

# Aplicación de Microsoft Excel en el Diseño de Muros de Contención en Voladizo

Luis Fernando Mosquera Lucumí<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Estudiante de ingeniería Civil, Pontificia Universidad Javeriana Cali

## Resumen

Los ábacos de diseño son de gran ayuda para la estimación de cantidades de obra en etapas de diseño conceptual de un proyecto. Sin embargo, los ábacos para muros de contención en voladizo en concreto reforzado actualmente disponibles, no han sido actualizados con los cambios introducidos en la NSR-10 (Norma Sismo Resistente de 2010). La evaluación de muros con dimensiones sugeridas por estos ábacos entregó factores de seguridad inferiores a los mínimos admitidos en la NSR-10. Es por esto que se propuso en el presente trabajo la elaboración, mediante el programa Microsoft Excel, de una herramienta para la optimización del proceso de diseño, aplicando los criterios establecidos en la NSR-10 y considerando variables como las propiedades mecánicas del suelo, que no se mencionan en los ábacos disponibles actualmente. Se elaboró una serie de ábacos mediante la herramienta de diseño, obteniendo estimaciones de cantidades de obra de concreto y acero más precisas y confiables. Se encontró que las propiedades mecánicas del suelo de relleno son un factor de gran influencia en el diseño de muros en voladizo. Se evidenció el crecimiento no lineal de la cantidad de concreto por metro lineal con relación a la altura del muro en voladizo. Se observó que el uso de la herramienta de diseño permitió el dimensionamiento de múltiples muros en voladizo en cuestión de segundos.

Palabras clave: Muro de contención en voladizo, Microsoft Excel, ábacos de diseño.

## 1. Introducción

Debido a la geografía de Colombia, muy a menudo se presenta la necesidad de construir estructuras de retención, por lo que es de gran ayuda contar con ábacos de diseño que presentan, generalmente mediante tablas, estimaciones de dimensiones y cantidades de obra para varias condiciones posibles, que ayudan a estimar el costo de la estructura en determinado proyecto, facilitando así la toma de decisiones durante la etapa de planeación. Estos ábacos deben proporcionar información confiable y soportada en los lineamientos que impone la ley colombiana. Sin embargo, desde las modificaciones introducidas por la NSR-10 (Tabla 1), no se ha hecho una muy necesaria actualización a los ábacos de diseño de muros de contención en voladizo, y de ahí parte la motivación del presente trabajo.

Tabla 1. Cambios de la NSR-10 respecto a la NSR-98.

	<i>NSR-98</i>	<i>Referencia</i>	<i>NSR-10</i>	<i>Referencia</i>
Factor de mayoración empuje de tierra	1,7	B.2.4.2	1,6	B.2.4.2
Factor de reducción de resistencia a cortante y torsión	0,85	C.9.3.2.3	0,75	C.9.3.2.3
Factor de seguridad por deslizamiento	1,5	H.4.2.11	1,6	H.6.9
Factor de seguridad por capacidad portante	2,5	H.4.2.11	3	H.6.9
Separación máxima del refuerzo	50 cm	C.14.3.5	45 cm	C.14.5.3

La implementación del programa Excel permitió entonces, optimizar en gran manera la elaboración de ábacos de diseño, en tanto fue posible incluir más factores en el diseño sin aumentar el tiempo necesario para realizar los cálculos. Por otra parte, Excel cuenta con la opción de crear y editar Macros mediante el programa Microsoft Visual Basic for Applications, de esta forma se repitió un mismo proceso de diseño para distintos muros de contención en voladizo, variando la altura y las propiedades del suelo de relleno.

## 2. Métodos

### 2.1. Empuje de tierras

El empuje de tierras se puede dividir en tres tipos dependiendo del movimiento del muro de contención (Figura 1): empuje en reposo, cuando se restringe el movimiento del muro; empuje activo, cuando el muro se mueve en dirección opuesta al suelo de relleno y empuje pasivo, cuando el muro se mueve en dirección al suelo de relleno (Das, 2011).

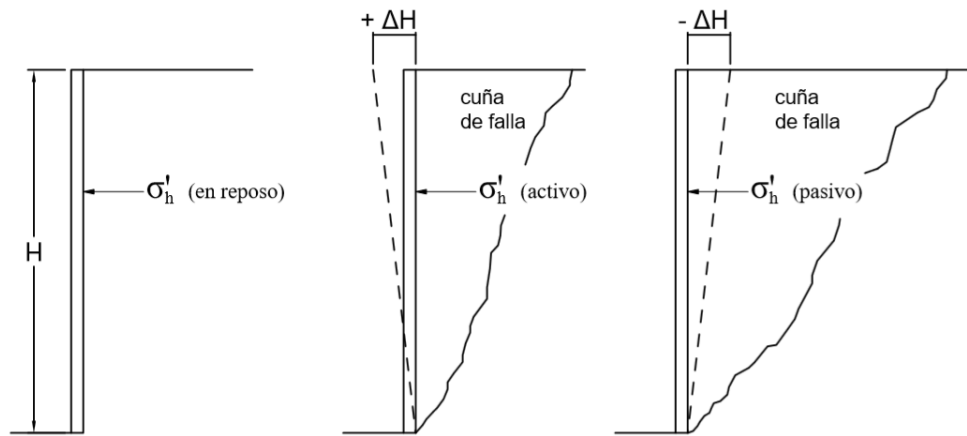


Figura 1. Empuje de tierras dependiendo del tipo de movimiento del muro (Das, 2011).

En este trabajo se implementaron los coeficientes de Rankine y el método de Mononobe-Okabe para condiciones de sismo (Das, 2011).

### 2.2. Diseño geotécnico

En la Tabla 2, se muestran los requerimientos que debe cumplir el muro en voladizo, establecidos en el capítulo H.6.9 de la NSR-10:

Tabla 2. Factores de seguridad mínimos para distintas condiciones de falla (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, 2010)

<i>Condición</i>	<i>FS</i>	<i>FS</i> <i>en condiciones de sismo</i>
<b>Volcamiento:</b>		
Momento resistente / Momento actuante	$\geq 3,0$	$\geq 2,0$
Excentricidad en el sentido del momento ( $e_x/B$ )	$\leq 1/6$	$\leq 1/4$
<b>Deslizamiento</b>	$\geq 1,6$	$\geq 1,05$
<b>Capacidad portante</b>	$\geq 3,0$	$\geq 1,5$

El procedimiento para el análisis de estos factores de seguridad es descrito por Das (2011).

En la Figura 2 se muestra el planteamiento para el análisis de la estabilidad del muro. Se tiene en cuenta la fuerza  $P_a$ , la fuerza  $P_p$ , el peso del muro, el peso del suelo sobre el talón del muro y el peso del suelo sobre el puntal (Das, 2011).

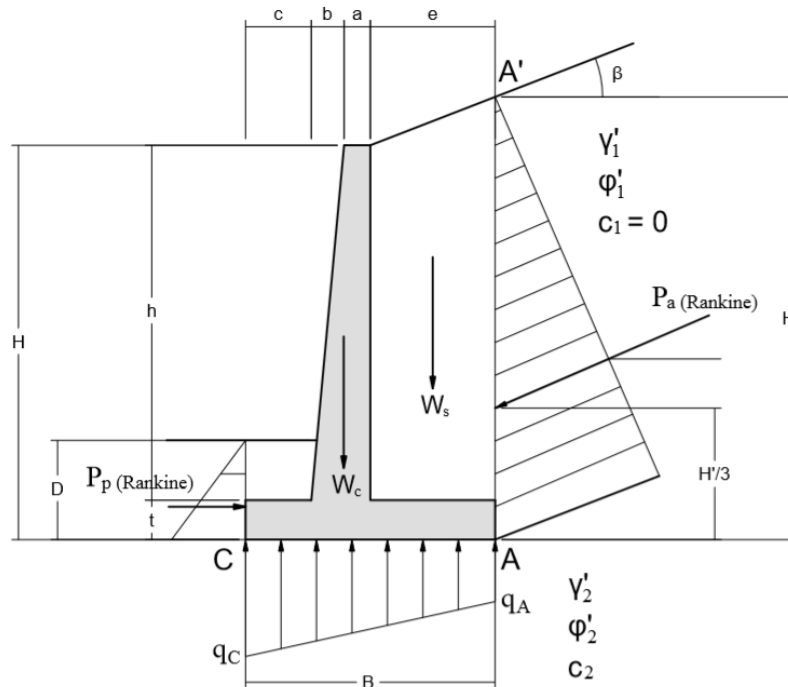


Figura 2. Análisis de la estabilidad de un muro en voladizo (Das, 2011).

### 2.3. Diseño estructural

Los muros en voladizo consisten en un vástago delgado y una losa en la base, que se divide en un puntal y un talón. Estos tres elementos se pueden ver como vigas en voladizo. Se debe comprobar entonces, que (Nilson, 1999):

$$\phi V_c \geq V_u \quad (1)$$

$$\phi M_n \geq M_u \quad (2)$$

En estos elementos, el cortante es resistido únicamente por el concreto. Se debe proporcionar refuerzo para flexión y para control de agrietamiento por retracción de fraguado y temperatura.

### 2.4. Selección de las propiedades del suelo para el diseño

El Departamento de Transporte de Virginia (2018) presenta valores teóricos deseables para la densidad y el contenido de humedad del suelo de relleno, de acuerdo al ensayo de compactación estándar. Además, Lazarte et al. (2015) presentan una correlación entre el peso específico seco y el ángulo de fricción de suelos no cohesivos. Conociendo esto, se seleccionaron los siguientes tipos de suelo de relleno: limo (ML), arena mal gradada (SP) y arena bien gradada (SW).

Se seleccionaron propiedades del suelo correspondientes a estados límite de aceptación del 95% del peso específico seco máximo y  $\pm 3\%$  de la humedad óptima, obteniendo un total de nueve rellenos diferentes implementados en la elaboración de los ábacos.

### 3. Resultados

#### 3.1. Ábacos

Se elaboraron nueve ábacos en total, uno por cada tipo de suelo relleno. En estos se presentan las dimensiones de los muros en voladizo, las propiedades del suelo de relleno y de cimentación, las propiedades y cantidades del concreto y del acero y las presiones en la base. Se encontró que el relleno más favorable es el limo con humedad óptima y peso específico seco máximo. En la Tabla 3 se muestran dimensiones y cantidades sugeridas para un muro de 4 m de altura con este relleno.

Tabla 3. Dimensiones y cantidades sugeridas en los ábacos del presente trabajo.

Concreto	21 MPa	Acero	420 MPa
$\gamma'1$ Opt	19,22 KN/m <sup>3</sup>	$\gamma'2$	18 KN/m <sup>3</sup>
$\phi'1$	36°	$\phi'2$	30°
		$c'2$	10 KN/m <sup>2</sup>

Dimensiones [m]									Presiones [KN/m <sup>2</sup> ]			Cantidades		
H	h	t	B	e	b	a	c	D	P1	P2	H	Concreto [m <sup>3</sup> /ml]	Acero [Kg/ml]	A/C [Kg/m <sup>3</sup> ]
4,0	3,65	0,35	2,10	1,25	0,10	0,20	0,55	0,70	92,03	29,14	4,0	1,65	67,52	40,99

#### 3.2. Comparaciones

En la Figura 3 se muestra una comparación entre las cantidades de acero y concreto del ábaco con el relleno más favorable del presente trabajo y las cantidades sugeridas por la Secretaría de Obras Públicas de Antioquia (1985). Cada punto corresponde a una altura diferente entre 2 y 8 m. Se observa un crecimiento no lineal en relación a la altura del muro.

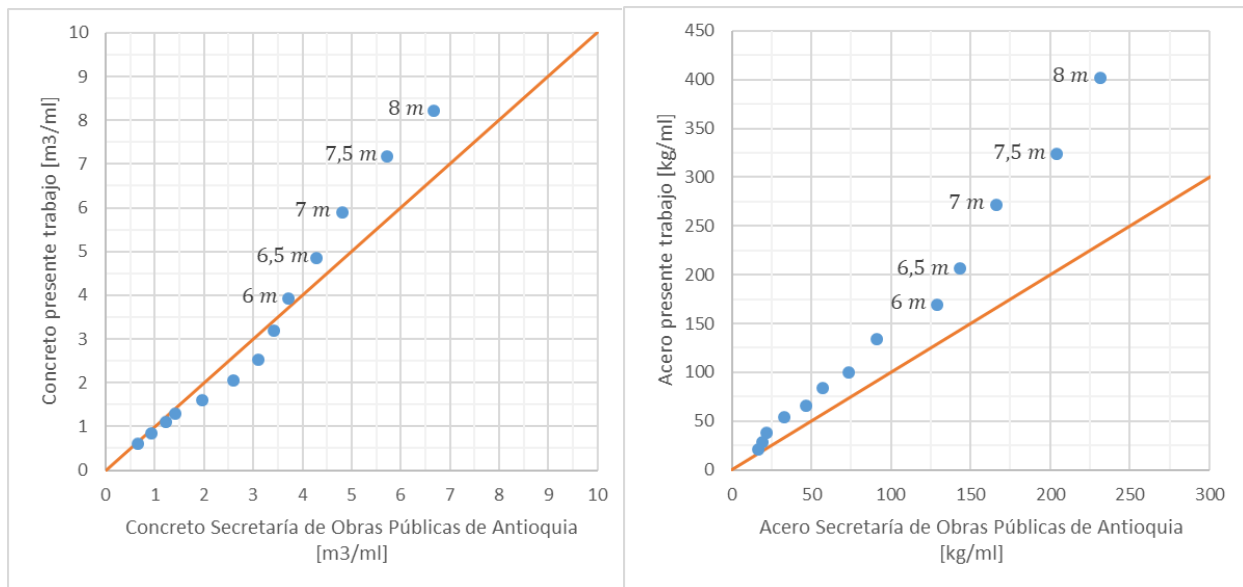


Figura 3. Representación gráfica comparación cantidades de concreto y acero.

#### 4. Conclusiones

Se revisaron los criterios de diseño desde el punto de vista geotécnico y estructural establecidos en la NSR-10, encontrando que en general hay un incremento de la exigencia ocasionado por la reducción del coeficiente de reducción de resistencia a cortante de 0,85 a 0,75 y del incremento en el factor de seguridad por deslizamiento de 1,5 a 1,6.

A diferencia de algunas guías y ábacos que están disponibles en la literatura, los resultados presentados en este trabajo consideran las propiedades del suelo de relleno en el diseño.

Se estudiaron dos consideraciones: el tipo de suelo de relleno (ML, SP y SW); y las condiciones de compactación en función del peso unitario seco e impactando las propiedades de resistencia. En general, es mayor el efecto del tipo de suelo con relación a las condiciones de compactación. En muros de 8 m de altura, esta diferencia puede generar hasta 2 m<sup>3</sup> más de concreto.

Al comparar el diseño detallado de muros entre 2 y 8 m de altura con relación a los ábacos existentes, de muros diseñados previamente a la NSR-10, es mayor la cantidad de acero requerida en todos los casos, mientras que el consumo de concreto es menor hasta 5,5 m de altura y mayor para alturas mayores hasta los 8 m.

Con la herramienta desarrollada fue posible evidenciar el crecimiento no lineal de la cantidad de concreto por metro lineal con relación a la altura del muro en voladizo, para alturas variables entre 2 y 8 m.

Los avances en el desarrollo de herramientas de cálculo como Microsoft Excel, disminuyeron en gran manera el tiempo requerido para el proceso de diseño de muros de contención en voladizo, permitiendo la elaboración de ábacos de diseño que tienen en cuenta más variables de las que antes eran posibles, y que cumplen con la NSR-10.

#### 5. Referencias

- [1] B.M. Das, Principles of foundation engineering, Cengage Learning, Sacramento, 2011.
- [2] Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Bogotá, 2010.
- [3] A.H. Nilson, Diseño de estructuras de concreto, McGRAWHILL INTERAMERICANA, S.A., Bogotá, 1999
- [4] Virginia Department of Transportation, Establishing theoretical / target values for density & moisture content, obtenido el 3 de junio, 2018, de: <http://www.virginiadot.org>.
- [5] C.A. Lazarte, H. Robinson, J.E. Gómez, A. Baxter, A. Cadden & R. Berg, Geotechnical engineering circular No. 7: Soil nail walls - reference manual, National Highway Institute, Washington DC, 2015.
- [6] Secretaría de Obras Públicas de Antioquia, Obras de drenaje y protección para carreteras, Antioquia, 1985.