784	0,49641	0,52172	
W71	W72	W73	W74	W75	W76	W77	W78	W79	W80	W81	W82	W83	W84	
0,86203	0,79970	0,48976	0,60923	0,77279	0,70721	0,95631	0,75307	0,89803	0,69274	0,70459	0,71495	0,47799	0,97466	
W85	W86	W87	W88	W89	W90	W91	W92	W93	W94	W95	W96	W97	W98	
0,54940	0,79965	0,73529	0,45496	0,93053	0,52486	0,52402	0,90645	0,82690	0,88306	0,95574	0,76664	0,96354	0,68895	
W99	W100	W101	W102	W103	W104	W105	W106	W107	W108	W109	W110	W111	W112	
0,86018	0,72454	0,66831	0,51622	0,87800	0,63216	0,74453	0,72857	0,78397	0,57693	0,74029	0,90975	0,76040	0,43619	
W113	W114	W115	W116	W117	W118	W119	W120	W121	W122	W123	W124	W125	W126	
0,79360	0,71593	0,60724	0,97551	0,52584	0,50653	0,55598	0,70277	0,56487	0,47660	0,97612	0,73314	0,93082	0,99791	
W127	W128	W129	W130	W131	W132	W133	W134	W135	W136	W137	W138	W139	W140	
0,88807	0,96089	0,92270	0,96391	0,63557	0,94308	0,62898	0,99859	0,97998	0,47661	0,47908	0,75784	0,48205	0,98562	
W141	W142	W143	W144	W145	W146	W147	W148	W149	W150	W151	W152	W153	W154	
0,84653	0,75649	0,49716	0,66986	0,73073	0,71434	0,78777	0,73409	0,91440	0,57085	0,58255	0,46301	0,43686	0,71910	
W155	W156	W157	W158	W159	W160	W161	W162	W163	W164	W165	W166	W167	W168	
0,62006	0,71426	0,97657	0,99879	0,65433	0,59294	0,72253	0,98112	0,75316	0,66635	0,65172	0,54515	0,66875	0,79626	
W169	W170	W171	W172	W173	W174	W175	W176	W177	W178	W179	W180	W181	W182	
0,80280	0,55856	0,74609	0,51838	0,86243	0,78734	0,59973	0,79043	0,75545	0,56842	0,51322	0,72308	0,72250	0,84390	
W183	W184	W185	W186	W187	W188	W189	W190	W191	W192	W193	W194	W195	W196	
0,55759	0,92946	0,56970	0,81298	0,73781	0,86625	0,57108	0,47409	0,48301	0,48977	0,54551	0,59633	0,85239	0,69064	
PESOS PROMEDIO DE LA CAPA DE ENTRADA - CAPA OCULTA (Wp (Ih))														
Wp1	Wp2	Wp3	Wp4	Wp5	Wp6	Wp7	Wp8	Wp9	Wp10	Wp11	Wp12	Wp13	Wp14	
1,72508	1,97818	1,48511	1,73936	1,65870	1,70721	1,52402	1,72857	1,56487	1,47661	1,58255	1,54515	1,72250	1,69064	
ENTRADA A LA CAPA OCULTA (Ech)														
Ech1	Ech2	Ech3	Ech4	Ech5	Ech6	Ech7	Ech8	Ech9	Ech10	Ech11	Ech12	Ech13	Ech14	
1,24206	1,20669	1,32175	0,90447	1,19426	1,10969	1,02109	0,74328	0,76679	1,60951	1,47177	1,26702	1,39523	0,72697	
Bías	1	Wb	1,00									n	14,00	
SALIDA DE LA CAPA OCULTA (Sch)														
Sh1	Sh2	Sh3	Sh4	Sh5	Sh6	Sh7	Sh8	Sh9	Sh10	Sh11	Sh12	Sh13	Sh14	
0,77592	0,76971	0,78947	0,71187	0,76750	0,75207	0,73519	0,67771	0,68283	0,83334	0,81333	0,78023	0,80143	0,67414	
Ssch	10,56474			Such	0,99997									

CONTINUACIÓN REFERENCIA 11													
PESOS : CAPA OCULTA - CAPA DE SALIDA (Wp (h0))													
W197	W198	W199	W200	W201	W202	W203	W204	W205	W206	W207	W208	W209	W210
0,95506	0,82826	0,59156	0,78534	0,51141	0,93237	0,79607	0,80644	0,73190	0,89369	0,69025	0,81119	0,71853	0,76684
W211	W212	W213	W214	W215	W216	W217	W218	W219	W220	W221	W222	W223	W224
0,73288	0,43388	0,81909	0,67170	0,60019	0,63100	0,77048	0,50481	0,46293	0,51326	0,84748	0,87362	0,77196	0,61532
W225	W226	W227	W228	W229	W230	W231	W232	W233	W234	W235	W236	W237	W238
0,56889	0,80785	0,68955	0,76761	0,83309	0,98099	0,87215	0,66630	0,77017	0,80988	0,72462	0,95188	0,63900	0,99368
W239	W240	W241	W242	W243	W244	W245	W246	W247	W248	W249	W250	W251	W252
0,45236	0,89795	0,48512	0,77062	0,45290	0,99118	0,99805	0,54148	0,46284	0,94948	0,52309	0,80456	0,71793	0,72772
W253	W254	W255	W256	W257	W258	W259	W260	W261	W262	W263	W264	W265	W266
0,61961	0,72668	0,58544	0,48935	0,75240	0,86581	0,49222	0,88284	0,81696	0,71002	0,89784	0,93093	0,98655	0,63864
W267	W268	W269	W270	W271	W272	W273	W274	W275	W276	W277	W278	W279	W280
0,94208	0,86228	0,86872	0,97874	0,91309	0,99506	0,61918	0,82384	0,48830	0,73278	0,75944	0,96550	0,88075	0,70383
W281	W282	W283	W284	W285	W286	W287	W288	W289	W290	W291	W292	W293	W294
0,79346	0,59737	0,83741	0,54719	0,99482	0,48638	0,52622	0,50792	0,62175	0,63518	0,89010	0,79367	0,84535	0,95558
W295	W296	W297	W298	W299	W300	W301	W302	W303	W304	W305	W306	W307	W308
0,51474	0,60920	0,59367	0,48514	0,67501	0,74459	0,63827	0,64640	0,55064	0,89693	0,67807	0,53577	0,55019	0,86456
W309	W310	W311	W312	W313	W314	W315	W316	W317	W318	W319	W320	W321	W322
0,66549	0,93755	0,48981	0,98404	0,95316	0,81440	0,77569	0,89707	0,82593	0,56257	0,81050	0,60701	0,62780	0,98906
W323	W324	W325	W326	W327	W328	W329	W330	W331	W332	W333	W334	W335	W336
0,87096	0,63460	0,79337	0,83315	0,80897	0,68756	0,51151	0,85202	0,74956	0,75961	0,95583	0,82780	0,50145	0,85628
W337	W338	W339	W340	W341	W342	W343	W344	W345	W346	W347	W348	W349	W350
0,91516	0,54863	0,47867	0,48529	0,55806	0,69249	0,82646	0,69201	0,96637	0,80823	0,60591	0,70956	0,88167	0,69299
W351	W352	W353	W354	W355	W356	W357	W358	W359	W360	W361	W362	W363	W364
0,50218	0,68125	0,69602	0,60925	0,71708	0,55908	0,71910	0,87266	0,61472	0,96550	0,73813	0,91418	0,43177	0,96396
W365	W366	W367	W368	W369	W370	W371	W372	W373	W374	W375	W376	W377	W378
0,47653	0,47955	0,95462	0,63804	0,64602	0,64819	0,79258	0,96053	0,75297	0,76547	0,49120	0,66647	0,87889	0,56182
W379	W380	W381	W382	W383	W384	W385	W386	W387	W388	W389	W390	W391	W392
0,47217	0,74778	0,65992	0,49650	0,91870	0,88210	0,56673	0,99130	0,53217	0,60922	0,93146	0,74576	0,82915	0,47069
PESOS PROMEDIO DE LA CAPA OCULTA-CAPA DE SALIDA (Wp (ho))													
Wp1*	Wp2*	Wp3*	Wp4*	Wp5*	Wp6*	Wp7*	Wp8*	Wp9*	Wp10*	Wp11*	Wp12*	Wp13*	Wp14*
1,77278	1,66061	1,79112	1,69824	1,74252	1,82383	1,71660	1,64165	1,78144	1,76019	1,70439	1,71321	1,69378	1,70383
ENTRADA A LA CAPA DE SALIDA (ECO)													
ECO1	ECO2	ECO3	ECO4	ECO5	ECO6	ECO7	ECO8	ECO9	ECO10	ECO11	ECO12	ECO13	ECO14
1,77273	1,66057	1,79107	1,69819	1,74248	1,82378	1,71656	1,64161	1,78139	1,76015	1,70435	1,71316	1,69373	1,70379
FACTORES DE SEGURIDAD A LA SALIDA (FSO)													
FSO1	FSO2	FSO3	FSO4	FSO5	FSO6	FSO7	FSO8	FSO9	FSO10	FSO11	FSO12	FSO13	FSO14
0,85480	0,84031	0,85706	0,84530	0,85100	0,86102	0,84768	0,83775	0,85587	0,8532	0,84610	0,84725	0,84471	0,84603
FACTOR DE SEGURIDAD DIFERENCIAL (FSD)													
FSD1	FSD2	FSD3	FSD4	FSD5	FSD6	FSD7	FSD8	FSD9	FSD10	FSD11	FSD12	FSD13	FSD14
-0,13480	-0,23031	0,03294	-0,32530	-0,13100	-0,21102	-0,17768	-0,40775	-0,36587	0,23677	0,08390	-0,02725	-0,03471	-0,41603
FACTOR DE SEGURIDAD DIFERENCIAL CUADRÁTICO													
FSDc1	FSDc2	FSDc3	FSDc4	FSDc5	FSDc6	FSDc7	FSDc8	FSDc9	FSDc10	FSDc11	FSDc12	FSDc13	FSDc14
0,01817	0,05304	0,00109	0,10582	0,01716	0,04453	0,03157	0,16626	0,13386	0,05606	0,00704	0,00074	0,00121	0,17308
∑ FSO	11,88812		∑ FSD	-2,10812		∑ FSDcm	0,40482		FSP	0,68988		NC	97%
DES _{Vso}	0,00661	PROM _{Fso}		0,84915		CV _{Fso}	0,00778		BAJA DISPERSIÓN				
FACTOR DE SEGURIDAD MÍNIMO										FSM _{97%}		0,66918	
RESULTADOS DE LA PUBLICACIÓN: REF. 11										PROPUESTA TÉCNICA			
FELLENUS				BISHOP				JAMBU		MFBQ			
0,65				0,70				0,67		0,67			

Conclusiones

Los valores del FSM obtenidos con la técnica propuesta considerando las condiciones aleatorias de los parámetros geotécnicos o variabilidad e incertidumbre de las propiedades del suelo, al ser contrastado con los valores de factor de seguridad reportados en las publicaciones citadas en referencia, determinan que se obtienen resultados admisibles, concluyéndose de que la gestión de la incertidumbre en el análisis de estabilidad de taludes contará con una nueva alternativa técnica, complementaria de los métodos de equilibrio límite considerando secciones del talud en dovelas o tajadas.

La técnica doble aleatoria propuesta utilizando datos de entrada (FSinput) aleatorios del FS determinístico, matriz de pesos aleatorios obtenidos de los FSinput y la aplicación de una función sigmoide, evidencia que el FSM es muy similar a los valores del FS reportados en las publicaciones citadas en referencia. Los FSinput aleatorios se pueden calcular con cualquier método de análisis de estabilidad de taludes de equilibrio límite considerando secciones del talud en dovelas o tajadas.

La serie de valores aleatorios para calcular los datos de entrada (FSinput) deben ser bien representativo de los parámetros geotécnicos seleccionados para la evaluación y determinación del FSM. Se puede considerar en el análisis, la variabilidad de cualquier parámetro geotécnico.

En esta técnica doble aleatoria unidireccional las neuronas son agrupadas en capas, fluyendo las señales desde la capa de entrada hasta la capa oculta cuyas salidas se transforman en una salida única (Such) que se conecta con cada una de las neuronas de la capa de salida, obteniéndose factor de seguridad a la salida (FSOi) para cada neurona.

Todos los valores de coeficiente de variación (CV) resultaron inferior a 0,10 y están en el orden de la milésima a excepción del valor obtenido para la referencia trece (13) que dio CV en el orden de la centésima. Los resultados del CV expresan que el factor de seguridad a la salida (FSOi) tiene muy baja dispersión, muy baja variabilidad y están muy uniformemente distribuidos alrededor de la media, indicativo de que, el conjunto de datos o factor de seguridad a la salida (FSOi) es homogéneo.

El FSM se obtiene aplicando al FSP un nivel de significancia (α) o un nivel de confianza (NC) que puede ser variable a juicio del Ingeniero Geotécnico.

α : Ej: 0,1. 0,05. 0,03. NC : Ej: 90 %. 95 % . 97 %.

Referencias

Badry Pallavi, "Slope Stability". Slope stability-170412060011.pdf. Pag. 49-56.

Caro Soler John Freddy, IBAGUÉ (2012). "Análisis de estabilidad de taludes por métodos de dovelas". Método simplificado de Fellenius, Bishop y Janbú. Seminario I. Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil. Pag. 14.

Cernica John N (1982). "Geotechnical Engineering" Holt-Saunders International Editions. Japan. Example 11-3. Pag. 290-291

Duncan J. Michael. "Soil Slope Stability Analysis. Chapter 13. Sr.247-013.pdf. Page. 358

Duncan J. M., Buchnani A.L., De Wet Manus March (1987). "An Engineering Manual for Slope Stability Studies". Report of a study performed by the Virginia Tech Center for Geotechnical Practice and Research. Virginia Polytechnic Institute and State University, Department of Civil and Environmental Engineering. Pag. 55 a 57.

Duncan J. Michael, Wright Stephen G., Brandom Thomas L. (2014). "Soil Strength and Slope Stability". John Wiley & Sons, INC. New Jersey. Example 4. Pag. 142, 143, 144.

Duncan J. Michael, Wright Stephen G., Brandom Thomas L. (2014). "Soil Strength and Slope Stability". John Wiley & Sons, INC. New Jersey. Example 6. Pag. 147, 148, 149, 150.

Duncan J. Michael, Wright Stephen G., Brandom Thomas L. (2014). "Soil Strength and Slope Stability". John Wiley & Sons, INC. New Jersey. Example 7. Pag. 151, 152, 153, 154.

Duncan J. Michael, Wright Stephen G., Brandom Thomas L (2014). "Soil Strength and Slope Stability". John Wiley & Sons, INC. New Jersey. Example 8. Pag. 155, 156, 157, 158.

GEOSLOPE INTERNATIONAL, Ltd, 2018. "Stability Modeling with Geostudio". 1200,700-6th Ave SW, Calgary, AB, Canada T2O OT8. Pag. 31-33.

Méndez, Eugenia (2016), *análisis de estabilidad de taludes y factor de seguridad*, CAPITULO V - 1_644_282_497_5026. Pag.69-74

ResearchGate. *Soil and Foundation, lesson 6, chapter 6-slope stability*. Page 107-110.

Riddolls & Grocott Ltd (1999). *Quantitative Risk Assessment Methods for Determining Slope Stability Risk in the Building Industry*. Building Research Association of New Zealand, Study Report SR 83, Judgeford. Pag. 83-88.

Conflicto de interés

El autor de este manuscrito declara no tener ningún conflicto de interés.

Declaración ética

El autor declara que el proceso de investigación que dio lugar al presente manuscrito se desarrolló siguiendo criterios éticos, por lo que fueron empleadas en forma racional y profesional las herramientas tecnológicas asociadas a la generación del conocimiento.

Copyright

La *Revista de la Universidad del Zulia* declara que reconoce los derechos de los autores de los trabajos originales que en ella se publican; dichos trabajos son propiedad intelectual de sus autores. Los autores preservan sus derechos de autoría y comparten sin propósitos comerciales, según la licencia adoptada por la revista

Licencia Creative Commons

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-Compartir Igual 4.0 Internacional



REVISTA DE LA UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 31 de mayo de 1947

UNIVERSIDAD DEL ZULIA, Fundada el 11 de septiembre de 1891