

- Estado del arte de los biorreactores de membrana.
- Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados.
- Ensayos de tensión y flexión sobre una nueva propuesta de junta en pilotes hincados.
- Evaluación de parámetros de resistencia al corte en suelos de ladera cubiertos con vetiver.
- Influencia de la degradabilidad de las rocas en los parámetros de resistencia de los materiales de la formación Guaduas, al noroccidente de Bogotá.
- Ensayo de compresión inconfinaada: variación en la resistencia al corte no drenado por cambios en el diámetro de las probetas.
- Diseño de portales para evitar o reducir el corte en rocas.
- Metodología para evaluación de la seguridad vial a la infraestructura de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en proyectos viales concesionados.
- Rusia y 1917: una mirada cien años después.

Todas las definiciones son un promedio.



- Estado del arte de los biorreactores de membrana.
- Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados.
- Ensayos de tensión y flexión sobre una nueva propuesta de junta en pilotes hincados.
- Evaluación de parámetros de resistencia al corte en suelos de ladera cubiertos con vetiver.
- Influencia de la degradabilidad de las rocas en los parámetros de resistencia de los materiales de la formación Guaduas, al noroccidente de Bogotá.
- Ensayo de compresión inconfiada: variación en la resistencia al corte no drenado por cambios en el diámetro de las probetas.
- Diseño de portales para evitar o reducir el corte en rocas.
- Metodología para evaluación de la seguridad vial a la infraestructura de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en proyectos viales concesionados.
- Rusia y 1917: una mirada cien años después.
- Todas las definiciones son un promedio.

## CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**PRESIDENTE** RICARDO RINCÓN HERNÁNDEZ

**VOCALES** LUIS GUILLERMO AYCARDI BARRERO  
SANDRA XIMENA CAMPAGNOLI MARTÍNEZ  
MANUEL GARCÍA LÓPEZ  
MARÍA DEL ROSARIO MONTEJO PERRY  
ARMANDO PALOMINO INFANTE  
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI  
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS  
HENRY MORENO MOSQUERA  
(representante de los profesores)  
NATALIA SALAMANCA CEBALLOS  
(representante de los estudiantes)

**RECTORA** MYRIAM ASTRID ANGARITA GÓMEZ

**SECRETARIO** RICARDO ALFREDO LÓPEZ CUALLA

## REVISTA DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

**DIRECTOR** JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

**COMITÉ EDITORIAL** GERMÁN ACERO RIVEROS  
CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES  
PAULA XIMENA RÍOS REYES  
HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ  
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS

**DIRECCIÓN EDITORIAL** CRISTINA SALAZAR PERDOMO

**EDICIÓN** **DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN**  
JORGE CAÑAS SEPÚLVEDA  
**CORRECCIÓN DE ESTILO**  
ELKIN RIVERA GÓMEZ  
**TRADUCCIÓN Y CORRECCIÓN DE ESTILO EN INGLÉS**  
DAVID PEÑA CITA

**DIRECCIÓN COMERCIAL** EDITORIAL ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

Versión digital disponible en <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>

AUTOPISTA NORTE AK 45 N.º 205-59  
TEL.: (57-1) 668 3600, EXT. 533  
[revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co)  
BOGOTÁ, D.C., COLOMBIA

LA ESCUELA Y LA REVISTA NO SON RESPONSABLES DE LAS IDEAS Y CONCEPTOS EMITIDOS POR LOS AUTORES DE LOS TRABAJOS PUBLICADOS. SE AUTORIZA LA REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL DE LOS ARTÍCULOS DE LA REVISTA SI SE CITAN LA FUENTE Y EL AUTOR.

## 5 / EDITORIAL

Instruir y educar

*Jairo Alberto Romero Rojas*

## 7-13

### Estado del arte de los biorreactores de membrana

*Martha Patricia Galvis Castiblanco - Jairo Alberto Romero Rojas*

Los biorreactores de membrana (BRM) constituyen una alternativa de tratamiento de aguas residuales con capacidad de proveer excelentes efluentes. En el artículo se resumen sus características principales, su configuración, criterios de diseño, operación, mantenimiento y contraste con el proceso convencional de tratamiento.

## 15-23

### Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados

*Jorge Alejandro Laverde Laverde - Nancy Torres Castellanos*

El propósito de este artículo es presentar la valoración de algunas de las propiedades eléctricas, mecánicas y de durabilidad de mezclas de concreto con remplazo de agregado grueso por agregados de concreto reciclado (ACR). El ACR usado en las mezclas de los ensayos se produjo a partir de la trituración de probetas de concreto, las cuales se habían ensayado en el laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

## 25-35

### Ensayos de tensión y flexión sobre una nueva propuesta de junta en pilotes hincados

*Óscar Vladimir Ruiz Suárez - Pedro Nel Quiroga Saavedra*

Como resultado de este trabajo de grado se desarrolló un nuevo tipo de junta para pilotes hincados, con el fin de estudiar su comportamiento ante las principales sollicitaciones de trabajo: tensión y flexión. Para esto se efectuaron cuatro ensayos a tensión simple y uno a flexión sobre el modelo de la junta propuesta con el montaje, uno para cada tipo de ensayo.

## 37-43

### Evaluación de parámetros de resistencia al corte en suelos de ladera cubiertos con vetiver

*Jessika Magreth Herrera Passos - José Vicente Amórtegui Gil*

Esta investigación se centró en el estudio de la influencia de las raíces en la resistencia al corte del suelo, siguiendo el criterio de falla de Mohr-Coulomb y en la simulación de estas condiciones en función de la estabilidad de la ladera. Los resultados obtenidos muestran un claro aumento de las propiedades de resistencia del suelo y un efecto beneficioso en función de los análisis de estabilidad realizados, lo que permite concluir que este sistema es eficiente, en términos de las condiciones analizadas, para el aumento de las propiedades de resistencia del suelo.

## 45-56

### Influencia de la degradabilidad de las rocas en los parámetros de resistencia de los materiales de la formación Guaduas, al noroccidente de Bogotá

*Johana Paola Rozo - José Vicente Amórtegui Gil*

El proceso de meteorización de las rocas genera cambios en sus características y propiedades, representados en una disminución de la resistencia del material. Las rocas de la formación Guaduas se encuentran constituidas por lodolitas de color gris oscuro con algunos mantos de carbón, las cuales toman gradualmente el aspecto de arcillolitas abigarradas con intercalaciones de arenisca de espesor muy variable.

## 57-60

### **Ensayo de compresión inconfínada: variación en la resistencia al corte no drenado por cambios en el diámetro de las probetas**

*Juan David Trujillo Bolívar - Diego Cobos Roa*

En el presente artículo se busca mostrar los resultados de la investigación realizada acerca del comportamiento que experimenta la resistencia del suelo en el ensayo de compresión inconfínada en muestras de suelos Invías 152-1023/2013 cuando se realiza una variación en las dimensiones de las muestras inalteradas, que se obtienen luego de la extracción en campo.

## 61-67

### **Diseño de portales para evitar o reducir el corte en rocas**

*Mario A. Arias E. - Ricardo Salazar Ferro*

Este artículo apunta hacia un nuevo enfoque para el diseño de portales de forma sesgada, fundados en una comprensión completa del comportamiento del macizo rocoso y sus mecanismos de falla. El enfoque se basa en modelos numéricos 2D, complementados con modelos 3D, para la comparación y la optimización de la metodología del diseño de portales.

## 69-83

### **Metodología para evaluación de la seguridad vial a la infraestructura de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en proyectos viales concesionados. Caso de estudio autopista Bogotá-Villeta del km 0+000 al km 5+000**

*Mildreth Cristina Sifontes Cabas - Maritza Villamizar Roperó*

El actual gobierno, mediante la promulgación del Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021, declaró por primera vez en la historia de Colombia la seguridad vial como política de Estado, haciendo un llamado a toda la comunidad internacional para declarar ésta como la década de acción en seguridad vial, que trascienda los planes y programas de un periodo de gobierno.

## 85-91

### **Rusia y 1917: una mirada cien años después**

*José Camilo Vásquez Caro*

Han pasado cien años desde que los bolcheviques se tomaran el Palacio de Invierno en la ciudad de Petrogrado. Fue un hecho poco disruptivo, con escasa violencia y llevado a cabo por un pequeño grupo de insurgentes. La toma del Palacio fue un acontecimiento profundamente simbólico, pues ese edificio representaba la máxima autoridad de poder de un imperio decadente, y tomarse el edificio era, simbólicamente, tomarse el poder.

## 93-99

### **Todas las definiciones son un promedio**

*Alfonso Meléndez Acuña - Felipe Rodríguez Gómez*

Generalmente, cuando se pregunta qué es arte, la mayoría de las personas buscan relacionarlo con técnicas como pintar o esculpir, o con conceptos como lo que es bello o estético (lo que sea que eso signifique); sin embargo, en el esfuerzo de la humanidad por desarrollar un sentido de la identidad individual, hemos empezado a confundir incluso nuestras propias definiciones.

## 101 / ALCANCE Y POLÍTICAS

# Editorial

## Instruir y educar

**JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS**

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

jairo.romero@escuelaing.edu.co

Nos debatimos entre la dicotomía de la corrupción y la violencia, por una parte, y la impunidad ante estos hechos, por la otra. Se hace necesario reconocer que los derechos no son gratuitos y que deben ser siempre el resultado del cumplimiento del deber. Aunque todos somos seres humanos, no será viable una sociedad en la cual no sólo se perdona al criminal sino que también se le premia.

Si se cae en la corrupción y en la violencia, es porque falta educación; en este orden de ideas, el padre que no le enseñó a su hijo a ser honrado es porque no lo educó bien. Así, reconocemos que educar al niño obligándolo a aprender que siempre tiene que cumplir honradamente con el deber que la vida le asigne es la base para hacer de él un hombre de bien, tal como lo reconoce Séneca: “Lo que de raíz se aprende nunca del todo se olvida”. Si el niño no se educa en su casa, el mundo actual lo deforma. Una buena educación se imparte con el ejemplo de buenos padres y buenos profesores, pero formarse no es, obviamente, nada fácil.

El reto de formar ingenieros capaces de satisfacer sus deberes como profesionales es esencial para la salud, el bienestar y la satisfacción de toda la sociedad. Formar un ingeniero supone instruirlo, enseñarle lo necesario y transmitirle los conocimientos requeridos para que,

como profesional, sepa solucionar los problemas que sus deberes le exigen resolver; todo esto involucra educarlo, formarle valores, con el fin de acrisolar en él una estructura moral capaz de permitirle rechazar siempre los atractivos de adquirir una riqueza fácil, violando todo concepto ético fundamental.

El colegio, la universidad, el matrimonio, los amigos y el trabajo profesional fortalecen el alma para afrontar las dificultades de la vida, pero no pueden sustituir la formación individual impartida en el hogar. Parecería justo preguntar, entonces, quién o qué ha sustituido la formación hogareña de la madre ausente del acompañamiento permanente del hijo.

Encontrar profesionales universitarios que comulgan con la corrupción y la impunidad es, por lo menos, motivo para preguntarse qué debe hacerse para mejorar ese componente de la educación que garantice la fortaleza moral en el ejercicio profesional mediante la inculcación de valores. Para la universidad, lo importante no es obtener prestigio con base en la publicidad que ofrecen los medios. La acreditación la da el excelente ejercicio profesional de sus egresados, dentro de un desempeño ético y moral ajeno a toda corrupción.

Como decía Aristóteles: “Educar la mente sin educar el corazón no es educación en absoluto”.



# Estado del arte de los biorreactores de membrana<sup>[1]</sup>

## Membrane bioreactors' state of the art

MARTHA PATRICIA GALVIS CASTIBLANCO<sup>1</sup> - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Ingeniero civil. MEEE. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

martha.galvis@mail.escuelaing.edu.co - jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/12/2016 Aceptado: 12/03/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### Resumen

Los biorreactores de membrana (BRM) constituyen una alternativa de tratamiento de aguas residuales con capacidad de proveer excelentes efluentes. En el artículo se resumen sus características principales, su configuración, criterios de diseño, operación, mantenimiento y contraste con el proceso convencional de tratamiento.

**Palabras claves:** membranas de filtración, biorreactor de membrana, tratamiento de aguas residuales.

### Abstract

Membrane bioreactors (MBR) are an alternative wastewater treatment capable of providing excellent effluent. The article summarizes the main features of MBR, their configuration, design criteria, operation, maintenance, and contrast to the conventional treatment process.

**Keywords:** membrane filtration, membrane bioreactor, wastewater treatment.



## INTRODUCCIÓN

La tecnología del biorreactor de membrana (BRM) se puede definir como la combinación de dos procesos: degradación biológica y separación por membrana, en el que los sólidos en suspensión y los microorganismos responsables de la biodegradación son separados del agua tratada mediante una unidad de filtración por membrana.

## ANTECEDENTES

Los procesos de separación de materia disuelta y suspendible por medio de membranas, bajo el efecto de una presión, se conocen desde hace más de cien años. Sin embargo, la primera utilización de biorreactores con membrana (BRM), para el tratamiento de aguas residuales, data de los años sesenta.

En la década de los setenta, la tecnología entró por primera vez en el mercado japonés, gracias a un acuerdo entre las compañías Dorr-Oliver y Sanki Engineering. También en esa década, Thetford Systems (actualmente parte de Zenon Environmental) lanzó su versión de un sistema externo para el tratamiento aeróbico de las aguas residuales, al proceso llamado "Cycle-Let". A finales de los años ochenta y principios de los noventa, Zenon Environmental desarrolló este proceso con membranas sumergidas en el licor mezclado, obteniendo dos patentes del sistema: Zenon's sistema comercial y ZenoGem [1].

Las primeras plantas con BRM aparecieron en América del norte a finales de la década de los setenta y en Japón a principios de los años ochenta, en la misma época en que los procesos anaerobios de tratamiento de agua residual industrial empezaron en Sudáfrica. La introducción en Europa de los BRM aerobios sólo se produjo hasta mediados de los noventa.

En la década de los ochenta, Yamamoto desarrolló el primer módulo de membrana inmerso en el biorreactor para la depuración de aguas residuales industriales. En 1989, el gobierno japonés, junto con una serie de importantes compañías, acordó invertir en el desarrollo de un sistema que fuese compacto y produjera un efluente de buena calidad, de modo que permitiese la reutilización del agua. La compañía Kubota desarrolló un sistema BRM en el que la membrana de placas estaba inmersa en el reactor.

Durante el año 1993, treinta y nueve de estos biorreactores de membrana con configuración externa

se habían difundido y tenían diversas aplicaciones para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. Recientemente, aplicaron los BMR para la depuración de aguas residuales hospitalarias.

## MEMBRANAS DE FILTRACIÓN

La filtración con membranas es una técnica que consiste en separar partículas de un líquido para purificarlo. En la filtración con membranas, un disolvente atraviesa una membrana semipermeable. El tamaño de los poros de las membranas está directamente vinculado a su eficiencia de retención, y es una variable de importancia a la hora de analizar el residual que hay que tratar y la evolución del proceso de colmatación.

Las membranas se deben soportar estructuralmente para resistir las presiones a las que se trabaja. La unidad operacional en la que se colocan se llama módulo. Esta unidad está compuesta por membranas, estructuras de soporte de la presión, puertas o puertos de entrada de la alimentación, distribuidores de caudal y puntos de salida y drenaje del permeado y concentrado. Una entidad de membrana se llama elemento, y éstos son los que se emplean para construir el módulo.

Al diseñar un módulo se debe asegurar, en la membrana, una circulación suficiente del fluido que se va a tratar, para limitar los fenómenos de concentración - polarización y depósito de partículas, y producir un módulo compacto, que proporcione una máxima superficie de intercambio por unidad de volumen, con el fin de reducir los costos del módulo para un volumen determinado de fluido tratado, teniendo en cuenta que, a una velocidad de circulación alta y secciones de paso pequeñas, se produce una gran cantidad de pérdida de carga. Además, se deben evitar fugas entre los compartimientos de alimentación y permeado, haciendo un cuidadoso montaje del módulo para evitar pérdidas.

El módulo debe ser de volumen pequeño, fácil de limpiar, de ensamblar y montar.

## MATERIALES DE LAS MEMBRANAS

### Membranas orgánicas

Generalmente, son de polímeros hidrófilos; los más usados son la celulosa y sus derivados. Estos polímeros presentan poca tendencia a la absorción y se utilizan

en todos los procesos de presión (MF, UF, NF, OI), hemodiálisis y permeado gaseoso. Para la desinfección y clarificación de aguas se utilizan las membranas de ésteres de la celulosa (di y triacetato), por su resistencia al cloro.

### Membranas inorgánicas

Los materiales inorgánicos poseen mayor estabilidad química, mecánica y térmica que los polímeros orgánicos, pero son más frágiles y más costosos que los orgánicos. De allí que su uso se limite a la industria química, en el tratamiento de fluidos agresivos o de alta temperatura y a las industrias farmacéutica y láctea.

### PROCESOS DE FILTRACIÓN CON MEMBRANAS

En un principio, la tecnología de membrana se utilizaba únicamente como tratamiento terciario de procesos convencionales. Cuando se llegó a un punto en el que se exigían requerimientos más rigurosos de vertido, se emplearon los siguientes procesos:

- Microfiltración (MF).
- Ultrafiltración (UF).
- Ósmosis inversa (OI).

El éxito en cuanto a eficiencia de las membranas de filtración está directamente relacionado con el tamaño de los poros. Las membranas de microfiltración (MF) tienen tamaños de poro de  $0,1 \mu\text{m}$ . Las membranas de ultrafiltración (UF) tienen tamaños de poro que van de  $0,1 \mu\text{m}$  hasta menos de  $5 \text{ nm}$  ( $0,005 \mu\text{m}$ ). Las membranas de nanofiltración (NF) tienen poros de un tamaño inferior a  $0,01 \mu\text{m}$ , lo que permite la eliminación de la mayoría de las especies, excepto de ciertos iones monovalentes y moléculas de bajo peso molecular.

La ósmosis inversa es un proceso físico natural basado en el fenómeno de la difusión; dos soluciones separadas, en dos compartimientos, por una membrana semipermeable.

La difusión se da cuando dos soluciones de concentración diferente entran en contacto y la solución que contiene más soluto se mueve hacia la que contiene menos, mientras que el disolvente se dirige en sentido contrario.

La membrana semipermeable tan sólo permite la difusión del disolvente de las soluciones, de manera

que el soluto (sales) es absorbido por la membrana, lo que permite que el agua (disolvente) se difunda a través de la membrana, haciendo aumentar el nivel del compartimiento que tiene una concentración de sales superior (figura 1).

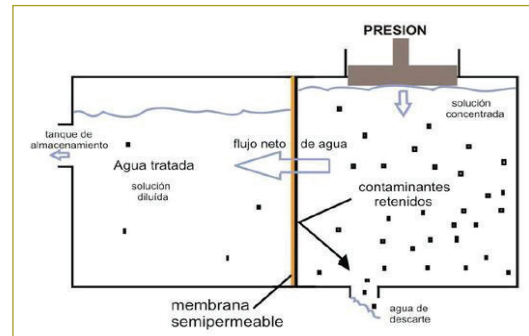
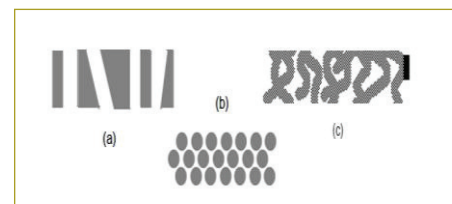


Figura 1. Fenómeno de ósmosis.

En algunas instalaciones de ósmosis inversa, el control de salida de fluido, en vez de hacerse con una válvula, se hace con una turbina. La energía recuperada por la turbina es inversamente proporcional a la tasa de conversión y puede llegar a ser de un 50 %.

La microfiltración utiliza membranas porosas. Los materiales membranarios correspondientes se fabrican con polímeros orgánicos o con materiales inorgánicos y presentan geometrías de poros diferentes, según su concepción (figura 2).



a) Poros cilíndricos; b) y c) Poros de geometría compleja.

Figura 2. Geometría de poros en función de la estructura de la membrana.

La existencia de diversas geometrías de poros ha generado el desarrollo de diferentes modelos para describir correctamente el transporte de materia a través de los poros. Estos modelos de transporte permiten determinar los parámetros estructurales importantes y cómo las prestaciones de las membranas pueden mejorarse mediante la modificación de sus características.

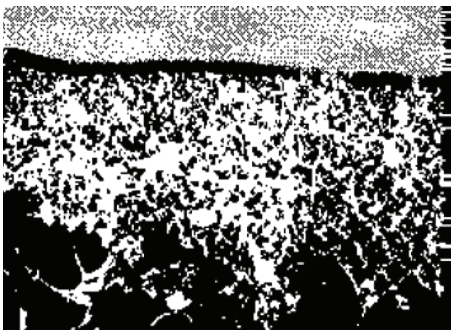
La ultrafiltración es la continuación lógica de la microfiltración cuando se quieren detener fragmentos de materia aún más pequeños. Las diferencias principales con la microfiltración son las siguientes:

- La presión de trabajo es más elevada, típicamente entre 4 y 8 atmósferas, por el hecho de que el tamaño de poros de la membrana de ultrafiltración es más pequeño.
- Las especies que hay que separar no son en realidad partículas en suspensión sino compuestos de tipo macromolecular o coloidal, susceptibles de tener fuertes interacciones fisicoquímicas con el material de la membrana.

Con el propósito de reducir la serie de pérdidas de carga y de limitarla a la capa activa, las membranas de ultrafiltración poseen una estructura asimétrica. Están compuestas por un soporte macroporoso y una o varias capas, según el tipo de membrana; la última capa, llamada capa activa, presenta una estructura mesoporosa. Existen actualmente dos categorías o dos tipos de membranas de ultrafiltración, las cuales tienen una estructura asimétrica (figuras 3 y 4).



**Figura 3.** Membrana orgánica de ultrafiltración (imagen con microscopio electrónico de barrido)[3].



**Figura 4.** Membrana inorgánica de ultrafiltración (imagen con microscopio electrónico de barrido)[3].

La nanofiltración puede clasificarse como un proceso intermedio entre la ósmosis inversa y la ultrafiltración, con base en características propias:

- Una estructura microporosa con un diámetro de poro típicamente inferior a 2 nm.
- Materiales membranarios que llevan, en la mayoría de los casos, cargas eléctricas; en consecuencia, los mecanismos de transferencia y los campos de utilización de esas membranas son bien particulares.
- Punto de corte para solutos de masa molecular inferior a 1000.
- Presiones de trabajo inferiores y flujo de solvente más elevado que en el caso de la ósmosis inversa.
- Toma en cuenta a la vez los fenómenos de difusión y de convección para describir el flujo de solvente y de soluto.
- Intervención del mecanismo de Donnan para la retención de solutos eléctricamente cargados.

La nanofiltración es una alternativa válida a la ósmosis inversa para endulzar el agua y para desalinizar parcialmente las salmueras, ya que permite trabajar con una presión más baja de cinco a diez atmósferas, con mejores tasas de rechazo (80-90 %) que la ósmosis inversa.

### CONFIGURACIÓN DE BRM

A continuación se muestra que los caudales típicos para membranas de forro interno son de 0,5 a 2,9 m/d, mientras que los de membranas de forro externo son de 0,2 a 0,9 m/d (tabla 1).

**Tabla 1**  
Configuración de los BRM [4]

Aplicación	Material de membrana	Tipo de membrana	Superficie de filtración (m <sup>2</sup> )	Velocidad (m/s)	Flujo a 20°C, (m <sup>3</sup> /d)	PTM (bar)
Membrana de forro interno						
ARI	Orgánica	T	195		1,5	
Aguas residuales urbanas sintéticas	Cerámica	T		3,8	0,5-0,7	1,1-1,4
ARU	Cerámica	T	1,10	3	1,4-2	0,5-1,5
AP	Orgánica	FH	7,20	0,90	1,4-1,7	0,5-0,8
DF	TPT	T		2	0,48-1,0	2
ARI	PES	T	668	1,6	0,14-0,6	2-3
ARU	TPT	T		2,2-3,6	0,5	2-2,5
ARU	PAN	PM		2,5	2,4-2,9	
Membrana de forro exterior						
Aguas residuales urbanas sintéticas	PE	FH			0,2-0,6	-0,2-0,8
ARU	PE	PM			0,2-0,9	-0,1-0,5
Aguas residuales urbanas sintéticas	PE	FH	0,3		0,2-0,5	-0,4-0,8
ARI= agua residual industrial		TPT= tubo de poliéster tejido		T= tubular		
ARU= agua residual urbana		PES= polietilensulfona		FH= fibra hueca		
AP= agua potable		PAN= poliacrilonitrilo		PM= placa y marco		
DF= digestión de fango		PE= polietileno				
PSI= polisulfona						

## OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LOS BRM

A renglón seguido se presentan los criterios típicos de operación y rendimiento de un BRM (tabla 2).

**Tabla 2**  
Criterios de operación y rendimiento

Parámetro	Unidad	Rango
<b>OPERACIÓN</b>	kg/m <sup>3</sup> .d	
Carga	mg/L	1,2 - 3,2
SSLM	mg/L	5000 - 20.000
SSVLM		4000 - 16.000
A/M	gDQO/gSSVLM . d	0,1 - 0,4
Edad de lodos	d	5 -20
Tiempo de retención	h	4 - 6
Flujo	L/m <sup>2</sup> .d	600 - 1100
Vacío aplicado	kPa	4 - 35
OD	mg/L	0,5 - 1,0
<b>RENDIMIENTO</b>		
DBO efluente	mg/L	< 5
DQO efluente	mg/L	< 30
NH <sub>3</sub> efluente	mg/L	< 1
NT efluente	mg/L	< 10
Turbiedad efluente	UNT	< 1

### Limpieza de las membranas

En el caso de membranas sumergidas con configuración de fibras huecas y de la membrana plana contralavable de Microdyn Nadir, para reducir la velocidad de ensuciamiento de la membrana, y con ello aumentar su vida operativa, se recurre a procesos de limpieza mecánica periódica a través de un lavado con permeado por inversión de flujo (contralavado) durante cortos periodos. De este modo, se eliminan la capa externa de ensuciamiento de fibra y parte de las partículas que se han introducido en sus poros.

Para provocar alta turbulencia en las proximidades a la superficie filtrante externa de las membranas y reducir así la velocidad de ensuciamiento, se introduce por el fondo de cada módulo de membranas un flujo de aire en forma de burbujas gruesas, en régimen continuo o intermitente.

### Limpieza de mantenimiento

Para el procedimiento de limpieza de mantenimiento se usan hipoclorito sódico y ácido cítrico, por si hay la posibilidad de un ensuciamiento inorgánico.

### Limpieza de recuperación

La limpieza de recuperación es necesaria para restablecer la permeabilidad de la membrana una vez que la membrana está sucia. Las concentraciones de limpieza química que se utilizan habitualmente para remojar las membranas son de 1000 mg/L de hipoclorito sódico (NaOCl) para la eliminación de los contaminantes orgánicos y de 2000 mg/L de ácido cítrico para la eliminación de los contaminantes inorgánicos. Se recomienda realizarlo dos veces al año.

## FILTRACIÓN CON MEMBRANA VS. FILTRACIÓN CONVENCIONAL

De todos los procesos que se han desarrollado para el tratamiento de las aguas residuales, el sistema convencional de lodos activados ha sido el más empleado. En un principio, la tecnología de membrana tenía limitado su uso y solamente se empleaba como un añadido en el proceso convencional. La microfiltración, la ultrafiltración y la ósmosis inversa se utilizaron en áreas donde había requerimientos de vertido muy rigurosos o donde se pretendía reusar el agua depurada. Los principales factores que limitaron el desarrollo de la tecnología de membrana fueron el elevado costo de inversión y de operación y el inadecuado conocimiento de las ventajas potenciales de las membranas en el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, la aparición de módulos de membrana menos costosos y más efectivos, junto con el endurecimiento de los requisitos de vertido, hizo que se volviera a tener interés en la tecnología de membrana. El balance económico es favorable a los MBR si se toma en cuenta una serie de ventajas importantes, al margen de la excelente calidad de agua tratada que se consigue. De este modo, la tecnología MBR es especialmente valiosa frente a las otras tecnologías por las siguientes características:

- Hay una retención eficaz de los sólidos suspendidos y de los compuestos más solubles dentro del bio-

reactor, lo que proporciona un efluente de excelente calidad y potencialmente reutilizable que cumple los requisitos de vertido más rigurosos.

- Se logra la retención de bacterias y virus, así como un efluente estéril, lo que elimina la necesidad de llevar a cabo procesos de desinfección, al igual que los subproductos de la desinfección.
- La ausencia del clarificador, que actúa como un selector natural de la población bacteriana, permite que se desarrollen bacterias de crecimiento lento que persistan en el biorreactor.
- La mayor parte de las plantas BRM operan a edades de lodo de 40 días o superiores. Estas edades elevadas pueden reducir en un 40 % la producción de lodo, con la consiguiente reducción de los costos de operación.

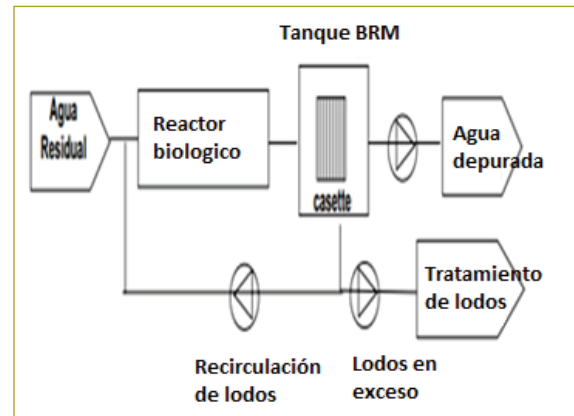
### BIORREACTOR DE MEMBRANA (PTAR SAN PEDRO DEL PINATAR, MURCIA, ESPAÑA) [5]

La planta de tratamiento (figuras 5 y 6) está diseñada para tratar 20.000 m<sup>3</sup>/d de aguas residuales, con el objetivo de dar servicio a 130.000 habitantes. La planta incorpora un sistema integrado de reactor biológico de lodos activados con membranas, que permite garantizar la calidad del efluente y una reducción importante del volumen del reactor.



**Figura 5.** Vista general de la planta San Pedro del Pinatar (España).

El sistema cuenta con membranas de tecnología Zenon (figura 6), la cual se basa en la ultrafiltración a través de membranas de fibra hueca reforzada, donde la filtración se realiza mediante succión desde el lado interior de la fibra, de manera que se hace fluir el agua de afuera hacia adentro.



**Figura 6.** Planta San Pedro del Pinatar.

El diseño de esta planta incluye cuatro trenes de ultrafiltración, aislados individualmente mediante compuertas motorizadas, con una configuración por tren de ocho casetes de membranas, que contienen cada uno 48 módulos de membranas de ultrafiltración ZW500D.



**Figura 7.** Membrana tipo Zenon ZW500D.

Las características de las membranas de Zenon, suministradas por TB-FLygt, son:

- Modelo: Zeeweed 500 D.
- Configuración: fibra hueca fuera-adentro.
- Propiedades de la membrana: no iónica e hidrofílica.
- Diámetro de poro nominal: 0,04 μm.
- Número total de módulos: 1536.

### CONCLUSIONES

- Los BRM constituyen una excelente alternativa de tratamiento cuando se requieren efluentes de alta calidad, libres de sólidos, para reúso.

- Los costos de un BRM limitan su aplicación, ya que superan los costos del sistema convencional de tratamiento.
- El tratamiento de aguas mediante un BRM representa una solución compacta y discreta para establecimientos o lugares donde no se cuenta con el área necesaria para la implementación de un sistema de tratamiento más grande o donde los terrenos son bastante costosos.
- La utilización de un sistema BRM con membrana sumergida suele ser en muchas ocasiones lo más conveniente al representar un menor consumo eléctrico en comparación con la configuración de membrana externa, además de ocupar una menor área y permitir el retrolavado en la membrana, lo cual contribuye a alargar la vida útil de ésta.
- Los BRM permiten obtener un efluente de alta calidad, independientemente de la calidad del afluente.
- Los BRM tienen gran capacidad de desinfección, ya que impiden el paso de virus y bacterias.
- Los BRM tienen mayores tiempos de retención de sólidos, que permiten respiración endógena de los microorganismos presentes en el agua residual, provocando una menor producción de lodos.
- Los BRM tienen la posibilidad de adaptarse fácilmente a las plantas de lodos activados ya existentes, especialmente en aquellos casos de plantas sobrecargadas que necesitan una ampliación.
- Operacionalmente, uno de los problemas más importantes de los BRM es el ensuciamiento por la formación de una capa de lodo, coloides y soluto que se acumulan sobre la superficie de la membrana, impidiendo su adecuado comportamiento.

## REFERENCIAS

1. Galvis C., M.P. (2014). Estado del arte de los biorreactores de membrana. Trabajo de grado. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Stephenson, T. (2000). *Membrane Bioreactors for Wastewater Treatment*.
3. Suwa, Y., Suzuki, T., Toyohara, H., Yamagishi, T. & Urushigama, Y. (1992). Single-stage nitrogen removal by an activated-sludge process with crossflow filtration. *Water Res.*
4. Manem, J. & Sanderson, R. (1998). *Biorreactores de membrana. Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones*.
5. Maroto, H. (2007). Comparativa de ampliación EDAR mediante reactor biológico convencional o MBR.

# Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados

## Mechanical, electrical, and durability properties of concrete with recycled aggregates

JORGE ALEJANDRO LAVERDE LAVERDE<sup>1</sup> - NANCY TORRES CASTELLANOS<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Ingeniera civil. Maestría en Estructuras. Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales. Profesora asociada de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Ingeniería Industrial, Grupo de Investigación en Estructuras y Materiales.

jorge.laverde@mail.escuelaing.edu.co - nancy.torres@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/12/2016 Aceptado: 25/03/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### Resumen

El propósito de este artículo es presentar la valoración de algunas de las propiedades eléctricas, mecánicas y de durabilidad de mezclas de concreto con remplazo de agregado grueso por agregados de concreto reciclado (ACR). El ACR usado en las mezclas de los ensayos se produjo a partir de la trituración de probetas de concreto, las cuales se habían ensayado en el laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Se evaluaron ocho mezclas con cuatro contenidos de agregados reciclado (0 %, 25 %, 50 % y 100 %) y dos valores de relación agua/cemento (0,5 y 0,6). Entre las propiedades analizadas están la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistividad, impedancia, velocidad de pulso ultrasónico, permeabilidad al ion cloruro, carbonatación y sortividad. Los resultados de los ensayos indicaron claramente que en las mezclas con mayor porcentaje de agregado reciclado, los resultados del módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión son más bajos que para concretos con agregado natural. La resistencia a la compresión de un concreto con 100 % de ACR tiene una reducción estimada del 20 al 25 %, con respecto a un concreto convencional. Paralelamente, las propiedades eléctricas y la durabilidad medida mediante ensayos de resistividad, impedancia, sortividad y permeabilidad al ion cloruro, y sortividad, se ven afectadas con el aumento del porcentaje de agregado reciclado y la relación agua/cemento.

**Palabras claves:** agregados reciclados, resistencia a la compresión, propiedades mecánicas, durabilidad, permeabilidad al ion cloruro, resistividad, impedancia.

### Abstract

The purpose of this study is to investigate the behavior of Recycled Aggregate Concrete with Recycled Concrete Aggregates (RCA), through the measure of some electrical, mechanical, and durability properties of this material. The recycled aggregates used were obtained from crushing leftover concrete specimens from the laboratory at Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. The replacement levels of RCA were 0%, 25%, 50% and 100%, in eight separate mixtures, using two different water/cement (w/c) ratios (0,5 and 0,6). The properties tested were the compressive strength, modulus of elasticity, resistivity, impedance spectrometry, ultrasonic pulse velocity, electrical indication of concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Carbonation, and rate of absorption measurement. The test results indicate that modulus of elasticity and the compressive strength of recycled concrete aggregate decreased with the increase of the amount of aggregates in the mixture. The compressive strength for a 100% RCA mixture was reduced by 20% - 25%. Furthermore, it was confirmed that electrical and durability properties as resistivity, impedance, electrical indication of concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, and rate of absorption measurement are significantly affected by both amount of RCA and water/cement (w/c) ratio.

**Keywords:** recycled aggregates, compressive strength, electrical, mechanical and durability properties, resistivity, impedance.

## INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Bogotá se genera anualmente un volumen estimado de 12.000.000 m<sup>3</sup> de escombros, por parte del sector público y el sector privado (Coambiente S.A., octubre de 2009). Al hacer proyecciones para un horizonte de doce años, según estudios de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), a una tasa de crecimiento del 4 %, el estimado de escombros que va a generarse en Bogotá es de 215 millones de m<sup>3</sup> en el horizonte de proyección mencionado.

Teniendo en cuenta que en la ciudad no existe un manejo integral de escombros y que la capacidad instalada para recepción de escombros es limitada, el Distrito desarrolló una propuesta para la gestión integral de los residuos derivados de la construcción, demolición y remodelación en la ciudad, mediante la Resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012, en la cual se adoptan lineamientos técnico-ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital y se establecen obligaciones para los actores que participan en la producción de escombros, entre éstos las empresas constructoras, entidades públicas y empresas privadas.

Ya en otros países del mundo se ha desarrollado una gestión integral en el manejo de escombros. Tal es el caso de España, donde se generan cada año entre 30 y 40 millones de toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD), previamente utilizados en construcción (Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición, noviembre de 2010, p. 6.), Estados Unidos, Dinamarca, Holanda, Gran Bretaña, Alemania y Japón, que poseen programas para reciclar materiales de construcción con la creación de plantas de tratamiento. En cuanto a los países de América Latina, el primer país que contó con una planta de reciclaje de RCD, por medio de la resolución expuesta por el Conama en el año 2002, fue Brasil, la cual se encarga específicamente de los residuos de construcción civil; a partir de esto, sus municipios han venido retomando sus acciones, como São Paulo, Salvador y otros (Cortina Ramírez, 2007).

Por lo tanto, es importante que en Colombia se tomen acciones tendientes a minimizar la carga de escombros en las ciudades, siguiendo los modelos implementados en otros países. Para tal efecto, el concreto cumple un papel clave, ya que en él se pueden incorporar los agregados de concreto reciclado (ACR).

Sin embargo, es de suma importancia evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad de estos concretos para garantizar un comportamiento adecuado en las estructuras por construir. Se propone entonces este proyecto, que tiene como objetivo evaluar algunas de las propiedades eléctricas como resistividad, inductancia y capacitancia del concreto con cuatro porcentajes de agregado reciclado y dos valores de relación agua-cemento, buscando las correlaciones con algunas propiedades mecánicas y de durabilidad de este material. Los resultados obtenidos serán un referente para el uso de concretos con ACR en Colombia, con el objetivo de conocer su comportamiento, y al implementar su uso, aliviar la gran carga de escombros de los sitios destinados para tal fin, garantizando un desarrollo sostenible y encaminando el futuro del concreto, hacia la producción del llamado Green Concrete, diseñado para reducir el impacto medioambiental, comparado con el concreto tradicional.

## PROGRAMA EXPERIMENTAL

A continuación se muestran los materiales utilizados para la presente investigación (tabla 1).

**Tabla 1**  
Propiedades de los agregados usados en la investigación

Propiedad	Gravilla Material natural de 3/4"	Arena	ACR
Peso unitario suelto	1036 kg/m <sup>3</sup>	1568 kg/m <sup>3</sup>	1135 kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario compactado	1494 kg/m <sup>3</sup>	1742 kg/m <sup>3</sup>	1295 kg/m <sup>3</sup>
Densidad aparente	2338 g/cm <sup>3</sup>	2593 g/cm <sup>3</sup>	2107 g/cm <sup>3</sup>
Densidad nominal	2600 g/cm <sup>3</sup>	2700 g/cm <sup>3</sup>	2635 g/cm <sup>3</sup>
Absorción	4,3 %	1,5 %	9,5 %

El porcentaje de desgaste medido en la máquina de los ángeles para el ACR fue de 31,6 %. El cemento usado fue Cemex tipo estructural en bolsas de 42,5 kg. En la tabla siguiente se muestran las proporciones de ACR y relación agua/cemento usada en las ocho mezclas ensayadas (tabla 2).

Sobre las mezclas en cuestión, se realizaron ensayos de resistividad e impedancia (según la norma española UNE 83988-1), permeabilidad al ion cloruro (ASTM C1202-12: "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion



Penetration”), carbonatación y sortividad (ASTM C1585-11: “Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes”), a edades de 28 y 90 días. Así mismo, ensayos de resistencia a la compresión, módulo de elasticidad (según la norma NTC 673 y NTC 4025) y velocidad de pulso ultrasónico (según la norma NTC 4325) a edades de 3, 7, 28 y 90 días.

**Tabla 2**  
Mezclas usadas en la investigación

Mezcla	% de agregado reciclado	Relación A/C
AN 1-0	0	0,50
ACR 2-25	25	0,50
ACR 3-50	50	0,50
ACR 4-100	100	0,50
AN 5-0	0	0,60
ACR 6-25	25	0,60
ACR 7-50	50	0,60
ACR 8-100	100	0,60

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### Resistencia a la compresión

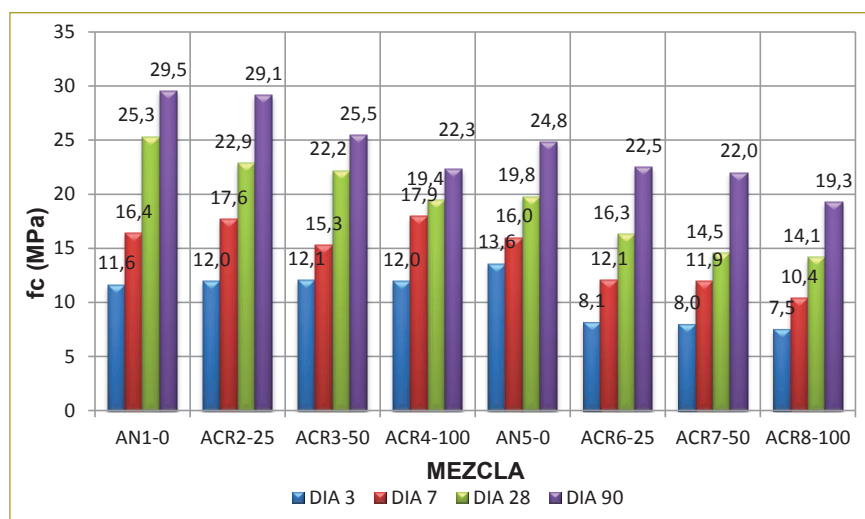
En la figura siguiente se muestran los resultados de resistencia a la compresión para las mezclas AN1-0 a la ACR4-100 con una relación agua/cemento de 0,5 y las mezclas AN5-0, a la ACR8-100 con una relación

agua/cemento de 0,6. Se puede apreciar en el gráfico que a medida que aumenta el porcentaje de ACR en la mezcla, se observa una merma en la resistencia a la compresión del concreto.

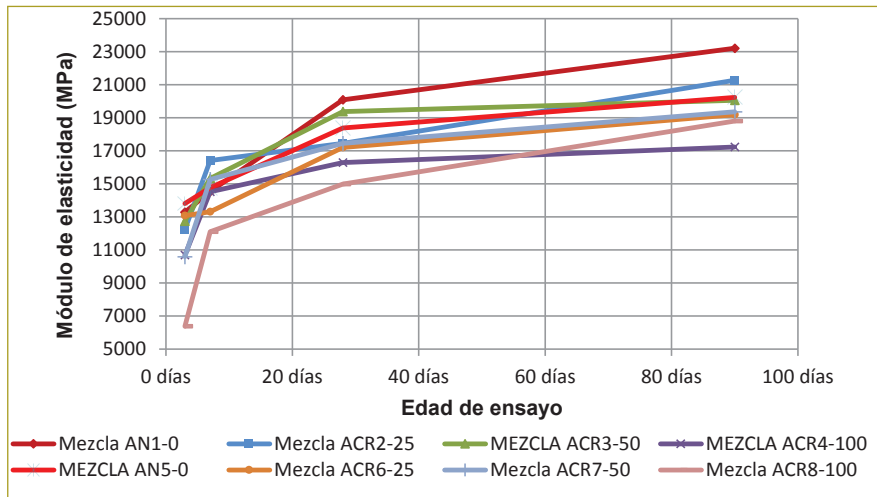
El porcentaje de disminución de la resistencia a la compresión a la edad de 28 días de las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 con respecto a la mezcla AN1-0 fue de 9,57, 12,35 y 32,16 %, respectivamente. Se obtuvo un comportamiento similar para las mezclas con relación agua/cemento de 0,6. Estos resultados son similares a los encontrados por Exteberria et al. (2007), quienes hicieron mezclas de concreto con porcentajes de 0, 25, 50 y 100 % de remplazo de agregado natural por ACR, encontrando que la resistencia a la compresión de mezclas con un 100 % de ACR tenían una reducción con respecto a la mezcla de control del 20 al 25 %. Las causas de esta reducción son la cantidad de ACR en las mezclas, la relación agua/cemento y el mortero adherido a los ACR que cumple un papel fundamental en la reducción de la resistencia a la compresión, ya que éste puede romperse en la zona de transición en la interfase agregado-pasta de cemento, por ser una zona débil en la estructura interna del concreto.

### Módulo de elasticidad

A renglón seguido se muestra la variación del módulo elástico a las diferentes edades de ensayo para las mezclas en estudio (figura 2).



**Figura 1.** Gráfico comparativo de resultados de resistencia a la compresión para las mezclas en estudio.



**Figura 2.** Influencia del contenido de ACR sobre el módulo elástico del concreto (A/C=0,5).

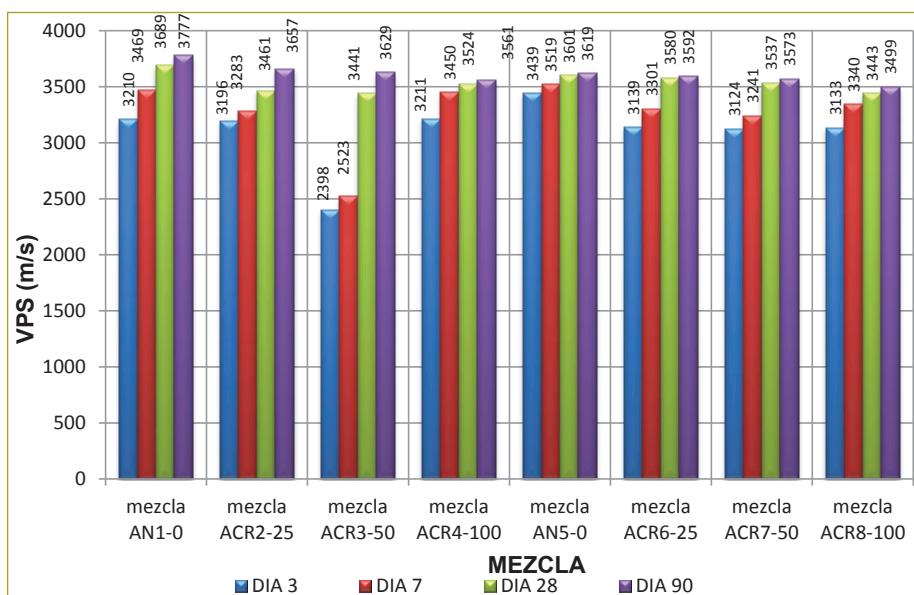
El porcentaje de reducción del módulo de elasticidad de las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 con respecto a la mezcla AN1-0 (mezcla patrón) a la edad de 28 días fue de 13,11, 3,56 y 18,92 %, respectivamente. Se obtuvo un comportamiento similar para las mezclas con relación agua/cemento de 0,6. Se aprecia que en la medida en que se aumenta el porcentaje de ACR en las mezclas, hay una reducción mayor en los valores de módulo de elasticidad.

Uno de los principales factores que influyen en la reducción del módulo de elasticidad del concreto con ACR es el módulo de elasticidad del agregado de

concreto reciclado, tal como indican McNeil & Kang, 2013, los cuales son más propensos a la deformación que los agregados naturales. Además, el ACR puede verse afectado por los impactos a los que es sometido durante el proceso de trituración del concreto (Yang, Chung & Ashour, 2008).

### Velocidad de pulso ultrasónico

A renglón seguido se muestra un gráfico comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico en las mezclas AN1-0 a la ACR4-100 y de la AN5-0 a la ACR8-100



**Figura 3.** Gráfico comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas en estudio.

(figura 3). Se observa un incremento de la velocidad de pulso ultrasónico a mayor edad en cada mezcla de concreto. De igual manera, se observa una tendencia a reducir el valor de esta medición en la mezclas con mayor contenido de agregado de concreto reciclado. Por último, la velocidad de pulso ultrasónico disminuyó en las mezclas con mayor relación agua-cemento. Los resultados son coincidentes con lo reportado por Al Khaleefi & Almutairi (2007), que hicieron ensayos de pulso ultrasónico sobre especímenes de tres mezclas con 0, 50 y 100 % de remplazo de agregado natural por ACR y una relación agua/cemento=0,53, obteniendo velocidades de pulso ultrasónico más altas para los concretos con menor porcentaje de ACR en la mezcla.

**Permeabilidad al ion cloruro**

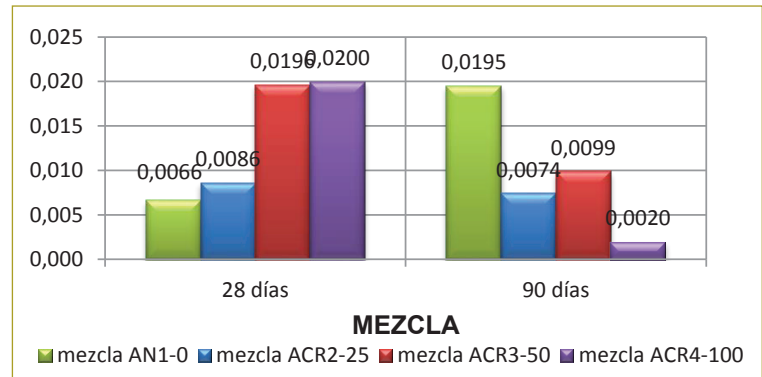
Más adelante se puede apreciar un incremento significativo en la penetración al ion cloruro en la medida en que se aumenta el porcentaje de agregado de concreto reciclado en la mezcla para las mezclas AN1-0 a la ACR4-100. También se puede observar que a los 90 días de ensayo la penetración al ion cloruro disminuye con respecto a la medida a los 28 días. Estos resultados son coherentes con otras investigaciones realizadas (figura 4).

Para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100, se observa una tendencia contraria. Por tal razón, es necesario realizar ensayos adicionales para comprobar de manera acertada la tendencia en este ensayo. Entre los factores que pudieron afectar los resultados están los problemas durante la preparación de los

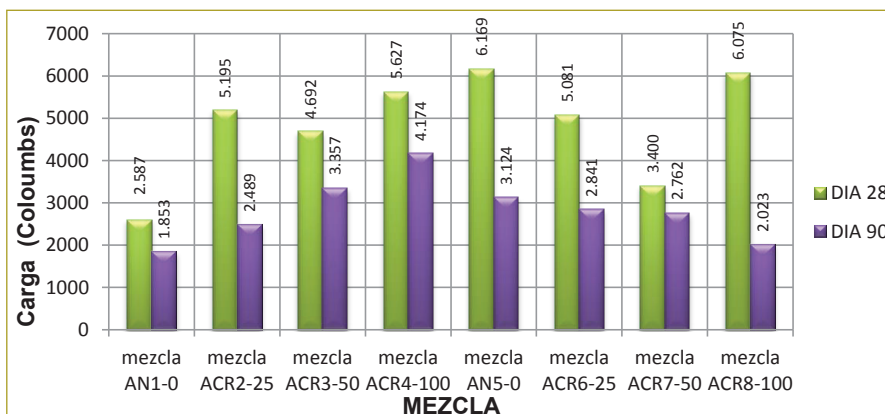
especímenes y su edad y curado, contenido de cemento y presencia de aditivos en el concreto con contenido de sales iónicas (Grace Construction Products, 2006). De acuerdo con lo establecido en la ASTM C1202-12, la mayoría de los concretos estudiados a 28 días tienen una alta penetración a los cloruros, mientras que a 90 días tienen una moderada penetración del ion cloruro.

**Sortividad**

A continuación se presenta un resumen del índice inicial de absorción para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100, para los especímenes ensayados a 28 días y 90 días (figura 5). Se observa en la edad de 28 días que en la medida en que se incrementa el contenido de ACR en la mezcla, aumenta la pendiente de la recta para la absorción inicial. Este incremento de pendientes en las rectas indica que los concretos con mayor contenido



**Figura 5.** Índice inicial de absorción para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 (A/C=0,5).



**Figura 4.** Gráfico comparativo en el ensayo de permeabilidad al ion cloruro para las mezclas en estudio.

**Tabla 3**  
Profundidad de carbonatación inicial y final en mm

Mezcla	Profundidad de carbonatación inicial (P <sub>i</sub> ) (36 días en la cámara)				Profundidad de carbonatación final (P) (106 días en la cámara)			
	Mezcla AN1-0	Mezcla ACR2-25	Mezcla ACR3-50	Mezcla ACR4-100	Mezcla AN1-0	Mezcla ACR2-25	Mezcla ACR3-50	Mezcla ACR4-100
P (mm)	1,8	2,4	10,3	3,4	22,4	22,4	30,3	23,0
t (años)	0,098	0,098	0,098	0,098	0,29	0,29	0,29	0,29

de ACR tienen una mayor tasa de absorción. A 90 días se obtuvo una tendencia diferente, con un alto valor en la absorción inicial para la mezcla AN1-0 y una absorción muy baja para la mezcla ACR4-100, resultados que no coinciden con los esperados, ya que al aumentar el ACR en las mezclas de concreto, la porosidad de este material se incrementa notoriamente, lo que se debería reflejar en un mayor índice de absorción.

### Carbonatación

En la tabla anterior se muestra la profundidad de carbonatación hallada durante un periodo de 104 días para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 (tabla 3). Una vez establecido este avance de carbonatación se determina el coeficiente de carbonatación obtenido en la cámara (K<sub>c</sub>), mediante la ecuación dada por la segunda ley de difusión de Fick ( $x = k \sqrt{t}$ ).

Se esperaba en el ensayo una reducción en el frente de carbonatación, en la medida en que se aumentaba el contenido de ACR en las mezclas, según lo obtenido en los estudios de la Waste & Resources Action Programme (WRAP), en los que se encontró que la pro-

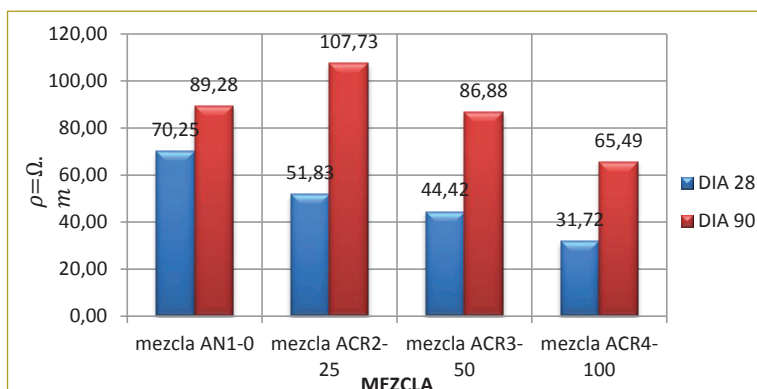
fundidad de carbonatación disminuye en la medida en que el contenido de ACR se incrementa en el concreto, probablemente por el aumento de la alcalinidad en el concreto debido al mortero adherido en los ACR. Sin embargo, con los datos obtenidos no se puede llegar a esta conclusión por las diferencias alcanzadas en los valores de profundidad de carbonatación.

### Resistividad

Se puede observar una tendencia a la disminución del coeficiente de resistividad en el concreto cuando se aumenta el porcentaje de ACR en la mezcla, lo que indica que el acero que se embebe en este tipo de concretos tiene un riesgo más alto de corrosión (figura 6). Con un porcentaje de remplazo del 100 % del agregado en la mezcla por ACR, se aprecia que hay una reducción del orden del 27 % en los valores de resistividad con respecto a la mezcla patrón. Adicionalmente, se observa que a mayor edad en el concreto aumenta el valor de resistividad. Esto se atribuye al incremento de porosidad en los concretos con ACR, por la presencia de una zona de transición interfacial que facilita la conducción iónica. La mayor parte de los concretos en estudio se clasifican como de riesgo alto de corrosión del acero de refuerzo.

### Impedancia

A continuación se presentan los diagramas de Nyquist, obtenidos para la espectrometría de impedancia realizadas a las diferentes muestras, a las edades de 28 días, en las que se observa un valor más alto de resistencia para la mezcla AN1-0 con respecto a las mezclas con ACR. De la misma manera, se observa que la mezcla con menor resistencia fue la ACR 4, lo que indica un cambio en la microestructura del concreto con ACR y mayor conductividad por la mayor porosidad presente.



**Figura 6.** Gráfico comparativo de coeficientes de resistividad para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. A/C=0,5.

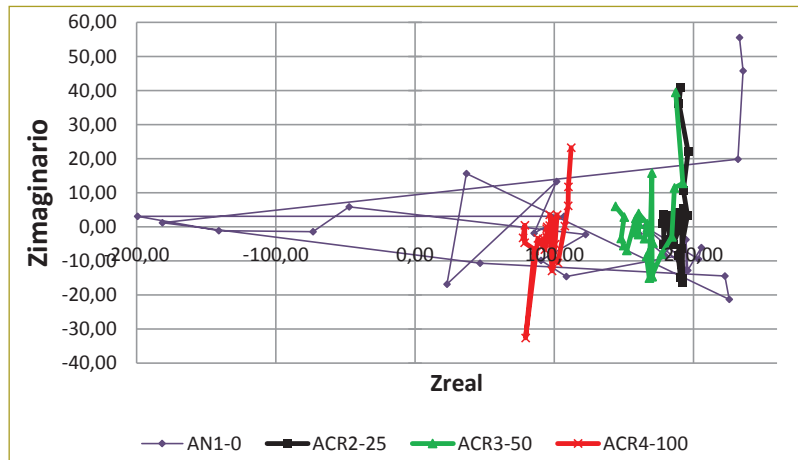


Figura 7. Gráfico de Nyquist para mezcla AN1-0. Edad 28 días.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo, se puede concluir lo siguiente:

- Las causas que inciden en la reducción de la resistencia a la compresión de concretos con ACR son las propiedades del ACR, su cantidad en la mezcla y la relación agua/cemento.
- El módulo de elasticidad del concreto disminuye en la medida en que se aumenta el porcentaje de ACR en las mezclas. La reducción del módulo de elasticidad para el tipo de ACR utilizado en este estudio fluctúa entre 18 y 25 %, cuando el porcentaje de remplazo de ACR en las mezclas es del 100 %.
- En la evaluación de algunas de las propiedades del concreto con ACR examinados, se pudo observar que a mayor porcentaje de remplazo del agregado natural por ACR, hay una afectación en el desempeño del concreto. Es así como se evidenció una tendencia a reducir la velocidad de pulso ultrasónico (mayor porosidad), un aumento significativo en la penetración al ion cloruro y una tendencia a disminuir el coeficiente de resistividad, lo que indica que el acero que se embebe en este tipo de concretos tiene un riesgo más alto de corrosión. Sin embargo, se hace énfasis en que para porcentajes de remplazo bajos de ACR en el concreto, la afectación de la durabilidad no es tan significativa.
- Se confirmó en el presente estudio lo encontrado en otras investigaciones respecto a que el valor de resistividad aumenta en la medida en que aumenta la edad en el concreto para concretos con ACR. De la misma manera, se pudo establecer para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 que el valor de resistividad se reduce con el aumento en la proporción de ACR en la mezcla de concreto, lo que trae como consecuencia un mayor riesgo a la corrosión del acero de refuerzo en este tipo de concretos. Esto indica que la conductividad en concretos con mayor porcentaje de ACR es mayor a causa de la mayor porosidad del material debido a la zona de transición en la interfase agregado-pasta de cemento.
- Se confirmó en el presente estudio que la resistividad obtenida de los gráficos de Nyquist a diferentes frecuencias es menor para los concretos con ACR, en comparación con los concretos convencionales. Esto se debe al cambio en la microestructura del concreto y a las diferencias en la conductividad del material por la mayor porosidad presente.
- En el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico, la mayoría de los especímenes ensayados mostraron que las mezclas de concreto con ACR están clasificadas como ligeramente buenas a buenas. Adicionalmente, se observó que a mayor porcentaje de remplazo de ACR por agregado natural en los concretos ensayados, se presenta una reducción en la velocidad de pulso ultrasónico.
- Es recomendable hacer un análisis similar al realizado en el presente estudio a concretos con ACR proveniente de diversas fuentes conformadas por los centros de tratamiento o aprovechamiento, definidos en la Resolución 1115 del 26 de septiembre de 2012,

con el propósito de confirmar la factibilidad del uso de agregados reciclados en la industria del concreto, y analizar su efecto en las propiedades del concreto.

- Se recomienda efectuar investigaciones posteriores del comportamiento del concreto con ACR en miembros estructurales, así como evaluar los fenómenos de flujo plástico y retracción del concreto con estos agregados.
- Es recomendable hacer investigaciones posteriores, utilizando adiciones y puzolanas, como cenizas volantes, humo de sílice y metacaolín, para mejorar las propiedades de durabilidad de concretos con ACR.
- Es necesario realizar ensayos adicionales de permeabilidad al ion cloruro, sobre todo si se considera que los resultados obtenidos no fueron concordantes con otras investigaciones hechas.

## REFERENCIAS

- Al Khaleefi, A. & Almutairi, N. (2007). Ultrasonic pulse testing, chloride content and sulphate content of recycled concrete as coarse aggregate. *Our World in Concrete & Structures*. Singapur.
- Arriaga, L. E. (2013). *Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado* (tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.
- Asociación Española de Gestores de Residuos de Construcción y Demolición (noviembre de 2010). *Control de los residuos de construcción y demolición en los ayuntamientos*. España.
- Asocreto (2011). Agregados reciclados presentes en la rehabilitación de estructuras. *Asocreto*, 108, 62.
- ASTM C1202-12 (s.f.). Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration.
- ASTM C1585-11 (s.f.). Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes.
- Bojacá, N. R. (2013). *Propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados* (tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.
- Buozón Orgeira, N. (2011). *Evaluación del proceso de hidratación de morteros de cemento con ceniza volante mediante métodos destructivos y no destructivos* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España.
- Cassiano, J. (2010). *Valoración de propiedades eléctricas del concreto y su correlación con algunas propiedades mecánicas y de durabilidad* (tesis de maestría). Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá.
- Cement & Concrete Association from New Zeland (2011). *Best practice guide for the use of recycled aggregates in new concrete*. Nueva Zelanda.
- Coambiente S.A. (2009). Gestión Integral de escombros. Anteproyecto para la gestión integral de los RC&D en el Distrito Capital. Bogotá.
- Cortina Ramírez, J. M. (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción*. Cholula, Puebla, México.
- Cruz, J.M., Landine, J., Lalinde, L.F. & Fita, I.C. (2010). *Evaluación de las propiedades eléctricas de morteros de cemento con puzolanas* (tesis de maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia España.
- Desai, S.B. & Limbachiya, M.C. (2006). Coarse recycled aggregate – a sustainable concrete solution. *The Indian Concrete Journal*, 17-23. ACC Limited Maharashtra.
- Exteberria, M., Vásquez, E. & Marí, A.R. (2007). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 735-742.
- Froudinston-Yannas, S. (1977). Waste concrete as aggregate for new concrete. *ACI Journal*.
- Fuertes, A. (2012). Hacia un desarrollo sostenible en la producción de concreto a partir de desechos de construcción de mampostería de arcilla. Bogotá.
- Grace Construction Products (2006). Technical Bulletin TB - 0100 Understanding AASHTO T277 y ASTM C1202 Rapid Chloride Permeability Test.
- Guzmán, D. S. (2002). *Durabilidad y patología del concreto*. Bogotá: Instituto del Concreto, Asocreto.
- Kang, T.-K., Kim, W., Kwak, Y.-K., & Hong, S.-G. (2012). The choice of recycled concrete aggregate for flexural members. *Proceedings of 18th International Association for Bridge and Structural Engineering Congress on Innovative Infrastructure*. Seúl.
- Limbachiya et al. (2000). Use of recycled aggregate in high-strength concrete. *Materials and Structures*, 574-580.
- Lizarazo, J. (2008). Ensayos típicos en la determinación de la durabilidad del concreto. Seminario ACI. Ataque químico en el concreto.
- Maruyama, I. S. (2004). Flexural properties of reinforced recycled beams. *Proceedings of International Rilem Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures*, 525-535.
- Maruyama, I., Sogo, M., Sobage, T., Sato, R. & Kawai, K. (2004). Flexural properties of reinforced recycled beams. *Proceedings of International Rilem Conference on the Use of Recycled Materials in Buildings and Structures*.
- McNeil, K. & Thomas, H. & Kang, K. (2013). *Recycled Concrete Aggregates: A Review*. Estados Unidos.
- Natalani, M.B., Klees, D.R. & Tirner, J. (2000). Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste Argentina.
- Norma española UNE 83988-1 (2008). Durabilidad del hormigón. Método de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica, parte 1: Método directo (método de referencia).
- NSR-10 (s.f.). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente.
- Pinzón, H. (2009). Valoración de algunas propiedades del concreto adicionado con vidrio pulverizado. Bogotá.
- Corral Higuera, R., Arredondo-Rea, S.P., Neri Flores, M.A., Gómez-Soberón, J.M., Almaral Sánchez, J.L., Casterona González, J.H., Martínez Villafane, A., & Almeraya Calderón, F. (2011). *Chloride Ion Penetrability and Corrosion Behavior of Steel in Concrete with Sustainability Characteristics*.
- Rashwan, M.S. & Abourizh, S. (1997). The Properties of Recycled Concrete. *Concrete*. Estados Unidos.
- Rebolledo, N. R. (2010). *Aplicación de técnicas no destructivas al estudio del hormigón fresco* (tesis de maestría). Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Shayan, A. & Xu, A. (2003). Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate. *ACI Materials Journal* 100(5), 371-380.
- Torres, N. (2009). Valoración del paso de cloruros en concretos con diferentes características. *Boletín técnico de la seccional*

Colombiana del Instituto Americano del Concreto ACI. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Torres, N. (2010). Concreto con agregados provenientes de escombros de construcción y demolición en Colombia. *Boletín Técnico de la Seccional Colombiana del Instituto Americano del Concreto ACI*.

Yang, K., Chung, H.-S. & Ashour, A. (2008). Influence of Type and Replacement Level of Recycled Aggregates on Concrete Properties. *ACI Materials Journal*.

Zhang, M. I. (2009). *Recycled Concrete Aggregate and its Application in New Zealand Ready Mixed Production*. New Zealand Concrete Industries Conference.





# Ensayos de tensión y flexión sobre una nueva propuesta de junta en pilotes hincados

## Tension and bending tests of a newly proposed joint for driven piles

ÓSCAR VLADIMIR RUIZ SUÁREZ<sup>1</sup> - PEDRO NEL QUIROGA S.<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.
2. Profesor asociado y director del Centro de Estudios de Estructuras y Materiales.

oscar.ruiz@mail.escuelaing.edu.co - pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/01/2017 Aceptado: 20/04/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### Resumen

Como resultado de este trabajo de grado se desarrolló un nuevo tipo de junta para pilotes hincados, con el fin de estudiar su comportamiento ante las principales solicitaciones de trabajo: tensión y flexión.

Para esto se efectuaron cuatro ensayos a tensión simple y uno a flexión sobre el modelo de la junta propuesta con el montaje que se comenta más adelante, uno para cada tipo de ensayo; como se describe en el desarrollo de este trabajo, dichos ensayos se realizaron en el Laboratorio de Materiales de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Evaluando experimentalmente el comportamiento ante diferentes solicitaciones estáticas (flexión y tensión axial), en condiciones normales, es decir, sin considerar la incidencia que tiene el hecho de ser una estructura enterrada.

A partir de los resultados de los ensayos experimentales, se determinaron los puntos críticos y la capacidad ante las solicitaciones mencionadas de la junta ensayada. Se obtuvo la información que se tabuló, de tal modo que sirva como guía para el diseño estructural de este tipo de juntas.

El prototipo de junta diseñada cumplió con las condiciones para resistir las solicitaciones más críticas a la que pueda estar sometida en su vida útil.

**Palabras claves:** junta, pilote hincado, tensión en pilotes, flexión en pilotes.

### Abstract

This article reports on a new type of joint for driven piles to study their behavior in the main stresses of work, such as tension and bending.

There were four simple tension and bending tests on one joint model with the proposed structure discussed below, one for each type of test. As described in the development of this work, these tests were performed in the laboratory of Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Their behavior was experimentally assessed under different static stresses (bending and axial tension), under normal conditions, i.e. without considering the incidence of the structure being buried. From the results of the experiments, critical points and the capacity to endure stresses of the tested joint were determined. The information was tabulated, so that it works as a guide to the structural design of these joints.

The designed prototype joint satisfied the conditions to endure the most critical stresses to which it may be subjected in its lifetime.

**Keywords:** joint, driven pile, tension piles, bending in piles.

## INTRODUCCIÓN

El uso de pilotes prefabricados hincados constituye una técnica eficiente para la construcción de cimentaciones profundas de estructuras con cargas importantes en suelos sueltos o blandos poco competentes. Por lo general, para llegar a estratos competentes se necesitan longitudes de pilotes de 20 a 50 m, los cuales normalmente se fabrican en longitudes de 12 m, por lo que para lograr la longitud total hay que utilizar entre los tramos prefabricados elementos de conexión —que con frecuencia son de acero—, de tal modo que se garantice una adecuada transferencia de solicitaciones entre un tramo y otro.

En nuestro medio se tiene conocimiento de dos fabricantes de estos elementos de conexión (juntas), y otros tres tipos que se pueden encontrar por internet de otros países. Las que se utilizan en el país se deben soldar en obra, lo cual desde el tipo constructivo es una desventaja por el bajo rendimiento y demora en el hincado, por lo cual la junta propuesta en este trabajo es unida por bulones.

Para efectos de este trabajo de grado se desarrolló un nuevo tipo de junta para pilotes hincados prefabricados, con el fin de estudiar su comportamiento ante las

principales solicitaciones de trabajo, de tal manera que esto pueda servir como base para el análisis de dicho tipo de juntas, y de forma específica para esta nueva propuesta. Quedaría por estudiar la incidencia del suelo sobre estos elementos, que se considera influyente para tener en cuenta en el buen comportamiento de las juntas dentro de su vida útil de servicio.

En la figura anterior se presenta de un modo particular el comportamiento del pilote largo, para conocer mejor las solicitaciones a las que se puede ver sometido un pilote (figura 1).

Como las longitudes que se requieren para este tipo de pilotes son considerablemente grandes, pueden estar en promedio entre 30 y 50 m, incluso hasta 60 m, y teniendo en cuenta que en nuestro medio el transporte se permite máximo para tramos de 12 m, se hace necesaria la unión de los tramos mediante “juntas”, que es el tema que nos compete en este trabajo de investigación.



Figura 2. Pilotes prefabricados y juntas en los extremos.

Fuente: <http://www.construaprende.com/docs/trabajos/306-pilotaje-cimentaciones-profundas?start=6>.

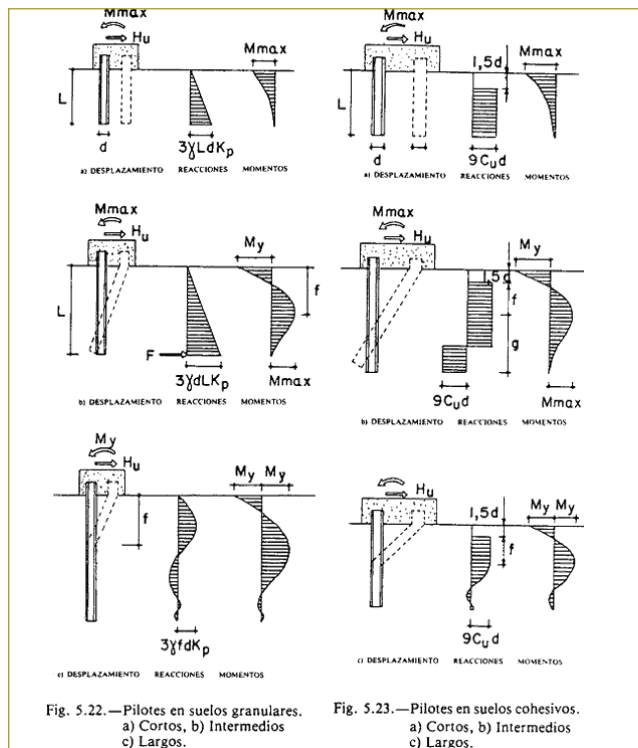


Figura 1. Diagramas de fuerzas y momentos en pilotes [4].

## JUNTAS EN PILOTES HINCADOS

Estas juntas están hechas de acero, con diferentes formas geométricas y volúmenes prismáticos, de acuerdo con la sección transversal del pilote. La unión entre las dos partes de una junta se realiza por acople y luego con un cordón de soldadura en el contorno; en otros casos se hace el acople entre las dos partes y luego se introducen bulones o pasadores para que no se separen las partes. En nuestro trabajo de investigación nos enfocaremos en esta segunda opción.

Después de haber intentado conseguir información sobre estas juntas con dos empresas dedicadas a la fabricación de tales elementos en nuestro medio, y al ver que no era posible por razones de privacidad, se investigó

en libros y en internet, y se halló que las juntas con mayor información disponible, que han sido patentadas, son AAB, Hércules y CK-300, las cuales sólo aparecen en internet. Según [5], en el Reino Unido se conocen además las Bulken, GKN y West.

Las juntas se fabrican con materiales de alta calidad y están especialmente diseñadas para resistir esfuerzos incluso mayores que la propia sección tipo del pilote, como han demostrado los distintos ensayos a flexión, compresión y tracción realizados a éstas [6].

### SOLICITACIONES EN LAS JUNTAS

Este tipo de juntas, según las cargas y esfuerzos a que van a estar sometidas (figura 1), así como por hincado, presentarán solicitaciones a tensión, compresión, flexión, corte, y en el caso de la formación de cavernas o vacíos entre el suelo y el fuste del pilote, en el sitio donde está la junta, se presentará flexocompresión. Además, hay que considerar los agentes agresores presentes en el suelo donde se hincan los pilotes, por lo cual en este trabajo se realizaron ensayos a tensión axial y flexión sobre una propuesta de junta.

### INCONVENIENTES EN LAS JUNTAS

Las juntas para unir tramos de pilotes prefabricados hincados presentan inconvenientes como los siguientes:

#### De tipo constructivo

La mayoría de las juntas al acoplarse en obra, se deben soldar en los extremos que se van a unir, lo que implica en primer lugar que no se puede asegurar un control de calidad adecuado en la aplicación de la soldadura, ya que se debe hacer de manera rápida y sin revisión adecuada, lo que implica tener un margen alto en la reducción de la resistencia, que no permite aprovechar los materiales al máximo, teniendo en cuenta de antemano que la soldadura es la que va a tener que soportar las mayores solicitaciones [7].

Por otro lado, está el rendimiento en obra; estas juntas son poco prácticas, pues al acoplar los extremos que se van a unir, se debe esperar a que se suelden en contorno las partes de las juntas que hay que unir, para luego continuar con el hincado del pilote.

### Durabilidad

Otro inconveniente para todos los tipos de estas juntas es la alta probabilidad de disminución de resistencia y durabilidad debido a agentes agresores presentes en el suelo con el que están en contacto permanente, lo cual es otro factor fundamental que se debe tener muy en cuenta para el buen funcionamiento del conjunto.

Dichos agentes agresores son suelos con pH alto, agentes químicos, sales, entre otros, que causan oxidación, corrosión y, por ende, disminución de la sección transversal de los materiales con que está construida la junta.

Como información adicional, se presentan a continuación los requisitos mínimos que considera la Norma Colombiana de Construcción y Diseño Sismo Resistente de 2010 - NSR-10 [7].

### PROGRAMA EXPERIMENTAL

Luego de haber obtenido la mayor información posible, de tener una mayor claridad sobre la manera en que funcionan las juntas, las solicitaciones a las que se pueden ver sometidas, complementando con la información y asesoría de los directores de este trabajo, se realizaron varios prototipos iniciales en diferentes materiales y después se procedió a la construcción de dos prototipos iniciales con láminas de acero, los cuales se ensayaron a tensión axial.

De acuerdo con el comportamiento de los dos, se escogió para ensayos a escala 1:1 la que mejor se acopló en su armado y que mejor comportamiento tuvo en el ensayo. Previamente, se hicieron los cálculos preliminares, de conformidad con los diferentes estados límite que se esperan en este tipo de ensayos.

Después de esto, se construyeron cuatro juntas que se ensayaron a tensión axial, hasta lograr que la junta fallara, y por último se construyó una más para hacerla fallar a flexión. Con esto se tabuló la información obtenida de los ensayos, para tener una guía en el comportamiento que pueden presentar estas juntas. De igual manera, para el ensayo a flexión se tabulan los resultados y se dan las conclusiones pertinentes.

### ENSAYO PRELIMINAR A TENSIÓN

Con estas indicaciones y cálculos se procedió a armar el montaje. La prueba se realizó para uno de los dos

modelos iniciales; sin embargo, al hacer el ensayo, la falla se presentó en la soldadura entre las láminas.

La falla se produjo con una carga de 1,5 toneladas, cuando se esperaba que se presentara con una carga de 3,7 toneladas por fractura en corte de los pasadores (ver las memorias de cálculo que se anexan más adelante).

De esto se concluyó que se debía mejorar la conexión con soldadura entre las láminas de acero que conforman la volumetría de la junta.

Luego de ser seleccionada la junta, se elaboran tres especímenes: dos para tensión axial y uno para flexión. Después se ensayará en condiciones normales y se evaluará el comportamiento, de acuerdo con los requisitos en NSR-10, sobre este tipo de juntas en estudio.

### PRIMER ENSAYO A TENSIÓN

Con base en el ensayo realizado a la muestra preliminar, se procede a la fabricación de la primera junta a escala real, la cual se hace de sección transversal cuadrada de 300 x 300 mm con lámina de 1/4" (6 mm), bulones de 5/8" que al final quedan de 13 mm en la parte de menor diámetro, en grado 5 ( $f_y=420$  MPa).

La propuesta es que la parte cercana a la cabeza del bulón tenga un menor diámetro, de tal modo que cuando el bulón se introduzca a presión, quede fijo entre las paredes de las platinas que conforman la junta, de manera que se garantice la excelente unión entre las partes que la conforman.

En este primer ensayo se presentó falla por fluencia en la platina que se unía con la varilla que iba a las mordazas. Se aprovecha esta primera junta para fallarla a tensión sin tener el macizo de concreto, colocándole platinas en los extremos y de éstas *soldadas dos trozos* de varillas de 15 cm de diámetro 1-1/4".

Se esperaba falla en la platina por desgarramiento causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 17 toneladas, de acuerdo con las memorias de cálculo. La soldadura utilizada para esta muestra es de 420 MPa a tensión, en el contorno de las varillas.

Luego de seguir deformando la lámina, se terminó por falla por fractura la soldadura entre la lámina y una de las varillas.

Con estos resultados, se encontró que una forma de mejorar el siguiente modelo era que las platinas de los extremos para el ensayo a tensión debían ser de un

espesor mayor, el cual se define haciendo los cálculos respectivos.

Adicionalmente, se debe disminuir la longitud en la que al pasador se le reduce el diámetro para que quede fijo a la junta, con el fin de que sea más eficiente.

### SEGUNDO ENSAYO A TENSIÓN

Luego de haber realizado el ensayo anterior, se procedió a reemplazar esa platina que era de 1/4" por una de 1/2", con el fin de encontrar la fuerza de tensión que provoca la falla de los pasadores o de la platina de la junta como tal.

El montaje es igual al anterior, con la única diferencia de tener una platina de mayor espesor. Para este ensayo se decidió perforar la platina en un diámetro aproximadamente igual a la varilla, para luego soldar por las partes superior e inferior, con el fin de darle mayor resistencia a la unión entre la platina y la varilla.

Cuando se inició el ensayo se esperaba nuevamente una falla por desgarramiento en la platina de la junta propiamente dicha, causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 16,48 toneladas, según se observa en las memorias de cálculo. Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 19,22 toneladas por desprendimiento entre la soldadura de la varilla y la platina. Es decir, 26,7 % más de resistencia en comparación con la prueba inmediatamente anterior.

Por otra parte, se observa que los pasadores ya presentan una deformación más notoria, debido posiblemente a fractura por corte o por aplastamiento contra las paredes de la platina; por tal razón, esta muestra no se volvió a llevar a laboratorio y se decidió hacer una nueva junta, tomando en cuenta las conclusiones obtenidas de este ensayo.

### TERCER ENSAYO A TENSIÓN

Después de haber realizado el ensayo inmediatamente anterior, se procedió a reemplazar esa platina que era de 1/2" por una de 1/2" de 300 x 300 mm completa y sobre ésta soldada una de 1/4" de 150 x 150 mm, con el fin de encontrar la fuerza de tensión que provoque la falla de los pasadores o de la platina de la junta.

El montaje es igual al anterior, con la única diferencia de tener una platina de mayor espesor. Cuando se inició el ensayo, se esperaba nuevamente una falla por



**Figura 3.** Imágenes de la falla.

desgarramiento en la platina de la junta propiamente dicha, causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 17 toneladas, según se observa en las memorias de cálculo.

Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 22,67 toneladas por desprendimiento entre la soldadura y las platinas de 1/4" que conforman los volúmenes internos de la junta. Es decir, 18 % más de resistencia en comparación con la prueba inmediatamente anterior.

Fuera de esto, se presentó por primera vez falla por desgarramiento por esfuerzo cortante en la platina de 1/4" que conforma los prismas internos de la junta, lo que causó que se levantara la platina de la parte superior, como se observa en la siguiente imagen (figura 3).

Por otra parte, uno de los pasadores falló por aplastamiento y cortante, y otro quedó doblado (figura 3).

Se concluyó que como en esta ocasión no falló la platina de los extremos, sino la soldadura de unión interna, se debe reforzar mejor la soldadura que se va a hacer, es decir, aplicar interna y externamente a las tapas del prisma. También hubo falla en la soldadura de las caras externas de una de las dos partes de la junta.

#### CUARTO ENSAYO A TENSIÓN

Luego de haber hecho el ensayo inmediatamente anterior, se procedió a aplicar cordón de soldadura, no sólo

dentro de los prismas sino también por la parte externa, puliendo muy bien para que éstos sigan encajando perfectamente; además, se le aumentó la resistencia a la soldadura. El montaje es igual al anterior, con la única diferencia de tener mayor longitud de soldadura y aumento de resistencia de 60.000 psi a 70.000 psi y electrodo 13.

Cuando se inició el ensayo se esperaba nuevamente una falla por desgarramiento en la platina de la junta propiamente dicha, causado por esfuerzo cortante cuando se alcanzara una carga de 16,47 toneladas, que es lo que equivale a la mitad de lo que se observa en las memorias de cálculo, esto es, para una sola platina. Sin embargo, la falla se produjo con una fuerza de 28,45 toneladas por desprendimiento de la varilla del extremo de la platina de los extremos, es decir, 25,5 % más de resistencia en comparación con la prueba inmediatamente anterior. En esta oportunidad se presenta por falla en la soldadura de la varilla en la que se aplica la fuerza de tensión.

Se concluyó, entonces, que como las platinas y pasadores no presentaban mayores deformaciones, esto demuestra que la junta contaba con una capacidad muy superior a lo registrado.

A continuación se presenta una tabla de resumen de los cálculos utilizados y los resultados de laboratorio.

## Resumen de cálculos de estados límite (primer ensayo a tensión)

Tipo de falla	Carga de falla esperada (t)	Carga de falla (t) en el laboratorio
<b>En el bulón</b>		
Fractura en corte	25,00	15,17
Aplastamiento contra las paredes del agujero	32,06	15,17
Aplastamiento	40,92	
<b>En las platinas</b>		
Fluencia	361,78	
Corte en el área neta efectiva	32,95	
Aplastamiento en el área proyectada del bulón	48,09	
Desgarramiento por esfuerzo cortante	45,30	
Desgarramiento por esfuerzo a tensión	247,96	
Fractura de la sección neta a tensión	108,23	
<b>En la platina (tapa)</b>		
Fluencia	21,46	15,17
<b>En la varilla</b>		
Fluencia	33,91	
<b>En la soldadura</b>		
Desgarramiento*	19,55	15,17

\*Falla presentada en el ensayo de laboratorio.

## Resumen de cálculos de estados límite (segundo, tercer y cuarto ensayo a tensión)

Tipo de falla	Carga de falla esperada (t)	Carga de falla (t) en el laboratorio
<b>En el bulón</b>		
Fractura en corte•	25,00	19,22, 22,67 y 28,45
Aplastamiento contra las paredes del agujero	32,06	19,22, 22,67 y 28,45
Aplastamiento	40,92	
<b>En las platinas</b>		
Fluencia	361,78	
Corte en el área neta efectiva	32,95	
Para una platina•	16,48	19,22, 22,67 y 28,45
Aplastamiento en el área proyectada del bulón	48,09	
Desgarramiento por esfuerzo cortante	45,30	
Desgarramiento por esfuerzo a tensión	247,96	
Fractura de la sección neta a tensión	108,23	
<b>En la platina (tapa)</b>		
Fluencia*	42,92	
<b>En la varilla</b>		
Fluencia	33,91	
<b>En la soldadura</b>		
Desgarramiento*•	19,55	19,22, 22,67 y 28,45

\*Falla presentada en el segundo y cuarto ensayo de laboratorio.

•Falla presentada en el tercer ensayo de laboratorio.

### ENSAYO A FLEXIÓN

Se realiza de acuerdo con la metodología establecida en la Norma Europea UNE-EN 12794:2006, en la que se estudian la robustez y la rigidez del tipo de junta propuesta.

El ensayo a flexión consiste en estudiar la deflexión en la junta a partir de una carga estática.

La muestra ensayada está formada por dos elementos de concreto armado, de sección transversal cuadrada de 30 cm de lado, unidos por la junta objeto de estudio. La longitud del pilote es de 2,8 m.

El ensayo a flexión que se desea realizar tendrá dos etapas. En la primera se estudia la rigidez a 75 % del momento de falla teórico y en la segunda hasta el valor de la carga última. El valor del momento de falla se presenta más adelante.

El montaje que se va a utilizar para este ensayo se presenta en el siguiente esquema, en el que también se muestran los diagramas de cortante y momento.

Las cargas están aplicadas a los tercios de la luz.

Por lo tanto, si la tensión máxima que puede soportar esta junta, según los cálculos anteriores y teniendo en cuenta la disminución por fisuración del concreto, es de:

$$20,28 \text{ t}$$

Y teniendo de precedente que la junta antes de la falla está inmediatamente después en el rango elástico, el brazo, entre la resultante de compresión y tensión, es aproximadamente 2/3 de h.

Por tanto

$$M = 4,06 \text{ T-m}$$

De aquí que

$$P = 8,69 \text{ t}$$

Con esta carga se espera que se presente la falla por flexión.

Refuerzo longitudinal 2 N.º 6 + 2 N.º 5

Refuerzo transversal estribo N.º 3 de 2 ramas C/,075

$$F_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 = 60.000 \text{ psi}$$

De acuerdo con la nomenclatura de la norma en mención, la rigidez en la junta ( $EI_{eq}$ ) se calcula teniendo

en cuenta que el elemento está sometido a flexión mediante dos cargas puntuales e idénticas, aplicadas a un tercio de la longitud del vano (figura 4).

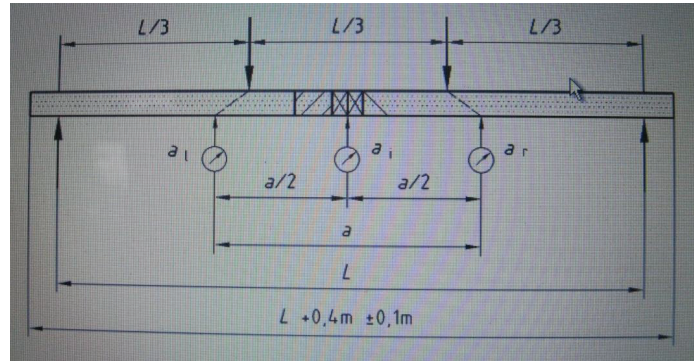


Figura 4. Disposición del ensayo a flexión.

Fuente: Norma UN 12794:2005+A2:2007.

Los valores registrados por los deformímetros tienen un valor inicial bajo su peso propio. Se tiene la precaución de que el incremento de carga de cada escalón se elija de tal manera que se efectúen al menos diez escalones de carga antes de que se alcance el momento flector último.

Para llegar al momento de interés se debe aplicar una carga, la cual debe ser reducida debido al peso propio del pilote. Así, el valor de esta carga es:

Tabla 1

Carga de ensayo para 75 % del momento de falla

Considerando la falla en la platina

Dimensiones de la muestra (cm)	Momento de falla- Mfalla (t-m)	Momento por peso propio- Mpp (t-m)	Momento total -MT (t-m)	Carga de ensayo (t)
30 x 30 x 280	3,04	0,21	2,83	6,06

Resultados del ensayo a flexión

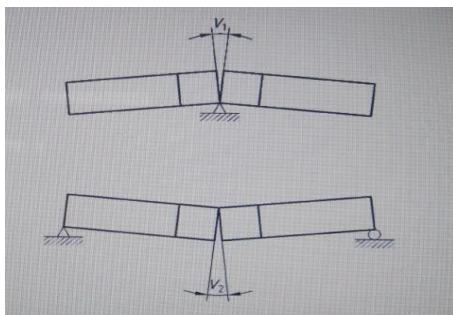
Dimensiones de la muestra (cm)	Momento de falla- Mfalla (t-m)	Momento por peso propio- Mpp (t-m)	Momento total -MT (t-m)	Carga de ensayo (t)
30 x 30 x 280	3,10	0,21	2,88	6,18

### RESULTADOS

Con el propósito de facilitar el registro interno de los datos del ensayo, se presenta el siguiente cuadro del resumen de resultados:

N.º	Fecha de ensayo	Tipo de junta	Sección	Refuerzo	Mfalla (Ton-m)	V1 (mm)		V2 (mm)		Vo (mm)
						Prom.	Med.	Prom.	Med.	
1	Flexión	Mecánica (bulón)	30 x 30 cm	2-6+2-5	3,04	1,7	3,4	2,3	2,9	1,98
					3,10	1,7	3,4	2,3	2,9	1,98
Diferencia de Resultados (%) (Teórico vs. ensayo)					-1,8 %					

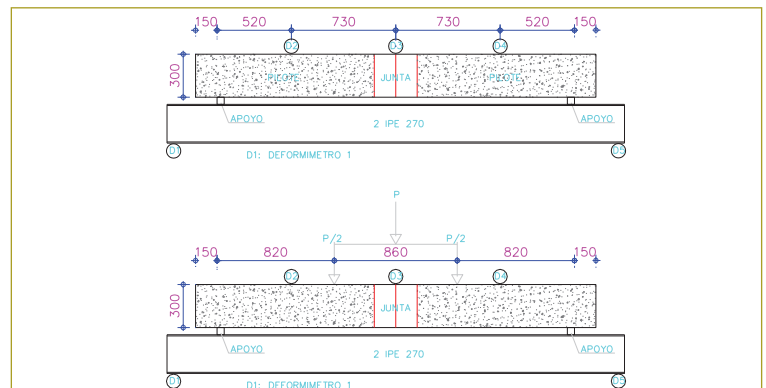
Mflector	$\delta_i$ mm	$\delta_l$ mm	$\delta_r$ mm	$\delta_m$ mm	L (m)	h (m)	a (m)	Carga (t)	M (t-m)	El eq (t-m <sup>2</sup> )
75 % teórico	6,0470	0,2781	0,1335	5,841	2,4	0,3	0,3	6,06	2,83	44,79
Múltimo	6,047	0,2781	0,1335	5,841	2,4	0,3	0,3	6,18	2,88	45,65
								-1,9 %	-1,9 %	-1,9 %



**Figura 5.** Esquema de medidas V1 y V2.  
Fuente: Norma UN 12794:2005+A2:2007.

En el laboratorio se registró el valor del momento último cuando la probeta de ensayo estaba a punto de fallar, ya sea por las fisuras en el concreto o por un notable deterioro de la junta en su función de conectar los dos elementos.

Se construyó la junta a la cual se le unieron las varillas de refuerzo con soldadura, según cuantía exigida por NSR-10 en C.15.11.5.4 (figura 6). Vale la pena aclarar que el refuerzo principal se coloca teniendo en cuenta el recubrimiento mínimo que solicita la NSR-10, es decir, 7,5 cm, con el fin de hacer el ensayo en condiciones de obra.



**Figura 6.** Esquema del ensayo a flexión.

De acuerdo con lo obtenido en el ensayo a flexión y la falla presentada, se encuentra que la diferencia entre el momento teórico de falla y el obtenido en laboratorio





**Figura 7.** Imágenes de la falla.

El módulo de elasticidad esperado con respecto al obtenido da una diferencia de 11,8 %.

es de 1,8 %, lo que es aceptable si se considera que el modelo de pilote ensayado se hizo según requisitos de NSR-10, con recubrimiento de 7,5 cm por los cuatro lados, que es como realmente se deben fabricar estos pilotes; por lo tanto, el ensayo se realizó como en verdad debía hacerse, es decir, con las condiciones con que el pilote y la junta van a trabajar.

Al tener la mitad de la sección con concreto de recubrimiento la sección presenta una más rápida fisuración y por consiguiente una mayor deformación que es considerada como la de falla, ya que sin incrementar la carga el modelo seguía deformándose (figura 7).

En los deformímetros 2 y 4, por el contrario, las deformaciones siempre van en aumento, aunque en el deformímetro 2 entre la carga de 2,8 y 3,5 t la deformación no aumenta, pero de ahí en adelante la deformación se incrementa más rápidamente. En el caso del deformímetro 4, entre la carga de 3,5 y 4,2 t la deformación disminuye un poco, pero después de la carga de 4,9 t la deformación aumenta más rápidamente.

## CONCLUSIONES

De conformidad con los ensayos realizados a la junta propuesta dentro de este trabajo de grado, se puede concluir lo siguiente:

- Los puntos de la junta con más probabilidad de falla son: a) las uniones soldadas entre los prismas y la platina fallan por desgarramiento (figura 3); b) la platina de los prismas falla por corte en el área neta efectiva y por último los bulones, que presentaron falla por aplastamiento contra las paredes de la platina.
- De acuerdo con el ensayo 3 a tensión simple, la secuencia de falla en este tipo de junta es la siguiente: a) falla por corte en el área neta efectiva de la platina de los prismas; b) falla por desgarramiento de las uniones soldadas entre los prismas y la platina; c) falla por aplastamiento contra las paredes de la platina en los bulones.
- Por lo anterior, se concluye que los espesores de las paredes de los prismas deben ser mayores que el resto de las platinas utilizadas.
- Los bulones deben tener un mayor diámetro y deben ser de la más alta resistencia que se puedan encontrar en el mercado (mínimo G-8  $f_y=490$  MPa). Además, los bulones deben quedar intercalados, entre las dos partes de la junta.
- La resistencia máxima alcanzada a tensión axial fue de 28,45 toneladas, después de cuatro ensayos.
- La carga de falla o última a la que se podría llevar la junta, según lo observado en los diferentes ensayos, es mucho más que la carga máxima alcanzada.
- Por lo anterior, se debe tener especial cuidado en las uniones soldadas entre las platinas y los prismas, así como en la distancia de las perforaciones para los bulones al borde de la platina, ya que cuanto más alta la distancia, mayor resistencia área neta efectiva va a resistir el corte, y el diámetro necesario del bulón, según las sollicitaciones previstas.
- En consonancia con los cálculos realizados y los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, donde sí falló la junta como tal, se concluye que la falla no se originó por un solo tipo de falla, sino que es la combinación de las tres fallas mencionadas anteriormente.

- Se recomienda fabricar la junta por el método de fundición.

Del ensayo a flexión se puede concluir lo siguiente:

- Para buscar que la falla a flexión se presente con una carga más alta que la obtenida en este proyecto, se debe aumentar la longitud de la platina de la caja que confina el concreto a los dos lados de la junta.
- La diferencia entre los resultados obtenidos teóricamente y los experimentales es admisible. Las diferencias entre las cargas, momentos y rigidez calculadas frente a las obtenidas experimentalmente están entre el 1,8 y 1,9 %.

## Recomendaciones

De acuerdo con el alcance del presente trabajo de grado y los objetivos trazados, quedan pendientes para el mejor conocimiento en el comportamiento estructural de estas juntas los siguientes puntos:

- Estudiar la incidencia de diferentes tipos de suelos, especialmente agresivos –con sulfatos, suelos ácidos y agentes químicos agresores– sobre la resistencia de las juntas a mediano y largo plazo.
- Hacer ensayos a corte y compresión.
- Desarrollar este tipo de ensayos en nuevos diseños de juntas, para evaluar y comparar contra los resultados obtenidos en los ensayos realizados durante este trabajo de grado.

Lista de símbolos de letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
m	Longitud	m	DF
m <sup>3</sup>	Volumen	m <sup>3</sup>	DF
mm	Longitud	mm	DF
cm	Longitud	cm	DF
cm <sup>2</sup>	Área	cm <sup>2</sup>	DF
kg	Kilogramo	kg	DF
t	Tonelada	ton	DF
kN	kilonewton	kN=9,81 <sup>2</sup> kg	DF
∅	Diámetro	1	DF
t	Espesor de la platina	1	DF
bef	Ancho efectivo	1	DF
Aef	Ancho efectivo	1	DF
Agv	Área a corte por desgarramiento		
Tn	Tensión nominal		
MPa	Megapascal	N/mm <sup>2</sup>	DF
fy	Esfuerzo de fluencia del acero	MPa; kg/cm <sup>2</sup>	DF
Fu	Esfuerzo de rotura del acero	MPa; kg/cm <sup>2</sup>	DF
f'c	Esfuerzo a compresión del concreto	MPa; kg/cm <sup>2</sup>	DF
As	Área transversal de acero		
Asf	Área neta efectiva por corte		
Apb	Área proyectada del pasador		
Ant	Área neta a tensión		
Rn	Resistencia nominal	kg; kN	
Ru	Resistencia última		
RuT	Resistencia última a tensión		
G-50	Acero grado 50	fy=350 MPa	
A-36	Acero calidad 36	fy=250 MPa	
M	Momento flector en la junta del pilote causado por la carga aplicada	T-m	
Pu	Carga última de rotura		
PuT	Carga última de rotura a tensión		

## Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\phi$	Coefficiente de reducción de resistencia según el estado límite en estudio	NA	
$\theta$	Diámetro	1	DF
$\delta_m$	Deformación en la mitad del vano	mm	
$\delta_i$	Lectura del deformímetro en la mitad del vano	mm	
$\delta_l$	Lectura del deformímetro a la izquierda del vano	mm	
$\delta_r$	Lectura del deformímetro a la derecha del vano	mm	

## REFERENCIAS

- [1] Cimentaciones NECS. Pilotes. En ¿Cuándo utilizar pilotes? [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://www.gruponecs.com.mx/cuando-utilizar-pilotes.shtml>>.
- [2] Construmática. Pilotes. En Casos en que se usan pilotes [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://www.construmatica.com/construpedia/Pilotes>>.
- [3] Salina, L. Fundación indirecta o pilotes. En Pilotes prefabricados de hormigón armado [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://profesoralorenasalina.blogspot.com/2012/07/fundacion-indirecta-o-pilotes.html>>.
- [4] Rodríguez, J., Serrata, J. & Oteo, C. (1989). *Curso aplicado de cimentaciones*, 4.ª ed. Madrid: Servicio de Publicaciones del Colegio Oficial de Arquitectos, pp. 179-180,198.
- [5] Tomlinsin, M. (2005). *Cimentaciones. Diseño y construcción*, 5.ª ed. México, D.F.: Editorial Trillas, pp. 260, 290-291,340, 345-346, 511.
- [6] Terratest Cimentaciones. Pilotes prefabricados pretensados. En 2. Hince [en línea] [consultado 26 ene. 2012]. Disponible en <<http://www.terratest.es/descargas/catalogopretensados.pdf>>.
- [7] Colombia. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). Reglamento colombiano de construcción sismorresistente 2010, C-296,304.



# Evaluación de parámetros de resistencia al corte en suelos de ladera cubiertos con vetiver

## Assessment of shear strength parameters on steep soils covered with vetiver

JESSIKA MAGRETH HERRERA PASSOS<sup>1</sup> - JOSÉ VICENTE AMÓRTEGUI GIL<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Profesor asociado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

jessika.herrera@mail.escuelaing.edu.co - jose.amortegui@escuelaing.edu.co

Recibido: 20/02/2017 Aceptado: 25/04/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### Resumen

Las laderas están expuestas a procesos de erosión y de meteorización que imponen una pérdida de resistencia de los materiales térreos. El vetiver tiene la capacidad de retener las partículas de suelo con sus macollas y de reforzar el terreno con las raíces, induciendo resistencia a la tracción, que se manifiesta como un incremento en los valores de los parámetros de resistencia al corte del terreno.

El sistema vetiver plantea una solución particular a este problema. Al ser dispuesto de manera sistemática en la ladera, no sólo aumenta la cobertura vegetal superficial, controlando procesos erosivos superficiales, sino que también mejora las condiciones de estabilidad, influenciando los materiales térreos en profundidad.

Esta investigación se centró en el estudio de la influencia de las raíces en la resistencia al corte del suelo, siguiendo el criterio de falla de Mohr-Coulomb y en la simulación de estas condiciones en función de la estabilidad de la ladera. Los resultados obtenidos muestran un claro aumento de las propiedades de resistencia del suelo y un efecto beneficioso en función de los análisis de estabilidad realizados, lo que permite concluir que este sistema es eficiente, en términos de las condiciones analizadas, para el aumento de las propiedades de resistencia del suelo.

**Palabras claves:** vetiver, raíces, resistencia al corte, corte directo.

### Abstract

In places where superficial erosion and subsequent processes of instability due to loss of soil resistance take place, reinforcement systems that focus on protecting the superficial soil, improving the topsoil layer, and using them as a reinforcement system are needed.

Vetiver enables a solution to this problem. Being systematically arranged on the side, not only does it increase the surface vegetation cover but controls the surface erosion and improves the conditions influencing slope stability.

This research focused on the influence of roots in the soil shear strength following the Mohr-Coulomb fault criteria. The results of shear strength tests show a clear increase in the strength properties of the soil and a beneficial effect, depending on the stability analysis performed. It is concluded that vetiver increases the strength properties of the soil efficiently in terms of the conditions analyzed.

**Keywords:** vetiver, roots, soil shear strength, direct cut.

## INTRODUCCIÓN

El vetiver (*Vetiveria zizanioides*) es una planta de la familia de las gramíneas, nativa de la India. Sus tallos erguidos alcanzan una altura que oscila entre 0,5 y 1,5 m, las hojas son relativamente rígidas, largas y angostas, y tienen hasta 75 cm de largo y no más de 8 mm de ancho.

Esta planta crece con facilidad en distintos tipos de suelo, ya sean arenosos, arcillosos o incluso en zonas donde la capa vegetal es escasa. Además, es resistente a diferentes condiciones climáticas, inundaciones y hasta agentes contaminantes.

Una de las mayores virtudes del vetiver son sus raíces, las cuales crecen verticalmente y su afectación en área se limita a menos de un metro de diámetro alrededor de la planta. Las raíces pueden llegar a alcanzar longitudes de 5 m, generando una barrera en el subsuelo. El crecimiento de las raíces de la planta es bastante acelerado en comparación con el de otras plantas, hasta el punto de que en el primer año alcanza una profundidad de 4 m.

Debido a estas características, el vetiver se ha utilizado para mejorar las condiciones de las laderas, con resultados satisfactorios en muchos casos.

En el presente artículo se muestra la influencia del vetiver en la resistencia al corte, medido en ensayos de corte directo sobre muestras de suelo. Se analizan las propiedades geomecánicas en función de las características típicas de las muestras y se simula dicho comportamiento con modelos de equilibrio límite para la obtención del valor del factor de seguridad, en los análisis de estabilidad.

## MATERIALES Y METODOLOGÍA

Se definen dos clases de muestras. La primera es la correspondiente a los materiales naturales e inalterados, llamados muestras de control. La palabra *control* se refiere a que estas muestras presentan características base, una medida estándar para los posteriores análisis.

La segunda corresponde a las muestras en cuya composición se encuentran las raíces de la planta. La condición de granulometría de la muestra se ve alterada a causa de la presencia de raíces, por lo cual las muestras se tomaron de la misma zona respecto al centro de la planta, asegurando homogeneidad entre las muestras obtenidas.

Como se mencionó anteriormente, se realizaron ensayos de corte directo para el análisis de las propiedades

geomecánicas de los materiales, siguiendo el criterio de falla de Mohr-Coulomb. Los ensayos hechos corresponden a las tres modalidades típicas (Consolidado drenado, Consolidado no drenado y No consolidado no drenado) (tabla 1).

No obstante, debido a que para la caracterización del material en función del criterio de falla es necesario que los esfuerzos medidos sean efectivos, la construcción de las envolventes de falla y el análisis de parámetros geomecánicos se centraron en los ensayos de corte directo consolidados drenados. Los otros ensayos se utilizaron para la descripción del terreno, mas no para la cuantificación del efecto de las raíces sobre las muestras.

**Tabla 1**  
Número de ensayos hechos

Tipo de muestra	Condición	Modalidad del ensayo	Número de ensayos
SM	Sin vetiver	Consolidado drenado (CD)	2
SM	Con vetiver	Consolidado drenado (CD)	4
SM	Sin vetiver	Consolidado no drenado (CU)	3
SM	Con vetiver	Consolidado no drenado (CU)	3
SM	Sin vetiver	No consolidado no drenado (UU)	3
SM	Con vetiver	No consolidado no drenado (UU)	3
SM-SC	Sin vetiver	Consolidado drenado (CD)	1
SM-SC	Con vetiver	Consolidado drenado (CD)	4
SM-SC	Sin vetiver	Consolidado no drenado (CU)	2
SM-SC	Con vetiver	Consolidado no drenado (CU)	2
SM-SC	Sin vetiver	No consolidado no drenado (UU)	1
SM-SC	Con vetiver	No consolidado no drenado (UU)	1

El procedimiento más utilizado para la obtención de los parámetros de resistencia al corte, de acuerdo con el criterio de falla de Mohr-Coulomb, es el siguiente: tras hacer, al menos, tres veces el ensayo de corte directo

con diferentes niveles de esfuerzo normal, se construyen las curvas de esfuerzo normal contra esfuerzo cortante y se traza una línea recta que genere el mejor promedio entre los valores de picos de esfuerzo cortante obtenidos. Esta recta corresponde a la envolvente de falla, cuya inclinación es equivalente al ángulo de fricción y el intercepto con el eje de las ordenadas a la cohesión del material.

Debido a que el ensayo de corte directo es un ensayo de deformación controlada, se intuye que la muestra llega a la falla cuando la variación de la fuerza cortante, y a su vez la variación del esfuerzo cortante llega a una tasa fija, en este punto se asocia el estado de esfuerzos final con los esfuerzos de falla de la muestra ensayada, o lo que es lo mismo, que el círculo de Mohr es tangente a la envolvente de falla.

En las anteriores condiciones se graficó el nivel de deformación horizontal, con el correspondiente ángulo de la envolvente y con el corte con el eje de las ordenadas. Teniendo claro que cuando estas curvas se vuelvan asintóticas a un valor fijo, se ha llegado a la envolvente de falla, o lo que es lo mismo, a los valores de ángulo de fricción interna del material y su cohesión correspondiente.

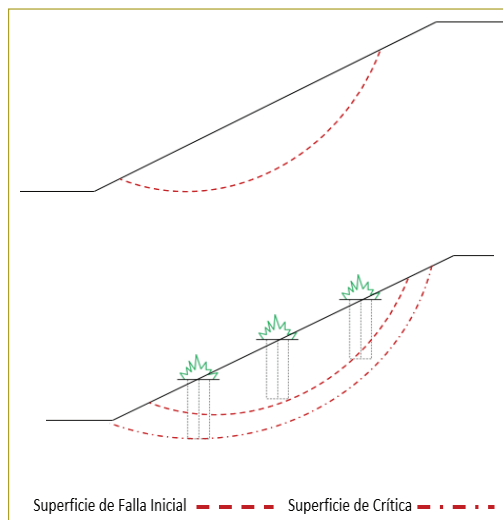
Además de la obtención de la variación de los parámetros de resistencia de las muestras de control y de las muestras con raíces, se analizó, en función de la deformación horizontal, el desarrollo de la resistencia pico de los materiales, y en función de este análisis se lanzó la hipótesis de cómo las raíces influyen en la resistencia del suelo.

Como complemento a los análisis de los parámetros geomecánicos, se evaluó la influencia de las raíces en la estabilidad de la ladera. El análisis de estabilidad se llevó a cabo con modelos de equilibrio límite, en los que se parte de un talud homogéneo con una inclinación definida y en función de ésta se determina el factor de seguridad. Se construyen curvas que relacionan la inclinación del talud, el factor de seguridad y la presencia o no de las raíces en la muestra (figura 1).

## RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### Deformación vertical de las muestras

Al graficar la deformación vertical que las muestras experimentaron durante los ensayos realizados, se observó que tanto las muestras de control como las muestras con



**Figura 1.** Esquema de las superficies de falla en el análisis de estabilidad.

raíces experimentaron un aumento en la deformación vertical a medida que el ensayo se desarrollaba.

La deformación vertical en el ensayo de corte directo está directamente asociada a la variación del volumen de la muestra, debido a que el desplazamiento en esta dirección es el único que no se encuentra restringido. Así pues, si el desplazamiento vertical es positivo (figuras 2 y 3), habrá un aumento de volumen de la muestra.

Es evidente que el nivel de deformación para las muestras de control y para las muestras con raíces es muy similar. Para deformaciones entre el 0 y 10 %, la deformación vertical crece en una tasa relativamente constante; luego de este nivel de deformación horizontal se presente un leve descenso, con una tasa nula para ciertos momentos del ensayo. En adelante, la deformación vertical asciende a una tasa variable pero cada vez más baja.

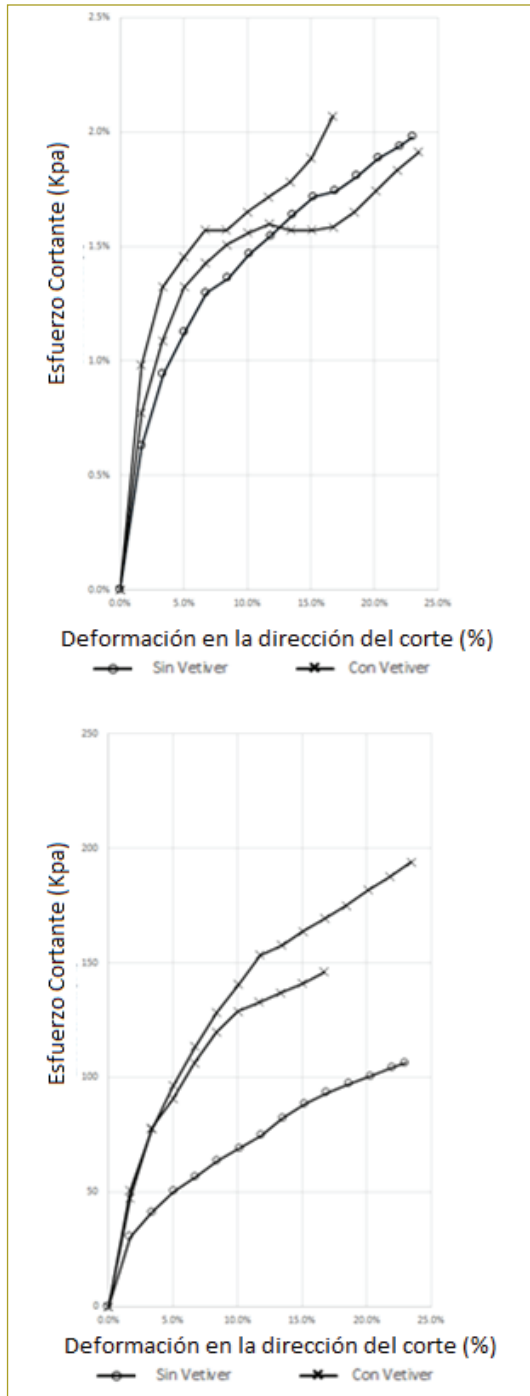
Las mayores deformaciones verticales que se registraron se presentaron en la arena limosa. Éstas desarrollaron un 0,5 % más de deformación vertical que las que tuvo la arena arcillo limosa.

### Esfuerzos cortantes durante los ensayos

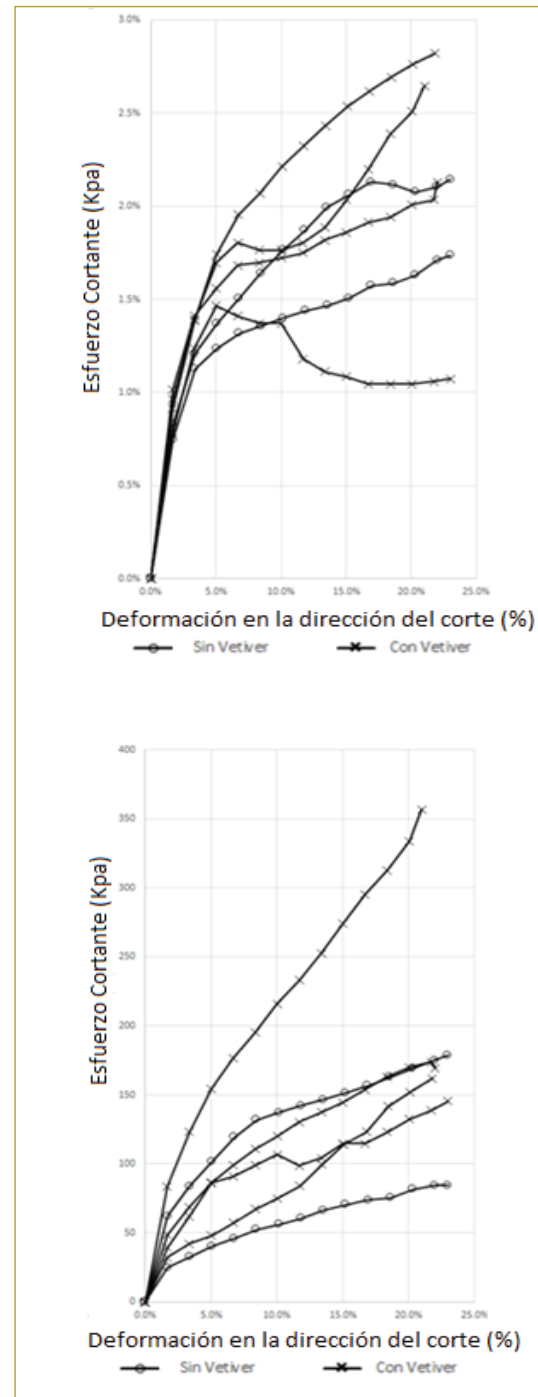
A diferencia de las deformaciones verticales, las cuales fueron las mismas tanto para las muestras de control como para las muestras con raíces en su composición, los esfuerzos cortantes que se desarrollaron durante el ensayo de corte sí cambiaron considerablemente para cada tipo de muestra.

A medida que se ejecuta el ensayo, el área donde se desarrolla el esfuerzo cortante es menor. Al mismo tiempo, la deformación acumulada en la muestra hace que, en función de la deformación, las fuerzas que mantienen la muestra unida desciendan hasta un valor constante.

Lo anterior se traduce en un incremento del esfuerzo cortante a medida que la deformación de corte aumenta. Esta tendencia es fija hasta alcanzar la deformación máxima, en cuyo caso, la tasa en la que crece el esfuerzo cortante se vuelve constante. En este punto se ha llegado a la falla de la muestra



**Figura 2.** Deformación vertical y esfuerzo cortante en función de la deformación horizontal – arena arcillo limosa – ensayo consolidado drenado.



**Figura 3.** Deformación vertical y esfuerzo cortante en función de la deformación horizontal – arena arcillo limosa – ensayo consolidado drenado.



En este caso, la tendencia es clara. Las muestras de control desarrollan esfuerzos cortantes bastante menores que las muestras con raíces, esto en función de la deformación de corte. Adicionalmente, la tendencia del esfuerzo cortante para las muestras con vetiver no sigue una línea recta, como se esperaría; cambian de pendiente, y ocasionalmente se eleva la tasa en que el cortante aumenta.

### Análisis de estabilidad

Una parte del trabajo ingenieril corresponde al análisis de parámetros geomecánicos y su cuantificación en función de una ley de rotura.

No obstante, es necesario traducir los parámetros obtenidos en función de la estabilidad de la ladera. Con este objetivo se simuló la variación del factor de seguridad de taludes homogéneos, de pendientes definidas, teniendo en cuenta la variación de parámetros identificada con anterioridad.

Como resultado de los análisis del ensayo de corte directo, se obtuvieron los parámetros de análisis necesarios para la evaluación de los factores de seguridad de los taludes. Los parámetros consisten en la cohesión del material y el ángulo de fricción, tanto para la muestra de suelo como para el conjunto ensayado de suelo con presencia de raíces del vetiver (tabla 2).

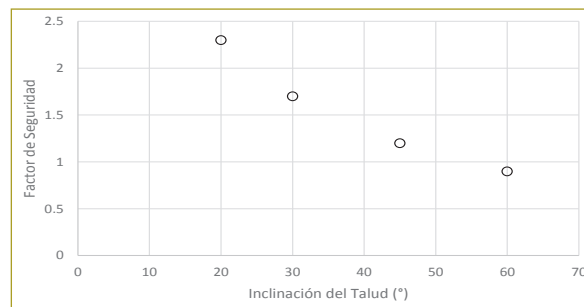
**Tabla 2**  
Parámetros de análisis

Nombre	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	C (kPa)	$\varphi$ (°)
Suelo	21	5	32
Suelo y vetiver	19	65	37

### ANÁLISIS SIN VETIVER

El análisis sin vetiver consiste en la obtención del factor de seguridad de la ladera con parámetros geomecánicos fijos y sólo cambiando la inclinación de los taludes; su altura es fija, siempre de 5,0 m, y las pendientes evaluadas se utilizarán para formar una curva de pendiente contra factor de seguridad.

En la figura siguiente se agrupan los factores de seguridad obtenidos para cada pendiente analizada (figura 4).



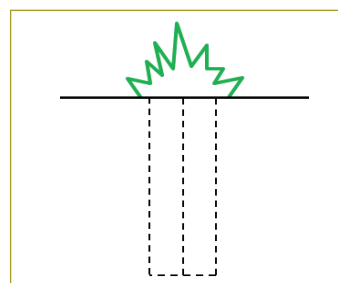
**Figura 4.** Variación del factor de seguridad en función de la inclinación del talud. Condición de control.

Como se observa, el factor de seguridad desciende a medida que la inclinación del talud aumenta, obtenido el valor de equilibrio límite (factor de seguridad igual a la unidad) cuando la inclinación de éste es cercana a 55°.

Esta condición es la condición de control. Así, con base en estos valores, se analizará la influencia de las raíces en la estabilidad de la ladera para las condiciones analizadas.

### ANÁLISIS CON VETIVER

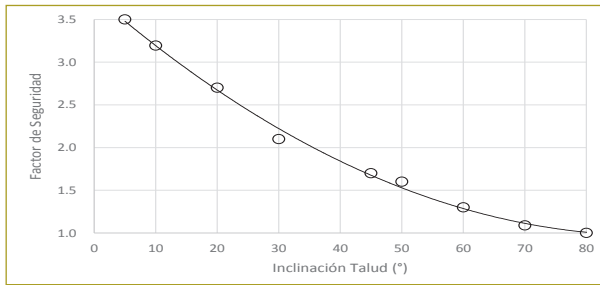
Tras obtener los valores del factor de seguridad en ausencia de vetiver, es posible configurar los taludes de modo tal que en las zonas donde se proyecta la disposición de la planta las propiedades del suelo cambien de manera que se simulen las condiciones de la ladera con vetiver.



**Figura 5.** Área de influencia de la planta.

Con este propósito se definieron cinco modelos de taludes con altura de 5 m, variando sus pendientes (20°, 30°, 45°, 50° y 60°), para los cuales se especificó un área de influencia de la siguiente manera; la profundidad corresponde a un cilindro de altura igual a 2,0

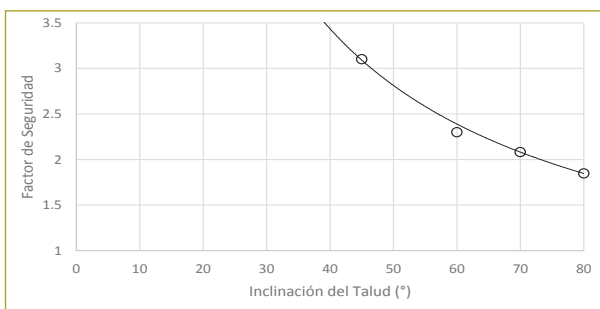
m (40 % de la altura total del talud) y un radio de 0,3 m, correspondientes al diámetro total de la macolla del vetiver. Una vez definida la geometría del modelo, se procede a introducir las propiedades de los materiales (suelo y planta), las cuales se obtuvieron mediante ensayos de laboratorio y campo (figura 5), en tanto que en la figura siguiente se agrupan los valores del factor de seguridad obtenidos tras el análisis (figura 6).



**Figura 6.** Variación del factor de seguridad en función de la inclinación del talud. Con vetiver, superficie de falla crítica.

Como se observa, el factor de seguridad desciende a medida que la inclinación del talud aumenta, obtenido el valor de equilibrio límite (factor de seguridad igual a la unidad) cuando su inclinación es cercana a 70°.

El anterior análisis correspondió a la superficie de falla con el menor factor de seguridad, y no al análisis de la superficie obtenida en el análisis sin la presencia de la planta (condición de control), por lo cual se estudia nuevamente el factor de seguridad de la ladera, teniendo fija la superficie de falla obtenida en el análisis sin vetiver.



**Figura 7.** Variación del factor de seguridad en función de la inclinación del talud. Con vetiver, superficie de falla inicial.

Como se puede apreciar, hay un aumento considerable de los factores de seguridad obtenidos; pese a que éste no es el factor de seguridad crítico de la ladera, es una buena forma de aproximarse al análisis de la influencia del vetiver en su estabilidad (figura 7).

**Tabla 3**

Parámetros obtenidos de los ensayos de corte directo

Material	Condición	C (kPa)	Phi (°)
SM	Sin vetiver	5	32
SM	Con vetiver	65	37
SM-SC	Sin vetiver	44	25
SM-SC	Con vetiver	67	34

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es evidente que la presencia de vetiver en las muestras, a la luz del ensayo de corte directo, tiene influencia en el comportamiento de la muestra y en los parámetros de resistencia, según el criterio de falla de Mohr-Coulomb.
- Generalmente, las deformaciones verticales registradas durante los ensayos de corte directo son muy similares para las muestras con vetiver y sin éste.
- Si bien las deformaciones verticales son similares para los dos tipos de muestras, los esfuerzos registrados son mayores para las muestras que tienen vetiver en su composición.
- Los parámetros de resistencia, cohesión y ángulo de fricción obtenidos en los ensayos son claramente mayores para las muestras con vetiver (tabla 3).
- La tendencia observada en las figuras de cohesión y deformación de corte, para las muestras con raíces en su composición, muestra una tendencia ascendente del valor de la cohesión. Esto se debe a que para los niveles de deformación del ensayo de corte directo, las raíces presentes en las muestras no fallan.
- En general, la presencia de vetiver es favorable a la resistencia de los materiales.
- El aumento de la cohesión de las muestras con raíces se debe a que las raíces presentes se alinean sobre la superficie de corte, y si ésta es lo suficientemente larga, la raíz se ve sometida a esfuerzos de tracción. Este fenómeno otorga a la muestra una resistencia adicional a la tracción, así como un aumento en el valor de cohesión (figura 8).

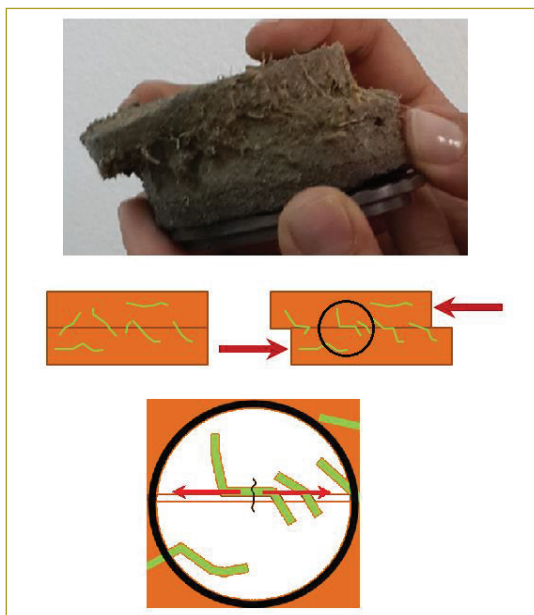


Figura 8. Raíces en el corte directo.

- En la figura siguiente, en la que se agrupan los factores de seguridad obtenidos tras el análisis de estabilidad de los taludes con la presencia del vetiver y sin éste, se puede apreciar que es evidente el aumento del factor de seguridad tras la simulación del efecto de la planta en los taludes (figura 9).

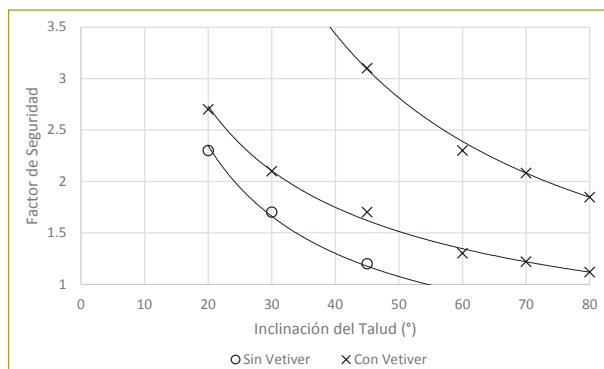


Figura 9. Análisis del factor de seguridad.

- La influencia del factor de seguridad con la superficie de falla crítica es mucho menor que el valor obtenido para la superficie de falla inicial, algo que es de esperarse, ya que el aumento de las propiedades del suelo no sólo influencia el factor de seguridad, sino también la forma como el talud se comporta frente a fenómenos que lo pueden llevar a la inestabilidad.
- Si bien la influencia de las raíces es evidente, para determinar los valores finales de cohesión y ángulo de fricción en las muestras con vetiver es necesario ejecutar ensayos de resistencia al corte con niveles de deformación mayores que los del ensayo típico.
- Respecto al análisis de estabilidad, la presencia de vetiver en el suelo lleva a que la superficie de falla crítica se encuentre más profunda en relación con la evaluada sin la planta. Adicionalmente, la masa de suelo, en presencia de las raíces, puede experimentar mayores niveles de deformación sin llegar a la falla, o eventualmente hacer de la falla un proceso más lento y no súbito, como sucedería en ausencia de la planta en la masa de suelo.
- El vetiver permite mayores deformaciones de la falla, sin que colapse el talud.

## REFERENCIAS

- Lin, D.-G. (2011). Estimating the effect of shear strength increment due to root on the stability of makino bamboo forest slopeland. *Journal of GeoEngineering*, 6 (2).
- Comino, E. & Druetta, A. (2009). *In situ Shear Tests of Soil Samples with Grass Roots in Alpine Environment*.
- Golssmith, W. (2006). *Soil Strength Reinforcement by Plants*.
- Xiao, H.-L. (2014). *Research on Direct Shear Test of Undisturbed Root-soil Composition*.
- Normaniza, O., Mohamad Nordin, A. & Che Hassandi, A. (2011). *Pull-Out and Tensile Strength Properties of Two Selected Tropical Trees*.
- Ram Chandra, T. (2011). *Simulation of Root-Reinforcement Effect in Natural Slopes Based on Progressive Failure in Soil-Root Interaction*.
- Sasumua, B., Nyandarua District, Kenya. Osano Simpson Nyambae (2011). *Root tensile strength of 3 typical plant species and their contribution to soil shear strength; a case study*.



# Influencia de la degradabilidad de las rocas en los parámetros de resistencia de los materiales de la formación Guaduas, al noroccidente de Bogotá\*

Influence of rock degradability in shear strength parameters of the materials at Guaduas formation, Northwest Bogotá

JOHANA PAOLA ROZO<sup>1</sup> - JOSÉ VICENTE AMÓRTEGUI GIL<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesor asociado de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

johana.rozo@mail.escuelaing.edu.co - jose.amortegui@escuelaing.edu.co

Recibido: 25/02/2017 Aceptado: 02/05/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

## Resumen

El proceso de meteorización de las rocas genera cambios en sus características y propiedades, representados en una disminución de la resistencia del material. Las rocas de la formación Guaduas se encuentran constituidas por lodolitas de color gris oscuro con algunos mantos de carbón, las cuales toman gradualmente el aspecto de arcillolitas abigarradas con intercalaciones de arenisca de espesor muy variable. Estos materiales son, por naturaleza, propensos a degradarse o deteriorarse en cuanto a su estructura, por procesos de meteorización física o química, presentando un comportamiento inestable que pueden ocasionar suficiente pérdida de resistencia y conducir a su posterior falla.

Por la abundancia de este tipo de materiales en el territorio colombiano, en la presente investigación se estudia la influencia que tiene la degradabilidad de las rocas en los parámetros de resistencia de los materiales de la formación Guaduas, analizando un talud rocoso de esta formación, ubicado en el costado norte del parque Mirador de los Nevados, hacia el sector noroccidental de Bogotá, en los cerros de Suba, donde actualmente se están presentando procesos de inestabilidad. Se realizan correlaciones entre la resistencia y las pruebas índice de los materiales; se evalúa la estabilidad del talud, considerando el grado de meteorización de la roca, donde se evidencian amplias reducciones del factor de seguridad a medida que la roca pasa de un estado intacto a

totalmente meteorizado. Se proponen las obras de mitigación de los procesos de inestabilidad que se están presentando en el talud, producto de los acelerados procesos de degradación de la roca, al encontrarse expuesta a la intemperie.

**Palabras claves:** roca, formación Guaduas, meteorización, resistencia, talud, estabilidad y degradación.

## Abstract

The process of rock weathering generates changes in its characteristics and properties, represented in a reduced resistance of the material. The Guaduas Formation rocks are formed by dark gray mudstones with numerous coal seams, which gradually take on the appearance of motley claystone with varied interbedded sandstone thickness. These materials are naturally susceptible to degrade or deteriorate in terms of its structure, due to physical and/or chemical weathering processes, presenting an unstable behavior which may cause loss of enough strength leading to subsequent failure.

Due to the abundance of such materials in Colombian soil, this research examines the influence of rock degradability in the strength parameters of Guaduas Formation materials, analyzing a rocky slope of this line located on the north side of Mirador de Los Nevados park, Northwest Bogotá on the hills of Suba, which show instability processes. Correlations are made between the resistance and index testing of materials; slope stability is evaluated considering the degree of rock weathering, which shows large reductions of the safety factor as the rock changes from intact to fully weathered. Works are proposed

\* Tomado del trabajo de grado para obtener el título de maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Geotecnia, dirigido por el ingeniero José Vicente Amórtégui.

to mitigate the instability processes that are currently occurring on the slope, due to the rapid degradation processes of the rock by direct exposition to weather.

**Keywords:** rock, Guaduas Formation, weathering, resistance, slope, stability and degradation.

## INTRODUCCIÓN

Los procesos de meteorización conducen a la alteración de las propiedades, ya sea desde el punto de vista físico o químico, modificando el comportamiento tipo roca hasta convertirlo en uno tipo suelo, producto de factores como el clima, la topografía y la actividad biológica. Estos procesos afectan las rocas y modifican su resistencia, al tiempo que dificultan el diseño y la construcción de las obras de ingeniería del país.

El alcance del estudio involucra el análisis del comportamiento de las rocas de la formación Guaduas con respecto a su resistencia, en varios estados de meteorización, correlacionándolo con resultados de pruebas índice y con la estabilidad de un talud localizado en el costado norte del parque Mirador de los Nevados; además, se incluye la propuesta de las obras de mitigación al problema de inestabilidad presentado en dicho talud, donde hay actualmente desprendimiento de materiales desde la corona.

## ANTECEDENTES

Existen dos tipos de meteorización: el primero consiste en la destrucción de la roca *in situ* mediante la alteración física conocida como “desintegración o meteorización física”, y el segundo involucra la alteración química denominada “descomposición o meteorización química”. Se han efectuado algunas investigaciones relacionadas con los efectos de la meteorización en las propiedades geotécnicas de la roca, entre las que se destacan las realizadas por investigadores del Reino Unido, como Spears y Taylor (1972), y Chandler (1972); de Turquía, como Tungal y Zarif (2000), Tugrul y Gürpınar (1997); de Hong Kong, Irfan (1999), y en Colombia se destaca el trabajo de Mario Camilo Torres (2010).

Spears y Taylor (1972) realizaron un estudio sobre la influencia de la meteorización física y química en la resistencia al corte en una gran cantidad de muestras de rocas lodosas, arrojando como resultado la reducción de los parámetros de resistencia y la variación en la forma de la envolvente de Mohr, de acuerdo con el grado de

meteorización. Chandler (1972) hizo un estudio sobre una arcilla altamente sobreconsolidada del Reino Unido, la cual fue sujeta a procesos de meteorización natural; como resultado de su investigación se presentó una relación esquemática entre el contenido de agua y la resistencia al corte en términos de la envolvente de falla, donde la reducción progresiva de la resistencia se debe a la meteorización en una profundidad dada, representando el efecto de meteorización inducido por la erosión continua.

Tungal & Zarif (2000) llevaron a cabo una investigación sobre calizas meteorizadas de Turquía, en la que se identificó una relación lineal positiva entre la resistencia a la compresión uniaxial y la resistencia a la carga puntual, velocidad de ondas  $P$ , peso unitario, módulo de elasticidad y resistencia a la tensión indirecta, y se desarrolló una relación lineal negativa entre la resistencia a la compresión simple y porosidad.

Tugrul & Gürpınar (1997) investigaron la clasificación de los estados de meteorización y las propiedades ingenieriles de basaltos de la región Nıksar, al este de Turquía, donde se obtuvo una relación exponencial entre la resistencia a la compresión simple y la densidad, y una disminución de ambas propiedades con el aumento en el grado de meteorización. La permeabilidad de los materiales rocosos aumenta en la medida en que la porosidad se incrementa con el grado de meteorización.

Irfan (1999) realizó un estudio en rocas volcánicas meteorizadas en Hong Kong, en el que se determinó que no es posible la comparación directa de una prueba índice en un grado particular de meteorización para la misma roca volcánica en diferentes formaciones.

Torres (2010) hizo una investigación sobre las rocas lodosas de los Andes colombianos, a través de técnicas de laboratorio para simular acciones del medio ambiente sobre muestras rocosas y monitorear cambios en propiedades físicas y mecánicas, evaluando los efectos reales que dichas acciones pueden tener en la competencia del material. Como resultado de esto, se determinaron los principales mecanismos de falla de rocas lodosas, que se desarrollan inicialmente en la escala microscópica, exhibiendo tanto degradación física como química, y se comprobó la reducción progresiva en resistencia y rigidez.

Este estudio se lleva a cabo sobre un talud rocoso ubicado en el costado norte del parque Mirador de los Nevados, el cual es el resultado de un proyecto de

recuperación morfológica y ambiental de una antigua cantera ubicada en el sector. En la actualidad, se está presentando desprendimiento de materiales de la parte alta del talud, debido a que éste queda expuesto directamente a la acción de procesos de meteorización, que se ven favorecidos por los cambios climáticos que se puedan presentar (intensas jornadas de sol o repentinas lluvias). Además de la exposición directa del talud a estos procesos, la naturaleza propia de las rocas sedimentarias por las que está constituido el talud hace que éstas sean más vulnerables a los procesos de meteorización (fotografía 1).



**Fotografía 1.** Talud norte del parque Mirador de los Nevados.

### CARACTERIZACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Se llevó a cabo la caracterización del macizo rocoso mediante el levantamiento de los datos estructurales existentes, el cual incluyó la posición y dirección de los estratos, la determinación de diaclasas y toma de un número representativo de datos relacionados con dirección y buzamiento, rugosidad, espaciamiento, continuidad, alteración de las paredes, relleno, infiltración y apertura de discontinuidades, entre otros. Posteriormente, se realizó el muestreo de bloques rocosos del talud, para determinar la resistencia del material mediante ensayos de compresión simple e índice de carga puntual, los cuales arrojaron como resultado que la roca presenta bajos valores de resistencia. De las muestras rocosas ensayadas se obtuvieron valores de resistencia a la compresión simple menores de 6 Mpa y bajos índices de resistencia a la carga puntual, con  $I_{50}$  inferiores a 1 Mpa.

Se realizó el levantamiento estructural de 51 datos de discontinuidades y éstos se representaron en el programa Dips 5.0, donde se generó el diagrama de densidad

de polos en proyección equiareal, identificándose la presencia de cuatro familias de discontinuidades en el macizo rocoso (tabla 2).

**Tabla 1**  
Familias identificadas en el macizo rocoso

Familia N.º	Azimut de buzamiento ( $\alpha$ )	Buzamiento ( $\delta$ )
1	49	86
2	349	68
3	309	80
4	136	42

Se efectuó la clasificación del macizo rocoso por tres metodologías: RMR (Rock Mass Rating) de Bieniawski, Q de Barton y GSI (Geological Strength Index), según lo propuesto por Marinos y Hoek; se obtuvo como resultado que el macizo rocoso es de mala calidad.

De acuerdo con la clasificación RMR, se obtuvo un puntaje de 26, que corresponde a un macizo de mala calidad (clase IV); los valores aproximados para la cohesión y el ángulo de fricción interna del macizo rocoso, según su calidad, son de 130 Kpa y  $18^\circ$ , respectivamente. Según la clasificación Q de Barton, se obtuvo un puntaje de 1,65, que corresponde a un macizo de mala calidad. Por otra parte, teniendo en cuenta el grado y las características de fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades, y acorde con lo observado en campo en cuanto a litología y datos estructurales del macizo, se considera un macizo de clase E, según la clasificación GSI, el cual corresponde a limolita débil o lutita arcillosa con capas de arenisca.

### INFLUENCIA DE LA DEGRADABILIDAD DE LAS ROCAS EN LOS PARÁMETROS DE RESISTENCIA

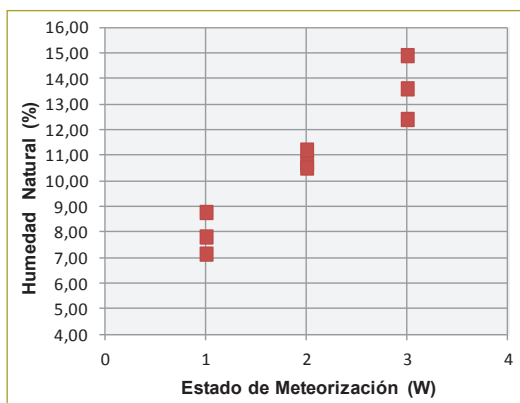
Para el presente estudio se combinó la clasificación propuesta por Deere y Patton (1971) y Annon (1981), para reflejar los niveles de meteorización del material rocoso expuesto en el talud norte del parque Mirador de los Nevados y analizar el impacto en el comportamiento geotécnico en la transición de niveles de degradación de la roca. Los términos empleados para diferenciar los horizontes son roca en estado intacto (W1), roca en

estado parcialmente meteorizado (W2) y roca en estado completamente meteorizado (W3).

Para evaluar la afectación de las pruebas índice y de resistencia con el grado de meteorización de la roca, se efectuaron ensayos de laboratorio para los tres estados de meteorización definidos anteriormente. A continuación se presenta el análisis de los resultados obtenidos.

### Humedad natural

Se presentan humedades entre 7,13 y 14,90 %, correspondiendo los valores más bajos a la roca en estado intacto (W1). En términos generales, la humedad muestra una tendencia a incrementarse con el aumento en el grado de meteorización de las rocas (figura 1). Se identifica un aumento del 73 % entre el estado intacto (W1) y totalmente meteorizado (W3).



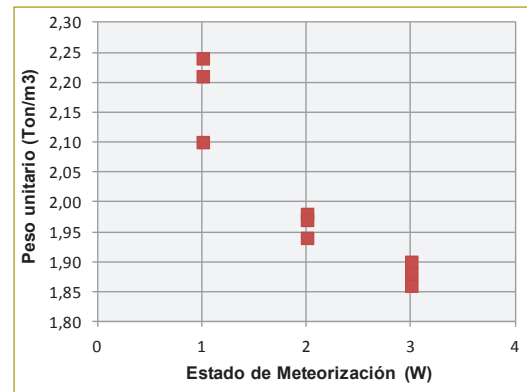
**Figura 1.** Comparación entre la humedad y el grado de meteorización.

### Peso unitario

El peso unitario se reduce a medida que aumenta el grado de meteorización (figura 2). Sin embargo, los valores de peso unitario no presentan una alta variación entre estados de meteorización, donde se registra una reducción del 14 % entre el estado intacto (W1) y totalmente meteorizado (W3).

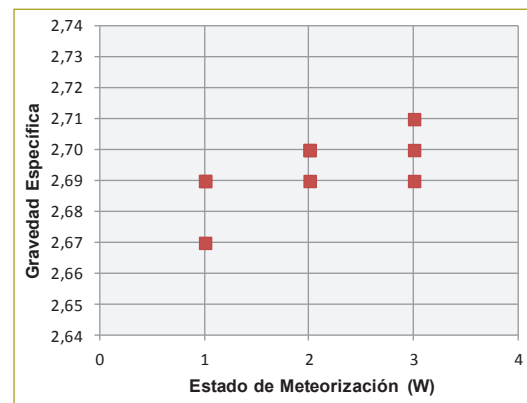
### Gravedad específica

Los rangos de Gs variaron entre 2,67 y 2,71, con un valor promedio de 2,69. No se aprecian altas variaciones en los valores de gravedad específica a medida que se



**Figura 2.** Comparación entre el peso unitario y el grado de meteorización

incrementa el grado de meteorización (figura 3). En general, no se presenta una tendencia clara en cuanto al comportamiento de la gravedad específica con el grado de meteorización.



**Figura 3.** Comparación entre la gravedad específica y el grado de meteorización.

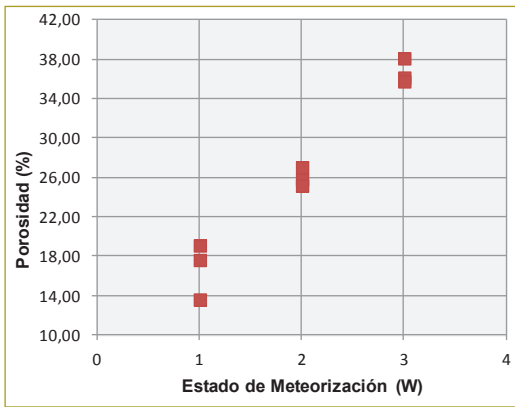
### Porosidad

Se identifica un alto aumento de la porosidad a medida que se incrementa el grado de meteorización (figura 4), pasando de un porcentaje del 16,7 % para las rocas en estado intacto (W1) a un 36,6 % para rocas en estado totalmente meteorizado (W3).

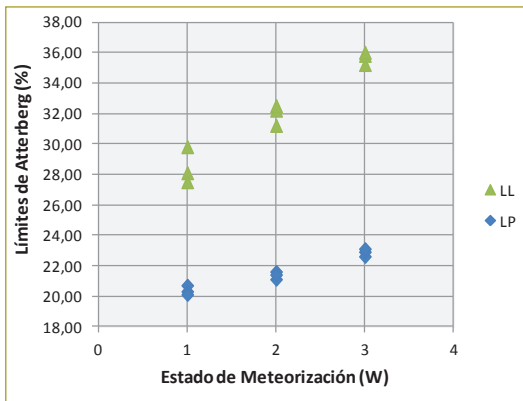
### Límites de Atterberg e índice de plasticidad

Los límites de Atterberg y el índice de plasticidad se incrementan a medida que aumenta el grado de meteorización de la roca (figura 5 e índice de liquidez).





**Figura 4.** Comparación entre la porosidad y el grado de meteorización.



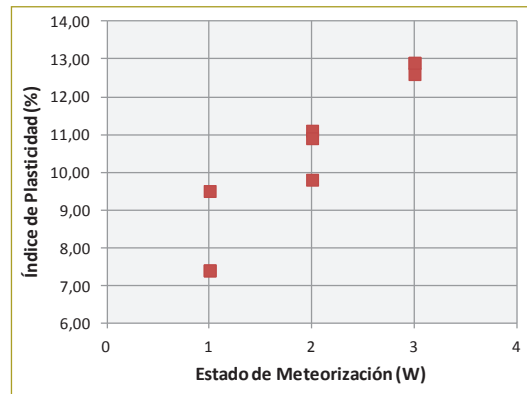
**Figura 5.** Comparación entre límites de Atterberg y el grado de meteorización.

El índice de liquidez correlaciona la humedad del material con el límite plástico y su índice de plasticidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, el índice de liquidez se eleva a medida que aumenta el grado de meteorización de los materiales (figura 7), incrementándose en un 84 % al pasar del estado intacto (W1) a totalmente meteorizado (W3). El índice de liquidez negativo señala que el material se encuentra en una condición sólida, preconsolidada (figura 6). Se aprecian incrementos del 25,3 y 58,% en el límite líquido y en el índice de plasticidad, respectivamente, pasando del estado intacto (W1) a totalmente meteorizado (W3).

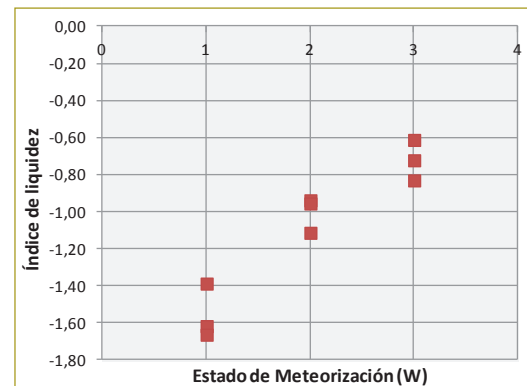
### Índice de liquidez

El índice de liquidez correlaciona la humedad del material con el límite plástico y su índice de plasticidad. De acuerdo con los resultados obtenidos, el índice de

liquidez se incrementa a medida que aumenta el grado de meteorización de los materiales (figura 7), incrementándose en un 84 % al pasar del estado intacto (W1) a totalmente meteorizado (W3). El índice de liquidez negativo señala que el material se encuentra en una condición sólida, preconsolidada.



**Figura 6.** Comparación entre el índice de plasticidad y el grado de meteorización.



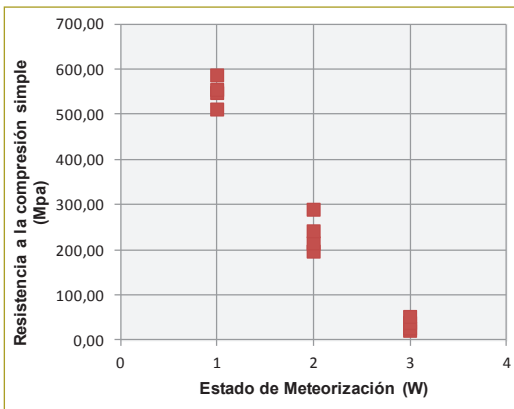
**Figura 7.** Comparación entre el índice de liquidez y el grado de meteorización.

### Resistencia a la compresión simple

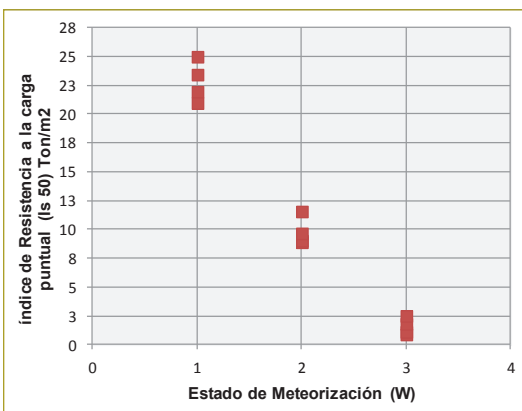
Se presentan resistencias a la compresión simple entre 20,60 y 586,4 t/m<sup>2</sup> (0,20-5,75 Mpa). Se advierte una notable reducción de la resistencia a la compresión simple a medida que aumenta el grado de meteorización.

### Resistencia a la carga puntual

Se presentan índice de resistencia a la carga puntual hasta de 25 t/m<sup>2</sup>. En general, los valores de resistencia a la carga puntual decrecen con el grado de meteorización, con reducciones hasta del 93 % entre el estado intacto (W1) y el totalmente meteorizado (W3).



**Figura 8.** Comparación entre la resistencia a la compresión simple y el grado de meteorización.



**Figura 9.** Comparación entre la resistencia a la carga puntual y el grado de meteorización.

### Resistencia al corte

La resistencia al corte disminuye con el aumento en el grado de meteorización; se redujo en un 90 % la resistencia del estado intacto (W1) al totalmente meteorizado (W3).

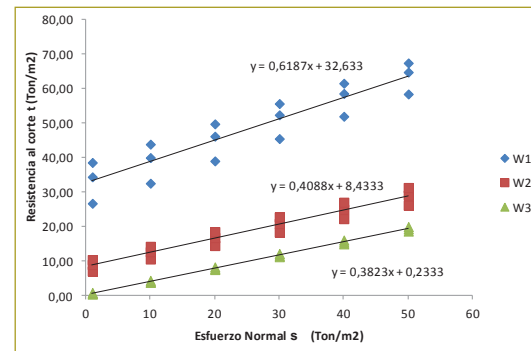
La cohesión se redujo drásticamente con el incremento en el grado de meteorización, al pasar de 38 a 0,5 t/m<sup>2</sup> en el estado W1 al W3.

El ángulo de fricción se redujo de 32° a 20°.

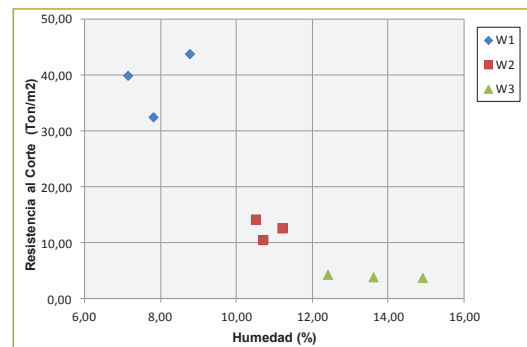
### Comparación de la resistencia con la humedad natural y el grado de meteorización de la roca

La resistencia de las rocas disminuye con un incremento en el contenido de humedad natural y en el grado de meteorización (figura 11). Las muestras en estado intacto presentan una mayor variación de la resistencia que las

muestras en estado parcial y totalmente meteorizado, para un bajo incremento de la humedad.



**Figura 10.** Comparación entre la resistencia al corte y el grado de meteorización.



**Figura 11.** Comparación entre la resistencia al corte y la humedad.

### Comparación de la resistencia con la gravedad específica y el grado de meteorización de la roca

No se presenta una tendencia clara entre la resistencia y la gravedad específica, ya que no se aprecian grandes incrementos de este parámetro entre niveles de meteorización. El valor promedio Gs es de 2,70.

### Comparación de la resistencia con el peso unitario y el grado de meteorización de la roca

Se presenta una relación lineal entre el peso unitario y la resistencia del material rocoso. La resistencia de la roca se incrementa a medida que se aumenta el peso unitario y disminuye el grado de meteorización (figura 12). Las rocas en el estado totalmente meteorizado (W3) presentan pesos unitarios más bajos que las rocas en estado intacto (W1).

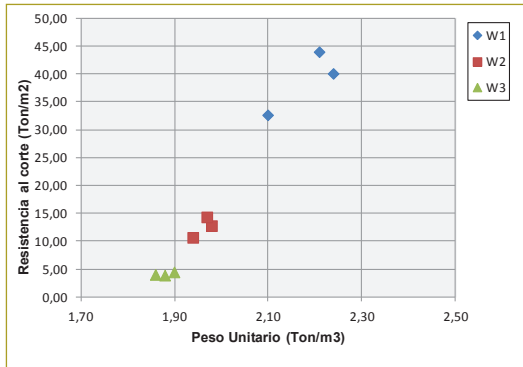


Figura 12. Comparación entre la resistencia al corte y el peso unitario.

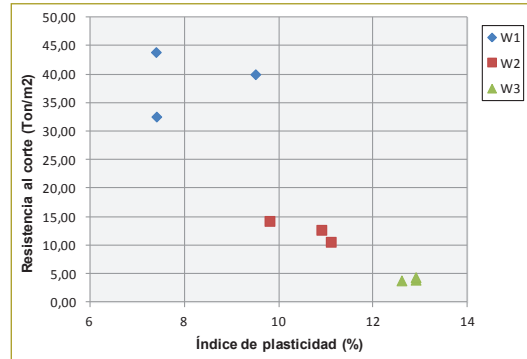


Figura 14. Comparación entre la resistencia al corte y el índice de plasticidad.

### Comparación de la resistencia con la porosidad y el grado de meteorización de la roca

Se presenta una contundente disminución de la resistencia de la roca con el incremento de la porosidad y del grado de meteorización (figura 13), pasando de valores de porosidad del 16,7 al 36,6 %, del estado intacto a totalmente meteorizado.

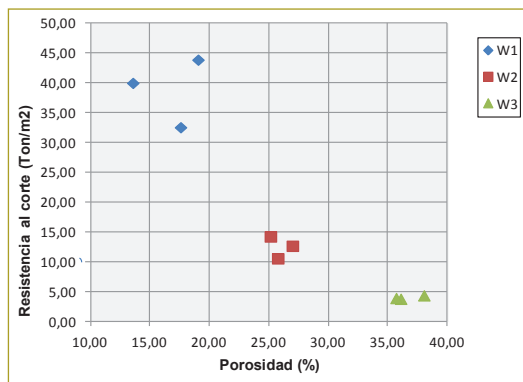


Figura 13. Comparación entre la resistencia al corte y la porosidad.

### Comparación de la resistencia con los índices de plasticidad y el grado de meteorización de la roca

Se presenta un incremento de la resistencia con la reducción del índice de plasticidad y el estado de meteorización de las rocas (figura 14), pasando de índices de plasticidad promedio de 8,10 a 12,8 %, del estado intacto (W1) a totalmente meteorizado (W3).

### Ensayo de azul de metileno

Se realizaron tres ensayos para cada estado de la roca: intacto, parcialmente meteorizado y totalmente meteorizado, donde se aprecian bajos valores de azul de metileno, los cuales oscilaron entre 1 y 1,6 mg/g, lo que indica que las muestras contienen limitadas cantidades de arcilla, siendo coherente con los resultados de los índices de plasticidad obtenidos, los cuales variaron entre 8,10 y 12,80 %, representando baja plasticidad en los materiales analizados.

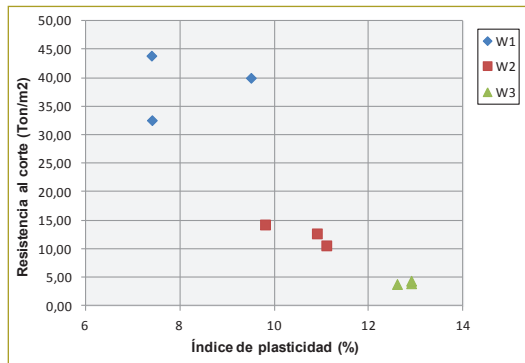
### Comparación de la resistencia con el índice de liquidez y el grado de meteorización de la roca

El índice de liquidez es la relación expresada en porcentajes de contenido de muestra natural de un material menos su límite plástico a su índice de plasticidad. Se obtuvieron índices de liquidez negativos, los cuales representan que el material se encuentra en estado sólido; a medida que el índice de liquidez aumenta, así como el grado de meteorización de la roca, se reduce la resistencia (figura 15).

Se encontró una correlación entre la resistencia y el índice de liquidez, con un coeficiente de determinación R2 de 0,90:

$$\tau = 0,8716e^{-2,436IL}$$

Esta correlación se podrá emplear para taludes de la formación Guaduas en condiciones similares.



**Figura 15.** Comparación entre la resistencia al corte y el índice de liquidez.

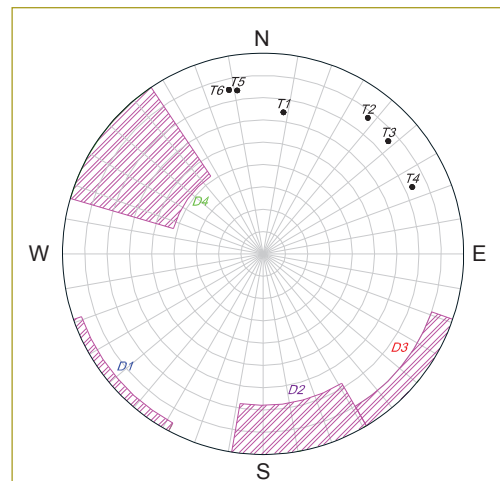
### ANÁLISIS DE ESTABILIDAD DEL TALUD

En el talud norte del parque Mirador de los Nevados se están presentando procesos de inestabilidad, reflejados en el desprendimiento de materiales, producto de un acelerado proceso de meteorización, que se ve favorecido por la localización del talud, el cual queda expuesto directamente a la acción de cambios climáticos, la falta de cobertura vegetal, el aporte de aguas de las viviendas localizadas aguas arriba, la pendiente del talud y el tipo de materiales por el que está constituido, el cual es propenso a la degradación.

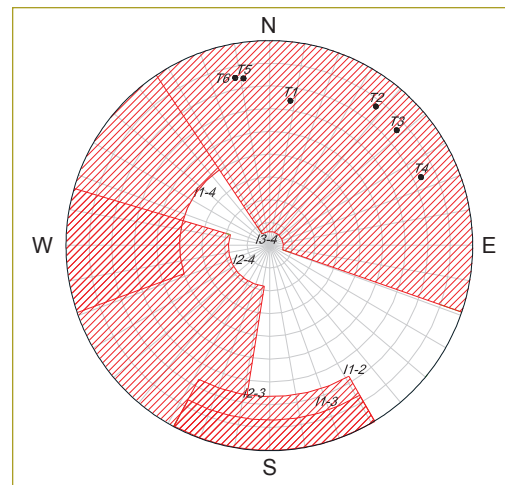
Debido a que se están presentando procesos de inestabilidad, se realizaron los correspondientes análisis de estabilidad para seis secciones a lo largo del talud, considerando las cuatro familias de discontinuidades presentes en el macizo rocoso y tomando como referencia los ángulos de fricción obtenidos en el ensayo de corte directo, los cuales variaron entre  $20^\circ$  y  $31^\circ$  para el estado intacto y completamente meteorizado, respectivamente.

Se hizo el correspondiente análisis cinemático de roturas en roca, para los tres tipos de falla existentes: planar, en cuña y por volteo (figuras 16 - 18). No se identifica posibilidad cinemática por falla planar; en el caso de falla en cuña, por la intersección de las familias de discontinuidades se genera la formación de cinco cuñas, pero no se presenta su posibilidad cinemática. Por el contrario, se identificó que se produce la posibilidad cinemática de falla por volteo, debido a que se presentan bloques de gran buzamiento y con rumbo aproximadamente paralelo a la superficie del talud, en el que el bloque de roca rota alrededor de un punto cerca de su base. La familia que origina la falla al volteo es la

número dos, la cual es la familia que presenta el mayor buzamiento ( $77^\circ$ ); las secciones donde se identificó este tipo de falla son las que se nombraron como taludes 1, 4 y 8.



**Figura 16.** Análisis cinemático falla planar.



**Figura 17.** Análisis cinemático falla en cuña.

En el caso de falla al volteo, se establece únicamente la posibilidad cinemática de falla. En el caso de falla por cuña, también se determina el factor de seguridad. Por tal razón, se calculó el factor de seguridad en cuña siguiendo la metodología de Hoek y Bray (1981). De acuerdo con la figura 17, todos los taludes considerados en el análisis se encuentran incluidos en la cuña generada por las familias de discontinuidades 3 y 4, por lo que sólo se involucran estas dos familias para los análisis realizados.

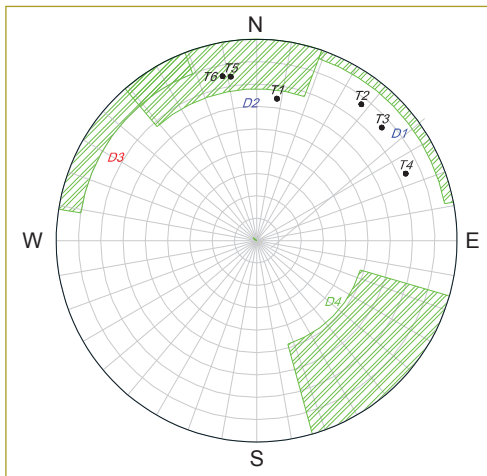


Figura 18. Análisis cinemático falla por volteo.

Se calcularon los factores de seguridad para las seis secciones definidas a lo largo del talud, las cuales presentaban buzamientos entre 64° y 77°, siendo la sección dos la de mayor buzamiento (77°). En la modelación se representaron los tres estados de meteorización de la roca evaluados a lo largo del estudio: intacto (W1), parcialmente meteorizado (W2) y completamente meteorizado (W3), con ángulos de fricción de 31°, 22° y 20°, en ese orden, considerando que entre las discontinuidades no hay cohesión. Los pesos unitarios empleados en los análisis fueron de 2,18, 1,96 y 1,88 t/m<sup>3</sup>, para los estados W1, W2 y W3, respectivamente; se modeló el talud para dos condiciones: seca o saturada. Los factores de seguridad obtenidos en todos los casos siempre fueron mayores que 1, lo que indica que no se presenta falla por cuña (tabla 2).

Tabla 2  
Factores de seguridad falla en cuña

Talud	Condición estática, $\phi=31^\circ$		Condición estática, $\phi=22^\circ$		Condición estática, $\phi=20^\circ$	
	FS sin agua	FS con agua	FS sin agua	FS con agua	FS sin agua	FS con agua
1	11,57	5,67	7,78	3,37	7,01	2,87
2	11,57	4,54	7,78	2,02	7,01	1,60
3	11,57	4,07	7,78	2,17	7,01	1,74
4	11,57	5,04	7,78	2,90	7,01	2,42
5	11,57	7,31	7,78	4,59	7,01	4,01
6	11,57	7,50	7,78	4,73	7,01	4,15

## ANÁLISIS DE CAÍDA DE ROCAS

Debido a que se están presentando caídas de bloques de la parte alta del talud norte del parque Mirador de los Nevados, antes de proponer cualquier obra de estabilidad, se analizó la caída de rocas, lo que permitió obtener una probable trayectoria de la roca desde su desprendimiento hasta su ubicación final, realizando la aplicación de principios y fórmulas de caída libre, así como la teoría de colisiones o choques.

La modelación de caída de rocas se hizo con el programa Rocfall 4.0 de la firma Rocscience, el cual requiere como datos de entrada la topografía del talud, los materiales por los que está constituido, la velocidad de caída de los bloques y el peso de éstos.

En total, se modelaron tres secciones a lo largo del talud. Inicialmente, se realizó una primera modelación, asignándole al talud dos tipos de material: talud rocoso y roca meteorizada. En la modelación se consideraron varias velocidades, desde 0 m/s hasta 3,5 m/s, y diferentes pesos de bloques (hasta de 20 kg). Como resultado de esta modelación, cuando se asignó el material talud rocoso, se obtuvieron recorridos de la roca desde la pata del talud en distancias hasta de 8,7 m, a una baja velocidad (0,1 m/s), y distancias hasta de 12,5 m para una velocidad de caída de la roca de 3 m/s. Estas distancias disminuyeron cuando se asignó al talud el material roca meteorizada, donde para velocidades bajas la distancia de recorrido de la roca desde la pata del talud es de máximo 0,5 m; para velocidades superiores a 2 m/s, la roca recorrió hasta 7,5 m desde la base del talud (figura 19). En todos los casos, la altura máxima a la que rebota la roca es inferior a 1 m.

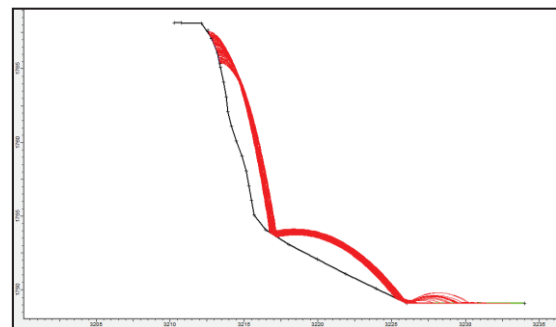


Figura 19. Análisis cinemático falla por volteo.

En virtud de que el macizo rocoso del talud analizado no se encuentra en estado intacto, sin ningún tipo de alteración, no se consideró este tipo de material en el análisis de Rocfall 4.0. Por tal razón, se realizó la modelación de tres secciones a lo largo del talud, asignándole el material roca meteorizada, y considerando ángulos de fricción de  $20^\circ$  y  $31^\circ$ . En las tres secciones analizadas, para velocidades inferiores a 1 m/s, el recorrido de los bloques rocosos alcanza distancias hasta de 0,5 m desde la pata del talud, donde la altura máxima a la que rebota la roca es menor de 0,18 m; para velocidades superiores a 1 m/s (las cuales rara vez se presentan) los bloques recorren distancias entre 2,5 m ( $v=1,5$  m/s) y 8 m ( $v=3,5$  m/s) desde la pata del talud. En todos los casos, para el talud con un ángulo de  $31^\circ$ , las rocas quedan separadas de la base del talud a menores distancias en comparación con el caso de cuando se asigna un ángulo de  $20^\circ$ , lo que conduce a considerar que el grado de meteorización de los materiales, representados en dos ángulos de fricción diferentes, influye en el análisis de caída de rocas.

### PROPUESTA DE OBRAS DE MITIGACIÓN

En el talud norte del parque Mirador de los Nevados se están presentando procesos de inestabilidad que producen desprendimiento de materiales desde la parte alta del talud, como resultado de acelerados procesos de meteorización que conducen a la falla por volteo.

Se analizó la caída de rocas mediante la modelación de tres secciones del talud, y se asignó un material de roca meteorizada para ángulos de fricción de  $20^\circ$  y  $31^\circ$ . De acuerdo con los resultados obtenidos en la modelación, para velocidades hasta de 1 m/s, aproximadamente, cuando cae la roca queda separada máximo 0,5 m desde la pata del talud; para casos extremos, donde se alcanzaran velocidades superiores ( $v=1,5$  m/s), la roca recorre distancias hasta de 2,5 m desde la pata del talud. En todos los casos, la altura máxima a la que rebota la roca es inferior a 1 m.

La recomendación principal para mitigar el proceso de inestabilidad que se presenta en el talud consiste en la implementación de obras de revegetalización, entre las que se incluye la siembra de enredaderas en la corona y base del talud (285 ml), así como la siembra de árboles por toda la pata (23 un); estas obras se proponen con el fin de generar una cobertura vegetal que proteja el talud

de la exposición directa a cambios climáticos que originan procesos de meteorización. Complementariamente, se proponen obras de drenaje a través de una cuneta de coronación (139 ml) para manejo de la escorrentía, ya que por la topografía y el régimen de lluvias, el agua puede discurrir por la cara del talud. Entre las obras de protección para poder habilitar el sendero peatonal existente se propone una barrera de contención de los bloques rocosos que se están desprendiendo, mediante la construcción de gaviones en piedra colocados hacia la pata del talud ( $216 \text{ m}^3$ ).

A continuación se hace una breve descripción de las obras propuestas:

- Siembra de enredaderas (tipo curubos *passiflora*, por ejemplo) hacia la corona y la base del talud; las enredaderas son plantas que, bien ubicadas y seleccionadas, cumplen la función de dar sombra y frutos. Estas plantas también contribuirán a mitigar el proceso de meteorización del talud, y preservarán las condiciones paisajísticas del entorno.
- Muro de gaviones en piedra, de dos niveles de altura, cimentado a 0,3 m de profundidad, ubicado por la pata del talud. La longitud total de esta obra es de 72 m. La función del muro consiste en generar una barrera de protección, limitando la trayectoria de caída de bloques, los cuales quedarían acumulados hacia el trasdós de la obra, actuando como relleno.
- Se recomienda colocar geotextil no tejido por el trasdós de la estructura, para asegurar la retención de partículas finas. Para poder habilitar el sendero peatonal existente, será necesario remover parte del material desprendido, el cual está acumulado hacia la pata del talud.
- Barrera arbórea bordeando el muro de gavión proyectado, mediante siembra de árboles de bajo porte, de raíces poco profundas, separados cada 3 m; en total se requieren unos 26 árboles, los cuales cubrirán los gaviones propuestos para disminuir el impacto visual de estas obras con el paisaje del parque. Complementariamente, la barrera arbórea actuará como método de protección contra los procesos de meteorización presentes en el macizo rocoso. Para la arborización, se recomiendan especies nativas tipo laurel de cera (*Myrica pubescens*) u otras especies de rápido crecimiento y una profundidad radicular moderada, tipo arbustos.

- Cuneta de coronación en concreto de 1,4 m de base y de 139 m de longitud, bordeando la corona del talud, hasta descolar en una caja recolectora en concreto (1,4 m x 1,2 m x 0,9 m) con control de sólidos flotantes, la cual se ubicará antes de cruzar unas viviendas existentes en el sector; de esta caja, el agua será conducida por una tubería de PVC de 6", la cual conectará aguas abajo, con una estructura de drenaje existente. Se propone construir la cuneta de forma escalonada, la cual podrá servir de sendero peatonal, ya que se ubicará en el actual camino por donde transitan los habitantes del sector.

## CONCLUSIONES

- Las rocas arcillosas se encuentran comúnmente en las obras de ingeniería de Colombia, entre las que sobresalen las lutitas y arcillolitas, las cuales, en la mayoría de los casos, exhiben un cambio continuo en sus propiedades mecánicas. Estas rocas son muy vulnerables a los efectos ambientales por la acción climática, en la que se producen ciclos de humedecimiento y secado por la exposición a la acción atmosférica, conduciendo a la degradación de los materiales y a reducciones de la resistencia.
- Para estudiar la influencia de la degradabilidad de las rocas en los parámetros de resistencia de los materiales de la formación Guaduas, al noroccidente de Bogotá, se analizó el talud rocoso del costado norte del parque Mirador de los Nevados, el cual está constituido por intercalaciones de arcillolitas y areniscas. Se estudió la roca arcillolita en tres estados: intacto, parcialmente meteorizado y completamente meteorizado, obteniéndose como resultado reducciones hasta del 94 % en la resistencia de los materiales con un incremento en el grado de meteorización, alterando drásticamente sus condiciones originales.
- El parámetro de resistencia que en mayor medida se ve afectado con el grado de meteorización es la cohesión, la cual en estado intacto presenta valores promedio de 32,6 t/m<sup>2</sup>, reduciéndose a valores promedio de 0,23 t/m<sup>2</sup> en el estado totalmente meteorizado; el ángulo de fricción se reduce de 31° a 20° para los estados de la roca intacto y totalmente meteorizado, respectivamente.
- En el talud norte del parque Mirador de los Nevados se presenta el desprendimiento de materiales y caída de bloques, debido a la ocurrencia de procesos de meteorización física del macizo rocoso que ocasiona la falla por volteo, lo cual se refleja en un deterioro acelerado de la calidad de los materiales
- Se realizaron pruebas índice y de resistencia, y se encontraron relaciones entre éstas para tres niveles de meteorización. Se obtuvieron los siguientes resultados: existe una relación inversamente proporcional entre la resistencia y los resultados de contenido de la humedad, porosidad, límites de Atterberg e índice de liquidez, en la que se evidencia una reducción de la resistencia con el aumento en estos parámetros, así como con el grado de meteorización de la roca. Por otra parte, la resistencia de la roca se incrementa con la disminución del grado de meteorización y con el aumento en parámetros como el peso unitario del material; la resistencia tiende a reducirse a medida que se incrementa la gravedad específica, pero no se presenta una tendencia clara de la variación de este parámetro entre niveles de meteorización.
- Se correlacionaron los resultados de humedad con los límites de Atterberg a través del índice de liquidez, el cual es un indicativo de la historia de esfuerzos al que ha estado sometido el material, para los tres estados de la roca: intacto, parcialmente meteorizado y completamente meteorizado. La correlación obtenida con un buen coeficiente de calibración (R2 de 0,90) puede usarse para taludes de la formación Guaduas en condiciones similares, donde se presenta algún grado de meteorización:
 
$$\tau = 0,8716e^{-2,436IL}$$
- Se efectuaron análisis de estabilidad para tres estados de meteorización de los materiales del talud, donde se obtiene una amplia reducción en el factor de seguridad a medida que aumenta el grado de meteorización, disminuyendo hasta en un 65 % este valor cuando se pasa del estado intacto de la roca a totalmente meteorizado, modelando el talud en condiciones saturadas.
- Debido a la situación actual de desprendimiento de materiales y caída de bloques rocosos, producto de la falla al volteo que se está presentando en el talud y por las condiciones de meteorización a la que se encuentra sometido, se representó la trayectoria de caída de bloques rocosos, modelando dos condiciones del macizo: en estado intacto y en estado meteorizado.

- Se propusieron medidas correctivas del problema de inestabilidad que actualmente presenta el talud norte del parque Mirador de los Nevados. La principal recomendación está enfocada hacia obras de revegetalización, entre las que se incluyen siembra de enredaderas en la corona y base del talud, así como la siembra de árboles de bajo porte hacia la pata del talud. De manera complementaria, se propone la construcción de una cuneta de coronación en concreto y de una barrera de contención de los bloques desprendidos, mediante la construcción de un muro en gaviones hacia la pata del talud.
- En la mayoría de los proyectos en los que se involucra la roca como material de construcción o existe la presencia de taludes rocosos no se tiene en cuenta su grado de meteorización, el cual altera sus propiedades, reduciendo su resistencia y potenciando las probabilidades de que el material falle y no se comporte como una roca sino como suelo.
- Para control de procesos de meteorización tradicionalmente se emplean las coberturas, las cuales pueden ser vegetales, con mortero o con biomantos. Para la situación del parque se recomienda una cobertura vegetal, siguiendo la sucesión natural vegetal.
- Para reflejar una condición real del análisis de meteorización de las rocas y su influencia en el comportamiento de los materiales, es recomendable comparar los resultados obtenidos en el laboratorio con los que realmente se somete la roca *in situ*, evaluando la velocidad de meteorización.
- Se recomienda ejecutar estudios de meteorización para materiales de otras formaciones, como la Bogotá y el Cacho, o aquellas en las cuales predominan las lutitas.

## RECOMENDACIONES

- La formación Guaduas se encuentra en la cordillera Oriental del país y aflora en muchas localidades. Las obras de ingeniería que se van a desarrollar necesariamente tendrán que involucrarse con los materiales de esta formación, los cuales podrían tener procesos de meteorización. Estas correlaciones representan el comportamiento de dicha formación. Para otras formaciones habrá que hacerse un análisis similar.

## REFERENCIAS

- DAMA & Universidad Nacional de Colombia (1997). Recuperación morfológica y ambiental de la cantera de Suba. Convenio 025/96. Bogotá.
- Farah, R. (2011). Correlations between index properties and unconfined compressive strength of weathered Ocala limestone. University of North Florida.
- García, M. & Moya, J.E. (1998). *Manual de estabilidad de taludes*, Invías (1.ª ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Hoek, E. & Bray, J.W. (1974). *Rock Slope Engineering* (revised 3rd ed.).
- Torres, M.C. (2010). Síntesis del estado del conocimiento sobre el comportamiento esfuerzo - deformación y degradabilidad de rocas lodosas. Bogotá: Colciencias y Universidad Nacional de Colombia.



# Ensayo de compresión inconfiada: variación en la resistencia al corte no drenado por cambios en el diámetro de las probetas

Unconfined compression test: Variation in  
undrained shear strength due to changes in  
flask diameter

JUAN DAVID TRUJILLO BOLÍVAR<sup>1</sup> - DIEGO COBOS ROA<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

juan.trujillo@mail.escuelaing.edu.co - diego.cobos@escuelaing.edu.co

Recibido: 08/08/2017 Aceptado: 10/09/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

## Resumen

En el presente artículo se busca mostrar los resultados de la investigación realizada acerca del comportamiento que experimenta la resistencia del suelo en el ensayo de compresión inconfiada en muestras de suelos Inviás 152-1023/2013 cuando se realiza una variación en las dimensiones de las muestras inalteradas, que se obtienen luego de la extracción en campo. Con los análisis efectuados en laboratorio, el principal resultado es un cambio en la resistencia al corte a medida que el diámetro de las muestras aumentó, causado por variables externas como humedad, origen geológico, fisuras y tipología del suelo.

**Palabras claves:** compresión inconfiada, resistencia, suelos, arcillas.

## Abstract

This article aims at showing the results of a study about the behavior that soil resistance experiences in the unconfined compression tests from soil samples Inviás 152-1023/2013 when a variation in unaltered sample dimensions is performed, obtained after field extraction. Using the laboratory analysis, the main result is a change in shear strength as the sample diameter grows, caused by external variables such as humidity, geological source, fissures, and soil topology.

**Keywords:** unconfined compression, strength, soils, clays.

## INTRODUCCIÓN

Entre los procesos que se llevan a cabo en Colombia en materia de muestreo, ensayos y caracterización de suelos para distintos propósitos en el campo de la ingeniería, cabe señalar que uno de los procedimientos más comunes es el ensayo de compresión inconfiada. Si bien es cierto que este ensayo proporciona valores que no son lo suficientemente cercanos a la realidad en términos del comportamiento del suelo, es el más usado en Colombia por su facilidad de ejecución y bajo costo.

Por tal motivo, se consideró pertinente realizar un trabajo investigativo que contribuyera en alguna medida a minimizar la incertidumbre con respecto a los valores obtenidos mediante este ensayo en cuanto a muestras que tengan como variable las dimensiones y su cambio en los valores de los parámetros de resistencia, con el fin de obtener una visión amplia sobre la influencia de dicho tipo de muestras en este ensayo y en el dimensionamiento de las estructuras.

Las especificaciones de muestreo para Colombia se rigen por las *Normas y especificaciones del Instituto Nacional de Vías* (Invías), en su última edición (2013) y por las Normas técnicas colombianas Icontec 1527, para compresión inconfiada NTC - 1527 y INV-E-152-13. En estas normas se establecen los criterios y condiciones básicas que se deben tener en cuenta en el proceso de muestreo y desarrollo de los ensayos pertinentes para conocer los parámetros esenciales dentro de un estudio geotécnico; de igual manera, se dice que la muestra mínima debe ser de 30 mm de diámetro, con una partícula no mayor de 1/10 del diámetro y con muestras iguales o mayores que 72 mm, con una partícula no mayor de 1/6 del diámetro (Invías, 2013); este proceso está sujeto a obtener resultados con un margen de error alto, lo cual inevitablemente repercutirá en la confiabilidad del ensayo.

De acuerdo con lo anterior, no hay claridad en cuanto a la geometría y la afectación que puede tener este parámetro en la determinación de demás parámetros de resistencia de los suelos mediante el ensayo de compresión inconfiada, tomando en cuenta que las características geométricas están relacionadas directamente con la rigidez de un elemento, según Hibbeler (1998).

A juicio de Sakamoto y Takaharu (2003), se evidencian problemas para hacer los ensayos de laboratorio

debido a los tamaños (en términos de diámetro y altura) de las muestras, ya que al momento de preparar el ensayo se presentan fisuras y se evidencia heterogeneidad en la muestra. Dichos autores realizaron un estudio en Japón en el que se tomaron varias muestras de distintos lugares, entre éstos el Reino Unido y Japón, por supuesto; ellos encontraron que existían cambios para diferentes tipos de diámetros, relacionados con los índices de plasticidad de las muestras y con diámetros aun menores que los mínimos con los que se trabaja comúnmente en la norma (35 mm), justificado todo esto en menores inconvenientes en el procedimiento.

Otra referencia son los estudios efectuados por Thuro y Plinninger (2001), en los cuales se realizaron ensayos de compresión inconfiada y ensayo de tracción indirecta en Brasil a rocas, considerando un número significativo de pruebas, ellos evaluaron la variación en la resistencia a causa de diferentes características geométricas. Los resultados se basaron principalmente en que el efecto de la forma tuvo un impacto importante en las propiedades de resistencia; de acuerdo con la razón de cambio entre la relación longitud/diámetro, que varía de 1 a 3, la influencia sobre el esfuerzo, módulo de elasticidad y resistencia a la tracción es bastante significativa, mientras que el efecto sobre la resistencia a la compresión no confinada es mucho menor.

Cabe anotar que dentro de las consultas y la revisión bibliográfica no se encuentran documentos técnicos de apoyo sobre el tema desarrollados en Colombia y hay muy poca información a escala mundial.

Según la normativa vigente en Colombia (Invías), hay que tener en cuenta las siguientes recomendaciones para la toma de las muestras:

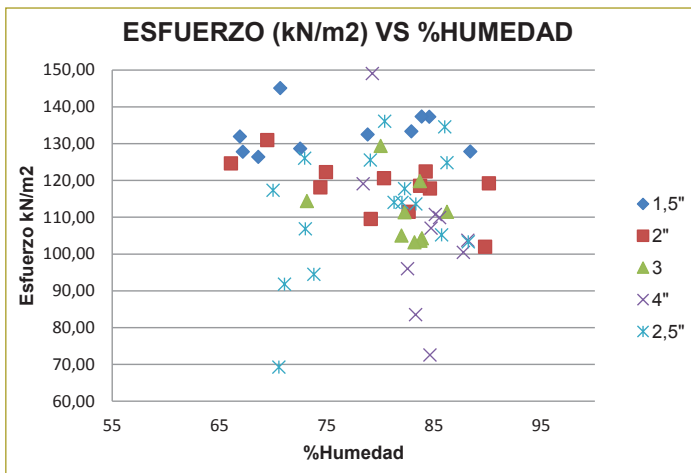
- Diámetro mínimo: 30 mm.
- Tamaño máximo de las partículas: menor que 1/10 de su diámetro.
- Relación altura-diámetro (L/D): debe ser lo suficientemente grande para evitar interferencias en los planos potenciales de falla a 45° y lo suficientemente corta para evitar que actúe como columna; para satisfacer ambos criterios, se recomienda una relación L/D comprendida entre 2 y 3.

**RESULTADOS**

Se hicieron los ensayos de compresión inconfiada para las muestras extraídas<sup>1</sup> de los suelos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, tomando como referencia los resultados del *software* Humboldt Material Testing, utilizado para la falla de cada una de las muestras mencionadas.

Con el fin de revisar otros comportamientos de dichas muestras, a continuación se encuentran las figuras correspondientes a las siguientes variables:

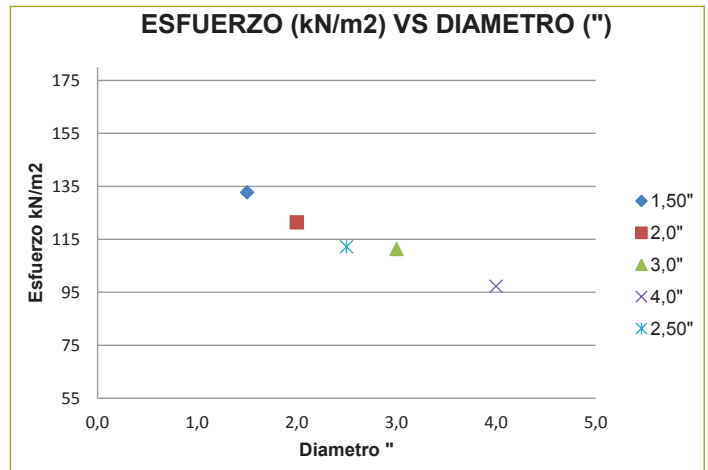
- Esfuerzo vs. humedad
- Esfuerzo vs. diámetro



**Figura 1.** Esfuerzo vs. humedad.

Al ver la figura anterior se puede analizar que el esfuerzo presenta una disminución a medida que se incrementan los diámetros, y respecto a la humedad, ésta se mantuvo constante entre 66 y 90 % en los diámetros establecidos.

Por otra parte, en la figura siguiente se puede observar un comportamiento inverso, donde a mayor diámetro menor es el esfuerzo, lo cual puede ocurrir debido a que los resultados son afectados directamente por factores externos, como fisuras y humedad del suelo.



**Figura 2.** Esfuerzo vs. diámetro.

Con el propósito de revisar otros comportamientos de las muestras señaladas, vale la pena mencionar que dentro de la investigación se hicieron los análisis correspondientes a las siguientes variables:

- Esfuerzo vs. humedad
- Esfuerzo vs. % de deformación en falla
- % de humedad vs. % de deformación en falla
- % de humedad vs. diámetro
- Esfuerzo vs. diámetro
- Esfuerzo vs. sensibilidad
- C vs. SUV
- Esfuerzo vs. módulo de Young
- % de humedad vs. módulo de Young

Como herramienta adicional para el análisis, se compararon los resultados de acuerdo con el modelo hiperbólico de Duncan y Chan<sup>2</sup>, el cual permite predecir con exactitud la relación esfuerzo vs. deformación del suelo cuando presenta una falla plástica, con el fin de establecer si la curva de resultados se asimilaba a dicho modelo.

Según revisión realizada al modelo hiperbólico, se pudo determinar que éste no se ajustó a los resultados obtenidos en las gráficas de esfuerzo vs. deformación unitaria; de igual manera, se puede concluir que la exactitud en las predicciones del modelo no está relacionada

1. Los diámetros de las muestras fueron de 1,50", 2,0", 1,5", 2,0", 2,5", 3,0" y 4,0".

2. Estudio de la exactitud del modelo hiperbólico de Duncan y Chan en la predicción de la relación esfuerzo deformación de tres suelos arcillosos cubanos. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93215932005>.

con el contenido de arcilla y humedad de éstos, sino con la forma de la curva esfuerzo-deformación.

## CONCLUSIONES

Una vez hechos el trabajo de campo, las pruebas de laboratorio y análisis de resultados, las principales conclusiones de esta investigación son:

- La variabilidad de los resultados puede ser producto de las condiciones del terreno (humedades, tipología, origen geológico, microfisuración y fisuración) al momento de realizar la extracción y posterior falla.
- Debido a que el estudio se efectuó en arcillas naturales, éstas tienden a presentar fisuras, circunstancia que afecta directamente los resultados.
- Se puede concluir que el ensayo no se debe excluir para el estudio de suelos, puesto que los resultados son afectados directamente por factores externos.
- Al momento de realizar el análisis entre los resultados de los ensayos de veleta de campo y compresión inconfiada, éstos no presentaron gran variación en su resistencia, lo cual nos puede conducir a resultados de alta confiabilidad.

Como consideraciones adicionales para posteriores estudios relacionados con el tema propuesto, se recomienda en lo posible hacer mayor número de exploraciones, con el fin de buscar mayor certeza en los datos y así tener los suficientes argumentos que incidan en un cambio en las condiciones del ensayo, planteadas en la normativa colombiana vigente. Así mismo, es conveniente realizar análisis en diámetros inferiores, diferentes de los expuestos en la normativa vigente, buscando controlar los factores externos que en este caso fueron fisuras, humedades y origen geológico para conocer cómo impactan en los resultados finales.

Finalmente, se recomienda efectuar otros ensayos, que permitan establecer la resistencia al corte, generando puntos de comparación que garanticen un óptimo diseño de las estructuras de cimentación en el desarrollo de nuevos proyectos de ingeniería, con datos más cercanos a la realidad.

## Agradecimientos

Doy gracias a los ingenieros Diego Cobos Roa, director del trabajo de grado, y Oxiris Quitian Chila, docente de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

# Diseño de portales para evitar o reducir el corte en rocas

## Portal design to prevent or mitigate rock shear

MARIO A. ARIAS E.<sup>1</sup> - RICARDO SALAZAR FERRO<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

2. Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

mario.arias@mail.escuelaing.edu.co - ricardo.salazar@escuelaing.edu.co

Recibido: 28/08/2017 Aceptado: 12/09/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### Resumen

Las restricciones en materia de topografía conducen a diseños de portales que no se intersectan necesariamente con el eje de la vía en un ángulo recto. La falta de guías apropiadas en el diseño para portales y un vago entendimiento sobre el comportamiento del macizo rocoso traen como consecuencia el diseño de portales muy conservadores (soporte pesado o rígido), generando adicionalmente procedimientos de construcción complejos, tiempos de construcción más largos y un mayor impacto ambiental. Este artículo apunta hacia un nuevo enfoque para el diseño de portales de forma sesgada, fundados en una comprensión completa del comportamiento del macizo rocoso y sus mecanismos de falla. El enfoque se basa en modelos numéricos 2D, complementados con modelos 3D, para la comparación y la optimización de la metodología del diseño de portales.

**Palabras claves:** diseño de portales, túneles, emboquilles, portales sesgados, portales oblicuos y portales con poca cobertura.

### Abstract

Geometrical alignment conditions as well as topography restrictions lead to portal designs, which do not necessarily intersect the ground in a desired perpendicular angle. Lack of portal design guidelines and a vague understanding on the rock mass yield, therefore, to conservative (heavy/stiff support) portal designs, complex construction procedures, longer construction times, and a higher environmental impact. The present work proposes a new approach for skewed portal design based on a complete understanding of the rock mass behavior and its failure mechanisms. The approach is based on 2D numerical models and complemented with 3D models for comparison and optimization. A case in the Andes mountain range is presented, where conventional and skewed portals have been constructed.

**Keywords:** design portals, tunnels, skewed portals, oblique portals, low overburden portals.

## INTRODUCCIÓN

Las incertidumbres inherentes al terreno son un hecho conocido para la ingeniería de túneles. En el caso específico de diseño de portales, los ingenieros no tienen directrices que ofrezcan enfoques apropiados para el diseño. Una “regla empírica” se ha aplicado en el diseño de portales, la cual indica que la cobertura del terreno alrededor del túnel debe estar en un mínimo entre una y dos veces el diámetro del túnel, dependiendo de las propiedades de resistencia del suelo y los criterios de ingeniería del diseñador. La anterior regla se conoce como el enfoque estándar para el diseño de portales.

La metodología de diseño convencional busca inicialmente la información base (geología, topografía, etc.). Después se obtienen los parámetros de entrada y se sigue con un análisis de estabilidad para los taludes del portal. Finalmente, para el túnel se selecciona el soporte según las recomendaciones de la metodología RMR (Bieniawski, 1989).

La metodología convencional de diseño de portales considera el portal sesgado como un problema en 3D a uno en 2D, situación que es incapaz de representar correctamente el comportamiento. Por esto, hay que generar una metodología de diseño 2D que tome todas las consideraciones necesarias para el diseño de un portal sesgado.

## NECESIDAD DE UN NUEVO ENFOQUE EN EL DISEÑO DE PORTALES

El problema del enfoque estándar se ve reflejado en el caso de estudio del portal de entrada túnel 11, del tramo 4 Cisneros-Loboguerrero. Ruta 40 Buga-Buenaventura.

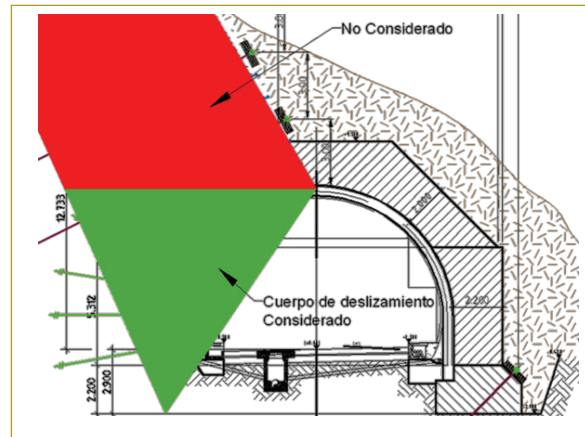


**Figura 1.** Localización del portal de entrada túnel 11. Ruta 40 Cisneros - Loboguerrero.

El portal presenta una pendiente escarpada, la cual dificulta aplicar el enfoque estándar. Al tratar de posicionar el portal de tal manera que el corte generado quede perpendicular al eje de la vía, se crean a su vez cortes extremadamente elevados, los que son muy difíciles de estabilizar y construir.

Ante esta situación, el diseñador concibe un portal de forma sesgada, el cual obliga a hacer cortes en la ladera. En este caso, el diseño siguió la metodología de diseño de portales convencionales, por lo que se diseñó con técnicas de equilibrio límite para el cálculo de bloques potencialmente inestables.

El análisis de equilibrio límite de bloques deslizantes no contempla bloques de roca por encima del ecuador (figura 2, área roja). Sólo se analizan bloques por debajo del ecuador (figura 2, área verde).



**Figura 2.** Cuerpo deslizante considerado.

Una vez realizado el análisis de bloque deslizante, el diseñador recomienda el siguiente tratamiento de estabilización: dos filas de anclajes activos de 250 kN de tensión de trabajo, concreto neumático de 10 cm de espesor para la protección del talud y un túnel falso de 2 m de espesor para contención del talud.

Justo cuando se había terminado de construir el portal y antes de iniciar la excavación a sección completa del túnel, el diseñador presenta un informe en el que el portal tiene un factor de seguridad muy cercano a la unidad y no se puede construir (“Un análisis numérico adicional (realizado en Linz, Austria) indica que estamos con un factor de seguridad muy cerca de la unidad (FS = 1,0), cuando se considera la generación de la cuña más desfavorable”). Por lo anterior, el diseñador sugiere instalar mayor número de anclajes y construir el túnel falso de 2 m de espesor antes de realizar cualquier obra subterránea.

Mientras se discute por qué falla el modelo numérico, la construcción del portal avanza y finaliza sin ningún tipo de inconveniente. Entonces el constructor decide recurrir a otro diseñador, el cual solicita nuevos ensayos



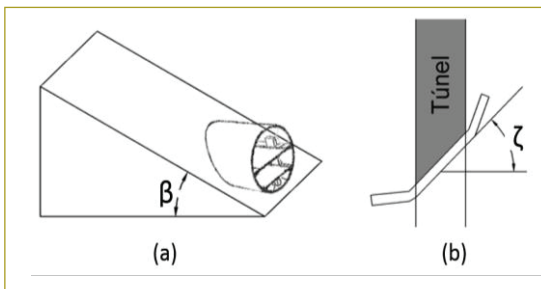
**Figura 3.** Avance de construcción a la llegada de las nuevas recomendaciones del diseñador.

de laboratorio y comprueba, mediante modelos 2D, que el modelo es inestable. Debido a que el portal no presenta ningún tipo de movimiento, el nuevo diseñador decide realizar un modelo 3D, donde finalmente se comprueba que es estable (muy por encima de lo habitual). Ese modelo tardó más de dos meses en su ejecución (el portal estaba construido y el diseño no contaba con el aval completo de la interventoría). Es aquí donde se presenta el cuestionamiento de por qué el modelo 2D es inestable y el modelo 3D es estable. Claramente, es porque falta una metodología de diseño 2D definida para los portales sesgados.

### BÚSQUEDA DE LA METODOLOGÍA DE PORTALES SESGADO EN 2D

El desarrollo de la metodología de diseño en 2D se basó en las modelaciones 3D, comparado con las simulaciones en 2D.

Se inició con la investigación con modelaciones en 3D en la que se combinan diversos grados de inclinación del talud, para determinar el grado máximo de sesgo que puede soportar cada tipo de terreno.



**Figura 4** (a)  $\beta$  ángulo de inclinación del talud respecto a la horizontal. (b)  $\zeta$  ángulo de sesgo respecto a la perpendicular del eje de la vía.

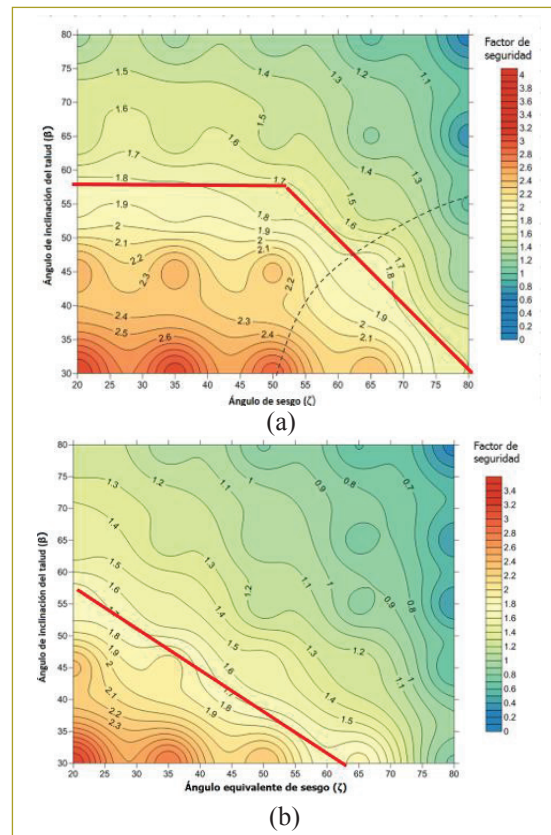
Para los parámetros de resistencia de las cinco clases de terreno consideradas, así como para el soporte recomendado para el túnel, se sigue la metodología de clasificación y soporte de túneles RMR (Bieniawski, 1989).

**Tabla 1**

Combinaciones contempladas en los modelos en 3D

Tipo de terreno	Inclinación talud $\beta$ [°]	Ángulo de sesgo $\zeta$ [°]
I	30	20
II	45	35
III	55	50
IV	65	65
V	80	80

Se hizo el análisis en 3D para tres escenarios. El primero es el cálculo de la ladera sin intervenir, en el segundo se analiza el portal en forma sesgada y en el tercero se analiza la construcción de un portal convencional.



**Figura 5.** Compilación de todos los factores de seguridad de la modelación en 3D. (a) Portal sesgado y (b) portal convencional.

En cada escenario se realizaron los siguientes análisis. Primero, se analiza la carga geostática versus la resistencia de los materiales. Segundo: se encuentra el factor de seguridad reduciendo los parámetros de resistencia del material hasta que se genere una falla del talud.

En (a) el comportamiento del factor de seguridad respecto al ángulo de sesgo ( $\zeta$ ) tiene la tendencia a ser relativamente horizontal entre los 20° y 45° de sesgo. Luego se tiene una pendiente uniforme hacia el eje horizontal, como se puede ver en la línea roja.

En (b) la tendencia del factor de seguridad es un tanto diferente respecto al ángulo equivalente de sesgo, ya que sólo presenta una pendiente relativamente uniforme en descenso al eje horizontal.

Para representar los datos en una sola curva por clase de terreno, se recurre a normalizarlos con el factor de seguridad de la ladera natural.

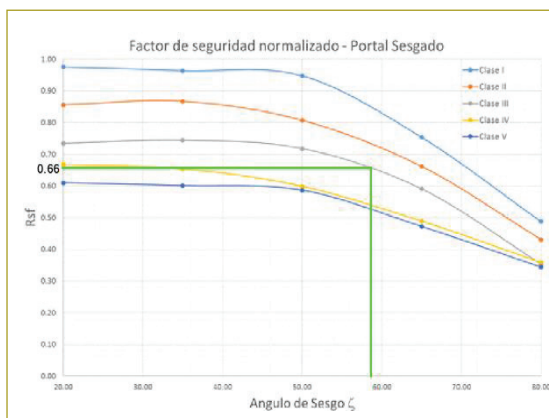
$$Rsf = \frac{FS_{portal}}{FS_{natural}}$$

Donde:

Rsf: valor normalizado del factor de seguridad.

$FS_{portal}$ : valor del factor de seguridad del portal sesgado o convencional.

$FS_{natural}$ : valor del talud natural sin intervención.



**Figura 6.** Factores de seguridad normalizados para portal sesgado en función del ángulo de sesgo ( $\zeta$ ) y según cada clase de terreno.

Por ejemplo, en un terreno con ladera natural que tiene un  $FS=1,30$  para un terreno clase III, al implementar un portal sesgado de  $\zeta=60^\circ$ , se tendrá un factor de seguridad normalizado de 0,66. Este valor, si se multi-

plica con el factor de seguridad natural de 1,30, arroja un factor de seguridad del sesgo de  $(1,30 \times 0,66) = 0,85$ .

El valor de 0,85 sería el factor de seguridad del portal sesgado sin sistema de estabilización. Para elevar este valor al mínimo recomendado de 1,5 sería necesario un sistema de estabilización pesado (anclajes y pernos). Por lo anterior, la aplicabilidad de un portal sesgado se debe evaluar para cada caso particular. El anterior ejemplo se constituye en una base para la metodología de prediseño de portales sesgados.

### ¿Cómo simular un comportamiento en 3D en un modelo 2D?

El desarrollo de la metodología de diseño en 2D se basó en las modelaciones 3D en comparación con las simulaciones en 2D. En el diseño en 2D para el túnel se siguió la metodología de predicción de desplazamiento de túneles (Pilgerstorfer, 2010), metodología que ayuda a calcular cuál es el auto soporte de la roca en un túnel modelado en 2D. Generalmente, se denomina pseudo-3D.

El problema que se suscitó es cómo generar un diseño pseudo-3D para los taludes de los portales, ya que este tema tiene poco desarrollo. A continuación se presentan las opciones evaluadas para determinar la pseudo-3D de los taludes:

**Alternativa 1:** Modificación del espesor del elemento finito. Esta es la alternativa más adecuada para el diseño de taludes en pseudo-3D. Sin embargo, en el programa Plaxis® fue imposible su aplicación debido a las limitaciones de este programa, por lo que se propuso la siguiente alternativa.

**Alternativa 2:** Modificación con parámetros equivalentes para simular el efecto 3D en un modelo 2D. El procedimiento modifica (incrementa o reduce) los parámetros de resistencia del material según el espesor que debería tener el elemento finito.

El primer cuestionamiento es como modificar los parámetros, por lo que se analizan diferentes hipótesis para transformar los parámetros, como se ve a continuación (figura 7).

En los primeros análisis se concluye que la tendencia bilineal 2 es la que se ajusta a un error de  $\pm 10\%$  respecto a los valores obtenidos en el análisis en 3D.



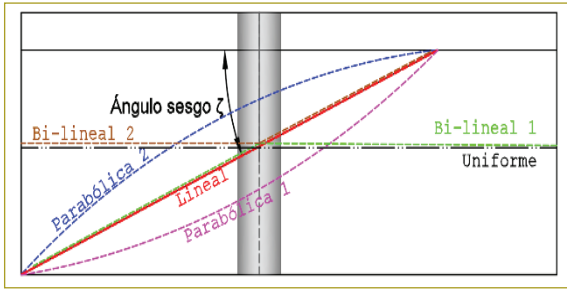


Figura 7. Tendencias analizadas.

El segundo cuestionamiento es si la cobertura del túnel tiene influencia en el cálculo de la pseudo-3D. Por ende, se analiza la tendencia bilineal 2 para diferentes longitudes de cobertura del túnel, cuyos resultados se resumen en el siguiente gráfico (figura 8):

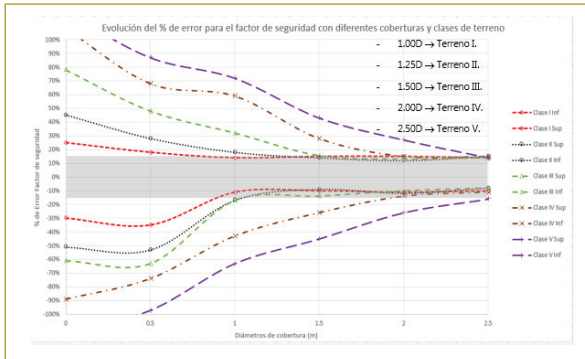


Figura 8. Evolución del porcentaje de error para el factor de seguridad con diferentes coberturas.

Se concluye que la cobertura influye directamente en el cálculo de la pseudo-3D de los taludes, por lo cual se plantea el siguiente procedimiento para modificar los parámetros de un portal sesgado para su diseño en 2D.

1. Dibujar en planta el portal sesgado, en el que se grafique el ángulo de sesgo ( $\zeta$ ) y se localice la proyección en planta del túnel.

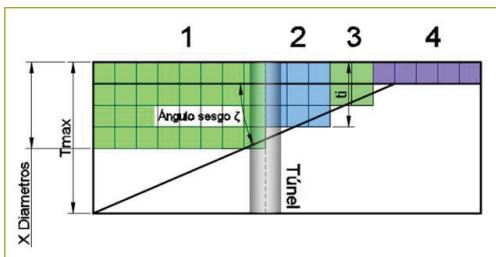


Figura 9. Esquema de modificación de parámetros.

2. Calcular los parámetros equivalentes en relación con cada columna. Se presume que en la columna uno (1) tiene los parámetros originales ( $T_{Entrada}$ ), y con el espesor de las restantes columnas ( $t_i$ ) se calcula el factor de modificación.

Los parámetros modificados son el producto de los parámetros de entrada por un factor multiplicador, el cual por cada columna se obtiene así:

$$f_i = \frac{t_i}{T_{entrada}}$$

El factor multiplicador se aplica a todos los parámetros de resistencia del material y se asignan al modelo matemático en 2D, como en el siguiente ejemplo:

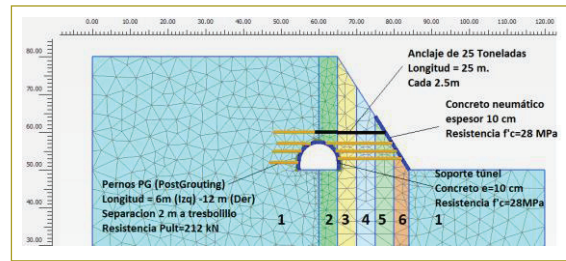


Figura 10. Asignación de parámetros modificados en un modelo en 2D.

### COMPARACIÓN ENTRE UN PORTAL SESGADO Y UNO CONVENCIONAL

Para poder verificar la efectividad de la metodología de diseño de portales sesgados en 2D, se realiza el cálculo del portal de entrada del túnel 11, como si fuera convencional y sesgado con la metodología desarrollada. Además, como punto de comparación, están los factores de seguridad en 2D, siguiendo el enfoque estándar.

Tabla 2

Resumen de los factores de seguridad para diferentes opciones de diseño del portal

Tipo de solidación	PORTAL ENTRADA TÚNEL 11		
	CONVENCIONAL	SESGADO Sin metodología 2D	SESGADO Con metodología 3D
Factor de seguridad estático	1.59	1.25	1.65
Factor de seguridad estático	1.12	-	1.16
%U Concreto neumático	40%	-	74%
%U Pernos	39%	-	80%

**Tabla 3**  
Análisis de costos para los tres tipos de alternativas de portal

PORTAL ENTRADA TÚNEL 11		
Tipo de solicitud	CONVENCIONAL	
		Precio (Pesos)
Área de tratamiento (m <sup>2</sup> )	617.00	
Volumen de excavación (m <sup>3</sup> )	2345.00	\$ 454,461,000.00
Concreto neumático F'c 28 MPa (m <sup>3</sup> )	247.70	\$ 326,716,300.00
Mala Electrosoldada No 6 (Kg)	5952.86	\$ 37,205,350.00
Pernos PG (m)	7431.00	\$ 731,953,500.00
Anclajes de 25 Toneladas (m)	0.00	\$ -
Arcos metálicos HEB 100 (Kg)	43588.35	\$ 958,943,700.00
<b>Total (Pesos)</b>		<b>\$ 2,509,279,850.00</b>

Tipo de solicitud	SESGADO Sin metodología 2D	
		Precio (Pesos)
Área de tratamiento (m <sup>2</sup> )	300.00	
Volumen de excavación (m <sup>3</sup> )	145.00	\$ 28,101,000.00
Concreto neumático F'c 28 MPa (m <sup>3</sup> )	216.00	\$ 284,904,000.00
Mala Electrosoldada No 6 (Kg)	4733.04	\$ 29,581,500.00
Pernos PG (m)	5580.00	\$ 244,280,000.00
Anclajes de 25 Toneladas (m)	750.00	\$ 241,200,000.00
Arcos metálicos HEB 100 (Kg)	43588.35	\$ 958,943,700.00
<b>Total (Pesos)</b>		<b>\$ 1,787,010,200.00</b>

Tipo de solicitud	SESGADO Con metodología 3D	
		Precio (Pesos)
Área de tratamiento (m <sup>2</sup> )	300.00	
Volumen de excavación (m <sup>3</sup> )	145.00	\$ 17,994,500.00
Concreto neumático F'c 28 MPa (m <sup>3</sup> )	107.50	\$ 141,792,500.00
Mala Electrosoldada No 6 (Kg)	4733.04	\$ 29,581,500.00
Pernos PG (m)	1395.00	\$ 137,407,500.00
Anclajes de 25 Toneladas (m)	300.00	\$ 96,480,000.00
Arcos metálicos HEB 100 (Kg)	14529.45	\$ 319,647,900.00
<b>Total (Pesos)</b>		<b>\$ 742,903,900.00</b>

De la tabla anterior se puede observar que el portal sesgado, analizado con la metodología objeto de esta investigación, ofrece el menor costo (la tercera parte menos que el convencional) y con similares o mejores factores de seguridad en los taludes que las otras alternativas planteadas.

El portal sesgado diseñado sin seguir una metodología clara aporta un ahorro de una quinta parte con respecto al convencional. Sin embargo, al no tener una metodología clara, no se pueden representar los resultados claramente (sólo cuenta con un factor de seguridad de 1,25 que no cumple con la normativa colombiana NSR-10).

**CONCLUSIONES**

La metodología de diseño de portales sesgados, producto de esta investigación, parte del límite de las

condiciones expresadas en el presente artículo. Antes de aplicar la metodología, se debe verificar la similitud con las condiciones anteriormente expresadas. De no ser similares, se debe abstener de aplicar la metodología de diseño resultado de esta investigación.

Para el desarrollo de la metodología de diseño de portales sesgados, la investigación se basó en la clasificación de terrenos rocosos de RMR (Rock Mass Rating) (Bieniawski, 1989). No obstante, los parámetros de resistencia se basaron en correlaciones entre el valor de RMR y los parámetros de resistencia del criterio de falla de Morh-Coulomb, por lo que el uso de cualquier criterio de falla que se pueda transformar a Morh-Coulomb es permitido.

La metodología de diseño reduce los requerimientos de soporte para la segura estabilización del túnel y del talud, comparado con otro tipo de diseños (convencionales o sesgados, sin metodología de diseño).

La metodología puede aplicarse a cualquier tipo de roca que pueda representarse con la clasificación RMR (Bieniawski, 1989). Sin embargo, para materiales que no se puedan clasificar con el RMR, el uso de la metodología queda restringido.

Para cualquier tipo de obra geotécnica, se recomienda el uso del método observacional (Peck, 1969). El método observacional se basa en los datos obtenidos por la instrumentación y el monitoreo, para efectuar modificaciones y optimizaciones del diseño durante la etapa de construcción; adicionalmente, ayuda a prevenir desprendimientos que hagan colapsar el portal.

El empleo de portales sesgados es el más adecuado cuando se presentan problemas prediales, de estabilidad de taludes, afectaciones ambientales, etc. Además, ofrece menores costos comparado con otro tipo de soluciones.

**REFERENCIAS**

Bieniawski, Z.T. (1989). Engineering Rock Mass Classification. En *A complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. s.l.: Wiley-Interscience, pp. 40-47.  
 Department of the Army, U.S. (mayo de 2007). Army Corp of Engineers. Engineering and Design Tunnels and Shafts in Rocks. En Washinton DC: s.n., pp. 9-3 y 9-4.  
 Peck, R. B. (1969). Advantages and limitations of the observational method in applied soil mechanics. En *Géotechnique*. Londres: s.n., pp. 171-187.  
 Pilgerstorfer, T. (2010). *Prediction of displacement development using closed-form solutions*. s.l.: Institut für Felsmechanik und

Tunnelbau, Technische Universität Graz ed. Saarbrücken: VDM Verlag Dr. Müller.  
Plaxis (2015). *Plaxis 3-s Anniversary Edition*. Delft, Países Bajos: www.plaxis.nl.

Ramírez, P. & Alejano, L. (2004). *Mecánica de rocas: fundamentos e ingeniería de taludes*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.

Rocscience (2008). Pseudo-3D in Tunnelling Tutorial. En *Manual de uso Rocscience Phase2 V.8*. Toronto: s.n., p. 14.



## Metodología para evaluación de la seguridad vial a la infraestructura de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en proyectos viales concesionados.

Caso de estudio autopista Bogotá-Villeta del km 0+000 al km 5+000

Methodology to assess road safety in infrastructure of vulnerable users (pedestrians, cyclists, and motorbike riders) in leased road projects. Case study: Bogotá-Villeta Highway km 0+000 to km 5+000

MILDRETH CRISTINA SIFONTES CABAS<sup>1</sup> - MARITZA VILLAMIZAR ROPERO<sup>2</sup>

1. Maestría en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.
2. Directora de la especialización en Diseño, Construcción y Conservación de Vías.

mildreth.sifontes@escuelaing.edu.co - maritza.villamizar@escuelaing.edu.co

Recibido: 02/09/2017 Aceptado: 18/09/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### Resumen

Como es de conocimiento general, hay que establecer parámetros de seguridad para todos los usuarios de la vía, teniendo en cuenta que los más afectados con el aumento de carriles en una vía nacional son los usuarios vulnerables (motorizados y no motorizados) porque la prioridad de los contratantes, contratistas, diseñadores y constructores no es la seguridad concebida de manera integral, incluyendo vehículos livianos y pesados, peatones, ciclistas y motociclistas, sino los tiempos de disminución entre un punto de partida y uno de llegada, dejando así de lado a los terceros usuarios de las vías, que son los peatones, ciclistas y motociclistas.

El actual gobierno, mediante la promulgación del Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021, declaró por primera vez en la historia de Colombia la seguridad vial como política de Estado, haciendo un llamado a toda la comunidad internacional para declarar ésta como la década de acción en seguridad vial, que trascienda los planes y programas de un periodo de gobierno.

Como usuarios frecuentes de corredores viales existentes evidenciamos la imprudencia de los conductores de los vehículos, así como la de los usuarios vulnerables al momento de compartir un espacio que sólo se ha diseñado para tránsito de vehículos, porque no se definen las prelacións, no se cumplen las normas de tránsito establecidas, no se respetan las señales de tránsito existentes y la falencia de infraestructura para el libre movimiento de los usuarios vulnerables.

Lo anterior genera conflictos que deben solucionarse en conjunto con las entidades involucradas en la construcción y mantenimiento de las vías, para disminuir el porcentaje de accidentabilidad con usuarios

vulnerables involucrados que actualmente se evidencia y que cada día aumenta, siendo el tramo de estudio propuesto una evidencia clara de este problema.

**Palabras claves:** seguridad vial, usuarios vulnerables, infraestructura, accidentabilidad, condición de inseguridad, peatones, vehículos, ciclistas, motociclistas.

### Abstract

The need to establish safety parameters for all road users is well known, especially because vulnerable users (motorized and non-motorized) are the ones most affected by the increase of lanes in a national roadway because of the contractors, designers, and builders' priorities not being the regulations for road safety; they are most interested in reducing time connections between cities and the distribution points in the country. They must include lightweight and heavyweight vehicles, pedestrians, cyclists, and motorcyclists in the engineering designs of the highways. The Colombian Government brought to life the "Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021" (national road safety plan), and it is the first time in Colombian history that road safety has become one of the most important issues in the country and the government can make a calling for the entire international community to declare this time as the decade of action in road safety, it must transcend the plans and programs of a government period.

As frequent highway users in Colombia, we have seen the wrong actions of vehicle drivers, as well as vulnerable users when sharing a highway designed only for vehicular traffic, because rights of way are not defined, they do not respect the traffic regulations, the existing

traffic signs, and the lack of a safe infrastructure for the free movement of vulnerable users.

The abovementioned problems create conflicts that must be solved in conjunction with the organizations involved in road construction and maintenance to achieve a decrease in the percentage of accidents with vulnerable users involved currently evidenced and increasing daily; the proposed highway section studied is an evidence of this problem.

**Keywords:** road safety, vulnerable users, infrastructure, accident, unsafe conditions, pedestrians, vehicles, cyclists, motorcyclists.

## INTRODUCCIÓN

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cada año mueren 1,24 millones de personas y 50 millones padecen traumatismos a causa de accidentes de tránsito en todo el mundo. En un día fallecen unas 3000 personas. El 22 % de ellas son peatones, el 23 % motociclistas y el 5 % ciclistas. En consecuencia, al realizar proyecciones estadísticas, se indica que para el año 2020 esta clase de accidentes será la tercera causa de muerte a escala global (Organización Mundial de la Salud, 2016).

La Organización Panamericana de la Salud (OPS) realizó el “Informe sobre el estado de la seguridad vial en la región de las Américas”, en el que se analizan variables de mortalidad, morbilidad, factores de riesgo, los factores protectores y los planes y políticas de seguridad vial existentes.

Según este estudio, en la región de las Américas los traumatismos ocasionados por accidentes de tránsito son la causa principal de muertes y el 39 % de las muertes son de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas), lo cual indica que en el área andina el porcentaje de muertes de usuarios vulnerables es del 53 % (Organización Panamericana de la Salud, 2016).

En Colombia, entre los años 2005 y 2014 los usuarios vulnerables (ciclistas, motociclistas y peatones) representan más del 70 % de las víctimas en accidentes de tránsito (Instituto Nacional de Medicina Legal, 2016).

Las entidades de los planes nacionales de seguridad vial permiten aclarar cómo al utilizar los recursos y la adecuada articulación de los factores se activan beneficios sociales y de la misma manera al Estado, para que se vean mejor utilizados factores financieros, humanos y técnicos disponibles.

Por lo anterior, la Organización Mundial de la Salud ha llamado “la época para la acción” el periodo 2011-2020, con el fin de reducir la mortalidad por accidentes de tránsito en un 50 %.

En razón de la preocupación mundial por el incremento de la accidentalidad en usuarios vulnerables y atendiendo la instrucción de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de tomar acciones para disminuir el número de eventos infortunados que incrementan la accidentalidad, el proyecto por desarrollar se fundamenta en crear una metodología para implementar un proceso de cambio en la zona de influencia con los usuarios vulnerables y el administrador de la vía concesionada, orientado a fomentar una cultura política y social que aspire a lograr una reducción en el número de accidentes viales y víctimas fatales.

Según la Ley 769 de 2002, un accidente de tránsito es todo evento, por lo general involuntario, generado al menos por un vehículo en movimiento, que causa daños a personas o a bienes involucrados en él, el cual se traduce en víctimas con lesiones mortales o personales; este aspecto dependerá principalmente de diferencias propias de la persona, como edad, sexo, estado de salud, clase de accidente, tipo de trauma, uso de elementos de protección o seguimiento a la norma, inmediatez con que se preste la atención a las víctimas (Perdomo, 2010).

Entre las clases de accidentes de tránsito se encuentran las siguientes: atropello, caracterizado por el encuentro de un vehículo con un peatón; caída, caracterizada por el descenso o desprendimiento de un pasajero del vehículo en el que se transporta; colisión, que es el choque de dos o más vehículos en movimiento; choque, que es embestirse un vehículo en movimiento contra otro detenido o contra obstáculos físicos; volcamiento, que consiste en el giro de un vehículo en movimiento sobre su eje longitudinal o transversal respecto a su sentido de marcha, durante el cual apoya cualquier parte de su estructura después de abandonar la posición normal de rodaje.

En un accidente de tránsito se ven involucradas diversas variables: factor humano, hábitos y estilo de vida en la conducción, fatiga y conducción, actores viales del tránsito.

**Tabla 1**  
Plan mundial para el decenio de acción de la seguridad vial, 2011-2020. Naciones Unidas, 2011

Actividades Nacionales				
<b>Pilar 1</b> Gestión de la Seguridad Vial	<b>Pilar 2</b> Vías de tránsito y movilidad más seguras	<b>Pilar 3</b> Vehículos más seguros	<b>Pilar 4</b> Usuarios de vías de tránsito más seguros	<b>Pilar 5</b> Respuesta tras los accidentes
Coordinación Internacional de las actividades				

Fuente: Datos obtenidos de la OMS, 2016.

La Asamblea General de las Naciones Unidas proclamó el periodo 2011-2020 como el “Decenio de acción para la seguridad vial” mediante la Resolución 64/255 de marzo de 2010, teniendo como objetivo general estabilizar y reducir las cifras de víctimas mortales en accidentes de tránsito en todo el mundo.

En Colombia, el gobierno nacional atendió la instrucción impartida por la Asamblea de las Naciones Unidas y materializó el Plan Nacional de Seguridad Vial Colombia 2011-2021, en el cual se presentan las cifras y estadísticas de los accidentes de tránsito fatales y con lesiones, mostrando que entre los años 2005 y 2014 los usuarios vulnerables (ciclistas, motociclistas y peatones) son los más afectados (Ministerio de Transporte, 2016):

**Tabla 2**  
Accidentabilidad de usuarios vulnerables

Categoría	Porcentaje de fatales	Porcentaje de lesionados
Motociclistas	37,98	43,60
Ciclistas	6,38	6,50
Peatones	30,39	23,24
Total	74,75	73,34

Fuente: Datos obtenidos del Ministerio de Transporte, 2016.

El gobierno estableció el Plan Nacional de Seguridad Vial Colombia 2011-2021, basado en los cinco pilares estratégicos recomendados por la Asamblea General de las Naciones Unidas, adaptándolos a las condiciones del país; a continuación se pueden ver los siguientes ejes de acción (Naciones Unidas, 2016):

**Tabla 3**  
Plan Nacional de Seguridad Vial Colombia 2011-2021

Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021				
Eje de Acción 1 Gestión Institucional	Eje de Acción 2 Comportamiento Humano	Eje de Acción 3 Atención y Rehabilitación a víctimas	Eje de Acción 4 Infraestructura	Eje de Acción 5 Vehículos
Programas				

Fuente: Datos obtenidos de las Naciones Unidas, 2016.

A renglón seguido se plantea la metodología para evaluación de la seguridad vial a la infraestructura de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en proyectos viales concesionados. Caso de estudio

autopista Bogotá-Villeta del km 0+00 al km 5+000, con el fin de disminuir la accidentabilidad y controlar los factores de riesgo existentes en el desarrollo de las actividades propias de la vía, reduciendo la frecuencia y la severidad de los accidentes de tránsito. Ante todo, se debía tener claridad de los objetivos establecidos al inicio de la estructuración para su cumplimiento, tales como:

- Clasificar la información general de la autopista Bogotá - Villeta obtenida de la empresa Concesión Sabana de Occidente SAS (CSO SAS), con el propósito de conocer las estadísticas de accidentalidad, los servicios, procedimientos y reglamentos internos de ésta aplicables a la vía.
- Identificar los sitios de mayor accidentabilidad y realizar el diagnóstico de la autopista Bogotá - Villeta.
- Identificar y especificar los factores de riesgo, los cuales pueden ocurrir dentro de la actividad normal de la vía o por factores externos a ella.
- Estructurar las recomendaciones tipo de mejora a la infraestructura enfocadas en la seguridad vial con los resultados obtenidos en el diagnóstico, centrado en la prevención, campañas, atención y mejoras técnicas dirigidas al beneficio de los usuarios de la vía para la disminución de la accidentalidad.

### JUSTIFICACIÓN

La metodología que se propone está orientada a proveer una infraestructura vial segura, la cual integre la protección de los usuarios vulnerables de la vía, con los siguientes objetivos:

- Mejorar la infraestructura vial existente en el tramo de estudio, con el fin de reducir tanto el riesgo de accidentes en lugares críticos como el impacto de las incidencias.
- Fomentar el comportamiento vial seguro de todos los usuarios vulnerables de la carretera y promover la utilización de las infraestructuras de seguridad vial específicas que se propongan en el tramo de estudio.

Cuando se inició el caso de estudio propuesto para el trabajo de grado, se empezó haciendo una descripción de la vía en la que se escogieron el tramo de estudio, la infraestructura y las estadísticas de accidentabilidad

en la autopista Bogotá-Villeta, enfocando el tema a los usuarios vulnerables (ciclistas, motociclistas y peatones).

El tramo escogido para el caso de estudio está ubicado en la autopista Bogotá - Villeta. Ruta Nacional 50, tramo 08. Es una vía concesionada y la administración está a cargo de Concesión Sabana de Occidente SAS, y la vigilancia y control están a cargo de la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI).

Es una vía nacional que consta de 82,4 kilómetros, empieza en el puente El Cortijo (km 0+000 - PR 145+000) y termina en el intercambiador de Guaduas (km 82+400 - PR 81+000), en el municipio de Villeta.

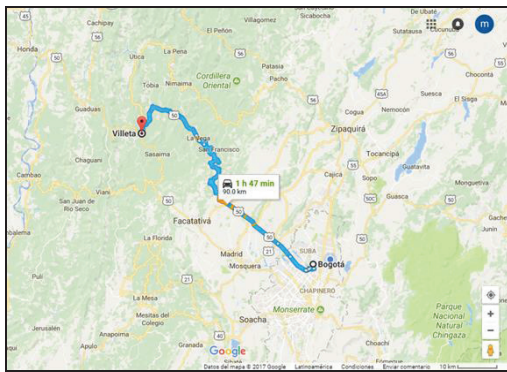


Figura 1. Mapa de ubicación de la autopista Bogotá - Villeta (Google Maps).

La vía se dividió en siete tramos para la ejecución de las obras, y como se puede ver en el cuadro adjunto, actualmente se encuentra en doble calzada en sus 82,4 kilómetros.

Tabla 4  
Infraestructura de la autopista Bogotá-Villeta

TRAMO	UBICACIÓN	LONGITUD (Km)	ESTADO INICIAL	ESTADO ACTUAL
7	El Cortijo - Puente Piedra (Km. 0+000-Km. 15+000)	15	Doble Calzada (4 carriles) con separador central	Doble Calzada (4 carriles) con separador central
6	Puente Piedra - El Rosal (Km. 15+000-Km. 22+000)	7	Calzada Bidireccional (2 carriles)	Doble Calzada (4 carriles) con separador central
5	El Rosal - El Vino (Km. 22+000-Km. 31+000)	9	Calzada Bidireccional (2 carriles)	Doble Calzada (4 carriles) con separador central
4	El Vino - El Chuscal (Km. 31+000-Km. 37+800)	6,8	Calzada Bidireccional (3 carriles)	Doble Calzada (4 carriles) con separador central
3	El Chuscal - La Vega (Km. 37+800-Km. 55+400)	17,6	Calzada Bidireccional (2 carriles)	Doble Calzada (4 carriles) con separador central
2	La Vega - Río Tobía (Km. 55+400-Km. 74+400)	19	Doble Calzada (4 carriles en 10,4 Km.) Calzada Bidireccional (3 Carriles en 2,7 Km.) Doble calzada (4 carriles en 2,7 Km.) Calzada Bidireccional (3 carriles en 3,2 Km.)	Doble Calzada (4 carriles) con separador central
1	Cruce Via Utica - Villeta (Km. 74+400-Km. 82+400)	8	Doble Calzada (4 carriles)	Doble Calzada (4 carriles) con separador central

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.

Analizando la información de accidentabilidad entre los años 1999 y 2015 de la autopista Bogotá - Villeta, se puede concluir que existe una gran preocupación por el incremento exagerado de los accidentes en los que se ven involucrados los usuarios vulnerables:

Tabla 5  
Porcentaje de incremento de accidentabilidad en la autopista Bogotá - Villeta

AUTOR	ACCIDENTES 1999-2007	ACCIDENTES 2008-2015	INCREMENTO	CAUSA	TIPO
	CANTIDAD	CANTIDAD	%		
CICLISTAS	159	186	17,00%	Imprudencia conductor motocicleta	Choque; Atropello; Caída de ocupante
MOTOCICLISTAS	81	1040	1184,00%	Imprudencia peatón	Atropello
PEATONES	48	113	135,40%	Imprudencia conductor	Choque; Atropello; Volcamiento
OTROS	626	1095	74,90%		
N° TOTAL DE ACCIDENTES	914	2434	166,30%		

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.

Las mejoras realizadas en las condiciones de transitabilidad en la vía son sólo para vehículos livianos y pesados, no para los usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en la vía. Los criterios que se tuvieron en cuenta para escoger el tramo de estudio de la autopista Bogotá-Villeta del km 0+00 al km 5+000 son los siguientes:

- El incremento de asentamientos de industrias, lo que lleva al aumento de personal de mano de obra.
- El aumento de tránsito de motocicletas, ciclistas y peatones.
- El aumento de la accidentalidad con usuarios vulnerables involucrados.

El proyecto desarrollado se fundamentó en crear una metodología para la implementación de un proceso de cambio en la zona de influencia con los usuarios vulnerables y el administrador de la vía concesionada, orientado a fomentar una cultura política y social que aspire a lograr una disminución en el número de accidentes viales y víctimas fatales, implementando políticas y programas que reduzcan de manera permanente la incidencia de los siniestros de tránsito, además de minimizar sus consecuencias.



Por lo anterior, este trabajo se va a sostener en los siguientes pilares tomados del Plan de Seguridad Vial Colombia 2011-2021, que se ajustan a las actividades que se deben efectuar para lograr los objetivos propuestos, definiendo actividades adaptadas a las necesidades de la zona y al alcance del trabajo; así las cosas, en forma general se tiene (OMS, 2016):

**Tabla 6**

Plan Estratégico de Seguridad Vial ajustado al tramo de estudio autopista Bogotá - Villeta del km 0+000 al km 5+000

Plan Estratégico de Seguridad Vial ajustado a tramo de estudio Autopista Bogotá - Villeta del Km. 0+000 al Km. 5+000		
Eje de Acción 1	Eje de Acción 2	Eje de Acción 3
Comportamiento Humano	Atención y Rehabilitación a víctimas	Infraestructura
Programas		
Formación y educación en seguridad vial	Atención pre hospitalaria	Auditorias, evaluación y seguimiento de seguridad vial en la infraestructura vial
Responsabilidad social empresarial con la seguridad vial		Normatividad y especificaciones para una infraestructura segura

Fuente: Elaboración propia.

## METODOLOGÍA

A continuación se presenta la metodología aplicada para evaluación de la seguridad vial a la infraestructura de usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en proyectos viales concesionados en el caso de estudio autopista Bogotá-Villeta, del km 0+000 al km 5+000.

### Identificación y clasificación de la accidentabilidad en el tramo de estudio

- Clasificación y análisis de la información de accidentabilidad general correspondientes al periodo 2008-2016 en la autopista Bogotá-Villeta.
- Se especifica la accidentabilidad por tramos de la vía, donde se evidencia que el tramo 7 (caso de estudio) es el que presenta mayor accidentabilidad.
- Se seleccionan los accidentes en los que se han visto involucrados usuarios vulnerables (peatones, ciclistas y motociclistas) en el tramo 7 (caso de estudio).
- Se identifican los tipos de accidente en el tramo 7 (caso de estudio), entre los que se destacan tipo choque, tipo atropello y tipo caída de ocupante.

- Se hace el análisis de la accidentabilidad por tipo de accidente y los elementos involucrados en cada uno (vehículos, peatones, ciclistas y motociclistas).
- Se establecen las condiciones de inseguridad (causas) que provocan los tipos de accidentes identificados por cada tipo de accidente, incluyendo los usuarios vulnerables. Las identificadas son no respetar las normas de tránsito, realizar maniobras peligrosas y distracción o falta de atención.
- Se totaliza la cantidad de accidentes por tipo y condición de inseguridad.
- Al final, se obtiene el número de accidentes totales por condición de inseguridad en el tramo de estudio.

### Características del área del proyecto

- Se identificó la infraestructura existente en el tramo de estudio y los dispositivos existentes para la movilidad cómoda y segura para los usuarios vulnerables.
- Se evidencia que existen tres puentes peatonales cada dos kilómetros, aproximadamente.
- Sólo existen 500 metros de ciclorruta y andenes por el costado norte, los cuales se construyeron en el año 2016 por la ejecución del nuevo puente El Cortijo y no se les dio continuidad.
- Luego de conocidas las causas de accidentabilidad en el tramo de estudio y de la identificación de la infraestructura existente, se procede a hacer el diagnóstico.

### Diagnóstico

- De acuerdo con los resultados obtenidos del análisis de resultados y de la identificación de la infraestructura vial existente se hacen las construcciones de mejora, con base en los lineamientos del Plan Estratégico de Seguridad Vial ajustado al tramo de estudio autopista Bogotá - Villeta del km 0+000 al km 5+000, trabajando cada eje de acción en sus respectivos programas con las recomendaciones.
- El eje de acción 1 se basa en el comportamiento humano en la vía. De acuerdo con el análisis de accidentabilidad realizado se puede verificar que las condiciones de inseguridad (causas) que producen los accidentes son por error humano y se debe fortalecer el pensamiento a la conservación y cuidado de la integridad humana.

- El eje de acción 2 se fundamenta en la atención prehospitalaria, es decir, la atención que se brinda a la persona con heridas graves o leves antes de ser remitida a que le brinden atención hospitalaria. Lo anterior genera un impacto en la cantidad de heridos o muertos en las estadísticas de accidentabilidad. Lo que se busca es disminuir los tiempos de atención, así como brindar más sentimiento de seguridad a los usuarios vulnerables con la presencia de ambulancias y puntos de atención y vigilancia de la Policía de Carreteras en el tramo en estudio.
- El eje de acción 3 se basa en la tasa de accidentabilidad tipo atropello que se presenta entre los vehículos motorizados (vehículo y motocicleta) y los peatones, sumando un 70 % en el tramo de estudio y un 25 % entre vehículos motorizados (vehículo y motocicleta) y bicicletas. Generalmente, son maniobras peligrosas que en su mayoría se deben a que los peatones y ciclistas cruzan la vía sin observar o transitan entre vehículos sin precaución. Teniendo claras las características actuales del tramo de estudio es posible concluir que este alto índice de accidentabilidad por atropello se presenta en su mayor parte por la falta de infraestructura para el tránsito de los usuarios vulnerables, peatones y ciclistas; adicionalmente, para poder realizar evaluaciones periódicas y verificar el cumplimiento hay que establecer obligatoriamente la ejecución de las auditorías de seguridad vial por medio de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este aparte se presentan el análisis realizado a las estadísticas de accidentalidad del tramo en estudio, las características de la vía y el diagnóstico basado en los lineamientos del Plan Nacional de Seguridad Vial Colombia 2011-2021, ajustado al tramo en estudio como Plan Estratégico de Seguridad Vial y al tramo autopista Bogotá - Villeta, del km 0+000 al km 5+000.

### Identificación y clasificación de la accidentalidad en el tramo de estudio

- Clasificación y análisis de la información de accidentalidad general, correspondientes al periodo 2008-2016 en la autopista Bogotá-Villeta, donde se evidencia que el tramo de mayor accidentalidad es

el tramo 7; luego se discrimina la información y se puede constatar que el tramo en estudio representa el 65 % de la accidentalidad en el tramo 7 (puente El Cortijo - Puente de Piedra):

**Tabla 7**  
Cantidad de accidentes por tramos en la autopista Bogotá-Villeta

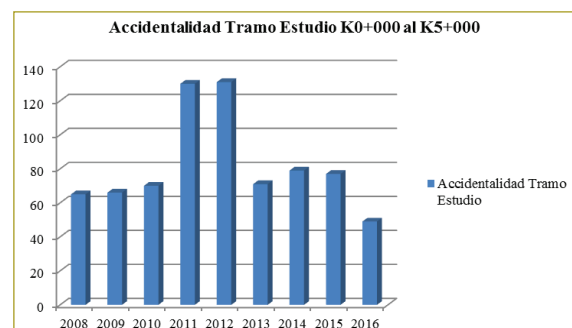
TRAMO	UBICACIÓN	# DE ACCIDENTES
1	Cruce Vía Útica - Villeta (Km. 74+400-Km. 82+400)	45
2	La Vega - Río Tobía (Km. 55+400-Km. 74+400)	423
3	El Chuscal - La Vega (Km. 37+800-Km. 55+400)	545
4	El Vino - El Chuscal (Km. 31+000-Km. 37+800)	151
5	El Rosal - El Vino (Km. 22+000-Km. 31+000)	354
6	Puente Piedra - El Rosal (Km. 15+000-Km. 22+000)	310
7	El Cortijo - Puente Piedra (Km. 0+000-Km. 15+000)	1142
TOTAL		2970

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.

**Tabla 8**  
Accidentes y causas probables del tramo km 0+000 – km 5+000 (2008-2016)

AÑO	# ACCIDENTES	CAUSA PROBABLE
2008	65	Choque - Atropello
2009	66	Choque - Atropello
2010	70	Choque - Atropello
2011	130	Choque - Atropello
2012	131	Choque - Atropello
2013	71	Choque - Atropello
2014	79	Choque - Atropello
2015	77	Choque - Atropello
2016	49	Choque - Atropello
TOTAL	738	

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.



**Figura 2.** Accidentalidad en el tramo de estudio km 0+000 al km 5+000.

Fuente: Elaboración propia.

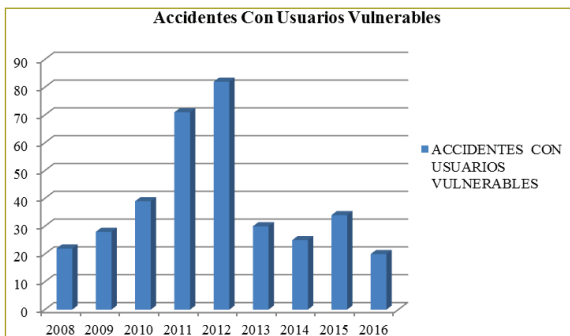
- Se clasifican los accidentes ocurridos en el tramo de estudio, km 0+000 al km 5+000, y se identifica en cuántos de estos accidentes se vieron involucrados los usuarios vulnerables (ciclistas, motociclistas y peatones):

**Tabla 9**

Número de accidentes en que se vieron involucrados usuarios vulnerables (ciclistas, motociclistas y peatones)

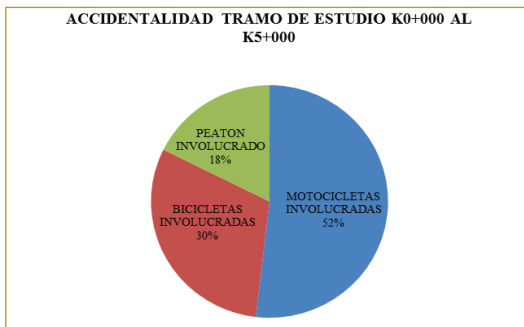
AÑO	# ACCIDENTES	MOTOCICLETAS INVOLUCRADAS	BICICLETAS INVOLUCRADAS	PEATON INVOLUCRADO
2008	22	10	9	3
2009	28	11	9	8
2010	39	22	13	4
2011	71	39	14	18
2012	82	47	23	12
2013	30	16	13	1
2014	25	10	8	7
2015	34	17	14	3
2016	20	10	4	6
TOTAL	351	182	107	62

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.



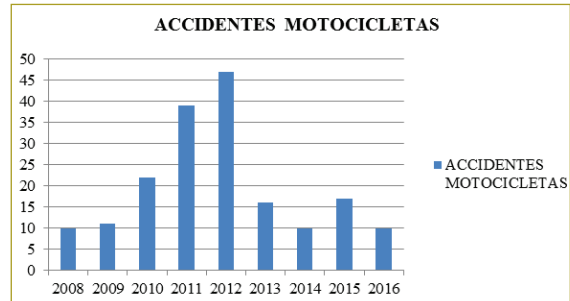
**Figura 3.** Accidentes con usuarios vulnerables.

Fuente: Elaboración propia.



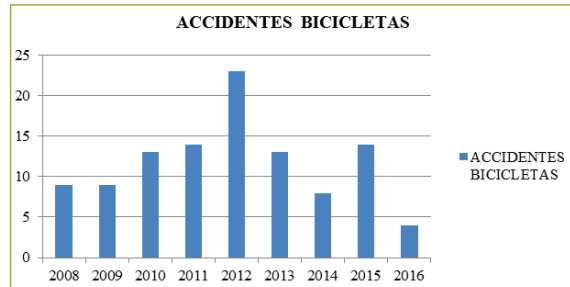
**Figura 4.** Accidentabilidad en el tramo de estudio km 0+000 al km 5+000.

Fuente: Elaboración propia.



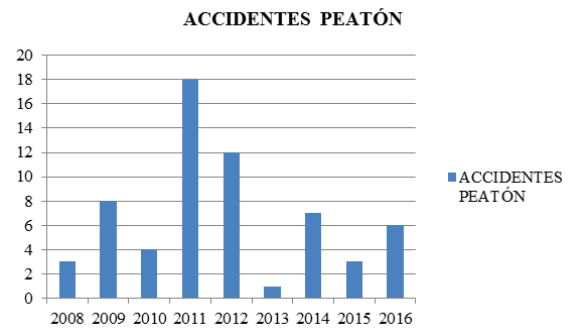
**Figura 5.** Accidentes de motocicletas.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 6.** Accidentes de bicicletas.

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 7.** Accidentes de peatones.

Fuente: Elaboración propia.

- Resultado del análisis de la información de accidentabilidad donde se vieron involucrados los usuarios vulnerables (ciclistas, motociclistas y peatones) en el tramo de estudio, se identificó el tipo de accidentes:

**Tabla 10**

Tipo de accidentes identificados

TIPO DE ACCIDENTE	Choque
	Atropello
	Caída de Ocupante

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.

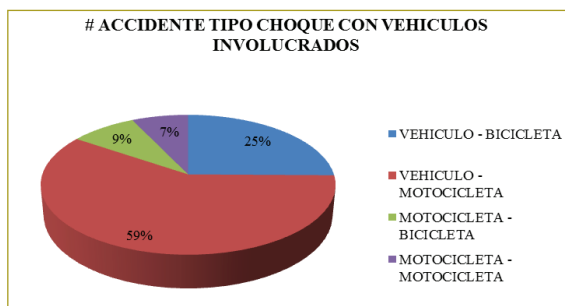
- Se realiza el análisis de la accidentabilidad por tipo de accidente y los elementos involucrados en cada uno (vehículos, peatones, ciclistas y motociclistas):

**Tabla 11**

Cantidad de accidentes tipo choque con vehículos involucrados

TRAMO	TIPO DE ACCIDENTE	ABSCISA INTERNA	PR	VEHICULO - BICICLETA	VEHICULO - MOTOCICLETA	MOTOCICLETA - BICICLETA	MOTOCICLETA - MOTOCICLETA	
7	CHOQUE	K0+000	PR145+000	60	141	20	17	238
		K5+000	PR140+000					

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.



**Figura 8.** Accidente, tipo de choque y vehículos involucrados.

Fuente: Elaboración propia.

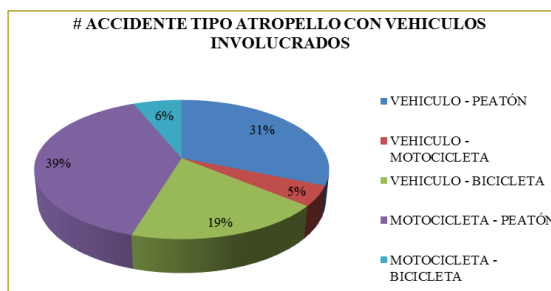
De la tabla 11 y la figura 8 se puede concluir que la mayor cantidad de accidentes son tipo choque (68%) y que se producen en su mayoría entre vehículos y motocicletas.

**Tabla 12**

Cantidad de accidentes tipo atropello con vehículos involucrados

TRAMO	TIPO DE ACCIDENTE	ABSCISA INTERNA	PR	VEHICULO - PEATÓN	VEHICULO - MOTOCICLETA	VEHICULO - BICICLETA	MOTOCICLETA - PEATÓN	MOTOCICLETA - BICICLETA	
7	ATROPELLO	K0+000	PR145+000	20	3	12	25	4	64
		K5+000	PR140+000						

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.



**Figura 9.** Accidente, tipo de atropello y vehículos involucrados.

Fuente: Elaboración propia.

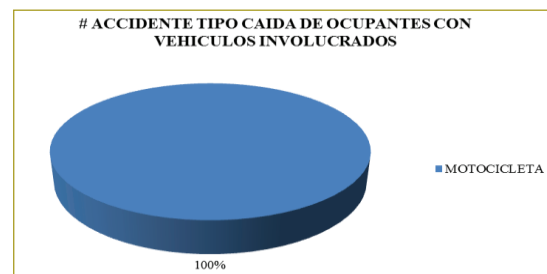
De la tabla 12 y la figura 9 se puede concluir que los accidentes tipo atropello son la segunda causa de registros de accidentabilidad (18 %) y que se producen en su mayoría entre motocicletas y peatones.

**Tabla 13**

Cantidad de accidentes tipo caída de ocupante con vehículos involucrados

TRAMO	TIPO DE ACCIDENTE	ABSCISA INTERNA	PR	MOTOCICLETA	
7	CAIDA DE OCUPANTE	K0+000	PR145+000	49	49
		K5+000	PR140+000		

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.



**Figura 10.** Accidente, tipo caída de ocupantes y vehículos involucrados.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 13 y la figura 10 es posible concluir que los accidentes tipo atropello son la segunda causa de registros de accidentabilidad (14 %) y que se producen en su mayoría con motocicletas.

- Se muestran las condiciones de inseguridad (causas) identificadas que provocan los tipos de accidentes identificados, por cada tipo de accidente, incluyendo los usuarios vulnerables y la cantidad de accidentes totales por condición de inseguridad en el tramo de estudio:

**Tabla 14**

Condiciones de inseguridad identificadas

CONDICIÓN DE INSEGURIDAD	No respetar las normas de tránsito
	Maniobras peligrosas
	Distracción y/o falta de atención

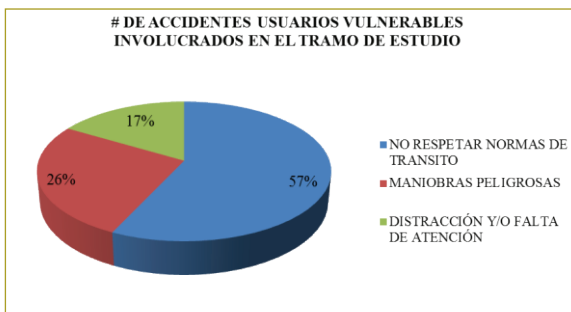
Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.

**Tabla 15**

Consolidado de número de accidentes de usuarios vulnerables involucrados en el tramo de estudio por condición de inseguridad

CONDICIÓN DE INSEGURIDAD	# DE ACCIDENTES TIPO CHOQUE	# DE ACCIDENTES TIPO ATROPELLO	# DE ACCIDENTES TIPO CAIDA DE OCUPANTES	# DE ACCIDENTES USUARIOS VULNERABLES INVOLUCRADOS EN EL TRAMO DE ESTUDIO
NO RESPETAR NORMAS DE TRANSITO	155	15	30	200
MANIOBRAS PELIGROSAS	52	41	0	93
DISTRACCIÓN Y/O FALTA DE ATENCIÓN	31	8	19	58
<b>TOTAL</b>	<b>238</b>	<b>64</b>	<b>49</b>	<b>351</b>

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.



**Figura 11.** Número de accidentes de usuarios vulnerables involucrados en el tramo de estudio por condición de inseguridad.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 15 y la figura 11 se puede concluir que los accidentes son producidos en su mayoría por irrespeto a las normas de tránsito; esto incluye exceso de velocidad, hacer caso omiso a la señalización vertical y horizontal, no cumplir con lo estipulado en el Código Nacional de Tránsito y todo lo relacionado con los deberes de los usuarios en las vías (motorizados y no motorizados).

Después de conocer los tipos de accidentes y las causas que los provocan, se continúa con la evaluación de la infraestructura de la vía en el tramo de estudio, enfocada en la seguridad de los usuarios vulnerables.

**Características del área del proyecto**

- Se identificó la infraestructura existente en el tramo de estudio y los dispositivos existentes para la movilidad cómoda y segura para los usuarios vulnerables, (tablas 15, 16 y 17).

**Tabla 16**

Infraestructura existente en el tramo de estudio autopista Bogotá - Villeta

TRAMO	UBICACIÓN	LONGITUD (km)	ESTADO ACTUAL
7	El Cortijo - Puente Siberia (Km. 0+000-Km. 5+000)	5	Puente Nuevo El Cortijo - Costado Norte (Sentido Bogotá-Villeta) con Tres Carriles y una longitud aproximada de 150 metros. Puente El Cortijo existente por Costado Sur (Sentido Villeta-Bogotá) con dos carriles y una longitud aproximada de 100 metros. Doble Calzada (4 carriles) con separador central por Costado Norte y Sur.

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.

**Tabla 17**

Infraestructura existente de seguridad vial en el tramo de estudio autopista Bogotá - Villeta

INFRAESTRUCTURA EXISTENTE - SEGURIDAD VIAL			
Puentes Peatonales	3	Km. 0+000 (Puente peatonal Ciudad)	
		Km. 2+410 (Puente peatonal Uribastón)	
		Km. 3+320 (Terminal de Carga)	
Andenes	500 metros		
Ciclorruta	500 metros	Km. 0+000 - Km. 0+500 Costado Norte (Puente Nuevo El Cortijo)	

Fuente: Datos obtenidos de la Concesión Sabana de Occidente SAS. Elaboración propia.

Luego de haber identificado que la infraestructura enfocada en la seguridad vial de los usuarios vulnerables en el tramo de estudio es insuficiente, se procedió a realizar el diagnóstico con base en los lineamientos del Plan Nacional de Seguridad Vial 2011-2021, ajustado para el caso de estudio.

**Diagnóstico**

- Se inicia la construcción del Plan Estratégico de Seguridad Vial, ajustado al tramo de estudio autopista Bogotá - Villeta, del km 0+000 al km 5+000,

trabajando cada eje de acción con sus respectivos programas, tal como se estableció y se puede verificar (tabla 6).

### Eje de acción 1. Comportamiento humano

En los resultados obtenidos del análisis de las estadísticas de accidentabilidad se pudo evidenciar que las causas de los accidentes son por comportamiento humano, como no respetar las normas de tránsito, realizar maniobras peligrosas y la distracción o falta de atención.

Por lo anterior, es necesario trabajar en los programas definidos para este eje de acción como sigue:

- **Programa de formación y educación en seguridad vial**

La seguridad vial es el conjunto de acciones y mecanismos que garantizan el buen funcionamiento de la circulación del tránsito, mediante la utilización de conocimientos (leyes, reglamento y disposiciones) y normas de conducta, bien sea como peatón, pasajero o conductor, con el fin de usar correctamente la vía pública y así prevenir los accidentes de tránsito.

De acuerdo con el Código Nacional de Tránsito, específicamente en lo relacionado con el comportamiento del conductor, pasajero o peatón, “Toda persona que tome parte en el tránsito como conductor, pasajero o peatón, debe comportarse en forma que no obstaculice, perjudique o ponga en riesgo a las demás, y debe conocer y cumplir las normas y señales de tránsito que le sean aplicables, así como obedecer las indicaciones que les den las autoridades de tránsito”.

Teniendo en cuenta que los usuarios vulnerables y conductores provienen de empresas, colegios y deportistas que transitan el tramo de estudio, lo que se recomienda para mitigar la accidentabilidad es crear conciencia de vida con la seguridad vial. Por lo anterior, lo aquí propuesto debe integrarse en los colegios, empresas y personal deportista. Tenemos:

- Capacitaciones aleatorias dictadas por la Policía de Carreteras para indicar a los usuarios vulnerables que transitan en la vía el tipo de señalización existente, límites de velocidad y lo que deben cumplir de acuerdo con lo establecido en el Código Nacional de Tránsito para evitar accidentes.

- Realizar campañas para recordar los deberes como usuario de una vía con volantes que se entreguen en los peajes en horas pico de tráfico.
- Establecer que la Policía de Carreteras dicte capacitaciones a los involucrados en un accidente ocurrido recientemente, recordando lo estipulado en el Código Nacional de Tránsito y los deberes de cada uno.

Los temas que se proponen deben tratarse en las capacitaciones y campañas basadas en el Código Nacional de Tránsito y en el *Manual de señalización vial* (2016). Las leyes que hay que aplicar son las siguientes:

- Límites de velocidad y distancia entre vehículos.
- Tipo de señalización.
- Comportamiento de conductores.
- Comportamiento de peatones.
- Comportamiento de ciclistas.
- Comportamiento de motociclistas.
- Uso de equipos de comunicación.

- **Programa de responsabilidad social empresarial con la seguridad vial**

En este programa se busca vincular a las concesiones viales con la intervención de la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) en el establecimiento de capacitaciones y programas de prevención en accidentes en las vías, involucrando a los usuarios vulnerables internos y externos a las empresas de concesiones. Lo que se propone aplicar es lo siguiente:

- Establecer capacitaciones y programas de prevención en accidentes en las vías, involucrando a los usuarios vulnerables internos y externos a las empresas de concesiones.
- Incluir una cláusula de cumplimiento en los contratos de concesión con respecto a la aplicación de herramientas que garanticen el cumplimiento de la legislación en seguridad vial existente en el país y que estandaricen la ejecución de auditorías de seguridad vial.
- Exigir a las concesiones viales del país que involucren a su personal en las charlas y capacitaciones que dicten para generar conciencia en el cumplimiento de los derechos y deberes al transitar una

vía. Las políticas que fija la concesión, administrador actual de la vía del tramo de estudio, a sus trabajadores y que son de obligatorio cumplimiento son las siguientes:

- Política de horas de conducción y descanso.
- Política de regulación de la velocidad.
- Política de uso del cinturón de seguridad.
- Política de uso de equipos de comunicación.
- Política de uso de elementos de protección personal (EPP).
- Política de instalación y mantenimiento de las señales.
- Política de socialización y actualización de la información.

Estas políticas, aplicadas al personal interno de CSO, deben aplicarse también al personal externo usuario vulnerable de la vía, que proviene de empresas, colegios y deportistas, incluyendo al personal interno de la Concesión Sabana de Occidente SAS, encargado de llevar a cabo los planes para el cumplimiento de la norma, a la Policía de Carreteras y a las empresas radicadas en el tramo en estudio, permitiendo la organización de eventos en los que se utilice una hora del horario laboral para dar charlas de sensibilización al personal, publicar videos, así como entregar material publicitario que se enfoca en accidentabilidad y prevención para crear conciencia y ayudar en la disminución de la accidentalidad.

## Eje de acción 2. Atención prehospitalaria

En las concesiones viales del país se trabaja con un reglamento de operación, en el que se establece la atención a víctimas. Para la vía donde se encuentra el tramo en estudio, se encuentra lo siguiente:

- Primeros auxilios a personas.
- Primeros auxilios a vehículos.
- Remoción de víctimas de accidentes.
- Remoción de vehículos averiados.

### • Programa de atención prehospitalaria

Para el cumplimiento de lo anterior, el administrador cuenta con la siguiente infraestructura:

*Carro taller.* Los usuarios al pagar el peaje tienen derecho a la prestación del servicio del carro taller, el cual es operado por un conductor mecánico capacitado para brindar ayuda en caso de fallas mecánicas y eléctricas básicas y de cambio de llantas (dos vehículos).

*Grúa.* La CSO dispone de dos grúas, con capacidad de movilizar vehículos de hasta quince toneladas de peso bruto, dotadas con accesorios de seguridad como lámparas, equipo de comunicaciones y de apoyo. Por el pago del peaje el usuario tiene derecho a ser retirado lo más rápidamente posible de la vía y a ser trasladado al centro de servicio más cercano (dos grúas).

*Ambulancia.* Al transitar por la CSO, el usuario cuenta con el servicio gratuito de ambulancia las 24 horas del día. El conductor y el auxiliar están capacitados para prestar los primeros auxilios a los pacientes y trasladarlos en forma rápida a los centros hospitalarios, de acuerdo con el nivel de atención que requiera el paciente (dos ambulancias).

*Postes SOS.* La CSO tiene postes SOS de emergencia para que el usuario se pueda comunicar con la central de radio y solicitar el servicio requerido.

*Policía de Tránsito.* La CSO dispone de policías calificados, considerados por la entidad como sobresalientes por su capacitación a escala nacional, los cuales están encargados de la vigilancia de la ruta las 24 horas del día y de prestar atención a los usuarios en forma ágil y oportuna, ya que cuentan con equipos tales como patrullas y motos perfectamente dotadas y mantenidas por el concesionario.

La recomendación que se hace tiene que ver con el aumento del número de ambulancias propias de la Concesión Sabana de Occidente SAS para disminuir los tiempos de atención a las víctimas de accidente en el tramo en estudio, donde se evidencia la mayor tasa de accidentabilidad, y ubicarlas en sitios estratégicos que les permita transitar con facilidad y llegar al sitio de atención sin generar largos tiempos de traslado.

Los puntos sugeridos para la atención inmediata en el tramo de estudio serían los siguientes, de acuerdo con las horas pico de tráfico:

- Una ambulancia en el km 0+000 entre las 5:30 - 8:30 a.m. y entre las 3:30 - 7:30 p.m.
- Una ambulancia en el km 5+000 entre las 5:30 - 8:30 a.m. y entre las 3:30 - 7:30 p.m.
- Una ambulancia en el peaje de Siberia.

Adicionalmente, en el citado tramo no hay postes SOS para la solicitud de los servicios requeridos, por lo cual debe hacerse por vía telefónica, lo que le genera costo al usuario; por esta razón se sugiere instalar puntos de vigilancia de la Policía de Carreteras en las horas pico:

- Un punto de atención y vigilancia en el km 0+000, entre las 5:30 - 8:30 a.m. y entre las 3:30 - 7:30 p.m.
- Un punto de atención y vigilancia en el km 5+000, entre las 5:30 - 8:30 a.m. y entre las 3:30 - 7:30 p.m.
- Un punto de atención y vigilancia en el km 1+800, donde debe haber salida y entrada de vehículos con carril de desaceleración, atender comportamiento, respetar señalización y límites de velocidad, y en el km 2+900, donde existe alto flujo de ingreso y salida de vehículos, y atender los comportamientos de los conductores; es una zona de cargue y descargue de pasajeros, y de atender el comportamiento de peatones.
- Un punto de atención y vigilancia permanente en el peaje de Siberia.

### Eje de acción 3. Infraestructura

Teniendo claras las características actuales del tramo en estudio, es posible concluir que este alto índice de accidentabilidad que se presenta en dicho tramo, en su mayoría por la deficiente infraestructura para el tránsito de los usuarios vulnerables, peatones y ciclistas.

- **Programa de normativa y especificaciones para una infraestructura segura**

Hecho el inventario de infraestructura para el tránsito de peatones y ciclistas, tenemos lo siguiente:

*Puentes peatonales.* Existen tres puentes peatonales ubicados en el km 0+000 (puente de guadua), km 2+200 (Uniabastos) y en el km 3+300 (terminal de carga).

*Andenes peatonales.* Sólo existen 500 metros de andén entre el km 0+000 y el km 0+400 en el costado norte (sentido Bogotá-Villeta).

*Ciclorrutas.* Sólo existen 500 metros de ciclorruta entre el km 0+000 y el km 0+400 en el costado norte (sentido Bogotá-Villeta).

Como se evidencia, la infraestructura existente en el tramo de estudio es insuficiente o inexistente para

el tránsito de peatones y ciclistas en condiciones de seguridad; por eso se hace la siguiente propuesta, según los estándares técnicos de construcción y condiciones de la vía.

### Mejoras a la infraestructura existente

Como ya se ha mencionado, este tramo carece de la infraestructura adecuada y suficiente para el tránsito de los usuarios vulnerables; a continuación presentamos las propuestas:

#### *Construcción de ciclorrutas*

- Por el costado norte (sentido Bogotá-Villeta), se propone darle continuidad a la ciclorruta existente, hasta el km 5+000.
- Por el costado sur (sentido Villeta - Bogotá), se propone la construcción de la ciclorruta en su totalidad, desde el km 0+000 hasta el km 5+000.
- La ciclorruta tendría un ancho de dos metros, cumpliendo las especificaciones de señalización establecidas en el *Manual de señalización*, específicamente en el capítulo 6, “Dispositivos para peatones, ciclistas y motociclistas”.

#### *Construcción de andenes peatonales*

- Por el costado norte (sentido Bogotá-Villeta), se propone darle continuidad al andén peatonal existente, hasta el km 5+000.
- Por el costado sur (sentido Villeta-Bogotá), se propone la construcción del andén peatonal en su totalidad desde el km 0+000 hasta el km 5+000.
- El andén tendría un ancho de dos metros, cumpliendo las especificaciones de señalización establecidas en el *Manual de señalización*, específicamente en el capítulo 6, “Dispositivos para peatones, ciclistas y motociclistas”.

#### *Construcción de puentes peatonales y paraderos*

Teniendo en cuenta que la mayor concentración de personas que se movilizan para ir a los trabajos se encuentra en el tramo de estudio por la concentración de empresas, se considera que tres puentes peatonales son insuficientes y que se deben ubicar dos más en los siguientes puntos:



- Puente peatonal ubicado en el km 1+350, para cubrir la zona desprotegida para realizar cruces seguros de peatones y ciclistas entre el km 0+000 y el km 2+200.
- Puente peatonal ubicado en el km 4+400, para cubrir la zona desprotegida de cruces seguros de peatones y ciclistas entre el km 3+300 y el km 5+000.
- Adicionalmente, se aconseja la construcción de paraderos nuevos en los puentes peatonales propuestos y la adecuación de paraderos en los puentes peatonales existentes, con el fin de incentivar el cumplimiento de la norma de recoger y dejar pasajeros en puntos seguros.

- **Programa de auditorías, evaluación y seguimiento de seguridad vial en la infraestructura vial**

En Colombia, la seguridad vial es un tema de gran preocupación; por esta razón se creó la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) y se está implementando el Plan Nacional de Seguridad Vial, el cual pretende establecer como obligación la ejecución de las auditorías de seguridad vial en carreteras existentes y nuevas desde su estructuración.

Por lo anterior, se busca crear un procedimiento sencillo que se pueda aplicar en vías existentes, enfatizadas en los tramos donde haya mayores índices de accidentabilidad; en este caso, se aplica al tramo de estudio.

*Procedimiento para la ejecución de auditorías de seguridad vial en el tramo en estudio, autopista Bogotá - Villeta del km 0+000 al km 5+000*

Según los lineamientos para escoger una vía o un tramo vial existente con el fin de hacer una auditoría de seguridad vial, se debe cumplir con uno de los siguientes requisitos:

- Vías o tramos de vía en los que se identifiquen aumentos en los índices de accidentabilidad, complejidad del diseño de la vía, infraestructura vial para tránsito de usuarios vulnerables inexistente o deficiente.
- Vías o tramos de vía donde se estén realizando nuevas obras, interacción entre distintos usuarios y usuarios vulnerables.

De acuerdo con la evaluación que se ha realizado del tramo de estudio, es posible identificar que cumple con los siguientes requisitos:

- Tiene altos índices de accidentabilidad, donde se ven involucrados en su mayoría los usuarios vulnerables.
- Existe interacción entre usuarios motorizados y no motorizados.
- Usuarios vulnerables.
- Infraestructura vial para tránsito de usuarios vulnerables inexistente o deficiente.

Ya identificados los requisitos, se procede a lo siguiente:

1. El administrador de la vía debe solicitar la auditoría vial a la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV).
2. El operador de la vía debe proporcionarle al auditor o auditores que asigne la ANSV la información de entrada necesaria, como el nombre de la carretera y los tramos que se van a auditar, con kilómetro de inicio y finalización; el tipo de carretera; el plano de localización de la carretera; volúmenes de tránsito y su composición vehicular; información sobre las condiciones del entorno vial, incluyendo los servicios, el clima, la topografía, etc.; estadísticas de accidentabilidad de la vía o el tramo de vía, donde se incluya el tipo de accidentes, usuarios involucrados, frecuencia de ocurrencia, etc.
3. Antes de realizar la visita de campo se hace una revisión y evaluación de la información, verificando que esté ordenada y sea de fácil interpretación, y que permita tener una visualización inicial de las características de la vía o el tramo vial.
4. La visita de campo se realiza cuando ya se ha revisado la información y se tiene la información necesaria para verificarla en campo. En la inspección se debe constatar lo siguiente: elementos que puedan significar un riesgo para los usuarios vulnerables de la vía o tramo de estudio; deterioro o falta de señalización horizontal y vertical; falta de mantenimiento de la carpeta asfáltica; falta de elementos de infraestructura vial que permitan el tránsito de los usuarios vulnerables en condiciones de seguridad; revisión de los lineamientos del administrador de la vía y de la Policía de Carreteras en cuanto a campañas de sensibilización para la interacción entre usuarios, respeto y cumplimiento de las señales de tránsito y uso de la infraestructura vial.
5. La visita de campo se realiza de día y de noche, se hace un registro fotográfico de las características de

la vía y las falencias detectadas. Luego de obtener toda la información con las visitas de campo se realiza el trabajo de oficina con los resultados del análisis y el diagnóstico, en el que se determinan las posibles soluciones.

6. Los resultados de la auditoría se envían de manera escrita y oficial al operador de la vía y al contratista, en este caso, la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), con las recomendaciones de seguridad y mejoras que se deben realizar a la infraestructura vial para los usuarios vulnerables. Las recomendaciones se indican como una propuesta de solución, pero no se establece el detalle de cómo ejecutarlas.
7. Adicionalmente, se fija el plazo aproximado de aplicación de las recomendaciones, estableciendo un periodo de prueba para la implementación de las recomendaciones de campañas de concientización a los actores de la vía y un plazo para la ejecución de las obras de mejora en la infraestructura vial para los usuarios vulnerables.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### *Específicas*

- Las recomendaciones hechas para el eje de acción 1 (Comportamiento humano en los programas que contiene), deben aplicarse de manera inmediata porque es la herramienta de mitigación inicial de accidentabilidad más importante, ya que es la creación de conciencia a los actores de la vía para la conservación de la integridad física y aprendizaje de interacción, con todos los usuarios que la transitan.
- Se debe hacer un seguimiento al comportamiento de los usuarios vulnerables, el cual se verá reflejado en la disminución o incremento de los índices de accidentabilidad del tramo de estudio. Si se detecta un aumento en la accidentabilidad luego de implementar las campañas de concientización, se requiere evaluar y replantear la metodología de enseñanza y acudir a campañas visuales de alto impacto.
- Las recomendaciones hechas para el eje de acción 2 (Atención a víctimas) se pueden implementar inmediatamente con los recursos y el personal que están disponibles en la concesión, para empezar con la presencia de personal distintivo y brindar sensación de seguridad al usuario.

- Para poder implementar la construcción de las mejoras en el eje de acción 3 (Infraestructura vial para usuarios vulnerables), es necesario que el concesionario y la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI) lleguen a un acuerdo económico para el pago de tales obras porque no están contenidas en las obligaciones contractuales del concesionario; para esto se debe establecer un tiempo no mayor de un año.

### *Generales*

- La metodología aplicada al tramo de estudio propuesto para este trabajo de grado se puede implementar en las vías concesionadas o no concesionadas a escala nacional.
- Se debe establecer un acuerdo entre las entidades nacionales encargadas de la regulación de la normativa que se debe aplicar a las vías y los administradores de éstas para instaurar la obligatoriedad de las auditorías de seguridad en vías existentes y nuevas para disminuir los niveles de accidentabilidad a escala nacional, teniendo en cuenta que es uno de los objetivos principales del gobierno, siguiendo los lineamientos fijados por las Naciones Unidas en el 2016.
- Definir la ejecución de las auditorías a la Agencia Nacional de Seguridad Vial (ANSV) para los proyectos nuevos, destinando un porcentaje en el modelo financiero, teniendo en cuenta que deben realizarse anualmente durante el tiempo del proyecto; para las vías existentes, una de las opciones es incrementar el valor del peaje, de acuerdo con las proyecciones económicas que se deben realizar para la ejecución anual y poder devolver la inversión a los administradores existentes.

## AGRADECIMIENTOS

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Programa Maestría en Ingeniería Civil.

Dr. Germán Ricardo Santos Granados, director del programa de maestría en Ingeniería Civil.

Ing. Maritza Villamizar Roper, directora de proyecto de grado.

Concesión Sabana de Occidente SAS.

## REFERENCIAS

- [1] Ministerio de Transporte (julio de 2016). Plan Nacional de Seguridad Vial Colombia 2011-2021. Recuperado de [https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/plan\\_nacional\\_de\\_seguridad\\_vial](https://www.mintransporte.gov.co/Publicaciones/plan_nacional_de_seguridad_vial).
- [2] Naciones Unidas (junio de 2016). Asamblea General de las Naciones Unidas. Recuperado de <http://www.un.org/es/ga/>.
- [3] OMS (junio de 2016). Decenio de Acción para la Seguridad Vial 2011-2020. Recuperado de [www.who.int](http://www.who.int).
- [4] Concesión Sabana de Occidente SAS (junio de 2016). Estadísticas de accidentalidad en el periodo 2008-2015. Doble calzada Bogotá-Villeta, Concesión Sabana de Occidente SAS. Tenjo, Cundinamarca.
- [5] Concesión Sabana de Occidente SAS (junio de 2016). Infraestructura existente año 2008. Doble calzada Bogotá-Villeta. Tenjo, Cundinamarca.
- [6] Concesión Sabana de Occidente SAS (junio de 2016). Plan Estratégico de Seguridad Vial ajustado a CSO SAS. Tenjo, Cundinamarca.
- [7] Instituto de Medicina Legal, 2016.



# Rusia y 1917: una mirada cien años después

## Russia and 1917: A glance, one hundred years later

**JOSÉ CAMILO VÁSQUEZ CARO**

Historiador. Profesor del Departamento de Humanidades e Idiomas de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

jose.vasquez@escuelaing.edu.co

Recibido: 01/09/2017 Aceptado: 21/09/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

### INTRODUCCIÓN

Han pasado cien años desde que los bolcheviques se tomaran el Palacio de Invierno en la ciudad de Petrogrado. Fue un hecho poco disruptivo, con escasa violencia y llevado a cabo por un pequeño grupo de insurgentes. La toma del Palacio fue un acontecimiento profundamente simbólico, pues ese edificio representaba la máxima autoridad de poder de un imperio decadente, y tomarse el edificio era, simbólicamente, tomarse el poder. Si bien la Revolución de Octubre empezó como un hecho discreto, sus ecos serían mundiales y trascenderían todos los rincones del globo. La toma del Palacio de Invierno fue un acto que marcó el fin de un orden, un antes y un después, un mundo que nunca sería lo que fue.

Este acontecimiento histórico es uno de los más controversiales del siglo XX. Muchos historiadores han argumentado que 1917 marcó pronunciadamente el inicio de una nueva etapa de la historia mundial y que de ahí se desprendieron una serie de dinámicas y tensiones que se manifestarían a lo largo del siglo. Este

comienzo marcó también, inevitablemente, el fin de una etapa de la historia. La Revolución rusa, de un modo u otro, permeó todo el planeta y cambió el rumbo de la historia de muchos pueblos. Al mirar cien años después, ya con cierta distancia, podemos empezar a entender la complejidad que hay detrás de este hecho histórico. El mundo después de octubre de 1917 nunca volvió a ser el mismo.

El propósito de este breve escrito es presentar una interpretación de la Revolución rusa del año 1917 como acontecimiento histórico complejo. Y al hablar de un acontecimiento histórico complejo, me refiero a un punto estructural en el tiempo y en el espacio en el cual convergieron procesos humanos e históricos de corta, mediana y larga duración. Este concepto se basa en la concepción braudeliana del tiempo. Este escrito está compuesto por cuatro partes: sobre el tiempo, el largo siglo XIX, Rusia antes de 1917 y Rusia en 1917. Hablar o escribir sobre la Revolución del 17 es, hoy en día, un ejercicio académico que nos permite hacer

muchas lecturas y sustentar muchas interpretaciones. Recuerdo cómo hasta hace algunas décadas cualquier discusión sobre la Revolución rusa cobraba un tono político y hasta revolucionario. El mundo, en ese entonces, estaba polarizado entre capitalistas y comunistas, rojos y blancos, Cortina de Hierro y democracias libres, buenos y malos, posturas que se definían según el lugar de enunciación de quien estuviera interpretando el mundo en ese instante.

Hoy, en este planeta globalizado, la Revolución del 17 es un referente cultural e histórico. Tal vez no despierte las mismas pasiones como hace unas décadas, pero su significado y su complejidad pueden ser un referente importante que nos permite entender mejor algunos procesos del siglo XX y algunas dinámicas del mundo actual. En tal sentido, estas lecturas más académicas y distantes nos brindan elementos para comprender mejor nuestro presente. La mirada al pasado es útil para ubicarnos, entendernos y ver la imagen más allá de los límites del presente eterno.

## SOBRE EL TIEMPO

Los seres humanos utilizamos el tiempo para organizar procesos y ubicarnos a nosotros mismos. En este orden de ideas, el tiempo es una construcción social que establece referentes, lo cual va desde el uso del reloj para cumplir una cita o el despertador para marcar el comienzo del día hasta la noción de siglo o milenio que nos permite concebir duraciones de tiempo mucho más extensas. Sin embargo, el inicio o el cierre cronológico de un siglo no implica necesariamente que se estén empezando o cerrando procesos humanos y sociales.

Algunas veces utilizamos fechas y acontecimientos para establecer un orden y explicar un fenómeno. Por ejemplo, algunos historiadores dicen que 1492 sirve como fecha referente para el inicio de la modernidad. Esto no implica que las personas en 1491 fueran premodernas y que de repente, en 1492, ya fueran modernas. La modernidad no se construyó en un año. Lo que sí es válido es que a partir de 1492 se comenzaron a dar ciertos cambios y se iniciaron ciertos procesos que empezaron a romper con algunos rasgos de la mirada medieval europea.

Sin duda, hay un consenso en que 1492 fue un año especial para Occidente. La pregunta es cómo utilizamos este referente para explicar procesos, construir narrativas y comprendernos a nosotros mismos. Al igual que 1492 o 1789, el año 1917 fue crucial para la historia contemporánea y me atrevo a decir que para nuestro panorama actual. Cuando hablamos de tiempos y procesos debemos ser muy cuidadosos. De poco nos sirve una fecha o un acontecimiento si no le damos un contexto o un propósito.

## EL LARGO SIGLO XIX

A continuación expondré algunas generalidades del siglo XIX. Ante todo, busco presentar un panorama que sirva como telón de fondo para comprender la situación de la Rusia zarista a finales del siglo XIX.

Algunos historiadores hablan de un largo siglo XIX, pues ponen como fecha de inicio la Revolución francesa de 1789 y como fecha final el estallido de la Primera Guerra Mundial en 1914. Otros hablan de un siglo XIX que nace con el Congreso de Viena de 1815, cuando Europa se reorganiza después de Napoleón. Lo que hay en común en muchas de estas miradas es que el siglo XIX es el siglo de la civilización europea. Durante esta centuria, Europa se consolidó como metrópoli de imperios, como foco de industria y de desarrollo urbano. Las relaciones y las jerarquías de poder se vieron permeadas por esta supremacía de la civilización europea. El pensamiento progresista y evolucionista de las ciencias naturales, en particular de la biología darwinista, sirvió como base de las nacientes ciencias sociales.

Muchas de nuestras costumbres y ritos cotidianos de hoy en día son producto de un largo siglo XIX. El historiador Jürgen Osterhammel relaciona claramente el siglo XIX con la construcción de nuestro mundo



cotidiano, desde lo intangible hasta lo más concreto. En ese siglo se construyó la noción de individuo —al igual que las nociones de lo privado y lo público—, se fortalecieron los procesos de producción industrial capitalista, se desarrollaron modelos de ciudades, se crearon redes tanto de transporte e higiene como de comunicación, entre tantas otras cosas. Nuestra relación con el pasado, el conocimiento y la cultura tienen elementos concretos del siglo XIX. Como bien lo señala Osterhammel, elementos que marcan nuestra noción de arte, nuestra relación con el pasado y la idea de civilización provienen de las mentalidades del siglo XIX. El ejemplo más claro es el museo, la gran creación cultural decimonónica que bajo su techo reúne lo que amerita ser guardado, coleccionado y exhibido. Por otra parte, cabe mencionar los cambios en la educación. El aumento de la cobertura estudiantil tanto escolar como universitaria fue significativo. Las universidades tuvieron un auge en este siglo, así como también se incrementaron el desarrollo científico y tecnológico.

Otro rasgo fundamental del siglo XIX que señala Osterhammel es la movilidad humana. Gracias a los nuevos medios, tanto de comunicación y transporte, varios grupos de personas se pudieron desplazar de unas partes del globo a otras. Un ejemplo muy concreto son las migraciones de europeos a Estados Unidos en la expansión de la frontera, o de poblaciones asiáticas a California. Las nuevas dinámicas económicas del siglo XIX también permitieron que surgieran situaciones de movilidad social real. El desarrollo del capitalismo y los desplazamientos empezaron a romper con estructuras sociales y económicas estáticas, arraigadas a la tradición y a la tierra. El historiador Sven Beckert señala lo importante que fue el siglo XIX para la consolidación del capitalismo industrial y las nuevas redes humanas.

Si bien el siglo XIX trajo consigo unos cambios profundos en formas y estructuras, dejando de lado esquemas muy antiguos, también trajo nuevas coyunturas de conflicto, tensión y confrontación. La supremacía de la civilización europea implicaba unas relaciones entre centro y periferia. De igual manera surgían tensiones entre las potencias europeas por dominio de puntos estratégicos, mercados, recursos y colonias. Beckert ilustra estas tensiones en forma exquisita en su estudio sobre el algodón como elemento articulador de la historia global.



Tal vez uno de los cambios que rompieron el equilibrio entre las fuerzas europeas fue el surgimiento del Imperio alemán a finales del siglo XIX. El reino de Prusia se fue estableciendo como una fuerza continental y esto vino acompañado de un plan de desarrollo industrial. En menos de dos décadas, el Imperio alemán se convirtió en la fuerza económica y militar del continente. Como fuerza imperial, Alemania llegó a buscar su parte del reparto del mundo, y en pocos años ya estaba en Asia y África disputándose el poder con el Imperio británico y Francia. Esta tensión seguiría en aumento, con conflictos y enfrentamientos, allá en la periferia. Pero se mantenía latente y en algún momento llegaría al continente europeo. La tensión estaba en todas partes y la guerra se veía como un mecanismo necesario para restablecer el equilibrio entre las potencias.

En la metrópoli también se presentaban problemas internos. Por una parte, surgía el tema de las etnias y naciones que conformaban los imperios continentales. Europa concentraba una diversidad étnica y cultural muy alta en un espacio bastante limitado. Estas voces buscaban mayor participación y representación ante el Estado o sencillamente buscaban su independencia. Por otra parte, el mismo desarrollo industrial había concentrado grandes poblaciones obreras que vivían en condiciones deplorables. Las ciudades industriales de Europa reproducían la distribución de la riqueza y la tensa situación entre los obreros y los propietarios de los medios de producción. La concentración de las masas permitió que las ideas y el cuestionamiento se propagaran en forma sistemática.

Como lo han señalado tanto Beckert como Osterhammel, el siglo XIX fue el de la consolidación del

capitalismo industrial y de las redes globales. Gran parte de este fenómeno se dio gracias a la alianza entre Estado y capital. Fue a través de la política como muchos proyectos de empresa se lograron consolidar. Si bien Europa vivió un proceso de industrialización, siguió dependiendo de materia prima obtenida en las zonas lejanas y periféricas. En la metrópoli, las industrias debían garantizar continuidad en su mano de obra para la producción. En un momento inicial, la política era para amarrar la mano de obra a la fábrica, pero con el paso del tiempo las masas obreras se convirtieron en agentes políticos. Su demanda por mejores condiciones y salarios llevó a que la política y los estados los empezaran a tener en cuenta. El siglo XIX europeo fue un siglo de cambios profundos, y con estos cambios surgieron nuevas tensiones.

## RUSIA ANTES DE 1917

Rusia fue un caso singular en el siglo XIX. Mientras que Inglaterra, Francia y Alemania vivieron un proceso de industrialización y de consolidación de su presencia económica en diversos rincones del mundo, Rusia continuó siendo un gran productor agrícola relativamente aislado. En la Rusia zarista del siglo XIX seguían existiendo muchos rasgos del sistema feudal, y la sociedad continuaba siendo sumamente jerarquizada y estática, con una distribución de la tierra muy desigual. En Rusia se mantenía la figura de siervos atados a la tierra y a su señor feudal hasta la década de 1860. Como lo ha señalado Hugo Fazio, el final del siglo XIX y el comienzo del siglo XX marcaron una contradicción entre un viejo orden y unos procesos de modernización que vinieron acompañados de ideas revolucionarias.

Rusia funcionaba a un ritmo distinto al del resto de Europa. Desde los años sesenta del siglo XIX se comenzó a abrir a la inversión extranjera y muchos inversionistas vieron la oportunidad de reducir costos de producción trasladando parte de sus industrias al territorio ruso. Rusia era Europa y, a su vez, tenía rasgos y dinámicas de otras latitudes y periferias. El fenómeno ruso condujo, entonces, a un desarrollo del capitalismo industrial muy diferente al del resto de Europa. En el resto del continente se produjo un proceso gradual de siglos, desde la consolidación de un artesanado en centros urbanos hasta la consolidación de un sistema que proveía la materia prima, en combinación con avances

tecnológicos que optimizaron la producción. Se puede afirmar que Rusia se abrió a la inversión extranjera e importó tanto maquinaria como mentalidades y creencias.

Para finales del siglo XIX, el sistema absolutista de un zar era visto como obsoleto y retrógrado. Diversos grupos sociales pedían un cambio y una modernización del orden político y en las dinámicas de producción. La familia Romanov había dominado el Imperio durante siglos y no estaba dispuesta a soltar el poder. La oposición al absolutismo reunía a muchos actores, incluso hasta actores antagónicos que compartían únicamente el deseo de cambiar el sistema zarista por otro. Desde la naciente burguesía hasta la nobleza progresista, pasando por obreros y soldados y liberales moderados, buscaban un cambio estructural en lo que para entonces ya era un orden caduco. Tal vez los que menos buscaban un cambio político eran los campesinos. Ellos llevaban



siglos viviendo en sus pequeñas comunidades agrícolas, alejados de las ciudades y de las ideas de un mundo cambiante. La paradoja es, sin duda, que los campesinos componían la vasta mayoría de la población del Imperio. El absolutismo estaba en manos de los zares, pero los deseos de un cambio eran el sueño de una minoría de la población rusa.

Desde finales del siglo XIX ya se había empezado a manifestar un descontento con el sistema político y el orden establecido por los zares. Este fenómeno se acentuó en las ciudades, en particular las que tenían un



naciente desarrollo industrial. Los cambios económicos y sociales de la segunda mitad del siglo XIX en Rusia llevaron a que surgieran nuevos grupos y nuevos actores en las ciudades. Una clase obrera y urbana estaba consolidada para principios del siglo XX. También los cambios en los medios de comunicación permitieron que las ideas circularan de manera más veloz. Las ciudades rusas de finales del siglo XIX y comienzos del XX habían adquirido ciertos rasgos de otras ciudades europeas. Las tensiones entre clases y los deseos de adquirir poder político se hicieron evidentes. El número de huelgas fue en aumento permanente desde finales del siglo XIX hasta la caída de los Romanov en 1917.

Uno de los hechos que más ilustran estas tensiones, entre viejo y nuevo orden, es el asesinato del zar Alejandro II. Lo sangriento del atentado demostró que lo planeó un grupo subversivo que buscaba borrar al zar y dejar un mensaje muy claro. Debido a este homicidio se cruzó física y simbólicamente una barrera cultural en Rusia, pero lo más extraordinario de todo fue saber de dónde provenían los asesinos.

Otro acontecimiento que bajó de su pedestal a los Romanov fue el desastroso resultado de la guerra ruso-japonesa (1904-1905). Después de este enfrentamiento, el imaginario de la fuerza militar del gran imperio quedó destrozado. El mundo entero fue testigo de las debilidades de Rusia, que carecía de infraestructura y tecnología para llevar a cabo una guerra moderna. La esfera de influencia imperial que se disputaban Rusia y Japón en Corea y Manchuria quedó en manos del Imperio japonés. Aunque vale la pena destacar que la caída de Rusia ante Japón no desvaneció la presencia de las fuerzas europeas y de Estados Unidos en el Lejano Oriente. Muchos conflictos del siglo XX se darían por la continua disputa entre Japón, Estados Unidos y Europa en esta región.

Durante la guerra de 1905 surgieron movimientos sociales que buscaron cambios en la estructura política del imperio. Era una búsqueda desesperada por mejorar las condiciones de vida. El tema de la tierra y la producción agrícola, las diversas naciones y etnias dentro del imperio y las tensiones de clase generadas por el naciente capitalismo industrial ruso condujeron a diversas manifestaciones en contra del sistema autocrático del zar. El descontento se hizo evidente y la baja popularidad de Nicolás II no pudo ser más evidente. La matanza del Domingo Sangriento fue el punto crucial

de la revuelta. Robert Service ha señalado la creación de la Duma como evidencia de esa necesidad de cambio manifestado por las masas. En 1905, el zar tuvo que ceder. Si bien la Duma era un paso hacia el cambio político, en años posteriores el zar tomaría medidas para no soltar las riendas de su poder absoluto.

Las dinámicas del comercio y de las redes del capitalismo mundial presionaron a Rusia a buscar una salida al mar Mediterráneo. Las guerras de los Balcanes de las primeras décadas del siglo XX les abrieron los ojos a los zares para tener una posible salida al mar. El discurso del paneslavismo llamaba al surgimiento de una nueva fuerza en Europa, la unión de unas etnias que compartían raíces lingüísticas y culturales. Al frente de esta unión estaba la Rusia zarista, respaldando a pequeños estados como Serbia, que a su vez cuestionaban el poder y la influencia del Imperio austrohúngaro en los Balcanes. Por otro lado, la decadencia del Imperio otomano generaba un vacío de poder que buscaban llenar otras potencias, como el Imperio austrohúngaro o el Imperio británico. Los anhelos de expansión y la coyuntura de los Balcanes llevarían a Rusia a participar en un concurso bélico para el que no estaba preparada.

Las causas profundas, a mediano plazo e inmediatas de la Primera Guerra Mundial han sido materia de investigaciones extensas y libros extraordinarios. Muchas veces se han explicado con la metáfora de que Europa era un barril de pólvora y que el asesinato de Francisco Fernando en Sarajevo, en 1914, fue la chispa que detonó la explosión. En este breve texto no pretendo explicar dicho tema, aunque me parece relevante destacar la interpretación del historiador marxista Eric Hobsbawm, quien hace énfasis en que, para una generación, el mundo era uno antes de 1914 y otro después de 1914. Según Hobsbawm, la guerra fue un acontecimiento que sacudió todos los cimientos del edificio de la civilización europea del siglo XIX.

La participación del Imperio ruso en esta guerra fue desastrosa. Esta participación muy seguramente aceleró procesos internos de cambio que ya se venían manifestando desde décadas atrás. En resumidas cuentas, el frente ruso no avanzó; al contrario, con cada día de guerra el frente ruso retrocedía. La pérdida se sintió en el territorio y en las vidas destrozadas. Para la sociedad rusa, los costos monetarios, materiales y humanos de la Primera Guerra Mundial fueron exorbitantes.



Cien años después resulta fácil conectar algunos puntos y crear una imagen de lo que estaba sucediendo y saber hacia donde irían las cosas. Otra cosa muy diferente es estar en la situación de incertidumbre y de tomar decisiones y actuar. Ésta le ocurrió a Nicolás II de Rusia, quien como zar asumió el mando militar y se fue al frente de guerra. Nicolás personificó el fracaso de la guerra y se convirtió en el culpable del malestar que se vivía. Antes, el zar había sobrevivido a los levantamientos, pero en 1917 un levantamiento en la ciudad, después de tres largos años de guerra y desgaste, sacudiría un sistema político instaurado y mantenido a la fuerza durante tres siglos. Ese febrero de 1917, por primera vez en su historia, los cosacos desobedecieron las órdenes de su zar y se sumaron a la protesta.

## 1917

En febrero (calendario juliano) de 1917 abdicó el zar Nicolás II, dejando un imperio en crisis y en guerra, con un ejército debilitado física y moralmente, una población civil desmotivada y hambrienta, y un orden político absolutamente desacreditado. La abdicación de Nicolás dejó un vacío de poder enorme. Sumado a este vacío estaba también la siguiente pregunta: ¿Y ahora qué sigue? En un principio se pensó que el hermano del zar, el gran archiduque Miguel, asumiría la corona, pero éste no la aceptó. La respuesta fue la creación de un gobierno provisional que velaría por todos los sectores y llevaría a la modernización del Estado ruso.

La coyuntura de febrero fue muy compleja y requiere comprender cómo convergieron los intereses de los

actores implicados. Si bien todos buscaban un cambio, también estaban por primera vez manifestándose diversas voces y nuevas fuerzas que podrían ser hasta antagónicas. El enemigo en común ya no estaba en el poder, pero quedaba la cuestión de cómo proceder y hasta dónde, así como cuál sería la respuesta del gobierno provisional, inicialmente liderado por el príncipe Lvov y luego por Alexander Kerensky.

Rusia podría haber seguido un camino hacia un Estado liberal burgués y un desarrollo económico capitalista. Igualmente, dadas las condiciones de la guerra y los movimientos sociales, también podría seguir un camino hacia un Estado más radical y de izquierda. La gran pregunta giraba más en torno a dónde se quería llevar el cambio. Los caminos se podían combinar y existían matices. Los liberales, representados por el partido de los cadetes, eran una minoría, mientras que los socialrevolucionarios eran una fuerza política mayor. Sin embargo, en 1917 la mayoría de las fuerzas políticas buscaban un cambio gradual, más acorde con un paso hacia un Estado más liberal. Esta aparente contradicción tenía un buen sustento teórico. Las interpretaciones de la teoría de Karl Marx habían llevado a los actores políticos de izquierda a pensar que Rusia aún no reunía las condiciones para una revolución marxista.

Fue un hombre el que vio que el momento de la revolución era ya, que la coyuntura estaba lista y que las fichas estaban alineadas momentáneamente. Vladimir Ilich Uliánov, más conocido como Lenin, regresó de su exilio a Petrogrado y llegó con la misión de promover la revolución. Incluso sus copartidarios bolcheviques habían apoyado inicialmente el cambio gradual promovido por el gobierno provisional. Sin embargo, Lenin no dio el brazo a torcer y llamó al poder para los sóviets, los obreros y los campesinos. La postura radical de Lenin no tenía futuro en la constituyente que se iba a celebrar a finales de 1917, en la que su partido era minoritario pero sí tenía eco y futuro en las calles de Petrogrado.

Kerensky también leyó el peligro que representaban las ideas de Lenin, expuestas en sus famosas *Tesis de abril*. El gobierno provisional tenía varios frentes y se encontraba bajo constante amenaza. Por un lado, estaban los alemanes en el frente, cada día más cerca de tomarse la capital. Internamente, estaba el descontento social por la guerra y la carencia de comida. Por otro lado, estaban los antagonistas políticos, tanto de derecha como de izquierda. El gobierno provisional persiguió a Lenin y

a los bolcheviques, obligando a Lenin de nuevo al exilio y arrestando a otros líderes, entre ellos al carismático y elocuente Leon Troski. Con todo, la amenaza militar del general Kornilov de marchar sobre Petrogrado y tomarse el poder obligó a Kerensky a tener que escoger entre dos males. Kerensky no tuvo otra opción que liberar a los bolcheviques y empoderar más a los sóviets y a los seguidores de Lenin.

La revolución de octubre se produjo en parte por la voluntad de un líder que sabía que no volvería a tener la oportunidad para orquestar un cambio profundo y radical y en parte por una serie de elementos que parecían coyunturales pero que eran de una profundidad histórica descomunal. El descontento en Rusia era un tema antiguo y profundo que se había vuelto más complejo desde que empezaron a crecer las ciudades y las industrias. Por otra parte, la guerra aceleró y acentuó este descontento general.

Posiblemente, se seguirá discutiendo si Rusia estaba lista para una revolución de tal magnitud, y creo que uno puede argumentar de forma válida las dos respuestas. Sin embargo, de lo que estoy seguro es que en octubre de 1917 se dieron las condiciones para que un pequeño grupo de seres humanos se lanzara a buscar un cambio profundo.

Empecé este texto narrando que la revolución de octubre había sido un acontecimiento discreto y sim-

bólico. No obstante, creo que al finalizar este texto el lector ya se habrá dado cuenta de la magnitud del acontecimiento. Después de octubre Rusia de 1917 el mundo nunca sería el de antes. Internamente, Rusia se vio sumergida en una guerra civil descomunal de la cual saldrían victoriosos los rojos. Por fuera de Rusia, el cambio también se sintió. La idea de que la implementación de otro sistema político y económico diferente al capitalista industrial era posible empezó a rodar por las calles del mundo. Esta idea y las innumerables debates, disputas y conflictos en torno a ella marcaría gran parte del desarrollo del siglo XX.

## REFERENCIAS

- Beckert, S. (2015). *El imperio del algodón: una historia global*. Barcelona: Crítica.
- Braudel, F. (1979). *La historia y las ciencias sociales*. Madrid: Alianza.
- Fazio, H. (2005). *Rusia en el largo siglo XX: entre la modernización y la globalización*. Bogotá: Uniandes-Ceso.
- Hobsbawm, E. (1998). *Historia del siglo XX*. Barcelona: Crítica.
- Osterhammel, J. (2014). *The transformation of the world: A global history of the nineteenth century*. Princeton: Princeton University Press.
- Procacci, G. (2001). *Historia general del siglo XX*. Barcelona: Crítica.
- Service, R. (2016). *Historia de Rusia en el siglo XX*. Barcelona: Crítica.
- Wolfson, R. & Laver, J. (1999). *Years of change; Europe 1890-1945*. Londres: Hodder and Stoughton.





# Todas las definiciones son un promedio

All definitions are average

ALFONSO MELÉNDEZ ACUÑA<sup>1</sup> - FELIPE RODRÍGUEZ GÓMEZ<sup>2</sup>

1. Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

2. Profesor del Departamento de Humanidades de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

alfonso.melendez@escuelaing.edu.co - felipe.rodriguez@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 05/04/2017 Aceptado: 23/09/2017

Disponible en [http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones\\_revista](http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista)

**Felipe:** Una amiga me regaló una vez una cartuchera que decía “Art is more important than math”. Mi primera reacción fue la de escribir con un marcador “not” entre “is” y “more”. Sin embargo, la pregunta fundamental era qué es “art” y qué es “math”. El ejercicio de definir cualquiera de las dos palabras es promediar concepciones y de esta manera restringir. Generalmente, cuando se pregunta qué es arte, la mayoría de las personas buscan relacionarlo con técnicas como pintar o esculpir, o con conceptos como lo que es bello o estético (lo que sea que eso signifique); sin embargo, en el esfuerzo de la humanidad por desarrollar un sentido de la identidad individual, hemos empezado a confundir incluso nuestras propias definiciones. Por lo regular, la gente asocia las matemáticas con las estadísticas, las ingenierías, las ciencias, y restringen su definición de uso, excluyendo la vida diaria y sus amplias posibilidades de implementación.

**Alfonso:** Cuando leo la frase de la cartuchera, me llama la atención que la frase está sin contexto; no sé si

es que a tu amiga le parece el arte más importante o al regalártela te está invitando a que pienses si el arte es más importante, pero también puede ser una afirmación en un contexto temporal diciendo que se considera que hoy el arte es más importante.

Esta frase me recuerda un libro provocativo, en el que se afirma que la matemática es un arte y que la diferencia entre las matemáticas y otros artes, como la música y la pintura, es que nuestra cultura no la reconoce como tal, ya que no se entiende lo que de verdad son las matemáticas. Según el autor, las matemáticas permiten mayor libertad de expresión que la poesía y la música ya que el matemático, como el pintor o el poeta, es un constructor de patrones, pero patrones más permanentes porque son patrones de ideas.

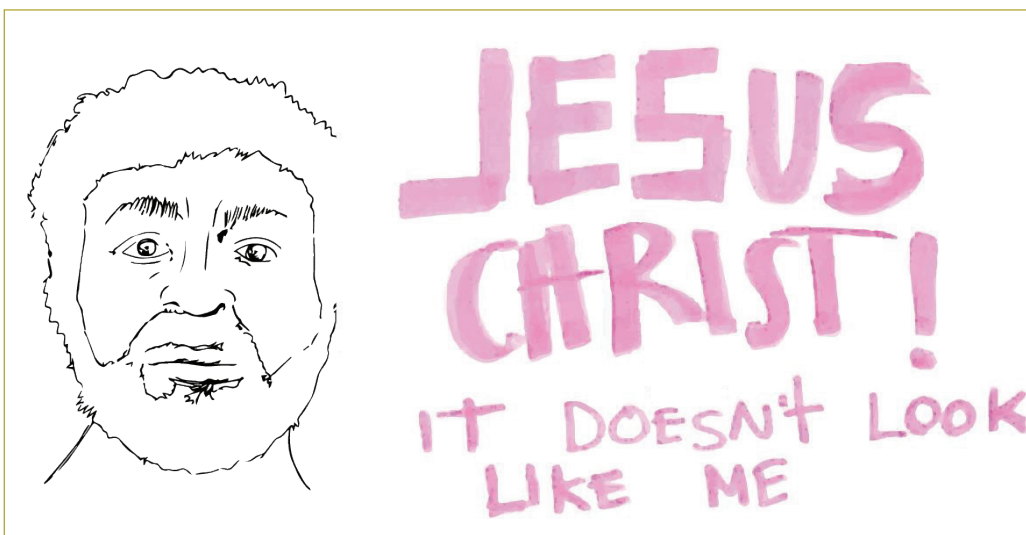
La impresión que se tiene del proceso para llegar a ser un artista o un matemático es que se trata de una escalera en la que se comienza con lograr “destreza” en una serie de técnicas y procedimientos (por un lado, uso del pincel y del pentagrama, y por otro, la factorización,

la solución de ecuaciones) para luego poder ejercer como artista o matemático. Adicionalmente, la enseñanza de cada una de estas disciplinas se hace de manera separada (y de pronto matemática y arte son lo mismo).

**Felipe:** De alguna manera, creo que empezamos a tener esta discusión porque ni tú sabes qué es “math” ni yo sé qué es “art”. En mi caso particular, ninguna de las definiciones me convence, ni las tendencias ni las instituciones que afirman contenerlas o definirlas. En el caso de las definiciones, siento que siempre están incompletas; el lenguaje se vuelve incómodo a la hora de tratar de definir estas dos palabras, ya que la imposibilidad de combinar la totalidad que las conforma lleva a las definiciones a transformarse en una lista de cosas. Definir estas dos palabras en principio es posible, pero, utilizar como metodología para el entendimiento de algo la certeza de que en principio es posible sólo nos ha llevado a definiciones limitadas. Al final, me queda la sensación de que no es algo que define sino algo que describe en forma incompleta. Me queda la sensación de que el castellano es insuficiente a la hora de pensar y entender nuestro propio territorio y cultura, lo que está relacionado con lo que dices de contexto. Siento que las matemáticas y el arte son transversales a cualquier cultura, y a diferencia del idioma, que puede ser impuesto o erradicado, el arte y las matemáticas pueden ser impuestas, pero nunca erradicadas. Es decir, definir las excluye el contexto.

**Alfonso:** De acuerdo, el significado de algo depende esencialmente de su contexto; por ejemplo, el significado de la muerte es muy diferente en Bogotá que en una cultura caníbal, aunque se podría argumentar que la definición y no el significado de muerte sí es absoluto, en el sentido de que es, por ejemplo, la pérdida de los signos vitales, pero hay muchos casos de personas que pierden sus signos vitales por mucho tiempo y luego vuelven a vivir. El otro punto que me parece importante es que la definición y el significado de las palabras cambian con el tiempo, son dinámicas; riqueza se entendía en términos de la tierra que se tuviese, luego con los bienes que se tenían, más adelante con el dinero físico y últimamente con la popular bitcoin.

Hace poco leí que el concepto de conocer se define como una construcción individual. Uno construye, ensambla el conocimiento, tal como construye o ensambla las partes de una silla. Esta idea de conocimiento como construcción es relativamente reciente. Surgió paulatinamente durante los siglos XVI y XVII, cuando la fabricación y la producción comercial de objetos se convirtieron en la principal forma de producción humana en Europa. Kant, por ejemplo, presenta las matemáticas como la forma de conocimiento más evolucionada y nos dice que “Las matemáticas derivan su conocimiento no de conceptos sino de la construcción de éstos”. Pero esta conceptualización del conocimiento es problemática por muchas razones. Por ejemplo, reduce la producción del conocimiento a la pura actividad subjetiva



**Ilustración 1** Autor Felipe Rodríguez, título *¡Por Dios!*

del individuo; deja poco espacio para dar cuenta del rol importante de los otros y de la cultura en la manera como la conocemos; conduce a una visión unilateral de la cognición, la interacción, la intersubjetividad y la dimensión ética; elimina el rol crucial de las instituciones sociales y los valores y tensiones que éstas transmiten.

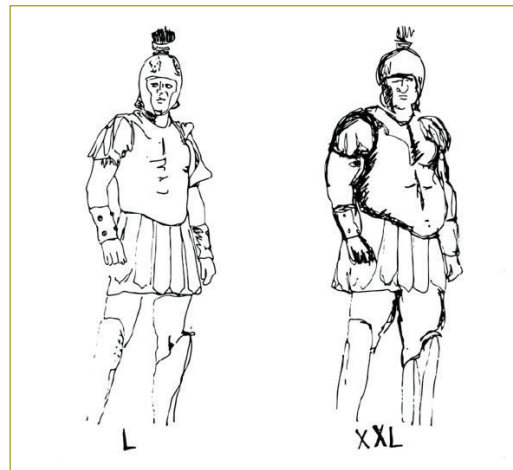
**Felipe:** Las definiciones son convenientes, más que precisas. Al decir que el castellano se quedaba corto para poder nombrar y entender nuestro territorio (Colombia), me refería a que dentro de cada estructura lingüística hay implícita una estructura de pensamiento y de entendimiento del mundo. Durante la Colonia se impuso a la fuerza la definición de Dios, definición que nunca sobrevivió a nuestro territorio, pero sí a nuestro lenguaje. La idea de un dios católico es tan absurda y ajena a la gente originaria de América que fue necesario extirpar el lenguaje nativo (o a su gente) al máximo para instaurarla.

Las representaciones religiosas de la pintura europea, más que hablarnos de un dios nos hablan del narcisismo y la vanidad occidental; implementar un sistema de adoración a través de la imagen requirió poder establecer nuevas definiciones de las cosas. De la belleza, de la ética, del bien, del mal, de la naturaleza. Sin embargo, estas definiciones, más que ser una expansión de las visiones europeas, eran convenientes a la manera eurocéntrica de percibir el mundo. Se trató, tal vez, no de un dios que hizo al hombre a su imagen y semejanza, sino de un hombre que hizo a un dios a su imagen y semejanza.

Respecto a las matemáticas, como cualquier otro lenguaje, depende del uso que le dan las personas; no creo que se pueda extraer un lenguaje de su contexto o del sistema en el que existe. Parece que la metodología para definir algo fuera fragmentarlo y no entenderlo como un sistema. El problema de definir algo es que podemos terminar describiendo otra cosa. Tengo dos ejemplos que me sucedieron acá en la Escuela Colombiana de Ingeniería: el primero fue cuando presenté la revista *Carma* ante la reunión de decanos. Yo empecé a hablar del rol de las humanidades en la ciencia y la ingeniería, pero a la hora de definir esta relación lo que para mí era claro no necesariamente lo fue para todo el mundo. Ricardo López, el secretario general, comentó algo que para nuestro tema es pertinente: “Para mí, las humanidades son los romanos”, afirmó, para expresar que no entendía de qué estaba hablando yo. En ese

momento, su frase me dejó completamente desconcertado y confundido. Ahora, analizando, yo podría pensar “para mí los romanos son números” y otro podría decir “para mí los romanos son un imperio” y uno aún más religioso diría “para mí los romanos son una parte de la Biblia”. Sin embargo, en nuestra intención de definir algo y construir un entendimiento individual sólo pasaríamos por tontos. Es muy común desde las disciplinas tener la necesidad de construir definiciones de las cosas que nos separan o que nos excluyen de otras, acción recurrente que se vuelve más significativa en el plano personal que útil a la hora de entender algo.

El segundo ejemplo, si me lo permites, lo voy a dejar para más adelante.



**Ilustración 2** Autor Felipe Rodríguez, título *Los romanos cincuenta y setenta*.

**Alfonso:** Lo bueno de una definición es que se pueda jugar con ella, que sea ambigua, que permita plantear una discusión para luego llegar a acuerdos; en el momento en que todos entendamos lo mismo acerca de algo (y eso nunca va a suceder) el juego cesa y el diálogo se congela, las palabras cambian su significado a lo largo del tiempo. Una definición tiene contexto histórico y cultural y acaba siendo una convención para permitir el diálogo; por ejemplo, el cálculo como área del conocimiento, como disciplina, en un comienzo tenía que ver con operaciones con números naturales (por eso se habla de los grandes calculistas), que llevaron a la invención del ábaco y otros instrumentos para agilizar la obtención de resultados. Más adelante (siglo XVI) surgieron las ideas de obtener la velocidad instantánea

de un objeto y las áreas de figuras no rectilíneas, y entonces la definición de cálculo cambió de manera radical (a través de los conceptos de derivada e integral). En los últimos dos siglos el cálculo está sufriendo una nueva y más radical transformación, que lleva a reinterpretar o redefinir su uso y su significado.

Por otro lado, todas las definiciones (al igual que las reglas o las leyes) tienen un contexto, una comunidad de práctica de donde se originan; cuando yo digo, por ejemplo, “mató a alguien y luego se lo comió”, debe tener entonces la máxima pena”, esto puede ser obvio en el mundo occidental, pero en una tribu de caníbales, donde consumir carne humana es una práctica común, al contrario de un castigo para el que mata es un honor el ejecutar esta acción y hay una recompensa por ello. Esto hace que, además de que las definiciones cambien con el tiempo, cambien también dependiendo de donde se formulen.

Estoy de acuerdo en que las definiciones deben arrastrar su contexto y que las palabras que hay que definir deben verse dentro de un sistema (o entorno) que les da sentido. Esto es muy claro cuando se pone el ejemplo del profesor que dice con toda honestidad “para mí las humanidades son los romanos”; de esta anécdota que cuentas me surge una pregunta que considero importante:

### ¿Cómo se podría definir lo humano?

**Felipe:** Lo que explicas sobre cómo el contexto y el tiempo determinan el entendimiento de las definiciones me hace pensar en que el uso que les damos a las definiciones es el de diferenciar, no el de entender; “esto es el arte”, “esto son las matemáticas”, “esto es el hidrógeno”, “esto es el oxígeno”, “esto es el agua”, “esto es el fuego”. Es como si las definiciones funcionaran como un medio para separar una cosa de otra, para trazar un límite; de alguna manera evitan que veamos el mundo como un sistema. Mi segundo ejemplo empieza en la puerta de mi oficina. Al lado de la puerta hay un letrero con mi nombre, y debajo dice “maestro de arte”. El día en que lo pusieron me pregunté por qué no decía “artista”, como en las otras oficinas dice “matemático” o “filósofo”, o tal vez tenga que ver con la manera como se definen los títulos en los diplomas académicos.

Gracias a este letrero, hace poco entró un profesor de la universidad y me dijo: “Vi el letrero y me interesó

preguntarte qué haces. ¿Tú les enseñas a pintar a los estudiantes en tus clases?”. Yo le expliqué que no les enseñaba a pintar, entonces me preguntó si les enseñaba a esculpir, yo le respondí que tampoco. Le explique que potenciaba los conocimientos científicos, matemáticos y técnicos de los estudiantes para fomentar proyectos interdisciplinarios que generalmente tenían un enfoque artístico. Él respondió: “En la Escuela cada vez enseñan más humanidades y menos matemáticas; la próxima vez que haga un examen me va a tocar decirles que me expliquen un chiste”. Le respondí que todo formaba parte de un sistema integral y que lo que trabajábamos en los cursos del Departamento de Humanidades debía reforzarse en las demás clases, al igual que yo intentaba trabajar con los conocimientos de los enfoques disciplinares de mis estudiantes. Nos despedimos amablemente y me quedé en la oficina pensando que tal vez el problema era que en la universidad no teníamos claro qué son las humanidades, pero mucho menos las ingenierías.

Me acordé del siguiente fragmento de un ensayo de Luis Camnitzer:

En el caso de la enseñanza artística, el problema parece mucho peor que en las otras ramas del conocimiento. Las dudas, nebulosidades y timideces no son solamente individuales sino culturales y colectivas. Al artista se le pregunta: “¿Usted qué hace?”, y el artista contesta: “Yo pinto al óleo”. A una pregunta que plantea un “qué”, se le contesta con un “cómo”. Lo que en otras circunstancias se percibiría como un diálogo de sordos, o mejor, un diálogo que no se cumple, en este caso es aceptado por ambas partes como un intercambio satisfactorio. El interrogador cree que sabe más sobre el arte del artista. El artista cree que con la información técnica justifica su actividad. Un científico, por otra parte, nunca contestaría “Yo miro a través de un microscopio electrónico”. Tendería a describir el proyecto (investigación de estructuras moleculares, por ejemplo), no el instrumento o la técnica empleada, para validar su actividad<sup>1</sup>.

**Alfonso:** Me parece muy interesante la idea de que las definiciones *evitan que veamos las cosas como un sistema*. Pienso que eso es lo que ocurre cuando miramos un diccionario, intentamos aislar una palabra de las demás para poder entenderla, pero creo que para entenderla lo que hay que hacer es lo contrario; de hecho, sería muy



útil que los diccionarios no fueran lineales sino una especie de mapa conceptual (o red de palabras), en el que cada palabra se conecta con las palabras relacionadas y así crear una red, de pronto infinita, de conexiones. En este caso, los límites de los que tú hablas los pondría la persona que está “hurgando” en la red; sería como una especie de “internet de Babel”, en contraste con la biblioteca de Babel de Borges.

Tu anécdota del profesor que te visitó y tu reflexión sobre las disciplinas me recuerda que en matemáticas ocurre exactamente lo mismo: hay un abismo entre la actividad real de un matemático y el proceso de enseñanza de las matemáticas. Para explicarlo en pocas palabras, los matemáticos se dedican a encontrar patrones, a resolver problemas, a ser creativos y a descubrir nuevas relaciones. El gran matemático inglés del siglo pasado, G.H. Hardy, lo expresa en su libro la *Apología de un matemático*:

Un matemático es, como un pintor o un poeta, un constructor de patrones. Si sus patrones son más permanentes que los del pintor y el poeta, es porque están hechos con ideas<sup>2</sup>.

Por otro lado, la enseñanza de las matemáticas es otra cosa. Jo Boaler lo expresa claramente en su libro *Mathematical Mindsets*:

Una forma en que las matemáticas y su enseñanza son diferentes es que a menudo se piensa que las matemáticas son un tema de rendimiento, de desempeño; si les preguntas a los estudiantes cuál piensan que es su papel en las aulas de matemáticas, le dirán que usted está para obtener las preguntas correctas. Los estudiantes rara vez piensan que están en clases de matemáticas para apreciar la belleza de las matemáticas, para preguntar con profundidad, para explorar el rico conjunto de conexiones de la matemática, o incluso para aprender sobre la aplicabilidad del tema<sup>3</sup>.

Una colega me comentó que su hijo le había dicho que no le gustaban las matemáticas; cuando ella le preguntó por qué, le contestó que las matemáticas eran mucho tiempo para responder y poco tiempo para aprender. En el caso de que se le preguntara a Hardy “¿Usted qué hace?”, él de pronto respondería “Yo fabrico patrones con ideas”; de pronto la mejor respuesta a un qué no sea un qué (definición) sino un cómo.

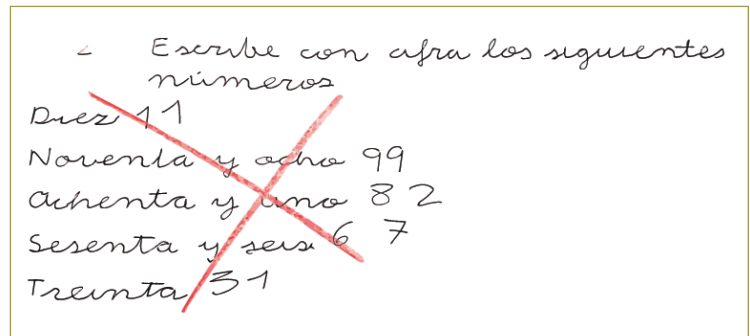


Ilustración 3 Meme viral.

**Felipe:** Darle prioridad al “qué” o darle prioridad al “cómo”. Esto sí que es una pregunta complicada. Tal vez darles prioridad a ambas. O darle prioridad a una sobre otra dependa del contexto. Sin embargo, el “cómo” es más maleable y se puede adaptar a varias formas de conocimiento o a varios “qués”. Me quedé preguntándome sobre qué tenían que ver los chistes con la enseñanza de las humanidades, y decidí implementarlo (un cómo); a través de cuatro chistes les pedí a mis estudiantes que analizaran esto:

- Hay una broma muy vulgar sobre Cristo: la noche antes de que lo arrestaran y crucificaran, sus seguidores comenzaron a preocuparse porque Cristo era todavía virgen; ¿no sería agradable que él experimentara un poco de placer antes de morir? Así que le pidieron a María Magdalena que fuera a la tienda donde Cristo descansaba y lo sedujera; María dijo que lo haría con mucho gusto y entró, pero cinco minutos después salió corriendo, gritando, entre aterrorizada y furiosa. Los seguidores le preguntaron qué había pasado y ella explicó: “Me desnudé lentamente, extendí mis piernas y le mostré a Cristo mi vagina; él la miró, y dijo que una herida tan terrible debería ser curada y suavemente puso la palma de la mano sobre ella”.

Así que ten cuidado con las personas demasiado interesadas en sanar las heridas de otros. ¿Qué pasa si uno disfruta de su herida? Exactamente de la misma manera, curar la herida del colonialismo (volver efectivamente a la realidad precolonial) habría sido una pesadilla: si los indios de hoy se encontraran en la realidad precolonial, sin duda habrían emitido el mismo grito aterrorizado de María.

- Como Deleuze enfatiza, el chiste estúpido de un masoquista que pide a un sádico que lo golpee cruelmente, y el sádico le responde con una sonrisa maliciosa: “No, nunca”, pierde completamente el punto: la relación entre sadismo y masoquismo no es complementaria. Es decir, el sádico y el masoquista no forman una pareja ideal; su relación no es una relación en la que cada uno de los dos socios recibe del otro lo que quiere (en la que el dolor masoquista es directamente la satisfacción de los sádicos y viceversa)<sup>4</sup>.
- *Escriba la expresión para el volumen de una pizza gruesa con altura “a” y radio “r”.*
- Infinitamente, muchos matemáticos entran a un bar. El primero dice: “Tomaré una cerveza”. El segundo dice: “Tomaré media cerveza”. El tercero dice: “Tomaré un cuarto de cerveza”. El camarero saca sólo dos cervezas. Los matemáticos dicen: “¿Eso es todo lo que nos vas a dar? ¿Qué tan borrachos esperas que estemos con eso?”. El cantinero dice: “Vamos, chicos. Conozcan sus límites”.

Mi punto es que uno puede usar un “cómo” o una metodología y aplicarla en diferentes contextos, entonces no tiene que ver con una idea de linealidad (es decir, si el “qué” antecede o precede al “cómo”), sino con entender que todo forma parte de un sistema dinámico.

Otro ejemplo que pongo tiene que ver con los exámenes. Durante mucho tiempo me opuse a los exámenes y pensé que eran aburridos y caducos, y que perjudicaban a los estudiantes más de lo que los ayudaban. Sin embargo, en este último año decidí volverme estudiante para intentar entender la enseñanza desde otra perspectiva. Empecé a estudiar jiu-jitsu brasileño e historia de las matemáticas, y para mi sorpresa muchas de las cosas y metodologías que me enseñaban en la clase de jiu-jitsu podía implementarlas en mis propias clases. Encontré, por ejemplo, una fascinación por trabajar en grupos de tres; en clase, dos efectuaban un ejercicio y el tercero los observaba y así iban rotando. Me pareció fascinante esta metodología, en la que uno se involucra directamente y después se alejaba, lo que permitía corregir errores propios o del grupo.

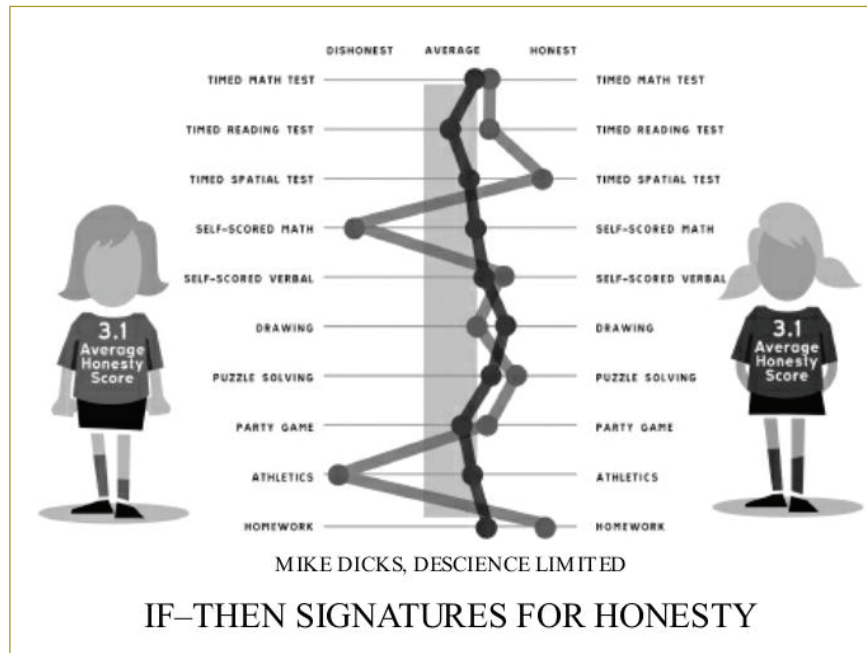
La segunda cosa que aprendí fue que la función del examen no era examinar a los estudiantes únicamente, sino en mayor medida al profesor, para de ahí poder hacer un análisis de qué hace falta y que cosas pueden

fortalecer la clase. En este caso, los puntos más débiles del estudiante indican la necesidad de mejorar la metodología de enseñanza, la necesidad de una mayor intensidad frente al tema o que definitivamente este contenido no es de interés para la clase. Por último, el curso de historia de las matemáticas proporcionó una nueva necesidad dentro del aprendizaje y fue ver el valor de la intersección del “qué”, el “cómo” y el “cuándo”. Dentro de esta perspectiva de ver dónde se forman las ideas lo que más me impresionó fue darme cuenta de que las metodologías de aprendizaje venían generalmente por parte de los estudiantes, pues ellos mismos se ingeniaban las maneras de aprender. Esto es crucial, pues se acerca a la idea que tú comentabas de pasar de una educación que promedia un método de enseñanza a darles las herramientas a los estudiantes para que diseñen sus propios mecanismos de aprendizaje.

**Alfonso:** Un muy buen ejemplo del “qué” y del “cómo” proviene del pensador Van Bendegem (1993), quien con respecto a la nueva perspectiva que está emergiendo acerca de la naturaleza de las matemáticas en comparación con las antiguas escuelas de filosofía de las matemáticas, describe lo siguiente:

Los filósofos de las matemáticas se pueden dividir aproximadamente en dos tipos. El tipo I es particularmente aficionado a preguntas tales como ¿Cuáles son los fundamentos de las matemáticas? ¿Cuáles son los números? ¿Qué es un conjunto? ¿Qué es verdad matemática? Estas preguntas se sitúan dentro de las matemáticas... El tipo II, sin embargo, quiere respuestas a preguntas del estilo ¿Cómo se hacen las matemáticas? ¿Cómo se genera una prueba matemática real? ¿Cómo es posible que una prueba aceptada resulte ser incorrecta? El tipo II sigue siendo una especie rara, pero afortunadamente esto está cambiando (p. 21)<sup>5</sup>.

**Felipe:** A menudo definimos algo que no entendemos o algo a lo que le tenemos miedo. El acto de definir las cosas es tan natural para los humanos como inexacto. Primero definimos nuestro entorno natural en términos de mitos, nuestros temores a lo desconocido los convertimos en religión (una de nuestras formas más primitivas de análisis del entorno). Como una necesidad de construir nuestro yo y nuestra comunidad, comenzamos a definir al otro, como un instinto de supervivencia que nos ha conducido a los eventos más



**Ilustración 4** Todd Rose (2016). *The end of average. How we succeed in a world that value sameness*. Harper Collins.

terroríficos en la historia humana; ha habido definiciones de lo que era un judío por los nazis alemanes, o lo que es bueno y malo por religión; ha habido definiciones sobre la raza y sobre la educación, definiciones sobre el buen gusto y el mal gusto, ninguna de las cuales han sido acertadas, sólo convincentes. En la Escuela pasa lo mismo: si no la comprendemos como un sistema y cada rama define la otra no con la intención de entender, sino de autoidentificarse, tendremos la situación actual, en la que ciertos estudiantes no tienen la oportunidad de valorar las humanidades, ya que algunos profesores los alientan a desestimar esta parte de su educación, lo que les impide encontrarse con la parte humanística de su carrera.

Hay definiciones que considero perjudiciales para nuestra comunidad, y no requieren que las reescribamos, sino que actuemos sobre ellas como una comunidad. Esto, en mi opinión, es más valioso que el aislamiento disciplinar.

Por último, respecto a tu pregunta sobre cómo se podría definir lo humano, si me lo permites dejémoslo para nuestra próxima conversación.

“La vida es un juego, no una carrera”<sup>7</sup>.

Brion Gysin

## REFERENCIAS

- Antología de textos críticos: Luis Camnitzer, 1979-2006. Es posible la enseñanza del arte*. María Clara Bernal y Felipe González, editores.
- Gysin, B. (2003). *Tuning into the multimedia age*. Londres: Thames & Hudson.
- Hardy, G.H. & Snow, C.P. (1992). *A mathematician's apology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Boaler, J. & Dweck, C. (2015). *Mathematical mindsets Unleashing Students' Potential through Creative Math. Inspiring Messages and Innovative Teaching*, 1<sup>st</sup> ed. Jossey-Bass.
- Zizek's Jokes (2014). Cambridge: MIT Press (2014).
- Van Bendegem, J.P. (2010). *Philosophical dimensions in mathematical education*.
- Rose, T. (2016). *The end of average. How we succeed in a world that value sameness*. Harper Collins.



# REVISTA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

## Alcance y política

El objetivo de la *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* es difundir artículos técnicos que contribuyan al desarrollo del país a través de una publicación con alta calidad editorial y rigor científico.

La revista acepta prioritariamente los siguientes tipos de trabajos, que le permiten mantener su categorización:

1. **Artículo de investigación científica y tecnológica.** Documento que presenta, de manera detallada, los resultados originales de proyectos de investigación. La estructura generalmente utilizada contiene cuatro apartes importantes: introducción, metodología, resultados y conclusiones.
2. **Artículo de reflexión.** Documento que presenta resultados de investigación desde una perspectiva analítica, interpretativa o crítica del autor, sobre un tema específico, recurriendo a fuentes originales.
3. **Artículo de revisión.** Documento producto de una investigación donde se analizan, sistematizan e integran los resultados de investigaciones publicadas o no publicadas, sobre un campo en ciencia o tecnología, con el fin de dar cuenta de los avances y las tendencias de desarrollo. Se caracteriza por presentar una cuidadosa revisión bibliográfica.

También admite artículos de las siguientes tipologías:

4. **Artículo corto.** Documento breve que presenta resultados originales preliminares o parciales de una investigación científica o tecnológica, que por lo general requieren una pronta difusión.
5. **Reporte de caso.** Documento que presenta los resultados de un estudio sobre una situación particular, con el fin de dar a conocer las experiencias técnicas y metodológicas consideradas en un caso específico.
6. **Revisión de tema.** Documento resultado de la revisión crítica de la literatura sobre un tema en particular.

Cabe destacar que se privilegian para la revista los tipos de artículos de los numerales 1, 2 y 3.

La revista circula trimestralmente y recibe sólo artículos inéditos. Los trabajos recibidos se someten al concepto de pares académicos y del Consejo Editorial.

## Requisitos para la publicación de artículos

Los artículos presentados a la revista deben remitirse por correo electrónico a [revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co), adjuntando los siguientes formatos debidamente diligenciados: autor.doc, clasificación.doc y tipo.doc, cuyos archivos se pueden descargar de <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. En este mismo sitio está disponible la plantilla guía que contiene la estructura determinada por la revista para los artículos.

## Scope and policy

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* disseminates technology articles helping to our country development. It emphasises on its high quality print and its scientific rigour. Articles submitted for publication shall be classified into one of the following categories— which allow it keeps its indexation:

1. **Scientific and technological research article.** These documents offer a detailed description about the original findings of research projects. In general, the usually used structure contains four important sections: introduction, methodology, results and conclusions.
2. **Reflection article.** These documents present the results of a research project on a specific, interpretative, or critical view by the author about a particular topic by using original sources.
3. **Review.** A document resulting from a finished research, where the published and/or unpublished findings of investigation in a particular field of science or technology are analysed, systematised and integrated to report the progress and the development tendencies. These documents include a careful bibliographic review.

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* also accepts the following types of articles:

4. **Short article.** A brief text presenting the original, preliminary and/or partial results of a scientific or technological study, which normally need to be disseminated as quickly as possible.
5. **Case report.** A document that presents the results of a study on a specific situation in order to report the technical and methodological experiences considered in a particular case.
6. **Thematic review.** These documents are the product of a critical review of literature on a particular topic.

Our revista privilege articles as the highlight ones in numbers 1, 2 and 3.

*Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería* is a quarterly publication that only accepts unpublished articles. The revista submits all the papers to the verdict of two academic peers, who evaluate the article.

## Ruling for publication

The article must be sent by e-mail to [revista@escuelaing.edu.co](mailto:revista@escuelaing.edu.co) with 3 files attached: Author.doc, Classification.doc and Type.doc available in <http://www.escuelaing.edu.co/revista.htm>. There is also a template guide for the structure of the article (template guide.doc).



**Confía en 4-72,**  
el servicio de envíos  
de Colombia

Línea de atención al cliente:  
**(57 - 1) 472 2000 en Bogotá**  
**01 8000 111 210 a nivel Nacional**

.....

[www.4-72.com.co](http://www.4-72.com.co)