

Planta de tratamiento de agua potable con agua lluvia para una población de cien habitantes.

Influencia del flujo de aire circundante generado por tractocamiones que transitan a alta velocidad en el desplazamiento de bicicletas o motocicletas por los costados en condiciones ambientales de la sabana de Bogotá.

Identificación de necesidades y oportunidades del transporte marítimo y fluvial en Colombia.

Beneficios de adopción de la nube híbrida para las empresas y ventajas de integrar datos en esta nube.

Lineamientos metodológicos para evaluar el impacto de proyectos de perforación exploratoria de petróleo crudo sobre la calidad del aire.

Propuesta metodológica para determinar los coeficientes de reducción de resistencia Φ_c y Φ_e de la NSR-10 en estructuras de concreto reforzado.

Desempeño de pernos de anclajes posinstalados en mampostería hueca sometidos a tensión.



CONSEJO DIRECTIVO DE LA ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA

PRESIDENTE JAVIER BOTERO ÁLVAREZ

VOCALES GERMÁN EDUARDO ACERO RIVEROS
GONZALO JIMÉNEZ ESCOBAR
ARMANDO PALOMINO INFANTE
RICARDO QUINTANA SIGHINOLFI
RICARDO RINCÓN HERNÁNDEZ
ROBERTO RÍOS MARTÍNEZ
JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
JAVIER ALBERTO CHAPARRO PRECIADO
(representante de los profesores)
PEDRO PABLO VERGARA NEIRA
(representante de los estudiantes)

RECTOR HÉCTOR ALFONSO RODRÍGUEZ DÍAZ

SECRETARIA GENERAL CLAUDIA JEANNETH RÍOS REYES

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
GERMÁN RICARDO SANTOS GRANADOS
EDUARDO SARMIENTO PALACIO

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 # 205-59
TEL.: (57-1) 668 3600, EXT. 533
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

Infraestructura para el desarrollo

Jairo Alberto Romero Rojas

7-12

Planta de tratamiento de agua potable con agua lluvia para una población de cien habitantes

Rodolfo Alfredo Castellanos L. - Jairo Alberto Romero Rojas

En este artículo se presenta la caracterización del agua lluvia en varias regiones del planeta y se propone una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para una población de cien habitantes, como alternativa sustentable porque no explota ningún cuerpo de agua (Castellanos, 2019).

13-18

Influencia del flujo de aire circundante generado por tractocamiones que transitan a alta velocidad en el desplazamiento de bicicletas o motocicletas por los costados en condiciones ambientales de la sabana de Bogotá

William Fernando Vanegas Ortiz - Santiago Henao Pérez

En el presente artículo se elaboraron los lineamientos para el estudio de la influencia que tiene el flujo de aire circundante generado por tractocamiones que transitan a alta velocidad en el desplazamiento de bicicletas o motocicletas por los costados en condiciones ambientales de la sabana de Bogotá.

19-25

Identificación de necesidades y oportunidades del transporte marítimo y fluvial en Colombia

Germán Felipe Medina Rubio - Santiago Henao Pérez

Los planes y programas de los gobiernos muestran compromisos e intereses para el desarrollo del transporte marítimo y fluvial. El país está encaminado a mejorar su logística aprovechando todos los modos de transporte, ya que su posición geográfica lo convierte en un paso obligado del comercio internacional y en un punto que atrae el turismo marítimo.

27-38

Beneficios de adopción de la nube híbrida para las empresas y ventajas de integrar datos en esta nube

Charlie Alberto Angulo Angulo

La nube ya es una realidad. Por eso, cuando una empresa se enfrenta a la decisión de explotar o guardar sus datos en esta, tiene tres opciones: la nube privada, la nube pública y la híbrida, que se presentan como las más usadas, con diferencias entre sí en el modelo de computación en la nube o finalmente en la misma empresa de manera tradicional.

39-46

Lineamientos metodológicos para evaluar el impacto de proyectos de perforación exploratoria de petróleo crudo sobre la calidad del aire

Seidel Manuela Plaza Riano - Henry Torres Posada

En este artículo se propone una metodología que consistió en recopilar la información existente y con esta caracterizar las fuentes de emisión para encontrar la concentración de fondo; posteriormente, se hizo un inventario de emisiones que sirvió para hacer una modelación de dispersión de contaminantes, cuyos resultados se compararon con los límites máximos permitidos por las normas, y luego se graficaron isopletras de concentración para delimitar geográficamente el área en la cual se sobrepasaron los límites permitidos, es decir, el área de influencia.

47-53

Propuesta metodológica para determinar los coeficientes de reducción de resistencia F_c y F_e de la NSR-10 en estructuras de concreto reforzado

Jenny Paola Zuluaga Arias - Luis Enrique Aycardi Fonseca - Juan Jacobo Pinilla Rodríguez

En este proyecto se presenta un formato numérico que el evaluador debe diligenciar según lo observado en la visita a la estructura y la información existente disponible. El resultado final es una calificación numérica del sistema estructural que se puede asociar con valores numéricos de los coeficientes Φ_c y Φ_e .

55-61

Desempeño de pernos de anclajes posinstalados en mampostería hueca sometidos a tensión

Víctor Wilson Valbuena Forero - Pedro Nel Quiroga Saavedra

En este artículo se presentan los resultados del estudio del comportamiento de anclajes posinstalados en mampostería hueca de arcilla y concreto sin ningún tipo de relleno. En Colombia, el diseño de la mampostería se hace siguiendo el título D del Reglamento de Construcción Sismorresistente. Allí se establecen los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Sin embargo, en este no se define el diseño de elementos como anclajes a la mampostería, como sí se hace, por ejemplo, en el ACI 530/530.1-13.

63 / ALCANCE Y POLÍTICAS

Editorial

Infraestructura para el desarrollo

JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS

Profesor titular de la Escuela Colombiana de Ingeniería

jairo.romero@escuelaing.edu.co

Los bogotanos somos víctimas de la incapacidad de quienes tienen la responsabilidad de revisar, planear, reformar, renovar, ampliar y mantener la infraestructura de la capital de la república.

Se requiere una ciudad sostenible, para lo cual se deben revisar los objetivos fundamentales de la infraestructura de la Atenas suramericana.

Se requiere una política genuina y concreta de desarrollo, que permita incrementar la capacidad de viaje para trabajo y placer, y que tenga en cuenta que una infraestructura adecuada provee salud y bienestar.

Reducir las demoras en los tiempos de viaje y mitigar el impacto de las congestiones de tránsito mediante estrategias exitosas son tareas que demandan la atención inmediata de los encargados de la administración distrital, pues Bogotá es una de las ciudades con más trancones en Latinoamérica.

El enfoque de desarrollar métodos alternativos de viaje al vehicular es atractivo, pero ha caído en el error de fomentar inseguridad y riesgo al integrar todos los métodos en el mismo espacio de flujo.

El acceso a un servicio a pie, en tren, en bus, en carro, en moto, en patineta o en bicicleta es ideal, pero no

en las condiciones actuales de inseguridad y riesgo, al poner en la misma vía todos los medios de transporte. En razón del crecimiento en la demanda de transporte, se requieren diseños que contemplen una capacidad adecuada para movilidad y que garanticen la ausencia de los riesgos a los que estamos expuestos actualmente al compartir, en el mismo espacio, medios de transporte incompatibles entre sí.

La construcción de terminales de transporte aéreo, vehicular y férreo, con corredores de capacidad suficiente para todos los medios de movilidad, es una necesidad de infraestructura que toda ciudad debe satisfacer.

Los ingenieros civiles y ambientales del país tendrán que seguir diseñando y construyendo en el futuro la infraestructura requerida para satisfacer las necesidades de transporte de bienes, servicios y personas, así como de abastecimiento de agua potable, recolección, tratamiento y disposición de residuos sólidos; sin embargo, para esto resulta indispensable un poder financiero y político que, lamentablemente, ha sido insuficiente.

Planta de tratamiento de agua potable con agua lluvia para una población de cien habitantes

Water treatment plant with rainwater for a population of a hundred inhabitants

RODOLFO ALFREDO CASTELLANOS L.¹ - JAIRO ALBERTO ROMERO ROJAS²

1. Magíster en Ingeniería Civil, con énfasis en Ingeniería Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

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

rodolfo.castellanos@mail.escuelaing.edu.co – jairo.romero@escuelaing.edu.co

Recibido: 10/10/2020 Aceptado: 17/10/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se presenta la caracterización del agua lluvia en varias regiones del planeta y se propone una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) para una población de cien habitantes, como alternativa sustentable porque no explota ningún cuerpo de agua (Castellanos, 2019).

Palabras claves: planta de tratamiento de agua potable (PTAP), calidad del agua lluvia, demanda de agua y agua lluvia.

Abstract

This article presents studies on rainwater characterization in different regions of the planet and proposes a WTP for a population of a hundred inhabitants, as a sustainable alternative because it does not exploit any body of water.

Keywords: drinking water treatment plant (WTP), rainwater quality, water demand, rainwater.

INTRODUCCIÓN

Se presenta la caracterización del agua lluvia en varios países y se determinan los requisitos para abastecimiento de agua potable para una población de cien habitantes en Colombia.

CASOS ANALIZADOS

Se analizaron las caracterizaciones de calidad del agua lluvia en Ibagué (Tolima, Colombia), Juiz de Fora (Brasil), Ontario (Canadá), microcuenca de Ibagué

(Tolima), Escuela Colombiana de Ingeniería (Bogotá, Colombia), Île-de-France (Francia), Ilorin (Nigeria) y Bogotá (Colombia).

CARACTERIZACIÓN PROMEDIO DE CASOS ANALIZADOS

La caracterización promedio de los casos analizados se incluye a continuación (tabla 1).

En la tabla siguiente se determinan las cualidades del agua lluvia, según la Resolución 2115 de 2017 para la calidad del agua para consumo humano (tabla 2).

Tabla 1
Caracterización promedio del agua lluvia

| Parámetro | Unidad | Intervalo | | Promedio |
|----------------|------------------------|-----------|--------|---------------|
| | | Mín. | Máx. | |
| Turbiedad | UTN | 1,40 | 39,40 | 12,14 ± 13,21 |
| Color aparente | UPC | 0,70 | 214,00 | 57,69 ± 77,75 |
| pH | | 5,00 | 8,47 | 6,97 ± 1,2 |
| Conductividad | μS/cm | 9,413 | 162,50 | 44,80 ± 46,93 |
| Alcalinidad | mg/L | 1,50 | 29,27 | 13,96 ± 9,321 |
| Cloruros | mg/L | 4,30 | 17,30 | 9,613 ± 5,947 |
| Dureza total | mg/L | 0,80 | 125,00 | 42,47 ± 43,66 |
| Nitratos | mg/L | 0,30 | 50,16 | 9,382 ± 18,04 |
| Nitritos | mg/L | 0,00 | 0,03 | 0,02 ± 0,017 |
| AUV | cm ⁻¹ | 0,019 | 0,097 | 0,051 ± 0,041 |
| DQO | mg O ₂ /L | 5,10 | 5,12 | 5,11 ± 0,014 |
| Acidez | mg/L-CaCO ₃ | 10,00 | 12,00 | 10,00 ± 1,414 |
| Sulfatos | mg/L | 0,068 | 17,30 | 6,43 ± 8,575 |
| Coliformes T. | NMP/100 ml | 21,00 | 373,00 | 135,7 ± 158,4 |

Tabla 2
Cumplimiento de la norma (RAS 2017-AP)

| Parámetro | Unidad | Valor obtenido | Norma Res. 2115/2007 | Cumplimiento |
|----------------|------------|----------------|----------------------|--------------|
| Turbiedad | UTN | 12 | 2 | No cumple |
| Color aparente | UPC | 58 | 15 | No cumple |
| pH | | 6,97 | 6,5-9 | Cumple |
| Conductividad | μS/cm | 45 | 1000 | Cumple |
| Alcalinidad | mg/L | 14 | 200 | Cumple |
| Cloruros | mg/L | 10 | 250 | Cumple |
| Dureza total | mg/L | 42 | 300 | Cumple |
| Nitratos | mg/L | 9 | 10 | Cumple |
| Nitritos | mg/L | 0,02 | 0,10 | Cumple |
| Sulfatos | mg/L | 6 | 250 | Cumple |
| Coliformes T. | NMP/100 ml | 135 | 0 | No cumple |

Los valores promedio indican que el agua lluvia es agua de buena calidad, que requiere solamente remoción de turbiedad, color y coliformes para el consumo humano.

DEMANDA DE AGUA

La Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) facilitó los valores totales mensuales de precipitación (tabla 3) del municipio de estudio, Zipaquirá, mediante la estación pluviométrica 2120074 de la cuenca Río Negro.

Tabla 3
Valores mensuales de precipitación

| CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR) | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-------------|--------------------|-----------------|-----------|----------|----------------------|-----------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| Sistema de Información Climatológica e Hidrológica (Siclica) | | | | | | | | | | | | | | |
| TABLA 13. VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm) | | | | | | | | | | | | | | |
| ESTACIÓN : 2120074 ZIQAQUIRÁ | | | | | | | | | | | | | | |
| Latitud | 0501 N | X=N=1047850 | Departamento | CUNDINAMARCA | Corriente | R. NEGRO | Categoría | PG | | | | | | |
| Longitud | 7400 W | Y=E=1007620 | Municipio | ZIQAQUIRÁ | Cuenca | R. NEGRO | Fecha de instalación | 2/01/1960 | | | | | | |
| Elevación | 2655 m .s .n.m. | | Oficina provincial | 9 SABANA CENTRO | | | Fecha de suspensión | | | | | | | |
| Año | | | Enero | Feb. | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
| 1990 | | | 27,2 | 32,1 | 0 | 98 | 51,9 | 26,6 | 13,7 | 0 | | | | |
| 1994 | | | 81,2 | 70 | 98,9 | 104,2 | 136,1 | 32 | 88,7 | 41 | 11,4 | 16,9 | 25,4 | 6,9 |
| 1995 | | | 12 | 77,6 | 76,3 | 68,8 | 94,1 | 39,7 | 66,3 | 64,7 | 73,2 | 67,1 | 27,9 | 87,5 |
| 1996 | | | 49,3 | 66,5 | 118,6 | 92,1 | 132,8 | 79,9 | 117,5 | 80,1 | 21,1 | 171,8 | 79 | 114,8 |
| 1997 | | | 113,5 | 35,3 | 22,7 | 70,4 | 31,3 | 59,7 | 35 | 25,7 | 20,4 | 34,1 | 82,2 | 6,9 |
| 1998 | | | 19,8 | 43,8 | 73,7 | 187,9 | 211,7 | 72,5 | 91,5 | 42,4 | 73,3 | 162,8 | 95,8 | 75,7 |
| 1999 | | | 45,4 | 72,8 | 79,2 | 48,8 | 62,9 | 64,8 | 37,2 | 81,9 | 139,1 | 208,3 | 109,7 | 41 |
| 2000 | | | 62,5 | 132,9 | 102,8 | 77,7 | 77,8 | 74,4 | 111,1 | 58,2 | 106,4 | 64,6 | 80,2 | 21,2 |
| 2001 | | | 28,3 | 18,8 | 17,4 | 34 | 48 | 34 | 48 | 48,3 | 80,6 | 52,9 | 45,5 | 42,9 |
| 2002 | | | 14,8 | 34,9 | 130,6 | 56,1 | 169,5 | 63 | 45,1 | 49,4 | 34,4 | 148,1 | 59,1 | 54,6 |
| 2003 | | | 29,2 | 58,1 | 58,8 | 161,4 | 47,2 | 44,8 | 67,6 | 57,2 | 46,1 | 90 | 107 | 19 |
| 2004 | | | 54,7 | 19,3 | 44,8 | 167,5 | 127,2 | 46,7 | 65,5 | 23,9 | 128,4 | 166,5 | 175 | 18,5 |
| 2005 | | | 22,7 | 102,2 | 23,2 | 108,6 | 119,1 | 64,7 | 92,8 | 35,2 | 81,1 | 287 | 112,6 | 58,5 |
| 2006 | | | 43,3 | 66,2 | 135,2 | 251,5 | 227,2 | 180,4 | 81,8 | 51,8 | 16,5 | 109,1 | 158,9 | 42,1 |
| 2007 | | | 2,1 | 14 | 70,1 | 109,4 | 49,4 | 106,8 | 22,8 | 55,7 | 39,5 | 252,5 | 64 | 84 |
| 2008 | | | 29,2 | 21 | 121,6 | 55,4 | 62,5 | 113,3 | 82,8 | 111 | 68,7 | 127 | 198,3 | 70,5 |
| 2009 | | | 46,8 | 51,9 | 55,3 | 75,3 | 50,3 | 44,5 | 54,8 | 33,9 | 34,8 | 116,2 | 53,6 | 4,3 |
| 2010 | | | 6,5 | 14 | 32,4 | 175,8 | 162,6 | 88,8 | 180,2 | 67,3 | 105,4 | 103,2 | 146,2 | 88,5 |
| 2011 | | | 23,5 | 126,6 | 136,8 | 272,1 | 197,4 | 86,2 | 51,8 | 54,9 | 72,6 | 179,2 | 174,4 | 59,9 |
| 2012 | | | 69,7 | 47,6 | 109,8 | 192,3 | 100,3 | 53,1 | 110,5 | 58,7 | 28,9 | 176,8 | 87,9 | 22,6 |
| 2013 | | | 33,4 | 62,9 | 61,9 | 95 | 95,6 | 23,1 | 23,7 | 67,4 | 54 | 84,4 | 119 | 69 |
| 2014 | | | 24,4 | 56,9 | 39,3 | 58,2 | 73,3 | 56,1 | 44,2 | 38,6 | 18,6 | 111,2 | 90,9 | 35,7 |
| 2015 | | | 42,1 | 78,2 | 87,9 | 49,4 | 20,9 | 44,5 | 53,5 | 31,2 | 9,9 | 54,7 | 14,2 | 5,8 |
| 2016 | | | 22,1 | 31,8 | 102,8 | 137,5 | 92,2 | 64,6 | 53,7 | 60 | 45,1 | 108,2 | 135 | 44,4 |
| 2017 | | | 31,7 | 42 | 171 | 61 | 97,4 | 86,8 | 47,1 | 77,3 | 29,7 | 73,3 | 91,5 | 106,1 |
| 2018 | | | 43,7 | 48,3 | 112,8 | 135,2 | 80 | 42,1 | 51,3 | 38,2 | 32,5 | 75,2 | 82,1 | 12 |

Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), 2019.

Tabla 4
Promedios mensuales de agua (mm)

| Año | Enero | Feb. | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Ago. | Sept. | Oct. | Nov. | Dic. |
|-----------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| 2008 | 29,2 | 21 | 121,6 | 55,4 | 62,5 | 113,3 | 82,8 | 111 | 68,7 | 127 | 198,3 | 70,5 |
| 2009 | 46,8 | 51,9 | 55,3 | 75,3 | 50,3 | 44,5 | 54,8 | 33,9 | 34,8 | 116,2 | 53,6 | 4,3 |
| 2010 | 6,5 | 14 | 32,4 | 175,8 | 162,6 | 88,8 | 180,2 | 67,3 | 105,4 | 103,2 | 146,2 | 88,5 |
| 2011 | 23,5 | 126,6 | 136,8 | 272,1 | 197,4 | 86,2 | 51,8 | 54,9 | 72,6 | 179,2 | 174,4 | 59,9 |
| 2012 | 69,7 | 47,6 | 109,8 | 192,3 | 100,3 | 53,1 | 110,5 | 58,7 | 28,9 | 176,8 | 87,9 | 22,6 |
| 2013 | 33,4 | 62,9 | 61,9 | 95 | 95,6 | 23,1 | 23,7 | 67,4 | 54 | 84,4 | 119 | 69 |
| 2014 | 24,4 | 56,9 | 39,3 | 58,2 | 73,3 | 56,1 | 44,2 | 38,6 | 18,6 | 111,2 | 90,9 | 35,7 |
| 2015 | 42,1 | 78,2 | 87,9 | 49,4 | 20,9 | 44,5 | 53,5 | 31,2 | 9,9 | 54,7 | 14,2 | 5,8 |
| 2016 | 22,1 | 31,8 | 102,8 | 137,5 | 92,2 | 64,6 | 53,7 | 60 | 45,1 | 108,2 | 135 | 44,4 |
| 2017 | 31,7 | 42 | 171 | 61 | 97,4 | 86,8 | 47,1 | 77,3 | 29,7 | 73,3 | 91,5 | 106,1 |
| 2018 | 43,7 | 48,3 | 112,8 | 135,2 | 80 | 42,1 | 51,3 | 38,2 | 32,5 | 75,2 | 82,1 | 12 |
| Prom (mm) | 33,92 | 52,84 | 93,78 | 118,84 | 93,86 | 63,92 | 68,51 | 58,05 | 45,47 | 109,95 | 108,46 | 47,16 |

Precipitación promedio mensual

El RAS 2000, título J, “Alternativas tecnológicas en aguas y saneamiento para el sector rural”, dice textualmente en su numeral 8.9.6 que con base en la información anterior se debe determinar el promedio mensual de la precipitación para calcular el volumen de la oferta mensual de agua lluvia. Los resultados se presentan a renglón seguido (tabla 4).

Parámetros de diseño

Para la zona estudiada, ubicada en la parte central del país, con altitud promedio de 2607 m.s.n.m., la Resolución 0330 de 2017 reglamenta los requisitos técnicos de diseño incluidos a continuación (tabla 5).

CAPTACIÓN, RECOLECCIÓN Y ALMACENAMIENTO DEL AGUA LLUVIA

El sistema de captación de agua lluvia mediante techos está compuesto de los siguientes elementos: a) captación; b) recolección y conducción; c) interceptor, y d) almacenamiento.

Área de captación

El área requerida para abastecer la demanda de cien habitantes en la zona de estudio, 20,8 m³/día, para la precipitación promedio anual de 895 mm (tabla 4) es de 9426 m², suponiendo un coeficiente de escorrentía de 0,9.

Tabla 5
Parámetros de diseño

| Parámetro | Valor | Referencia |
|----------------------|--------------------------|------------------|
| Población | 100 hab. | --- |
| Dotación neta máxima | 120 L/hab.día | Res. 330 de 2017 |
| Pérdidas técnicas | 25 % | Res. 330 de 2017 |
| Dotación bruta | 160 L/hab.día | Res. 330 de 2017 |
| Caudal medio diario | 16 m ³ /día | Res. 330 de 2017 |
| Caudal máximo diario | 20,8 m ³ /día | Res. 330 de 2017 |
| Caudal de diseño | 20,8 m ³ /día | Res. 330 de 2017 |

Tabla 7
Almacenamiento requerido (m³)

| Mes | Demanda, m³ | Lluvia, mm | Oferta, m³ | Cambio de almacenamiento, m³ | Almacenamiento acumulado, m³ |
|--------------|-------------|------------|-------------|------------------------------|------------------------------|
| Enero | 624 | 34 | 295 | -329 | 165 |
| Febrero | 624 | 53 | 459 | -165 | 0 |
| Marzo | 624 | 94 | 815 | 191 | 191 |
| Abril | 624 | 119 | 1032 | 408 | 599 |
| Mayo | 624 | 94 | 815 | 191 | 791 |
| Junio | 624 | 64 | 555 | -69 | 722 |
| Julio | 624 | 69 | 595 | -29 | 693 |
| Agosto | 624 | 58 | 504 | -120 | 573 |
| Septiembre | 624 | 45 | 395 | -229 | 345 |
| Octubre | 624 | 110 | 955 | 331 | 676 |
| Noviembre | 624 | 108 | 942 | 318 | 994 |
| Diciembre | 624 | 47 | 410 | -214 | 780 |
| Total | 7488 | | 7774 | | |

El volumen requerido del tanque de almacenamiento es de 994 m³

$$A = \frac{OM}{P \times C} = \frac{7.592.000 \frac{L}{año}}{895 \frac{mm}{año} \times 0,9} = 9426 \text{ m}^2$$

$$VT \text{ almacenamiento} = 994 \times 1,15 = 1143 \text{ m}^3$$

Tabla 8
Dimensiones del tanque de almacenamiento

| Volumen | 1143 |
|---------|------|
| Altura | 5 |
| Área | 229 |
| Ancho | 15 |
| Largo | 15 |

Almacenamiento

El volumen del tanque de almacenamiento se determina tomando en cuenta la demanda requerida y los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados (tabla 7).

Si se considera el volumen de provisión de control de incendios estructurales, de acuerdo con el nivel de riesgo en la zona del proyecto, BAJO, se requiere un incremento de un 15 %, como lo sugiere la Resolución 330 de 2017 en su artículo 81. Por tanto:

TRATAMIENTO REQUERIDO

Teniendo en cuenta la calidad evaluada del agua lluvia, se requiere una PTAP de filtración con los siguientes procesos: sedimentación, filtración lenta y desinfección, para facilitar la operación y el mantenimiento.

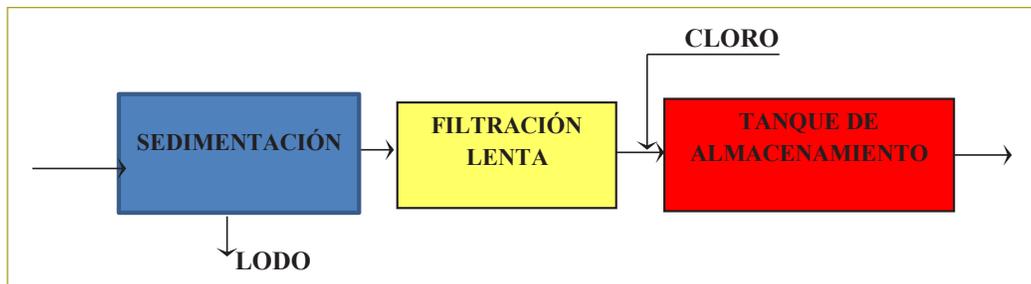


Figura 1. Tratamiento en una PTAP convencional. Suministro pequeño.

Fuente: Jairo Romero Rojas, 2009.

CONCLUSIONES

- La composición del agua lluvia está estrechamente relacionada con el nivel de emisiones contaminantes locales y por las condiciones climáticas y atmosféricas.
- Las áreas de captación del agua lluvia se deben estudiar previamente y la recolección debe hacerse en sitios adaptados para tal fin.
- La clasificación del agua lluvia como una fuente buena (concluida en este estudio) demuestra la viabilidad de su uso para el abastecimiento de agua potable.
- El agua lluvia tratada se puede contaminar fácilmente en el proceso de almacenamiento posterior al tratamiento, por el uso de un inadecuado tanque de almacenamiento.
- Las propiedades fisicoquímicas del agua lluvia (turbiedad y color) fueron las más influenciadas por los

materiales de captación, almacenamiento de agua cruda y el entorno del sitio.

- La planta de tratamiento de agua potable diseñada para este caso particular cumple con las normativas vigentes en tratamiento de aguas para consumo, compuesta de un sedimentador, filtración lenta, tanque de contacto y lechos de secado.
- Se requiere un área de captación muy grande, debido a la oferta de la zona de estudio, que puede dificultar la viabilidad del proyecto.

REFERENCIAS

- Castellanos, R. A. (2019). *PTAP con agua lluvia para una población de cien habitantes* (trabajo de grado, Escuela Colombiana de Ingeniería, Bogotá, Colombia).
- Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR). (2019).
- Romero, J. A. (2013). *Calidad del agua* (3.ª ed.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Influencia del flujo de aire circundante generado por tractocamiones* que transitan a alta velocidad en el desplazamiento de bicicletas o motocicletas por los costados en condiciones ambientales de la sabana de Bogotá

Influence of circulating airflow generated by cargo trucks moving at high speeds on bicycles or motorcycles moving on roadsides under the environmental conditions of the Bogota savannah region

WILLIAM FERNANDO VANEGAS ORTIZ¹ - SANTIAGO HENAO PÉREZ²

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.
2. Director del Centro de Estudios de Vías y Transporte.

willian.vanegas@mail.escuelaing.edu.co - santiago.henao@escuelaing.edu.co

Recibido: 15/10/2020 Aceptado: 20/10/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En el presente artículo se elaboraron los lineamientos para el estudio de la influencia que tiene el flujo de aire circundante generado por tractocamiones que transitan a alta velocidad en el desplazamiento de bicicletas o motocicletas por los costados en condiciones ambientales de la sabana de Bogotá.

Este análisis sirve como sustento para proponer que se dicten jornadas de capacitación en pedagogía vial, enfocándola en el ser humano, y a partir de ahí mostrar cómo actúa ese fenómeno; además, se puede trabajar sobre la propuesta de una nueva señal preventiva de tránsito vertical, con miras a prevenir y reducir el número de muertes y lesionados, y describir este fenómeno como el efecto de flujo de aire o nombrarlo como se llegue a concluir una vez efectuado el análisis de los videos y datos recolectados. De este modo, se obtiene un estudio seguro y confiable, que va a incrementar la percepción de seguridad vial de los actores.

Palabras claves: lineamientos, seguridad vial, flujo turbulento, tractocamión, bicicletas o motocicletas.

Abstract

This article shows the guidelines to assess the influence of circulating airflow cargo trucks generate at high speeds on bicycles or motorcycles moving on roadsides under the environmental conditions of the Bogota savannah region.

This analysis can be used to encourage training sessions in road safety focused on human beings and, from this, show how this phenomenon occurs. Additionally, a new traffic sign for vertical transit can be proposed to prevent and reduce the number of deaths and injuries. A description of this airflow phenomenon, or any other nomenclature, can be achieved once the analysis of collected videos and data is finished. Therefore, a safe and reliable is achieved, which can increment stakeholders' road safety perceptions.

Keywords: guidelines, road safety, turbulent airflow, cargo truck, bicycles, motorcycles.

INTRODUCCIÓN

El flujo turbulento se desarrolla más comúnmente debido a que la naturaleza tiene tendencia al desorden, lo que en términos de flujos significa propensión a la turbulencia. Este tipo de flujo, que se caracteriza por trayectorias circulares, semejantes a remolinos, ocurre cuando las velocidades de flujo son generalmente muy altas o en fluidos en los que las fuerzas viscosas son muy pequeñas; puede originarse por la presencia de paredes en contacto con el fluido o por la existencia de capas que se muevan a diferentes velocidades, y se caracteriza porque el fluido se mezcla continuamente en forma caótica, afectando zonas en dirección del movimiento.

En la investigación de accidentes de tránsito, los peritos pueden encontrarse con circunstancias o hipótesis en las que se producen la pérdida de control y la caída de un vehículo de dos ruedas sin necesidad de que haya una colisión, lo que puede dificultar enormemente la reconstrucción del accidente al no dejar este hecho vestigios en la calzada. Las turbulencias y el rastro creado por el paso de un vehículo, sobre todo si es de gran tonelaje, pueden ejercer fuerzas capaces de generar la pérdida de control de un vehículo ligero con poca estabilidad, como una bicicleta o una motocicleta.

El flujo turbulento es uno de los fenómenos más críticos de la física moderna, y aunque existan teorías y modelos que expliquen muchos de estos fenómenos, hay que aportar herramientas de análisis para estos, lo que constituye un enorme desafío para la ciencia y la tecnología modernas; el camino para conseguirlo es sin duda la investigación, por medio del estudio sistemático y riguroso de los aspectos físicos fundamentales, proponiendo modelos más confiables o nuevas estrategias.

RESULTADOS

En el proyecto inicial se había contemplado la realización de un modelo experimental del flujo de aire generado por tractocamiones en vehículos de dos ruedas

* El denominado tractocamión corresponde a los tipos de vehículo C2S1, C2S2, C3S1, C3S2, C3S3 y C4 y sus similares. De acuerdo con la homologación de vehículos del Ministerio de Transporte de Colombia, teniendo en cuenta su configuración, basado en la disposición de los ejes.

para las condiciones ambientales de Bogotá, pero no se pudo llevar a cabo por las circunstancias de la pandemia de la covid-19. Se cambió el enfoque de la investigación y se formularon los lineamientos para dicho estudio, se hicieron una revisión teórica y otra bibliográfica, y se construyó un estado del arte.

Se desarrollaron el procedimiento de seguridad vial, el formato de preinspección preoperacional y el plano a escala que se va a implementar en la prueba del modelo experimental por ejecutar. Se describieron los aspectos abordados a lo largo de la investigación realizada, los resultados que se obtendrán, y el análisis de estos quedará para una futura investigación que se hará cuando se efectúe la prueba del modelo.

En esta tesis se recoge un compendio de publicaciones que construye aquí un hilo argumental que facilita la presentación del trabajo llevado a cabo, relacionándolo con las publicaciones compendiadas, de manera que queda justificada nuevamente su unidad temática.

En esta investigación se hicieron los lineamientos que se deben tomar en cuenta a la hora de efectuar un modelo experimental para el estudio de la influencia que tiene el flujo de aire circundante generado por tractocamiones a alta velocidad en el desplazamiento de bicicletas o motocicletas por los costados en condiciones ambientales de la sabana de Bogotá; debido a esto, el aspecto no resuelto en el presente trabajo corresponde a la prueba experimental, con el objetivo de comprobar o no las hipótesis planteadas, al igual que las conclusiones a las que se puede llegar y las recomendaciones que se pueden hacer al analizar los resultados de esta prueba, para así poder desarrollar programas de pedagogía vial en estos actores viales que intervienen.

A continuación, se describe el análisis de los resultados obtenidos:

Estado del arte

Después de revisar los estudios existentes sobre modelos experimentales del flujo de aire generado por tractocamiones a alta velocidad en vehículos de dos ruedas, se encontraron principalmente tres investigaciones similares del tema a escala mundial, las cuales sirvieron de guía para el presente estudio. En Colombia se hicieron consultas en medios abiertos y bibliotecas universitarias, por medio de motores de búsqueda de artículos e investigaciones del flujo de aire circundante, producido por

tractocamiones a alta velocidad, sin encontrar trabajos de tesis o investigaciones sobre este tema.

Experiencias e investigaciones a escala mundial

Los principales estudios e investigaciones realizados acerca de modelos experimentales del flujo de aire consistieron en tres estudios de casos y controles: un primer estudio hecho en Karlsruhe (Alemania), un segundo estudio efectuado en la Universidad de Zhejiang (Hangzhou, China) y un tercer estudio realizado en la Universidad de Glasgow (Reino Unido).

Experiencias e investigaciones en Colombia

Se hicieron consultas en motores de búsqueda como Google, Bing y archive.org, y en bases de datos científicas como Web of Science, Scopus y Science Direct. Igualmente, se revisaron algunos artículos e investigaciones que se realizaron en Colombia acerca del flujo de aire circundante producido por tractocamiones, o sobre lineamientos para el estudio de la influencia que tiene el flujo circundante generado por tractocamiones a alta velocidad en el desplazamiento de bicicletas, o motocicletas por los costados en condiciones ambientales de la sabana de Bogotá, sin hallarse investigaciones específicas llevadas a cabo sobre estos temas en particular.

Después de efectuar la revisión bibliográfica, no se encontraron estudios que permitieran analizar el efecto de flujo turbulento generado por vehículos tipo tractocamión sobre un vehículo de dos ruedas. Con la presente investigación se busca implementar lineamientos para efectuar un modelo experimental, en el cual se verificará la existencia o no de los efectos que el tractocamión produce cuando se desplaza a alta velocidad sobre los vehículos de dos ruedas que circulan por uno de los costados.

De igual manera, se desea observar por medio de una cámara de humo (opcional) el comportamiento del aire en el momento en que el tractocamión pase por un punto en el que se encuentre ubicado en reposo un vehículo de dos ruedas.

En el presente estudio de investigación se desarrollaron pruebas preliminares antes de la prueba experimental final, con el objetivo de observar el área, los equipos, la cuadrícula de estudio y la logística que se va a implementar el día de la práctica final; la finalidad

también consiste en ajustar el modelo, los datos obtenidos de los videos, fotografías y resultados, para poder procesarlos en el *software* Tracker y poder determinar una metodología de estudio.

A renglón seguido, se hace un resumen de los resultados de las pruebas ejecutadas:

Prueba preliminar 1

Esta prueba se efectuó el 24 de octubre de 2019, entre las 13:00 y 17:00 horas, en la calzada de la parte posterior de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, contigua al cementerio Jardines del Recuerdo.

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito está ubicada en la dirección AK 45 (autopista Norte) # 205-59, en la ciudad de Bogotá, la cual está conformada por una calzada recta, plana, de unos 280 m de longitud y ancho de calzada de aproximadamente 4 m. El alcance de esta prueba consistía en determinar el funcionamiento de los equipos utilizados y saber si los equipos son los adecuados para realizar la prueba del modelo experimental.

La prueba se inició acordonando el sitio con cinta de seguridad. Seguidamente, el vehículo tipo liviano (vehículo 1) se desplazó sobre una recta y alcanzó una velocidad de 28, 34, 56 y 64 km/h, y pasó sobre el costado lateral izquierdo del vehículo 2 (bicicleta) en posición estática, a una distancia de 1 m; en total, se efectuaron cinco registros de las pruebas, y la altura del equipo dron fue de 10 m.

Esta prueba sirvió para ajustar la prueba del modelo experimental; la cuadrícula tenía un área muy extendida (20 m de longitud), la cual se podría aplicar solamente para el área de ubicación del vehículo 2 y la distancia lateral de la prueba (0,5, 1,0 y 1,5 m).

Igualmente, el trazado de esta cuadrícula (tiza o yeso) se podría remplazar por cinta de seguridad de tráfico pesado o cinta satín, y se observó que los videos que tomaba el equipo dron registraban mucho movimiento; por último, se ingresaron estos videos tomados al *software* Tracker, los cuales presentaron un problema que no era visible: la trayectoria del movimiento de las serpentinatas.

Prueba preliminar 2

Esta prueba se hizo el 17 de diciembre de 2019, entre las 16:00 y 17:30 horas, en la calzada de la parte posterior

de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, contigua al cementerio Jardines del Recuerdo.

La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito está ubicada en la dirección AK 45 (autopista Norte) # 205-59, en la ciudad de Bogotá, la cual está conformada por una calzada recta, plana, de unos 280 m de longitud y ancho de calzada de aproximadamente 4 m.

Una vez analizados los videos obtenidos por el equipo dron, se observó que no había un ajuste del movimiento al momento de grabar cada video a diferente altura (4 y 11 m), lo que, al reproducirlo en el *software* Tracker, dificulta la toma de medidas y la interpretación de los resultados; es decir, los videos que toma el equipo dron presentan demasiado movimiento cuando se reproducen.

Por otra parte, se observó que el equipo dron es muy inestable a estas alturas, y ejerce también mucha presión del viento contra las citas satín y la punta en forma de flecha y el vehículo 2 (bicicleta), lo que significa que realiza trayectorias en diferentes sentidos de esta cinta; por último, se va a llevar a cabo otra prueba preliminar, con el fin de ajustar la cuadrícula de la prueba.

Por tal motivo, se descartó el equipo dron para hacer la prueba experimental; al contrario, se va a utilizar el equipo celular marca iPhone versión 7 o superior, como se tenía propuesto inicialmente.

Prueba preliminar 3

La prueba se realizó el 19 de enero de 2020, entre las 11:00 y 12:00 horas, en el puente peatonal sobre la calzada de la vía Cajicá-Tabio, carril izquierdo (rápido), sentido vial de circulación sur-norte del municipio de Chía en la sabana de Bogotá, la cual está conformada por dos calzadas, cada una de tres carriles y de un solo sentido vehicular, en asfalto de buen estado de conservación y ancho de calzada de aproximadamente 11 m. Como se indicó en la prueba preliminar 2, se descartó la utilización del equipo dron para la prueba experimental final; debido a lo anterior, el objetivo de la prueba preliminar 3 consistía en observar los videos obtenidos por medio del equipo celular iPhone versión 7 o superior.

Se analizaron los videos obtenidos por medio del equipo celular iPhone versión 7 o superior, y se observó que a la altura de la ubicación de la estructura fija del puente peatonal los videos presentan una buena reso-

lución en cámara lenta y normal; lo mismo pasa con la profundidad del *zoom*; posteriormente, se analizaron en el *software* Tracker, y gracias a esto es posible hacer un buen análisis de los resultados.

Por otra parte, mediante esta prueba se concluyó que la cuadrícula de prueba (1 × 1 cm) utilizada no es visible ante el movimiento de la cinta de enmascarar color beis, con el propósito de hacerle seguimiento a la trayectoria de esta; por tal motivo, se programó otra prueba preliminar con otro diseño de cuadrícula (3 × 3 cm y 5 × 5 cm), para poder apreciar el movimiento y ubicación por medio del *software* Tracker.

Prueba preliminar 4

Esta prueba no se pudo efectuar debido al problema que se está presentando en los ámbitos nacional e internacional en relación con la pandemia y la covid-19. Así las cosas, se pretendía ajustar la metodología que se va a emplear para el modelo experimental, con el objetivo de definir los parámetros correspondientes a la cuadrícula (3 × 3 o 5 × 5), el enfoque del *zoom* del equipo celular marca iPhone versión 7 o superior, y su posición en la estructura del puente peatonal o vehicular, con el objeto de adquirir los datos y el procesamiento de los videos e imágenes con el *software* Tracker.

Por otra parte, al analizar las pruebas preliminares 1, 2 y 3, se podría indicar que en estas se hizo un razonamiento en torno al fenómeno que se quería estudiar (el llamado efecto Venturi); así mismo, al ver pasar tractocamiones a alta velocidad, experimentar al borde de la vía el movimiento del polvo que hay alrededor y los vehículos que transitan velozmente muy cerca de bicicletas y motocicletas, se percibe que cuando una persona está al borde de la vía siente partículas de polvo, así como también un movimiento más turbulento, asociado a la turbulencia del aire, esto es, movimiento en varias direcciones.

Sin embargo, por ningún lado la persona experimenta una succión, ni siquiera las hojas del árbol que se encuentran en la berma de la vía, y si un cuerpo tan liviano no es absorbido, es decir, no tiene un vector de fuerza perpendicular claro que lo jale, pues se podría decir que ese fenómeno no existe; entonces, para un mayor alcance en la nueva dirección del proyecto, se busca ajustar con más rigor el objetivo de este, si no cómo se puede lograr estudiar el efecto turbulento en

bicicletas o motocicletas en un cuerpo que es irregular y poroso, que deja pasar el aire de lado a lado.

Averiguar cómo se lleva a cabo ese estudio permitirá desarrollar unas recomendaciones para aplicarlo en la parte de seguridad vial tanto para los motociclistas como para los biciusuarios.

CONCLUSIONES

- Con lo analizado y observado en las pruebas preliminares, se puede concluir que no fue posible detectar el efecto Venturi dentro del marco experimental; en su lugar, se propone llamarlo efecto Bernoulli, debido a que en realidad se podría explicar a partir de una teoría más general del flujo turbulento.
- El flujo turbulento puede llegar a generar movimientos aleatorios en los vehículos de dos ruedas, no de succión, pero sí de empuje sobre el manillar. Incluso sin hacer la prueba del modelo experimental, pero considerando la revisión bibliográfica, es posible aseverar que la fuerza inducida en el manillar de estos actores viales no representa una magnitud lo bastante desequilibrante como para generar la caída inmediata del ciclista o del motociclista.
- En las pruebas preliminares se observó el movimiento turbulento del aire en las cintas ubicadas en la bicicleta. Para que exista el efecto denominado Venturi en Colombia, tendría que haber una evidente fuerza dirigida hacia la línea media del tractocamión, pero no es así, según lo visualizado en las pruebas.
- Las pruebas preliminares que se realizaron permitieron observar lo que desde el punto de vista teórico se esperaba, esto es, que el efecto Venturi no se hizo manifiesto; sin embargo, lo que se estaba buscando era desarrollar un experimento controlado, porque en las pruebas incluso se observó que las cintas nunca se direccionaron por medio de un vector de fuerza contundente hacia el interior del vehículo, como para tener el tiempo suficiente para que el vehículo de dos ruedas cayera en la trayectoria del tractocamión.
- En las pruebas preliminares desarrolladas se observó que existen otros factores que no son el efecto Venturi, sino que este se relaciona con la psicología de las personas que conducen dichos vehículos cuando se aproximan a un vehículo de gran masa,

pues se sienten intimidadas al conducir, lo que las puede inducir a tomar decisiones erróneas y, por ende, perder el control del automotor, pero este factor en realidad es un tema de maniobrabilidad.

- A los motociclistas se les recomienda concientizarse en el manejo defensivo, sobre todo en lo que corresponde al zigzag, al tránsito entre vehículos, adelantamiento por la izquierda a vehículos, a la velocidad que transitan y a la distancia de reacción en momentos de peligro.
- Se concluyó que los conductores de motocicletas de mayor masa (grandes) presentan menos accidentes de tránsito que los conductores de motos de menor masa (pequeñas).
- Los acompañantes de los motociclistas tienen menor riesgo de resultar heridos o de causar un accidente de tránsito, si tienen la precaución de preguntarle al conductor iniciar la marcha del rodante el comportamiento que debe tener en el momento que está en movimiento la moto, o cuando se está en una curva o cuando realiza el adelantamiento a otro vehículo.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Seguridad Vial (2020). *Boletín estadístico Cundinamarca*. Bogotá, D.C.
- Cepal (2012). *Boletín FAL*. Obtenido de file:///C:/Users/USUARIO/Desktop/FAL-311-WEB_es.pdf.
- Cesvi Colombia (2020, 8 de enero). Obtenido de <https://www.carroya.com/noticias/guia-para-conductores/puntos-ciegos-de-un-vehiculo-que-son-y-como-reducirlos-3714>.
- Cossalter, V. (2006). *Motorcycle dynamics* (2nd ed., pp. 241-342). Lulu.com.
- Departamento de Seguridad Vial - Dirección de Vialidad (2018). *Señales horizontales. Instructivo de aplicación*. Demarcaciones, 28 de 131.
- Hing Lo, K., & Kontis, K. (2016). Flow characteristics over a tractor-trailer model with and without vane-type vortex generator installed. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 110-122.
- Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (2018). *Forensis: datos para la vida*. Bogotá, D.C.: Diseñum.
- Massaro, M., Lot, R., Cossalter, V., Brendelson, J., & Sadauckas, J. (2012). Numerical and Experimental Investigation of Passive Rider Effects on Motorcycle Weave. *Vehicle System Dynamics*, 50 (sup. 1), 215-227. DOI:10.1080/00423114.2012.679284.
- Observatorio Nacional de Seguridad Vial en Francia (ONISR) (2020). Obtenido de <https://es.calameo.com/books/001253402f59939ec9522>.
- Reynolds, O. (1883). An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels. Obtenido de http://www.homepages.ucl.ac.uk/~uceseug/Fluids3/Extra_Reading/Reynolds_1883.pdf.

Ruck, B., & Lichtneger, P. (2014). *Vehicle induced pressure and suction forces on flat roadside elements*. Karlsruhe Institute of Technology (KIT), Laboratory of Building and Environmental Aerodynamics, 1-18.

Salinas, T. (2012, febrero). *My Physical Blog*. Obtenido de *My Physical Blog*: <https://tsalinas8712.wordpress.com/3-hidrodinamica/3-1-fluido/turbulento/>.

Useche, S. A. (2018, 18 de abril). Por qué se producen cada vez más accidentes de tráfico con ciclistas.

Vallejo Mora, G., & López P., C. (2012, 10 de agosto). Avad y avisas. Obtenido de <https://es.slideshare.net/vgreissy/avad-y-avisas-ultima>.

Whitt, F. R., & David, G. W. (1982). *Bicycling science* (2nd ed.). Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology.

Wilson, D. G. (2004). *Bicycling science* (3rd ed., pp. 263-390). With contributions by Jim Papadopoulos. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Yang, Y., Chen, J., Huang, Y., Chen, J., & Ji, Y. (2017). *Analysis on the influence of gap flow around a tractor-trailer* (pp. 1-7). 13th International Conference on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics. Portoroz, Slovenia.

Identificación de necesidades y oportunidades del transporte marítimo y fluvial en Colombia

Identification of needs and opportunities of maritime and river transportation in Colombia

GERMÁN FELIPE MEDINA RUBIO¹ - SANTIAGO HENAO PÉREZ²

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Tránsito y Transporte.

2. Director del Centro de Estudios de Vías y Transporte.

german.medina@mail.escuelaing.edu.co - santiago.henao@escuelaing.edu.co

Recibido: 18/10/2020 Aceptado: 23/10/2020

Disponibile en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

Colombia es un país rico cuando del recurso acuático se trata. En todo el territorio nacional se encuentran cuerpos de agua, además de los litorales y zonas marítimas. Y aunque el transporte a través del medio acuático resulta ser eficiente para los movimientos de gran cantidad de carga, y en muchas regiones del país es la única opción para el transporte de pasajeros, el sector presenta un gran rezago. Las embarcaciones utilizadas suelen ser viejas e inseguras, y no existe infraestructura portuaria adecuada, principalmente en el sector fluvial.

Aun así, el futuro parece ser prometedor para el sector en general. Los planes y programas de los gobiernos muestran compromisos e intereses para el desarrollo del transporte marítimo y fluvial. El país está encaminado a mejorar su logística aprovechando todos los modos de transporte, ya que su posición geográfica lo convierte en un paso obligado del comercio internacional y en un punto que atrae el turismo marítimo.

Palabras claves: transporte marítimo, transporte fluvial, transporte de cabotaje, embarcaciones.

Abstract

Colombia is a rich country when it comes to aquatic resources, there are a great number of lakes, rivers, and bodies of water throughout the national territory, in addition to the coastlines and maritime areas. Although transport through the aquatic environment turns out to be efficient for moving large amounts of cargo, and in many regions of the country it is the only option for the transport of passengers, the sector presents a large gap. The boats used are usually old and unsafe, mainly in the river sector.

Still, the future looks promising for the industry in general. Government plans and programs show commitments and interests for the development of maritime and river transport. The country is aimed at improving its logistics by taking advantage of all modes of transport, its geographical location makes it a must for international trade and an attractive point for maritime tourism.

Keywords: maritime transportation, river transportation, short sea shipping, ships.

- Río Atrato.** Considerado el río más caudaloso de Colombia, oscila entre los 4000 y 5800 m³/s (Instituto de Investigaciones Científicas del Pacífico, 2020). Nace entre los altos de la Concordia y los farallones de Citará, a una altura de 3900 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera Occidental, en el municipio del Carmen de Atrato, en el departamento del Chocó. El río tiene una longitud entre la capital del departamento (Quibdó) y su desembocadura en el golfo del Urabá de 494 km, todos ellos navegables; el ancho del río varía entre los 150 y los 500 m, y su profundidad promedio es de 11 m y máxima de 38 m. Ante la precariedad de las vías en la región, el río Atrato es el principal medio de transporte en el norte del Chocó. La cuenca del río cubre un área aproximada de 47.500 km² y en él desembocan los ríos San Juan, Baudó, Calima, León, Guapi y Micay, entre otros.
- Río Orinoco.** Con una longitud de 2500 km, nace en el cerro Parima, cerca de la frontera entre Venezuela y Brasil. El río Orinoco desemboca en el océano Atlántico, y forma un delta con 350 km de litoral marino entre las dos bocas más alejadas. Es el límite con Venezuela, entre los ríos Guaviare y Meta. En la desembocadura de este último se encuentra Puerto Carreño, el principal puerto en el oriente de Colombia y máximo punto donde puede entrar la navegación del Orinoco, pues los raudales río arriba lo impiden. La cuenca fluvial del Orinoco tiene una extensión aproximada de 320.000 km², y cubre ríos de gran importancia, como el Meta, el Guaviare, el Arauca, el Inírida y el Casanare.
- Río Amazonas.** De acuerdo con Hugueth (1997), es el río más largo y profundo del planeta, con un caudal tal que sus aguas logran penetrar 220 km mar adentro, sin perder su corriente o dulzura. Nace en el lago de Lauricocho, en el Perú, a 4330 metros sobre el nivel del mar y desemboca en el océano Atlántico, no sin antes abrirse en dos grandes brazos, dejando en medio la isla fluvial más grande del mundo: la isla Marajó. Pasa por el territorio colombiano, en el departamento del Amazonas, en un trayecto de 116 km, donde se angosta y llega a tener un ancho de 2500 metros. En ese mismo tramo cuenta con una profundidad promedio de 100 metros, lo cual permite que barcos hasta de 10.000 toneladas lleguen al puerto de Leticia. La

velocidad del río ronda los tres kilómetros por hora y su caudal los 80.000 metros cúbicos por segundo en temporadas secas y el doble en las lluviosas. Colombia fue el primer país en proponer y decretar la libre navegación del río Amazonas para todos los países del mundo, en 1852.

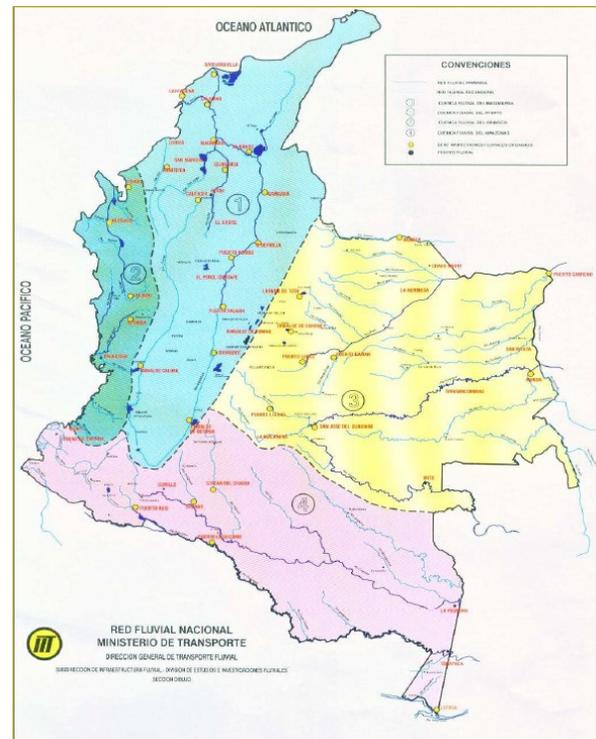


Figura 2. Cuencas hidrográficas, principales ríos y embalses de Colombia.

Fuente: Ministerio de Transporte.

Embalses y lagos

Se estima que en el país existen cerca de 1600 cuerpos de agua, entre lagunas, lagos y embalses, que representan reservas de agua de 26.300 millones de m³. La mayoría de los embalses se encuentran en la cuenca del río Magdalena.

Transporte acuático

Transporte marítimo

Actualmente, en Colombia se localizan ocho zonas portuarias marítimas: Buenaventura y Tumaco sobre la Costa Pacífica, y el golfo de Morrosquillo, Cartagena,

Santa Marta, Barranquilla, La Guajira y San Andrés Islas sobre la costa del Caribe y el área insular.

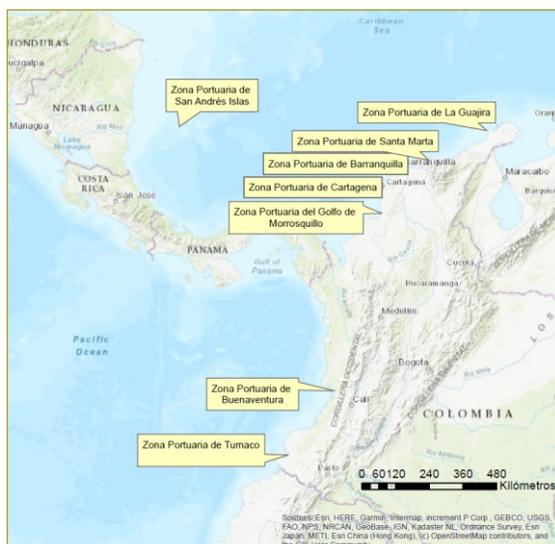


Figura 3. Zonas portuarias marítimas de Colombia.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos abiertos del IGAC.

En materia de transporte de carga por vía marítima, se destaca el hecho de que las zonas portuarias, con excepción de Santa Marta y Tumaco, han tenido crecimiento en su tráfico entre los años 2006 y 2018. En general, el país ha presentado un crecimiento en el transporte marítimo de carga, pues pasó de registrar 102.701.410 toneladas de carga en el año 2006 a 196.001.322 toneladas en 2018, lo que equivale a un incremento del 90,8 % con respecto al primer registro. Y esta cifra se queda corta en comparación al crecimiento de la zona portuaria de Cartagena que, en el mismo intervalo de tiempo, registró un crecimiento de más del 410 %. Dichos crecimientos del modo portuario en transporte de carga se traducen en un desempeño del país cercano al promedio de América Latina (Fedesarrollo, 2015). Sin embargo, el sector aún presenta retos, tal como lo refleja el índice de competitividad mundial del Foro Económico Mundial; en materia de eficiencia de los servicios portuarios, el país ocupa el puesto 72 entre los 140 analizados en el año 2018. De acuerdo con Ayala (2015), la Cepal establece los siguientes objetivos para que los puertos sean más competitivos:

- Introducir portacontenedores cada vez de mayor tamaño.

- Incrementar la productividad y la eficiencia en puertos.
- Reducir los costos para el desarrollo de las instalaciones portuarias.
- Desarrollar de manera sostenible tanto para el puerto como para la ciudad.
- Adaptarse a la globalización del comercio y la distribución de la producción.
- Reestructurar las redes logísticas.
- Incentivar el crecimiento en el volumen de carga transportada.

A lo anterior se suma que la ubicación del país con respecto al canal de Panamá lo ha convertido en un punto estratégico, por el que transitan importantes rutas de transporte marítimo.

Las proyecciones que se tienen para el desarrollo portuario en el país requerirán inspectores y peritos suficientemente capacitados para atender los servicios técnicos de la actividad portuaria, además de los conexos como dragados, las obras subacuáticas, operaciones de salvataje, avalúo de averías y arribadas, siniestros y muchos otros que la tecnología y la seguridad del transporte acuático exigen. Si no existen profesionales colombianos idóneos, necesariamente tendrán que venir extranjeros a prestar esta actividad laboral.

En cuanto al transporte marítimo de pasajeros, el panorama para Colombia es bueno, puesto que lo favorece su ubicación geográfica, ya que el Caribe es el principal destino de los viajeros en cruceros en el mundo; es más, desde el año 2007 se ha presentado un incremento considerable en el número de pasajeros internacionales que llegan al país por vía marítima.

Transporte fluvial

De acuerdo con las cifras del Ministerio de Transporte (2018), el país cuenta con un total de 24.725 km de vías fluviales, de los cuales 18.225 km son navegables. Y es que para el transporte de cargas pesadas y de contenedores, las vías fluviales son la mejor opción, tanto por costos como por un menor impacto ambiental (González, 2013). Investigaciones hechas en el país han demostrado que los costos internos del transporte para una carga equivalente, utilizando el modo, carretero resultan 3,5 veces mayores que en el transporte fluvial, y los costos internos del transporte para una carga equivalente mo-

vilizada en transporte férreo es 1,7 veces mayor que los costos internos del transporte fluvial (Márquez Díaz, 2011). Aun así, en Colombia en el año 2018 apenas el 1,7 % del total de la carga transportada internamente en el país se realizó por vías fluviales (Ministerio de Transporte, 2018). No es sorpresa que los costos totales de exportar una mercancía en Colombia sean mayores con respecto a países de referencia, como Perú, Chile, México o Brasil (Fedesarrollo, 2015).

Los principales problemas y retos que enfrenta el sector fluvial actualmente y que pueden llegar a explicar el rezago mencionado previamente son:

- No se cuenta con la infraestructura portuaria adecuada y suficiente de centros de transferencia que aseguren las ventajas de un posible desarrollo del transporte multimodal.
- Limitación de las condiciones de navegabilidad de sus principales ríos.
- Irregularidad en el servicio, el cual depende de la demanda de este.
- Poca atención del gobierno para fortalecer y proteger a las empresas que prestan el servicio.
- Falta de estímulos para desarrollar el comercio y demás actividades económicas.
- Inexistencia de señalización y balizaje fluvial, lo que no permite la navegación nocturna.

Adicionalmente, no existe un registro confiable de los datos del transporte fluvial, ya que en las inspecciones fluviales estos son registrados “a mano” y entregados al Ministerio de Transporte. En este proceso se pierde mucha información e incluso hay embarcaciones que se cuentan más de una vez. Debido a lo anterior, es necesaria la sistematización en la recolección de la información fluvial.

Es importante incluir entre los retos del transporte por modo fluvial el reducir su tasa de mortalidad en accidentes. Por ejemplo, en el año 2018 se movilizaron por modo carretero 137.184.263 pasajeros y hubo un registro de 181.374 accidentes con 6476 muertes, lo que equivale a 4,72 muertes por millón de pasajeros. En el mismo año, en el modo fluvial se transportaron 2.578.876 pasajeros y se registraron 29 accidentes con 14 muertes, lo que resulta equivalente a 5,43 muertes por millón de pasajeros. Por esto se hace necesario plantear y desarrollar estrategias que mitiguen dichas cifras y las ayuden a reducir.

En materia de carga, y conociendo los beneficios ya mencionados que ofrece el transporte fluvial, en Colombia no parece existir una fuerte tendencia de crecimiento de la carga transportada por este modo. Además, en los últimos cinco años, el 63 % del total de carga movilizada por vía fluvial fue a través del río Magdalena, lo que reduce aún más el aprovechamiento de las vías fluviales en el resto del país.

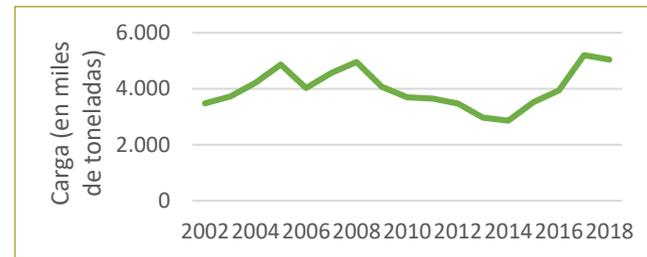


Figura 4. Carga transportada por vías fluviales en el periodo 2002-2018.

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos abiertos del Ministerio de Transporte.

Sobre la distribución de la carga, el 59,26 % corresponde a hidrocarburos, que se transportan principalmente por el río Magdalena. Sin embargo, cuando no se tiene en cuenta este río en la estadística, tan solo el 18,51 % de la carga son hidrocarburos, mientras que el restante corresponde a carga de abastecimiento de las regiones, como abonos, productos agrícolas, materiales de construcción y pescado.

Así mismo, en el país el transporte fluvial de pasajeros se hace principalmente en embarcaciones con casco de fibra de vidrio o materiales compuestos, embarcaciones que presentan grandes problemas de acceso (especialmente para enfermos o discapacitados), de comodidad, de seguridad y de confort (*Situación de la infraestructura y el transporte fluvial en Colombia*, julio de 2018, p. 213).

Transporte de cabotaje

En el caso colombiano, el Decreto 804 de 2001 lo define como el transporte que se realiza entre puertos continentales o insulares colombianos. En el último año, la carga transportada por este medio fue menor que la transportada por modo fluvial, alcanzando un 1,45 % del total de la carga transportada en el país. Sin embargo,

llama la atención el crecimiento que viene presentando el transporte de cabotaje en los últimos años. Este modo de transporte tiene fuerte influencia en la región del Pacífico, donde conecta los puertos marítimos de Buenaventura y Tumaco con poblaciones ribereñas que no disponen de otra forma de transportarse. En la capitania de puerto de Buenaventura se registra el mayor número de empresas de cabotaje en modalidad de transporte de pasajeros, carga y transporte mixto de la región.

Transporte en embalses

Se caracteriza por movilizar pasajeros con fines recreativos y turísticos en embarcaciones menores. En el año 2018, la Superintendencia de Puertos y Transporte registra 21 compañías de transporte, compuestas por 2 de carga y 19 de pasajeros. Para el año 2017, se transportó a 778.081 personas en los embalses del país. Cabe anotar que representa un número de pasajeros movilizados mayor que en todas las cuencas fluviales del país, con excepción de la del Magdalena.

Planes y programas nacionales para el sector

Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022

Entre las estrategias adoptadas por el gobierno nacional relacionadas con el sector del transporte acuático aparece la promoción e incentivación de nuevos proyectos e inversiones públicas y privadas en el modo fluvial. Se impulsará la modernización y repotenciación de la flota fluvial. En general, se promocionará la implementación, investigación, desarrollo e innovación del modo fluvial como parte fundamental de la intermodalidad, con el objeto de mejorar la conectividad y accesibilidad en el país.

En el sector marítimo, el gobierno plantea que los puertos del país deben identificar acciones para mejorar o proveer nuevos servicios a carga y pasajeros con principios de sostenibilidad. Se implementarán dragados que mantengan y profundicen los canales de acceso a puertos marítimos y se fortalecerán las capacidades de la industria marítima nacional, estimulando la investigación y la innovación en la cadena de suministro (DNP, 2018).

Plan Maestro de Transporte Intermodal 2015-2035

El Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) es una estrategia del gobierno nacional con la que se busca ordenar la estructuración de proyectos de transporte en un horizonte de 20 años, con el fin de superar el rezago en dotación y calidad de la infraestructura de transporte de todos los modos en Colombia. Los objetivos del PMTI incluyen impulsar el comercio exterior y el desarrollo regional, e integrar el territorio nacional.

Para el sector acuático, en la primera década de inversión se destinarán 3,58 y 0,64 billones de pesos a la red básica fluvial y de puertos, respectivamente. En la segunda década se invertirán 1,22 y 0,64 billones de pesos a la red básica fluvial y de puertos, y 2,16 billones de pesos a la red de integración fluvial.

Plan Maestro Fluvial

La principal motivación del Plan Maestro Fluvial de 2015 es mejorar los índices del transporte fluvial en Colombia. En el documento se dice que en el año 2014 el total de la carga transportada en Colombia por vías fluviales fue equivalente apenas a la carga que se transporta en el río Mississippi en 2,5 días (Arcadis Nerderland BV, 2015).

De igual manera, existe un atraso en el desarrollo del transporte de pasajeros. Los principales objetivos de este plan son hacer del transporte fluvial en Colombia un modo competitivo, limpio y seguro, y que brinde desarrollo social. Para ello el Plan buscará rehabilitar y expandir la infraestructura fluvial y mejorar la gobernanza y el sistema de transporte.

Para lograr lo anterior, el plan prioriza una serie de proyectos de navegabilidad, conexión de carreteras e interconexión de ríos con carreteras que suman más de 3100 millones de dólares.

Es importante resaltar que el Plan Maestro Fluvial considera también construcción y mejoramientos viales que complementen la interconexión de las vías fluviales.

CONCLUSIONES

Colombia es una potencia hídrica, representada en lagos, ríos, embalses, costas sobre dos océanos y zonas insulares. Lamentablemente, la explotación de este recurso para el desarrollo del transporte no ha sido óptima, y

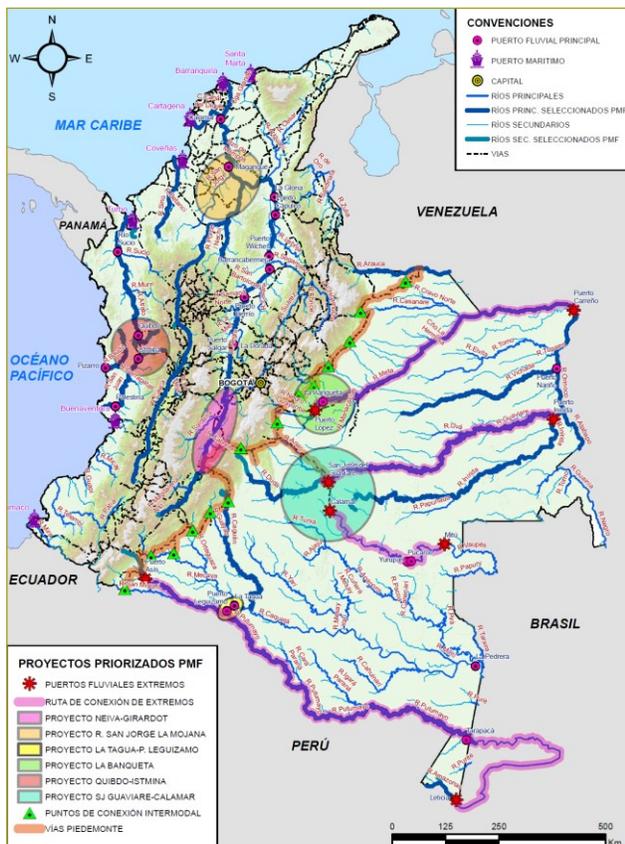


Figura 5. Proyectos prioritarios del Plan Maestro Fluvial.

Fuente: Arcadis Nerderland BV, 2015.

esto se refleja en los indicadores logísticos y de costo de transporte de carga y pasajeros en el país. El transporte marítimo es el que mejores índices presenta en la actualidad, pero esto solo le permite compararse con países similares en Latinoamérica. Y aunque presenta numerosos retos, también son buenas las proyecciones tanto para el movimiento de pasajeros como de carga para los puertos marítimos colombianos, además de contar con una estratégica ubicación global.

En cuanto al transporte fluvial, su desarrollo presenta rezagos muy grandes, tanto en el movimiento de carga como en el de pasajeros, lo cual no es muy alentador, debido a que es el modo que mayor accesibilidad brinda en muchas regiones del país. Los indicadores de carga parecen no presentar tendencias de crecimiento, sin embargo no deja de ser el más eficiente, ambientalmente amigable y menos costoso en comparación con otros modos. Son varias las intervenciones que deberán

realizarse para poder explotar este modo en el futuro. Para el transporte de cabotaje el presente no es mucho mejor, pero en los últimos años presenta una importante tendencia al crecimiento, además de ofrecer numerosos beneficios que se están explotando en todo el mundo.

Las oportunidades que ofrece el transporte acuático en Colombia son muchas, y eso ya fue identificado por el Estado, por lo cual se evidencia un gran compromiso político, plasmado en planes, programas y proyectos a corto, mediano y largo plazo, con inversiones considerables y ambiciosos objetivos de desarrollo económico y social. En los años que vienen, seguramente se continuarán viendo un fortalecimiento y un desarrollo del sector a medida que estas políticas se implementen.

REFERENCIAS

- Avella, F., Osorio, A., Parra, E. et al. (2010). Gestión del litoral en Colombia. Reto de un país con tres costas. En J. M. Barragán Muñoz, *Manejo costero integrado y política pública en Iberoamérica: un diagnóstico. Necesidad de cambio* (p. 177). Cádiz: Red Ibermar.
- Arcadis Nerderland BV (2015). Plan Maestro Fluvial de Colombia 2015. Bogotá: DNP.
- Ayala Salgado, M. D. (2015). El reto de los principales puertos marítimos en Colombia. Artículo de *Reflexión con fines de grado*, 14. Obtenido de http://45.5.172.45/bitstream/10819/4375/1/EI%20reto%20de%20los%20principales%20puertos_Mar%20c3%ada%20Ayala%20S_2016.pdf.
- Campuzano, C., Roldán, G., & Guhl, E. S. (2012). Estado del recurso hídrico en Colombia. En Red Interamericana de Academias de Ciencias, Foro Consultivo Científico y Tecnológico. *Diagnóstico del agua en las Américas* (pp. 195-225). Ciudad de México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- DNP (2018). *Bases del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022: Pacto por Colombia, pacto por la equidad*. Bogotá: Grupo de Comunicaciones.
- Fedesarrollo (2015). Plan Maestro de Transporte Intermodal (PMTI) 2015-2035.
- González, L. R. (2013). Las vías fluviales, infraestructuras y puertos: la industria del contenedor, sus aportes al transporte multimodal, visión en Colombia. *Revista Humanismo y Sociedad*, 1, 162-167.
- Hugueth, S. (1997). La solución fluvial. Bogotá: Fesocial Editores.
- Instituto de Investigaciones Científicas del Pacífico (2020). Geología y Geomorfología del Río Atrato. Obtenido de <http://rioatrato.org/literatura>.
- Márquez Díaz, L. G. (2011). Estimating marginal external costs for road, rail and river transport in Colombia. *Ingeniería e Investigación*, 31, 56-64.
- Ministerio de Transporte (2018). Transporte en cifras. Estadísticas 2018. Bogotá: Oficina Asesora de Planeación.
- Superintendencia de Puertos y Transporte (2018). Situación de la infraestructura y el transporte fluvial en Colombia. Bogotá: Proyecto de Investigación Infraestructura Fluvial.

Beneficios de adopción de la nube híbrida para las empresas y ventajas de integrar datos en esta nube

Benefits of adopting a hybrid cloud for companies and the advantages of data integration in this cloud

CHARLIE ALBERTO ANGULO ANGULO

Magíster en Informática de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

charlie.angulo@mail.escuelaing.edu.co

Recibido: 25/10/2020 Aceptado: 01/11/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

La nube ya es una realidad. Por eso, cuando una empresa se enfrenta a la decisión de explotar o guardar sus datos en esta, tiene tres opciones: la nube privada, la nube pública y la híbrida, que se presentan como las más usadas, con diferencias entre sí en el modelo de computación en la nube o finalmente en la misma empresa de manera tradicional. Se quieren destacar los beneficios que brinda la nube híbrida para las empresas y la ventaja de integrar aquellos datos alojados actualmente en sus plataformas *on-premise* en esta nube, obteniendo datos precisos, actualizados y analizados con infraestructuras más flexibles, seguras, escalables, por demanda y a bajo costo.

Palabras claves: computación en la nube, nube híbrida, integración de datos en la nube, beneficios de integración en la nube para las empresas, herramientas de integración de datos.

Abstract

The cloud is already a reality, and when a company is faced with the decision to exploit or save its data in it, it has three choices: private, public or hybrid clouds, which are presented as the ones most used, with differences between them in the cloud computing model or in the same company in a traditional way. We want to highlight the benefits that the hybrid cloud provides for companies and the advantage of integrating data currently hosted in their on-premises platforms in this cloud, obtaining accurate, updated, and analyzed data with more flexible, secure, scalable infrastructures, on demand and at low cost.

Keywords: cloud computing, hybrid cloud, cloud data integration, benefits of enterprise cloud computing integration, data integration tools.

INTRODUCCIÓN

Las nubes han surgido como una infraestructura informática, permitiendo la entrega rápida de recursos informáticos como una utilidad de manera virtualizada, escalable dinámicamente y con independencia de la ubicación [1].

La computación en la nube es una tendencia en TI que aleja la informática tradicional, los datos del escritorio y servidores físicos a grandes centros de datos [2]. Por tal motivo, las empresas han visto cómo la tecnología ha sido una pieza clave para adaptarse a la nueva realidad.

Este tipo de computación es el modelo que permite el acceso a una red bajo demanda de un conjunto de servicios informáticos configurables, tales como infraestructura, aplicaciones y almacenamiento. En los últimos años, este modelo les ha permitido a las empresas tener presencia en la web o simplemente adquirir servicios informáticos a un precio razonable, sin necesidad de invertir en la compra de equipos físicos y lógicos.

En este artículo se presenta una visión general de los conceptos más importantes de la computación en la nube, pero se hace hincapié en los beneficios potenciales que ofrece la adaptación del modelo híbrido en las empresas. Adicionalmente se exploran proveedores como Amazon, Google o Microsoft, que actualmente ofrecen soluciones para organizaciones grandes y pequeñas, ofreciendo servicios muy versátiles, desde la infraestructura hasta el nivel de *software* para afrontar los desafíos de la integración.

Por otra parte, están las ventajas de integrar los datos en las organizaciones en la nube híbrida manteniendo sus bases de datos *on-premise* relacionales, sacando provecho a la reducción de costos a través de la informática compartida, utilizando un aprovisionamiento bajo demanda, un modelo de pago por uso [3]; de ese modo, logra integrar elementos de la opción local y *cloud* mediante algunas herramientas que ayudan a cerrar la brecha entre los dos modelos de nube (privada y pública) para la integración de datos empresariales.

El principal objetivo es identificar las ventajas que obtendrían las pymes al adaptar este modelo de nube y cómo al integrarla con información de otras plataformas externas daría una ventaja competitiva comercialmente en el mundo tecnológico.

Los resultados encontrados muestran que hay una notable acogida de los servicios de la “nube” por parte de las grandes compañías; existe un alto porcentaje de empresas que están adaptando el modelo de nube híbrida o que están en proceso de implementarla, puesto que la identifican como ideal para sus organizaciones, y más aquellas que por limitaciones regulatorias y diplomáticas no lograban utilizar plenamente todas las características que brinda la nube.

La integración de datos es de enorme importancia debido a la cantidad y variedad de estos, por lo que las organizaciones que mejor manejo le den a este proceso tendrán una ventaja competitiva en el mundo actual globalizado. Además, el uso de la infraestructura como servicio (IaaS, por su sigla en inglés) en la nube pública por parte de las empresas ha aumentado rápidamente en los últimos años, a lo que los proveedores de nube han respondido rápidamente con asociaciones, expansiones de servicios e integraciones de una manera sencilla, mejorando la transformación tecnológica de las compañías.

Existe un porcentaje de empresas que conocen el modelo, pero que todavía no lo han implementado debido principalmente a la inseguridad.

METODOLOGÍA

El presente artículo es una revisión bibliográfica general de los beneficios de la nube híbrida y de su integración de datos con plataformas *on-premise* para las empresas; se hacen búsquedas en Google Scholar, EbscoHost, IEEE Xplore y algunas páginas web, como las de Amazon, IBM y RedHat, utilizando palabras como *cloud computing* y *cloud hybrid*. Se limita la búsqueda de artículos mínima desde el año 2010 hasta la actualidad para el marco teórico y para el estado del arte, con referencias desde el año 2015, gracias a lo cual se obtienen algunas definiciones de conceptos.

Para la estructura del artículo se exponen, desde el punto de vista técnico, beneficios para las empresas de adoptar la nube híbrida, presentando los mejores proveedores de infraestructura como servicio, diferentes beneficios de integrar datos en el modelo híbrido para las pymes, algunas herramientas *open source* y otras que se ofrecen en los catálogos de proveedores para la extracción e integración en la nube.

MARCO TEÓRICO

A continuación se presentan varios términos y sus principales características que se emplean en la computación en la nube, todo con el fin de tener claridad en el momento de abordar los temas propuestos.

Computación en la nube

Es un término que se emplea para referirse a un modelo de infraestructura en el cual un usuario puede acceder a un servicio o aplicación bajo demanda y en forma remota. La computación en la nube trae consigo el concepto de abstracción, ya que los detalles de implementación y ubicación de la información no deben ser una preocupación para el usuario [3].

De acuerdo con el National Institute of Standards and Technology (NIST), las características son las siguientes [3]:

- **Autoservicio por demanda.** El usuario o cliente puede solicitar los servicios a través de internet directamente. El cliente solo paga por el tiempo de uso del servicio.
- **Acceso ubicuo a la red.** Los servicios están desplegados en la nube y son accesibles desde cualquier medio con acceso a la red (internet, intranet o extranet).
- **Fondo común de recursos.** Los servicios se encuentran en la nube para que los utilicen *múltiples usuarios*, mediante un modelo multiarrendatario, en diferentes lugares del mundo. Esto genera una independencia de la ubicación de los recursos, aprovechando la naturaleza del internet.
- **Rápida elasticidad.** La cantidad o calidad de los servicios ofrecidos en la nube puede aumentar o disminuir rápidamente, dependiendo de las necesidades cambiantes de los usuarios.

Modelos de despliegue

Según el autor [3], los modelos de despliegue o implementación utilizados en la nube son los siguientes:

- **Nube pública.** La infraestructura de la nube se pone a disposición del público en general o de un gran grupo industrial, y es propiedad de una organización que vende servicios en la nube.

- **Nube privada.** La infraestructura de la nube se opera únicamente para una organización. La puede administrar la organización o un tercero y puede existir dentro o fuera de las instalaciones.
- **Nube híbrida.** Es la combinación de uno o más entornos de nube pública y privada, de tal manera que las organizaciones empresariales se benefician de las ventajas que proporcionan los dos tipos de infraestructura de la nube. Así, se dispone de un conjunto de recursos virtuales gestionados por *software* de administración y automatización, que les permite a los usuarios acceder a lo que necesiten, así como también escalar horizontalmente su infraestructura local hasta las nubes públicas para mejorar el rendimiento y reducir los costos.
- **Multiclouds.** Se refiere a un enfoque de nube compuesto por más de un servicio de nube, que proporcionan por lo menos dos proveedores de nube pública o privada y que pueden conectarse en red (o no)[4].

Modelos de servicios

En la actualidad, existen cuatro modelos de servicios que caracterizan a la computación en la nube, de acuerdo con el autor [3]:

- **Plataforma como servicio (PaaS).** Se centra en ofrecer una solución completa para la construcción y puesta en marcha de aplicaciones y servicios web que estarán completamente disponibles a través de internet. Por ejemplo: Google App Engine, Amazon SimpleDB, etc.
- **Software como servicio (SaaS).** Consiste en la distribución de *software*, mediante la cual una compañía proporciona el mantenimiento, soporte y operación que usará el cliente durante el tiempo que haya contratado el servicio. Ejemplos: Gmail, Google Docs, Amazon S3.
- **Infraestructura como servicio (IaaS).** Proporciona al cliente una infraestructura de computación como un servicio, empleando principalmente la virtualización. El cliente compra recursos a un proveedor externo, para *hosting*, capacidad de cómputo, mantenimiento y gestión de redes, etc. Ejemplos: Amazon EC2, Azure de Microsoft, etc.

- **Datos como servicio (DaaS).** Se puede acceder a datos en varios formatos y de múltiples fuentes a través de servicios de los usuarios de la red. Los usuarios podrían, por ejemplo, manipular los datos remotos, como operar en un disco local o acceder a los datos de manera semántica en internet. Por ejemplo, Amazon Simple Storage Service (S3) proporciona una interfaz de servicios web simple que se puede emplear para almacenar y recuperar, declarada por Amazon, cualquier cantidad de datos, en cualquier momento, desde cualquier lugar de la web [5].

Almacenamiento de datos

El almacenamiento de datos es el proceso mediante el cual la tecnología de la información archiva, organiza y comparte los *bits* y *bytes* que conforman los sistemas de los que dependemos todos los días, desde las aplicaciones hasta los protocolos de red, los documentos, el contenido multimedia, las libretas de direcciones y las preferencias del usuario [6].

Es importante hablar de este término debido a que las organizaciones almacenan en diferentes tipos de bases de datos y es relevante saber de ellas para las integraciones y migraciones de datos hacia la nube.

A renglón seguido se mencionan varios conceptos relacionados:

- **Datos.** Tienen un significado implícito sobre fenómenos del mundo real. Por lo general, representan valores como números, caracteres, variables cualitativas o cuantitativas[7], y se utilizan para transmitir, almacenar y deducir información.
- **Base de datos (Db).** Una base de datos es una colección de datos almacenados y organizados de manera que un programa del computador los seleccione rápidamente y se puedan recobrar, actualizar, insertar y borrar. En un DBMS, una base de datos es un sistema de archivos electrónico.
- **Base de datos NoSQL.** Las bases de datos orientadas a documentos son sistemas de almacenamiento BD que están contruidos para ofrecer prestaciones de alto rendimiento, ideales para el manejo de volúmenes masivos de información. Son una tecnología diferente de las bases de datos relacionales porque cada documento se puede al-

macenar sin seguir un esquema prefijado de datos. Las bases de datos NoSQL se fundamentan en el almacenamiento de pares de valores claves y los objetos están en alguna forma serializada, como XML, JSON y BSON (JSON codificado en binario) [8].

- **Base de datos SQL.** Este tipo de bases de datos surgieron en los años setenta como una solución para almacenar información de acuerdo con un esquema que permite mostrar la información en forma de tablas, con columnas y filas. Algunos gestores de bases de datos relacionales son[9] Oracle, MySQL, Microsoft SQL Server, PostgreSQL y DB2.

ESTADO ACTUAL

¿Es la nube híbrida lo correcto para las empresas?

El modelo de nube híbrida podría ser un modo eficaz de alinear las prioridades de TI con las necesidades empresariales. Muchas compañías pueden beneficiarse del uso de una nube híbrida, en lugar de otras opciones. A la hora de decidir entre nubes híbridas, públicas y privadas, la híbrida ofrecería mayor flexibilidad [10].

En el último informe del *Enterprise Cloud Index*, de Nutanix, se analiza cómo están afrontando organizaciones de todo el mundo la transición al *cloud computing*, ya sea mediante la adopción de la nube privada, pública o híbrida.

En términos generales, se observa la tendencia cada vez más mayoritaria a migrar e integrar a modelos de nube híbrida. Las empresas continúan clasificando la nube híbrida como el modelo operativo de TI “ideal”. Aproximadamente, el 85 % de los encuestados estuvieron de acuerdo o muy de acuerdo con la afirmación de que “la nube híbrida es el modelo de TI ideal para su organización”. Entre las razones indicadas se encuentran tener flexibilidad y altos niveles de seguridad [11] [12].

La nube híbrida es de gran valor para organizaciones con cargas de trabajo dinámicas, con muchos datos que procesar. La flexibilidad, capacidad de ampliación y capacidad de respuesta del modelo híbrido no se pueden infravalorar. Además, la capacidad de pagar solo por recursos adicionales cuando sea totalmente necesario puede ayudar a las organizaciones a reducir los costos en forma considerable.

Compañías de toda clase de sectores han pasado a soluciones híbridas para reducir los costos y el estrés sobre los recursos locales, donde los entornos de nube

híbrida han demostrado ser eficaces no solamente a la hora de mejorar la computación y la potencia de almacenamiento, sino al momento de optimizar un recurso escaso como el espacio físico. De hecho, muchas organizaciones simplemente no tienen espacio disponible para implementar servidores en sus instalaciones.

La privacidad de los datos es primordial, y los recursos de computación de propiedad privada son limitados. Un modelo de nube híbrida es una solución ideal, ya que permite retener los datos en un servidor seguro y privado mientras se aprovecha simultáneamente la potencia computacional avanzada de un modelo público de IaaS. Simplificando, cualquier sector que se beneficie de aplicaciones de nubes públicas puede beneficiarse también del modelo híbrido.

Beneficios de una nube híbrida

De todos los beneficios que ofrece la nube, en especial la nube híbrida, hay tres de los que las empresas podrían sacar provecho al momento de adaptar o construir una infraestructura híbrida en el contexto que se está tratando [13]:

- **Agilidad.** Un entorno de nube híbrida le permitirá implementar aplicaciones rápidamente para satisfacer la demanda de los clientes y aprovechar las oportunidades comerciales; además, hace que las aplicaciones y los datos sean más fácilmente accesibles para una amplia variedad de usuarios, y brinda la capacidad de integrar sus aplicaciones y datos locales con la nube pública para que todos estos estén disponibles en forma segura.
- **Integración.** Elimina los silos de datos para que estos, en conjunto con sus aplicaciones empresariales principales, puedan impulsar nuevos desarrollos y mostrar nuevos conocimientos en toda su compañía. Hay que colocar las aplicaciones cerca de los datos para permitir un procesamiento y un análisis más rápidos a partir de datos corporativos o datos generados por dispositivos de internet de las cosas (IoT), al tiempo que garantiza que los datos críticos permanezcan en el entorno más seguro.
- **Costos.** La nube híbrida permite optimizar la colocación de cargas de trabajo y el intercambio de recursos, lo que puede ayudar a minimizar los costos predecibles, como los costos del centro de

datos, compras de *software* y licencias, al igual que los costos de soportar picos en la demanda. Un enfoque híbrido es lo suficientemente flexible para la vida de su organización.

Proveedores principales de infraestructura como servicio

“El uso de IaaS en la nube pública por parte de las empresas ha aumentado rápidamente en los últimos dos años, creando nuevas demandas y nuevas expectativas de servicios”, dice Deepak Mohan, director de Investigación de Servicios de Infraestructura en la Nube en IDC. Los proveedores de nube han respondido rápidamente con asociaciones, expansiones de servicios y una incorporación más sencilla, para permitir una mejor incorporación de cargas de trabajo y la transformación digital para las empresas [14].

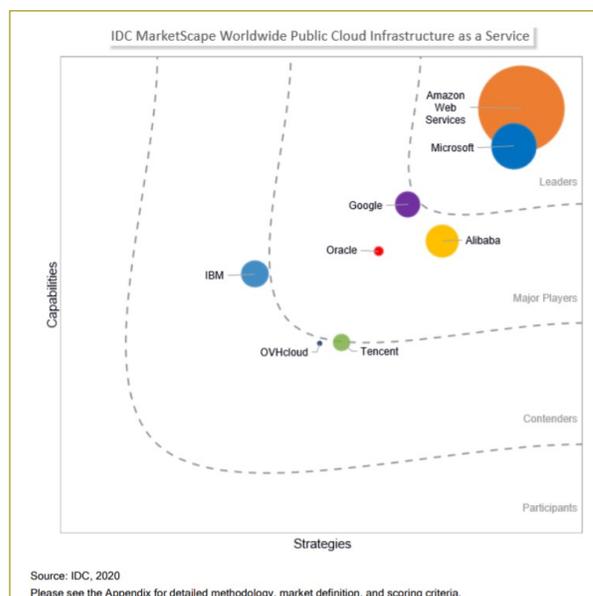


Figura 1. Estudio de Garner e IDC.

En la figura anterior se observa la evaluación de proveedores de infraestructura como servicio 2020 (figura 1).

- **Amazon Web Services (AWS).** Es la plataforma en la nube más adoptada y completa en el mundo. Se encuentra en el primer lugar (figura 1), puesto que ofrece más de 175 servicios integrales de centros de datos a escala global. Millones de clientes, incluyendo las empresas emergentes que crecen más rápido, las compañías más grandes y los organismos gubernamentales líderes, están utilizando AWS para

reducir los costos, aumentar su agilidad e innovar de una manera más rápida[15].

- **Plataforma Google Cloud (GCP).** Aun cuando relativamente nueva comparada con AWS, se ha destacado con considerable rapidez gracias a la experiencia de Google en espacios complejos. Actualmente se encuentra en tercera posición, de acuerdo con Gartner [14].
- **Microsoft Azure.** La segunda nube pública más popular, de acuerdo con Gartner [14], apoyó pronto el modelo híbrido. El servicio ofrece excelente asistencia técnica a los arquitectos de nubes híbridas, lo que significa que los proyectos nuevos pueden despegar más de prisa. El renovado apoyo de Microsoft a marcos de trabajo con código abierto también ha facilitado la adopción de Azure.

Arquitectura en la nube híbrida

Una infraestructura de nube híbrida incluye por lo general una plataforma pública de infraestructura como servicio (IaaS), una nube privada o un centro de datos y acceso a una red segura. Muchos modelos híbridos aprovechan las redes de área local (LAN), además de las redes de área extensa (WAN).

Por lo general, esta conexión se hace utilizando una red compleja de LAN, WPN, API y VPN. Incluso muchos proveedores de servicios de nube ofrecen a los clientes una VPN preconfigurada como parte de sus paquetes de suscripción [16]:

- Amazon Web Services (AWS) ofrece Direct Connect
- Google Cloud ofrece Dedicated Interconnect
- Microsoft Azure ofrece ExpressRoute

En los últimos años, los proveedores de IaaS, como Amazon, Google, IBM y Microsoft, han facilitado a las empresas la conexión de sus recursos locales con una solución de nube pública [16]. Las interfaces de programación de aplicaciones (API) mejoran la interoperabilidad nativa entre servicios. Además, los arquitectos híbridos pueden implementar una capa de hipervisor para generar máquinas virtuales que se conectan a la nube pública mediante otra capa de *software*, responsable de la instrumentalización entre entornos de nube.

De hecho, AWS Outposts ofrece una experiencia híbrida realmente consistente al brindar la misma in-

fraestructura de *hardware*, servicios, API, administración y operaciones en las instalaciones que en la nube. Al contrario de otras soluciones híbridas que requieren utilizar API diferentes, actualizaciones manuales de *software*, adquirir aplicaciones de terceros y soporte, AWS Outposts ofrece una experiencia de operaciones informáticas y desarrollo realmente consistente, tanto en entornos en la nube como a escala local [17].

Los negocios que adoptan una estrategia híbrida suelen empezar por una solución de IaaS y ampliar las funcionalidades a la nube privada. Para implementar una estrategia híbrida con eficacia, las nubes públicas y privadas deben ser compatibles entre sí para poder comunicarse. En muchos casos, la nube privada se construye para ser compatible con la solución pública.

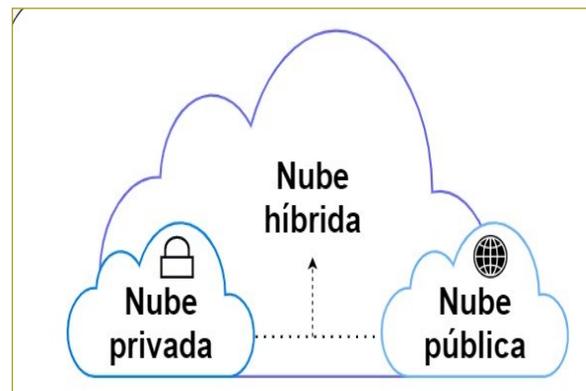


Figura 2. Representación gráfica de una nube híbrida.

En la figura anterior se hace una representación de cómo se observaría la nube híbrida, integrando las características de la nube privada y la nube pública de manera gráfica (figura 2).

Despliegue de una nube híbrida

Hay muchas formas de desplegar una nube híbrida, pero la base fundamental de todas ellas es la interoperabilidad. Sin capacidad de contacto entre las dos infraestructuras pueden existir nube pública y privada y ser utilizadas por la misma organización, pero no se puede considerar una nube híbrida.

Las nubes híbridas tienen varios puntos de contacto, controlados por una API, y se componen de soluciones *software* encargadas de controlar y administrar la migración de cargas de trabajo, el despliegue de recur-

tos, la integración entre plataformas y la ejecución de aplicaciones.

Además de la interoperabilidad y la capacidad de control, la escalabilidad es una característica inherente a una nube híbrida que puede crecer horizontalmente, añadiendo unidades de procesamiento en función de las cargas de trabajo, o verticalmente, liberando más recursos a las unidades de procesamiento ya existentes (figura 3).

Las nubes híbridas permiten el escalado dinámico de la capacidad para satisfacer los picos o las demandas fluctuantes [10].

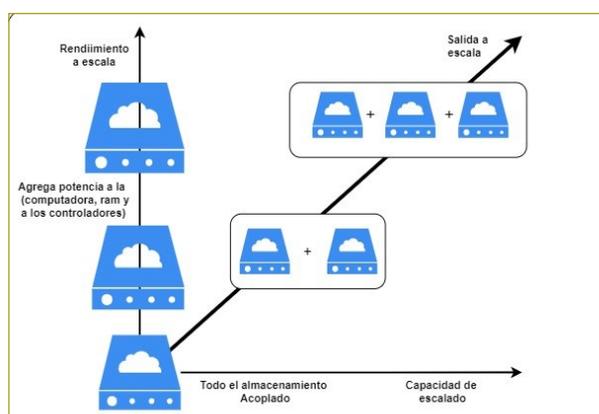


Figura 3. Escalamiento de la nube híbrida.

Modelos de implantación

A la hora de implantar una nube híbrida, hay que tomar en cuenta que esta no tiene una configuración única; existen varios modelos de implementación, como los siguientes:

Un entorno híbrido completo, configurado en un solo paquete de servicios y entregado por una compañía proveedora de servicios de *cloud computing*.

Empresas con una red de nube privada, gestionada totalmente por la propia compañía, con algunos servicios de nubes públicas que se integran con la infraestructura de la nube privada.

Un servicio integrado por varias aplicaciones o herramientas SaaS que hacen uso del *data center* de la empresa.

Dentro de cada uno de estos modelos las posibilidades son muy numerosas, y hay casos en los que se utilizan en la nube privada, por ejemplo, los sistemas de gestión empresarial, mientras que las bases de datos o

los datos que produce y consulta cada sistema se alojan en nubes públicas; en otros casos, las nubes privadas alojan los datos más sensibles o los que tengan que responder a leyes de protección de datos. De este modo, las aplicaciones SaaS acceden a estos datos en la nube privada para realizar distintos procesos [18].

Seguridad

La protección de información personal y datos sensibles, en el marco de un entorno de nube, constituye un factor para el despliegue, así como la separación criptográfica, en la que procesos, cálculos y datos se ocultan de tal manera que parecen intangibles.

Confidencialidad e integridad, pero también privacidad de los datos, se pueden proteger mediante cifrado. Usando una combinación de criptográfico asimétrico y simétrico (a menudo denominado criptografía híbrida) se puede ofrecer la eficiencia de simetría criptográfica manteniendo la seguridad de asimétrica criptografía [19].

Integración de datos en la nube híbrida para las empresas

Integración de datos e interoperabilidad

La integración de datos es el proceso de reunir datos de diferentes fuentes para obtener una vista unificada y más valiosa de estos, de modo que su empresa pueda tomar mejores y más rápidas decisiones.

La integración de datos puede consolidar todo tipo de datos (estructurados, no estructurados, por lotes y de transmisión) para hacer de todo, desde consultas básicas de bases de datos de inventario hasta análisis predictivos complejos [20].

Integrar los datos con la nube puede brindar la posibilidad de interactuar con grandes volúmenes de datos externos procedentes de orígenes diversos. Así, los proveedores de infraestructura como servicio ofrecen soluciones para integrar, procesar y transformar datos, construir y administrar de manera eficiente canalizaciones de datos ETL (extracción, transformación y limpieza). Por ejemplo, Google Cloud ofrece el servicio de Cloud Data Fusion y Amazon Web Service ofrece Data Integration Cloud Service [20], [21].

La interoperabilidad de datos se refiere a la capacidad de comunicación de varios sistemas; los objetivos de la integración e interoperabilidad de datos son suminis-

trar datos seguros que cumplan con las regulaciones, reducir el costo y la complejidad de la administración de datos al proporcionar modelos compartidos, respaldar la inteligencia empresarial y las iniciativas de datos empresariales e identificar eventos y activar una cadena de acciones automáticamente[22].

Importancia de integrar datos en la nube híbrida

De acuerdo con Gartner [23], la integración de datos cobra una importancia inédita precisamente por la existencia de un volumen y una mayor variedad de datos que nunca. Por lo tanto, poder gestionar de manera adecuada esa información e interpretarla correctamente, o lo que es lo mismo, lograr una agilidad integral en todo el ciclo de vida de integración de datos, otorga una ventaja competitiva más que necesaria en el actual mundo globalizado.

Todas las soluciones de integración de los datos implantadas en la nube buscan posibilitar el acceso y la gestión sin riesgos en la nube y en entornos locales. Las organizaciones podrían buscar utilizar las plataformas de integración como servicio (iPaaS) que tienen adaptadores o conectores preconstruidos para muchos sistemas de TI, lo que hace que la integración en la nube sea más rápida, más fácil y menos propensa a errores.

Los datos son esenciales para la empresa moderna, e incluso las organizaciones han efectuado cambios en los sistemas de información; ahora son más planas, los espacios físicos son más reducidos y los virtuales se han ensanchado [24], aparte de que las interacciones digitales sustituyen las ubicaciones convencionales y la infraestructura física, como los servidores, los *routers*, etc.

Según Gartner [23], la integración en la nube es un requisito esencial para el óptimo funcionamiento de las nuevas estrategias de *data center* relacionadas con el tratamiento de datos. La migración e integración a la nube para el tratamiento de datos está produciéndose, de acuerdo con la consultora, en enfoques híbridos, lo cual obliga a garantizar que los entornos locales puedan coordinarse con los servicios externos en operatividad y en aspectos como la copia de seguridad y otras necesidades institucionales.

Beneficios de integración de datos

Aprovechar las ventajas de la nube en un ambiente de integración de datos puede resultar muy positivo para las organizaciones. Además, como beneficios potenciales a la integración de datos, ofrece [25], [19], [26], [27]:

- **Escalabilidad.** Tanto en almacenamiento como en procesamiento de datos se pueden hacer desarrollos escalables de un modo rápido y a bajo costo.
- **Rapidez.** De respuesta al analizar datos, sacar conclusiones y tomar decisiones gracias a una visión global que nos facilita la integración.
- **Agilidad.** Incorporación de nuevas fuentes de datos, con agilidad para responder con rapidez y a un costo eficiente ante nuevos requerimientos por cambios externos o internos de la organización.
- **Facilidad de uso.** El usuario maneja el sistema sin complicaciones, no se pierde tiempo en implementaciones gracias a las facilidades de la escalabilidad.
- **Explotación de los datos.** Mediante el uso de Hadoop, tecnologías para un análisis en tiempo real y herramientas de visualización.
- **Ahorro de infraestructura.** No se requiere tener un servidor, y el uso de Hadoop puede ser tanto local, integrado con la nube, como a modo de servicio.
- **Seguridad simplificada.** Las empresas se enfrentan a más puntos de acceso y mayores amenazas para la seguridad de los que han existido jamás en entornos de red aislados y locales. Con un despliegue de integración de datos centralizados, encriptados, las versiones de datos definitivas se ingresan y emanan de una sola fuente, lo que simplifica considerablemente la protección de la información crítica.

Aun cuando son muchos los beneficios potenciales, así como los riesgos, una nube híbrida tiene la ventaja de permitir una menor inversión inicial y a la vez contar bajo demanda con el *software* como servicio (SaaS) e infraestructuras como servicio (IaaS) [28].

La solución SaaS permite agilizar la integración de los datos con los sistemas locales, así como su operatividad para una mayor accesibilidad y la obtención de datos precisos, actualizados y completos. Básicamente, la integración SaaS proporciona herramientas para integrar con rapidez y seguridad los datos en la nube con fuentes de datos locales [19].

La solución IaaS, por su parte, permite adaptar con eficiencia los recursos de servidores y almacenamiento bajo demanda; se brinda normalmente mediante una plataforma de virtualización [26].

Alcanzaremos la máxima eficiencia al integrar los datos y aplicaciones alojados en la nube con los sistemas y bases de datos locales. De esta u otras formas, las compañías están empleando la integración de datos como pilar básico y convirtiendo información sin procesar en inteligencia de negocio.

Algunas herramientas de integración en la nube y gestión de datos

De manera general, la integración de datos comprende herramientas orientadas al logro de un acceso a datos oportunos y fiables, independientemente de su tipología y de su ubicación en la estructura de datos de la empresa.

Se trata de satisfacer las necesidades de consumo de datos y, para ello, de poder extraerlos de donde se encuentren; para lograrlo, encontramos en el mercado herramientas de integración de datos productos de *software* que faciliten esta labor, un eficaz acceso a la información en la variedad de escenarios de integración de datos.

Apache Spark

Es un *framework* de programación para procesamiento de datos distribuidos. El principio básico es que sirve para dividir la transmisión de datos en pequeños segmentos de tiempo y procesarlos en forma de lotes [29]. Proporciona una interfaz para la programación de *clusters* completos, con paralelismo de datos implícito y tolerancia a fallos. Se han propuesto soluciones interesantes con esta herramienta de integración de datos [30]. Cierra la brecha entre la nube pública y la privada, proporcionando una API de *data frame* que puede realizar operaciones relacionales en fuentes de datos externas y colecciones distribuidas integradas de Spark.

Hadoop

Es un *framework* de procesamiento distribuido que permite repartir *petabytes* de información entre un sinnúmero de servidores físicos o virtuales. El marco de Hadoop MapReduce utiliza un sistema de archivos distribuido para

leer y escribir sus datos. Normalmente, usa el sistema de archivos distribuido de Hadoop (HDFS), que es la contraparte de código abierto de Google [31].

Pentaho Data Integration

Es el componente de Pentaho destinado a las tareas de ETL. Entre sus principales propósitos están ayudar a migrar datos entre aplicaciones o bases de datos, exportar datos desde bases de datos o archivos planos, y volcar información desde archivos json a través de conectores a NOSQL[32]. Se integra fácilmente a la nube [33].

Denodo Platform

Ofrece todos los beneficios de la virtualización e integración de datos, incluida la capacidad de proporcionar acceso en tiempo real a los datos integrados en las fuentes de datos de una organización, sin repetir ningún dato. Es posible acceder a datos tanto estructurados como no estructurados, desde fuentes de datos propias de la empresa, como herramientas *big data* o *cloud* [32]. Está disponible en los principales catálogos de soluciones en la nube, como Amazon Web Services (AWS) y Microsoft Azure, al igual que en Docker [34].

RESULTADOS Y ANÁLISIS

El apoyo de la alta dirección es el factor más importante para respaldar la integración de datos exitosa en una nube híbrida [28]. Este resultado concuerda al poner el apoyo de la alta dirección como el factor número uno. Los gerentes deben comprender que emplear fuerza de trabajo especializada en TI, con habilidades en el entorno convencional, la plataforma en la nube y el desarrollo de proyectos estratégicos, respalda el crecimiento empresarial y permite la adopción de la computación en la nube [25].

Avanzar en la construcción de su entorno de nube híbrida significa abordar una variedad de problemas y demandas de una organización [13], pero se podría decir que a medida que la tecnología de la nube madura, la habilidad para transferir datos y procesos complejos a entornos de la nube mejora. Esto les permite a las empresas integrar aplicaciones para obtener eficiencia inmediata, al mismo tiempo que se disfruta de una mejor

gestión de la información. De hecho, cabe destacar las herramientas que los proveedores ofrecen para realizar de una manera no tan brusca la integración y la utilización de sus servicios en la nube.

Las nubes híbridas son atractivas porque a menudo no es factible que las empresas muevan el 100 % de sus operaciones de datos en nube [35], por temas de regulaciones, leyes y políticas.

Una nube híbrida puede ser una opción ideal para las empresas que ya hayan implementado una infraestructura de nube privada. Aprovechar opciones de plataforma como servicio (PaaS) para interactuar con la nube pública lo facilita. Las organizaciones que deseen asegurar mejor sus datos, sin perder la potencia de una nube pública, pueden beneficiarse desplazando información confidencial a una nube privada e interactuando con los recursos públicos.

A medida que más y más personas y organizaciones almacenan e integran sus datos en la nube, crecen las preocupaciones sobre la computación en la nube y la privacidad de los datos, que han afectado en gran medida su adopción [36], un tema que hay que tomar en cuenta en estas tecnologías, junto con el servicio en la nube y los modelos de implementación, los cuales introducen riesgos y vulnerabilidades de seguridad específicos de la nube; si bien las tecnologías introducen una elasticidad rápida y una gestión óptima de los recursos, también introducen ciertos riesgos en el sistema [37].

Por ejemplo, la característica de autoservicio bajo demanda se proporciona a los clientes mediante interfaces de gestión basadas en web que provoca una probabilidad de acceso no autorizado a la interfaz de gestión superior a la de los sistemas tradicionales [37].

Por esta razón, hay que medir el riesgo de acuerdo con la necesidad de algún servicio en particular de la nube; es claro que el CIO, en conjunto con las organizaciones, debe evaluar los temas de seguridad a la hora de contemplar, interactuar e implementar la nube. Pero en la forma en que avanza esa interacción con las empresas, la seguridad de estas plataformas ha permitido crear esquemas novedosos que pueden proteger la privacidad de los datos, en especial para las imágenes necesarias para abordar esa creciente preocupación, de acuerdo con el autor [36].

Las aplicaciones y sistemas existentes altamente integrados tal vez deberían permanecer en *on-premise*; aquellas aplicaciones heredadas que tienen mucha inte-

gración con otros sistemas internos, y las necesidades de transferencia de datos entre varios sistemas en diferentes ubicaciones, son las más adecuadas para los sistemas de bases de datos locales [35].

Existen herramientas maduras para la integración de datos dentro de proveedores de nube pública o plataformas de nube privada, por ejemplo, dentro de AWS o un centro de datos OpenStack.

CONCLUSIONES

Las empresas más jóvenes o pequeñas pueden aprovechar los entornos nativos para la nube, los cuales ofrecen estructuras con precios eficientes, escalabilidad infinita y no requieren capital inicial en *hardware*. Para las empresas intermedias o medianas, los enfoques híbridos colman la laguna entre las arquitecturas locales heredadas y la nube.

Una arquitectura sólida de nube híbrida les permitirá a las empresas desarrollar sistemas de datos más adaptables tanto en el ámbito interno (administración) como en el externo (clientes/usuarios), así como interactuar directamente con los servicios virtuales o tecnológicos existentes.

En la actualidad, hay una gran acogida en las grandes empresas de los servicios de la nube; el modelo de nube híbrida brinda las mejores características de la nube pública y de la nube privada para el beneficio de muchas organizaciones a las que, por cuestiones de políticas, regulaciones y diplomacias, no se les permitía hacer uso de la mayoría de las funcionalidades de la nube a plenitud. Esto unido con la integración de datos, que por la gran cantidad y variedad está pensada para todas aquellas compañías que necesiten los datos para la toma de decisiones, y resultaría útil interactuar, transformar los datos que provienen de diferentes fuentes para ofrecer un valor agregado al negocio como para el usuario, logrando así una ventaja competitiva.

El uso de infraestructura como servicios se ha incrementado y los proveedores de nube han respondido rápidamente con asociaciones, expansiones de servicios e integraciones de una manera sencilla. Sin embargo, hay un punto importante para discutir y es el reto de garantizar la seguridad de la información en la nube en su totalidad; de hecho, es una de las principales preocupaciones de las organizaciones, razón por la cual muchas empresas no implementan la nube.

Y es que aun cuando el operador asegure ofrecer los más elevados niveles de discreción y seguridad, y los datos estén protegidos por contrato, estos dejan de estar en manos de la empresa, por lo que las fugas de datos, los ataques de *hackers* y otros sucesos pueden poner en peligro la confidencialidad de la información.

TRABAJOS FUTUROS

La integración de datos empresariales es un entorno de alto contacto, requiriendo que personal altamente capacitado participe en la creación de los flujos de trabajo correctos, diseñando las configuraciones acordes [38], por lo que sería importante tener mejores herramientas y sistemas de integración de datos para el futuro, los cuales tienen que ser mucho más fáciles de utilizar y requerir mucho menos interacción humana, además de lograr determinar cómo la nube híbrida aporta para la creación de nuevos términos y tecnologías, entre estos *Edge computing* y *Fog computing*, como temas para futuras investigaciones.

Otro tema interesante para tratar en el futuro sería cómo la IaaS brinda la posibilidad de utilizar el principio de infraestructura como código (IaC) [39]. Esto les permite a las empresas el beneficio de gestionar y preparar la infraestructura con código en lugar de realizarlo mediante procesos manuales [40], facilitando la escritura de aplicaciones y la creación de entornos en los que se ejecutan de una manera ágil y automatizada, llevando al *hardware* a ser virtualizado y controlado por *software*, además de reducir el espacio, el tiempo y los esfuerzos entre el desarrollo de *software* y las operaciones (DevOps) [39].

REFERENCIAS

- Ali, M., Khan, S. U., & Vasilakos, A. V. (2015). Security in cloud computing: opportunities and challenges. *Inf. Sci. (Ny)*, 305, 357-383. doi: 10.1016/j.ins.2015.01.025.
- Artac, M., Borovssak, Di Nitto, E., Guerriero, M., & Tamburri, D. A. (2017). DevOps: Introducing infrastructure-as-code. *Proc. - 2017 IEEE/ACM 39th Int. Conf. Softw. Eng. Companion, ICSE-C. May*, 497-498. doi: 10.1109/ICSE-C.2017.162.
- AWS Marketplace: Data Integration Cloud Service. <https://aws.amazon.com/marketplace/pp/Xplenty-Data-Integration-Cloud-Service/B00DIHN1X0>.
- Chen, Y., Xu, C., Liu, Q., Rao, W., Min, H. & Su, G. (2016). Octopus: hybrid big data integration engine. *Proc. - IEEE 7th Int. Conf. Cloud Comput. Technol. Sci. CloudCom 2015*, 462-466. doi: 10.1109/CloudCom.2015.111.
- Comparación entre bases de datos relacionales y no relacionales | by César Cid Robles | 200 Response | Medium. <https://medium.com/200-response/comparación-bases-de-datos-relacionales-y-no-relacionales-424dd83dd693>.
- Data storage: dispositivos de almacenamiento de datos. <https://www.redhat.com/es/topics/data-storage>.
- Dato. Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/Dato>.
- Denodo Platform | Denodo. <https://www.denodo.com/es/plataforma-denodo/introduccion-arquitectura>.
- Dittrich, J. & Quiané-Ruiz, J. A. (2012). Efficient big data processing in Hadoop MapReduce. *Proc. VLDB Endow.*, 5(12), 2014-2015. doi: 10.14778/2367502.2367562.
- Growth, H. C. (2019). Enterprise Application Requirements to Drive.
- Hamidian Fernández, B. F. & Ospino Sumoza, G. R. (2015). ¿Por qué los sistemas de información son esenciales? *Anuario*, 38(2011), 161-183 [online]. Available: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/derecho/revista/idc38/art07.pdf>.
- Huang, X., & Du, X. (2015). Achieving data privacy on hybrid cloud. *Secur. Commun. Networks*, 8(18), 3771-3781. doi: 10.1002/sec.1298.
- Información general sobre AWS Outposts. <https://aws.amazon.com/es/outposts/>.
- Jadeja, Y. & Modi, K. (2012). Cloud computing: concepts, architecture and challenges. *2012 Int. Conf. Comput. Electron. Electr. Technol. ICCEET 2012*, pp. 877-880. doi 10.1109/ICCEET.2012.6203873.
- Las 10 mejores herramientas de integración de datos. <https://blogs.imf-formacion.com/blog/tecnologia/10-herramientas-integracion-datos-201907/>.
- Leoncio, J., Guerra, G., Armando, F., & Pérez, F. (2017). Lo mejor de *cloud computing*, 50-55 [online]. Available: <http://revistas.uigv.edu.pe/index.php/perspectiva/article/view/188/194>.
- Li, Y., & Manoharan, S. (2020). A performance comparison of SQL and NoSQL databases. *IEEE Pacific RIM Conf. Commun. Comput. Signal Process. - Proc. November*, 15-19, 2013. doi 10.1109/PACRIM.2013.6625441.
- M. Armbrust et al., "SparkSQLSigmod2015."
- Mell, P. & Grance, T. (2011). The NIST-National Institute of Standards and Technology. Definition of Cloud Computing. *NIST Spec. Publ. 800-145*, p. 7.
- Mohan, D., Smith, A., & Liu, R. (2020). IDC Market Scape: Worldwide Public Cloud Infrastructure as a Service 2020 Vendor Assessment. September, 1-9.
- Nube híbrida es la última tendencia empresarial para 2016. <https://www.ticportal.es/noticias/cloud-computing/nube-hibrida-tendencia-empresarial>.
- Nube híbrida: lo mejor de todos los mundos. <https://www.ibm.com/downloads/cas/ALVMO8PG>.
- Nutanix Enterprise Cloud Index. <https://www.nutanix.com/uk/enterprise-cloud-index/>.
- Pentaho Cloud Deployment with Microsoft Azure. <https://blog.bizcubed.com.au/pentaho-cloud-deployment-with-microsoft-azure>.
- ¿Qué es AWS? <https://aws.amazon.com/es/what-is-aws/>.
- ¿Qué es la infraestructura como código (IaC)? <https://www.redhat.com/es/topics/automation/what-is-infrastructure-as-code-iac>.
- ¿Qué es una nube híbrida? <https://www.redhat.com/es/topics/cloud-computing/what-is-hybrid-cloud> (accessed Nov. 16, 2020).
- ¿Qué son las *multiclouds*? <https://www.redhat.com/es/topics/cloud-computing/what-is-multicloud>.
- Ramaswamy, H. G. H. D. R. (2015). Journal of Enterprise Information Management Understanding determinants of cloud

- computing adoption using an integrated TAM-TOE model. *J. Enterp. Inf. Manag.*, 28(1), 107-130.
- Rodríguez, N., Murazzo, M., Chávez, S. & Guevara, M. (2017). *Arquitectura de cloud computing híbrida basada en tecnología open source*, p. 10.
- Stonebraker, M., & Ilyas, I. F. (2018). Data Integration: The Current Status and the Way Forward. *IEEE Data Eng. Bull.*, 41(2), 7.
- Suhanto, A., Hidayanto, A. N., Naisuty, M., Bowo, W. A., Ayuning Budi, N. F., & Phusavat, K. (2019). Hybrid cloud data integration critical success factors: a case study at PT Pos Indonesia. *Proc. 2019 4th Int. Conf. Informatics Comput. ICIC 2019*. doi: 10.1109/ICIC47613.2019.8985748.
- Trends, D. (2018). "iIII <Iƚ". November.
- Tsai, W. T., Sun, X., & Balasooriya, J. (2010). Service-oriented cloud computing architecture. *ITNG2010 - 7th Int. Conf. Inf. Technol. New Gener.*, 684-689. doi 10.1109/ITNG.2010.214.
- Ventajas de la *cloud data integration*. <https://blog.powerdata.es/el-valor-de-la-gestion-de-datos/bid/405049/Ventajas-de-la-cloud-data-integration>.
- Wang, L. et al. (2010). Cloud computing: a perspective study. *New Gener. Comput.*, 28(2), 137-146. doi: 10.1007/s00354-008-0081-5.
- Yoo, S. K. & Kim, B. Y. (2018). A decision-making model for adopting a cloud computing system. *Sustain*, 10(8). doi: 10.3390/su10082952.
- Zissis, D., & Lekkas, D. (2012). Addressing cloud computing security issues. *Futur. Gener. Comput. Syst.*, 28 (3), 583-592. doi 10.1016/j.future.2010.12.006.
- What is Data Integration | Google Cloud | Google Cloud. <https://cloud.google.com/learn/what-is-data-integration>.

Lineamientos metodológicos para evaluar el impacto de proyectos de perforación exploratoria de petróleo crudo sobre la calidad del aire

Methodological guidelines to evaluate the impact of crude oil exploratory drilling projects on air quality

SEIDEL MANUELA PLAZAS RIAÑO¹ - HENRY TORRES POSADA²

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

2. Magíster en Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional.

seidel.plazas@mail.escuelaing.edu.co - henrytorrespo@yahoo.com

Recibido: 24/10/2020 Aceptado: 10/11/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se propone una metodología que consistió en recopilar la información existente y con esta caracterizar las fuentes de emisión para encontrar la concentración de fondo; posteriormente, se hizo un inventario de emisiones que sirvió para hacer una modelación de dispersión de contaminantes, cuyos resultados se compararon con los límites máximos permitidos por las normas, y luego se graficaron isoplethas de concentración para delimitar geográficamente el área en la cual se sobrepasaron los límites permitidos, es decir, el área de influencia. Para formular la metodología se hizo la revisión bibliográfica de los aspectos relacionados con la evaluación de impactos ambientales (Adelle & Weiland, 2012; Calderón, Martínez Prad & Arrieta Loyo, 2013; Kozová, Drdoš, Pavličková & Úradníček, 1996; Morgan, 2012; Retief, 2010) y del componente atmosférico (García Leyton, 2004; Ideam, 2002; Khaniabadi y otros, 2018; Kumar, Mulheron, Fisher & Harrison, 2012; Kumar, Mulheron & Som, 2012).

Para identificar elementos relevantes en la evaluación de impactos en proyectos del sector hidrocarburos se hizo un análisis detallado de estudios de impacto ambiental aprobados por la Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA), de tres proyectos de perforación exploratoria en Colombia a los que se les otorgó la licencia ambiental.

Esto se realizó con el fin de conocer el proceso de evaluación de impactos en el componente aire que actualmente se está implementando en Colombia.

Adicionalmente, se consultaron la norma de calidad del aire (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017) y los términos de referencia publicados por la ANLA (ANLA, 2010).

Así las cosas, lo encontrado en la revisión bibliográfica sugiere que la modelación de dispersión de contaminantes es un instrumento tecnológico fundamental para delimitar el área de influencia directa (AID) del componente aire, motivo por el cual se hizo necesario crear una metodología que sirviera para incluir los modelos dentro de los estudios de impacto ambiental (EIA).

Palabras claves: área de influencia, estudio de impacto ambiental, calidad del aire, modelos de dispersión de contaminantes.

Abstract

A methodology is proposed in this article, consisting of gathering the existing data, characterizing the emission sources with it and finding the background concentration. Thereafter, an inventory of emissions which served to perform a pollutants dispersion modeling was made. The results were compared to the maximum limits permitted by the

regulations and concentration isopleths were charted to geographically delimit the area in which the permitted limits were exceeded, that is, the area of influence.

To formulate the methodology, a literature review regarding Environmental impact assessment aspects was carried out (Adelle & Weiland, 2012; Calderón, Martínez Prad & Arrieta Loyo, 2013; Kozová, Drdoš, Pavličková & Úradníček, 1996; Morgan, 2012; Retief, 2010); and regarding the atmospheric component (García Leyton, 2004; Ideam, 2002; Khaniabadi et al., 2018; Kumar, Mulheron, Fisher & Harrison, 2012; Kumar, Mulheron & Som, 2012).

To identify the relevant features in the assessment of impacts on the hydrocarbons sector, a detailed analysis of Environmental impact studies, approved by the National Environmental Licensing Agency (ANLA in its Spanish acronym), of three exploratory drilling projects in Colombia that were granted the Environmental License, was done. All this to know the impact assessment process in the air component that is currently being implemented in Colombia.

The air quality regulation (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017), and the published reference terms by the ANLA (ANLA 2010) were consulted.

The literature review findings suggest that pollutant dispersion modeling is a fundamental technological tool to delimit the direct area of influence of the air component. For this reason, it was necessary to create a methodology that can be useful to include the models within the environmental impact studies.

Keywords: influence area, environmental impact study, air quality, pollutant dispersion models.

INTRODUCCIÓN

La licencia ambiental es el instrumento jurídico mediante el cual la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA) autoriza la ejecución de proyectos sujetos a licenciamiento. Antes de la autorización se debe radicar ante la ANLA un estudio de impacto ambiental (EIA) del proyecto, de acuerdo con la reglamentación publicada por la ANLA (Documentos para licencia ambiental: Reglamentación). Con el EIA se busca identificar, describir, evaluar y controlar los efectos que las acciones del proyecto tengan sobre el medio y sus componentes (ANLA, 2018).

La ANLA cuenta con unos documentos guía, llamados términos de referencia; en el caso de proyectos para el área de perforación exploratoria se conocen con el nombre M-M-INA-01 (ANLA, 2010), que sirven para hacer una evaluación ambiental con el fin de determinar el área de influencia del proyecto por componentes.

Sin embargo, los criterios de aplicación pueden ser variados, por cuanto están sujetos a la interpretación del concepto “área de influencia” del proyecto. Según el Banco Mundial, el área de influencia es aquella que probablemente se verá afectada por el proyecto (Banco

Mundial, 2011). Por otro lado, en los términos de referencia no se sugiere ninguna metodología específica para definir esta área de influencia.

En el año 2018 la ANLA publicó la *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia* (ANLA, 2018), documento en el que se sugiere una metodología para definir las AI por componentes; no obstante, la propuesta para el componente atmosférico es insuficiente, ya que no es claro cómo debe definirse esta área de influencia.

El objeto de este trabajo es proponer un conjunto de elementos técnicos para evaluar los impactos en la calidad del aire, mediante la determinación del área de influencia del componente atmosférico, generados por las actividades de proyectos de perforación exploratoria, basados en una evaluación retrospectiva de tres proyectos licenciados en Colombia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de obtener una visión amplia de la evaluación ambiental se hizo una revisión bibliográfica sobre los conceptos claves concernientes a la evaluación ambiental del componente atmosférico, así:

Concepto metodologías de evaluación (Ribeiro de Almeida, y otros, 2008) y metodologías existentes para evaluación de impactos a escala general, teniendo en cuenta las más usadas en Colombia: listas (Canter & Sadler, 1997), matrices (Ribeiro de Almeida y otros, 2008, p. 73), redes de interacción (Viloria Villegas, 2015), sistemas cartográficos (Arce Ruiz, Ortega Pérez & Otero Pastor, 2010; Viloria Villegas, 2015, p. 40), indicadores o índices (Canter & Sadler, 1997), entre otros.

En cuanto a aspectos técnicos y legales, se consultó en la reglamentación de la ANLA lo referente a formulación de estudios de impacto ambiental para proyectos de perforación exploratoria (ANLA, 2010). En Colombia, evaluar el impacto equivale a definir el área de influencia sobre los aspectos y componentes de una región, motivo por el cual se hizo una revisión bibliográfica sobre el concepto “área de influencia” en los contextos nacional (ANLA, 2018) e internacional (Banco Mundial, 2011; Ministerio de Energía y Minas, 2013; Ministerio del Medio Ambiente, 2014).

Adicionalmente, se revisaron varios conceptos claves en la evaluación ambiental del componente atmosférico, como los siguientes:

- **Monitoreo de calidad del aire.** La revisión bibliográfica sobre este tema se hizo en lo concerniente a aspectos técnicos publicados por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), dada su competencia en la acreditación de laboratorios ambientales (Sistema de Información Ambiental de Colombia, s.f.).
- **Inventario de emisiones.** Este concepto se investigó internacionalmente en la documentación publicada por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 1999), y en el ámbito nacional en la documentación publicada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (Gaitán Varón & Cárdenas Ruiz, 2017).
- **Modelos de dispersión de contaminantes.** La revisión bibliográfica sobre este tema se realizó en la documentación publicada por la EPA (Convenio Interadministrativo 0133-2015 entre el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena (EPA) y la Universidad de Cartagena, 2015; EPA, 2016).

A continuación se hizo el estudio de caso de tres proyectos de perforación exploratoria, cuyos expedientes son de uso público y reposan en las instalaciones de la ANLA, los cuales se consultaron con el objeto de realizar este ejercicio académico.

Los Proyectos de Perforación Exploratoria APE analizados son Área de Perforación Exploratoria APE Canelo (Consultoría y Medio Ambiente C&MA Ltda., 2010) en el departamento de Putumayo, Área de Perforación Exploratoria (APE) Santana en el departamento del Magdalena (Auditoría Ambiental Ltda., 2010) y Área de Perforación Exploratoria (APE) Tamarín, en el departamento de Caquetá (Geocol Consultores S.A., 2010).

La metodología aplicada para determinar el área de influencia del componente atmosférico para estos proyectos es la que se resume a continuación:

Inicialmente, se determinaron las fuentes de emisión de acuerdo con las actividades propias de un proyecto APE, para lo cual se hicieron las siguientes suposiciones: se construyen una sola vía de acceso y una sola locación, y se perfora un solo pozo en cada uno de los proyectos. En los casos en los que no se encontró información sobre localización, longitud y tipo de vía por construir o adecuar, se asumió la construcción de una vía nueva tipo 5: carretable transitable en tiempo seco, para el

tráfico vehicular, animal o de personas, de una longitud aproximada de 5 km a partir de una vía existente. La vía se ubicó de manera aproximada en ArcGIS, teniendo en cuenta la localización del proyecto y las vías existentes. Las demás especificaciones de la construcción de la vía se tomaron de los EIA respectivos.

Se recopiló la información disponible en los EIA referente a monitoreo de calidad del aire, con la cual se efectuó un análisis estadístico y se determinó la concentración de fondo. Luego se hizo un inventario de emisiones, el cual sirve para caracterizar y consolidar las emisiones mediante sumatoria, de acuerdo con la clase de fuente y el tipo y cantidad de contaminantes emitidos, en un área geográfica y en un intervalo de tiempo determinados (EPA, 1999), y se realizó un estudio de calidad del aire, para después aplicar un modelo de dispersión de contaminantes, mediante el cual se estimó la concentración de los contaminantes después de ser emitidos, lo que permitió definir el área en la que se ubicaron dichos contaminantes.

Una vez conocido esto, se hizo una comparación entre las concentraciones de contaminantes arrojadas por el modelo y los límites máximos permitidos por las normas, con el fin de establecer el área en la cual los contaminantes sobrepasaron los límites permitidos; es decir, se logró determinar el área de influencia del componente atmosférico.

Para hacer el inventario de emisiones se emplearon los factores de emisión de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (US-EPA) (EPA, 1996) para las fuentes: generadores de energía eléctrica y traslado de crudo, y del modelo RoadConstructionEmissions-ModelVer9 (Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento - Sac Metro, 2018) para la construcción de la vía y la locación.

El modelo de dispersión de contaminantes utilizado fue el Screen3, desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA, 2013). Este modelo unidimensional predice, mediante ecuaciones matemáticas, las concentraciones máximas a nivel del suelo y la distancia desde el punto de descarga; es un modelo gaussiano que asume que el contaminante emitido es transportado por el viento, por movimientos de aire laterales y verticales, y por turbulencia (EPA, 2000).

Los resultados de la modelación se modificaron a un periodo de 24 horas, usando el factor multiplicador recomendado por la EPA (EPA, 1992). Estos resulta-

dos se grafican en forma de isopletas de concentración por medio del *software* ArcGIS 10.5 2016, del siguiente modo:

- Teniendo en cuenta la concentración de fondo, se ubican los puntos de los receptores en el mapa, creando un *shapefile* tipo punto.
- Al *shapefile* creado se le asocia una tabla que contiene las coordenadas de cada punto, a cada uno de los cuales se le asigna el valor de concentración arrojado por el modelo en la tabla.
- Se agrega el *shapefile* a las capas del ArcMap.
- Haciendo uso de la herramienta de interpolación “Kriging” que se encuentra en el ArcToolbox, se genera una superficie estimada de distribución de los contaminantes. Esto se hace para cada una de las fuentes.

Los resultados de la modelación se compararon con la norma de calidad del aire (Resolución 2245 de 2017) y con las guías de calidad del aire de la OMS. Tomando en cuenta las isopletas de concentración y las concentraciones máximas permitidas por la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2005), se limitó geográficamente el área dentro de la cual se exceden dichas concentraciones máximas para cada una de las fuentes, mediante el *software* ArcGIS, así:

- Se crean polígonos para delimitar dichas áreas; para esto, en el ArcCatálogo se crea un *shapefile* tipo polígono.
- Se agrega el *shapefile* creado a las capas del ArcMap.
- Se activa el editor y se inicia la edición al seleccionar la capa recién agregada.
- Se abre la ventana “Create features” y dentro de esta, en la sección “ConstructionTools”, se selecciona “Polygon”.
- Con el cursor se dibuja el polígono sobre la capa creada con la herramienta “Kriging”, capa que muestra una gama de colores de acuerdo con la concentración de contaminantes (a mayor concentración, mayor intensidad del color); el polígono se dibuja sobre la línea de color correspondiente a la concentración de contaminantes máxima permitida.

Luego se unen los polígonos creados para cada una de las fuentes, lo que da como resultado un solo polígono, así:

- En la barra “Herramientas” se selecciona el menú desplegable “Geoprocessing” y dentro de este se selecciona la herramienta “Merge”.
- Se abre una ventana, en la cual se seleccionan las capas de polígonos que se pretenden unir y se hace clic en OK, lo que genera una nueva capa con un solo polígono; el área dentro de este polígono es el área de influencia del proyecto en el componente atmosférico.

RESULTADOS

A renglón seguido, se muestran los resultados para el proyecto APE Canelo:

La información encontrada en los expedientes solicitados a la ANLA reveló que en ningún caso se utilizaron modelos de dispersión de contaminantes para definir el área de influencia (AI), mientras que en la evaluación ambiental, en todos los casos, la contaminación atmosférica se calificó como poco significativa, por ende, no se definió ningún AI para el componente atmosférico.

Las fuentes de emisión evaluadas son las siguientes:

- Construcción de vía nueva.
- Construcción de locación.
- Funcionamiento de generadores de energía eléctrica para operación del taladro de perforación.
- Funcionamiento de generadores de energía eléctrica para operación del campamento.
- Funcionamiento de generador de energía eléctrica para operación de la bomba de extracción.
- Traslado del crudo en camioneta desde el pozo hasta el centro de acopio.
- Traslado del crudo en carrotanque desde el centro de acopio hasta la locación.

Con la información registrada en el estudio de impacto ambiental referente al monitoreo de calidad del aire (18 días), se determinó la concentración de fondo (percentil 75) de la estación, la cual reveló la concentración de contaminantes más alta. La concentración de fondo para el proyecto Canelo es $36,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las emisiones se estimaron para dos escenarios posibles: un escenario en el que se aplican medidas de mitigación de emisiones para las fuentes de área y móviles (con MM), y otro escenario en el que no se aplica ningún tipo de medida de mitigación (sin MM).

Los resultados se muestran en las siguientes figuras:

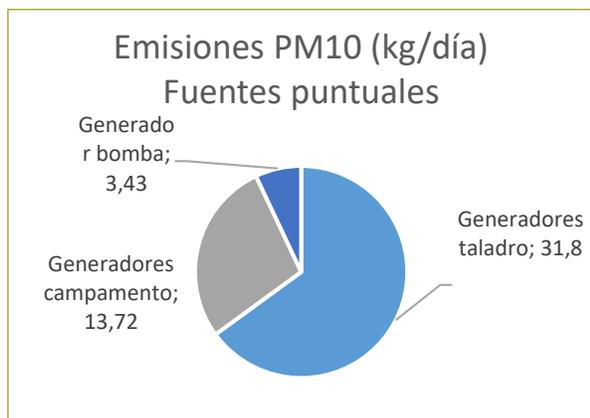


Figura 1. Emisiones PM₁₀ (kg/día). Fuentes puntuales.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior (figura 1) se puede apreciar que las emisiones más grandes fueron las producidas por los generadores de energía eléctrica; en el caso de los generadores para el funcionamiento del taladro de perforación, superan los 30 kg/día.

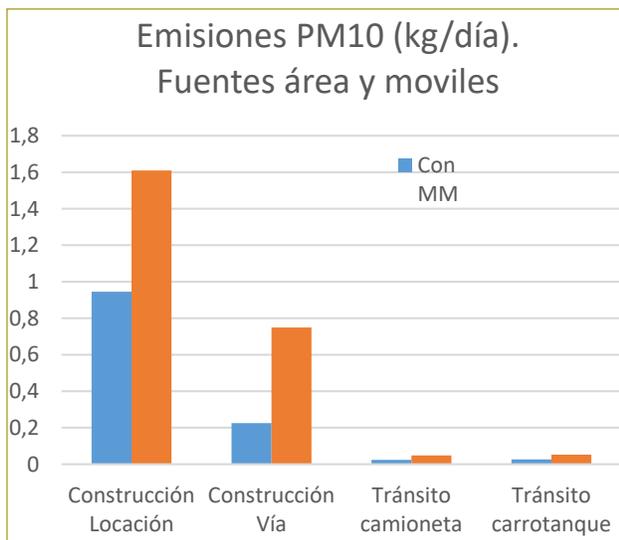


Figura 2. Emisiones PM₁₀ (kg/día). Fuentes área y móviles.
Fuente: Elaboración propia.

En la figura anterior (figura 2) se puede ver que el traslado del crudo genera pocas emisiones, en comparación con las emisiones generadas por la construcción de la locación y la vía; sin embargo, el traslado del crudo se hará por un periodo de seis meses, mientras que la construcción de la locación y la vía se estima que durará un máximo de dos meses.

En la figura 2 se aprecian las fuentes que generan más emisiones en la construcción de la vía, emisiones que dependen de las características propias de cada vía: longitud, ancho de carril, tipo de suelo, profundidad de excavación, dimensiones de la base y subbase, entre otros.

A continuación (tabla 1) se muestran las fuentes área y móviles que aparecen en la figura 2; en esta se puede ver que las medidas de mitigación redujeron en un 2,11 % las emisiones de PM₁₀, valor que no es significativo, ya que las mayores fuentes de emisión son los generadores de energía que operan el taladro de perforación.

Tabla 1
Emisiones con MM y sin MM

| Fuentes de emisión | Emisión de partículas PM ₁₀ (kg/día) | | |
|--------------------------|---|----------|-------------|
| | Con MM | Sin MM | % reducción |
| Construcción de locación | 0,945 | 1,61 | 0,41 |
| Construcción de vía | 0,225 | 0,749 | 0,70 |
| Tránsito de camioneta | 0,024311 | 0,048622 | 0,50 |
| Tránsito de carrotanque | 0,026336 | 0,052674 | 0,50 |
| Total | | | 2,11 |

Fuente: Elaboración propia.

Posterior al inventario de emisiones, se modeló la dispersión de contaminantes; el modelo Screen3 arroja los resultados en un archivo de información de salida (Example.Out), el cual se puede visualizar con el *block* de notas de Microsoft Windows.

Los receptores se localizaron en las distancias que se muestran en la tabla anterior (tabla 2). En esta se pueden apreciar las concentraciones de contaminantes que presentó el modelo para cada uno de los puntos, tanto para las fuentes con medidas de mitigación como para las fuentes sin medidas de mitigación.

El modelo arrojó que las concentraciones más altas son las más cercanas a la fuente, pues a medida que la distancia a la fuente aumenta las concentraciones disminuyen (tabla 2).

Los generadores de energía eléctrica para el funcionamiento del taladro producen la mayor cantidad de emisiones (figura 1); en consecuencia, en la figura siguiente (figura 3) se puede apreciar que estos genera-

Tabla 2
Resultados de modelación de fuentes área y volumen

| Ubicación de receptores a partir de la fuente (m) | PM ₁₀ - 24 h (µg/m ³) | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 20 | 40 | 60 | 80 | 120 | 180 | 240 | 480 | 560 | 960 | 1200 | 2000 |
| Construcción de locación sin MM | 761,5 | 387,0 | 267,7 | 205,4 | 140,0 | 94,5 | 72,2 | 42,6 | 39,1 | 32,0 | 30,5 | 28,5 |
| Construcción de locación con MM | 449,1 | 239,4 | 169,0 | 131,8 | 92,9 | 66,1 | 53,2 | 36,0 | 34,0 | 29,9 | 29,0 | 27,8 |
| Construcción de vía sin MM | 382,4 | 203,9 | 148,5 | 119,8 | 89,6 | 68,4 | 58,0 | 44,1 | 42,5 | 39,2 | 38,5 | 37,5 |
| Construcción de vía con MM | 136,1 | 87,4 | 70,7 | 61,7 | 52,4 | 46,0 | 43,0 | 38,9 | 38,4 | 37,5 | 37,3 | 37,0 |
| Tránsito de carrotanque sin MM | 51,6 | 38,5 | 34,6 | 32,6 | 30,6 | 29,1 | 28,3 | 27,3 | 27,2 | 27,0 | 26,9 | 26,9 |
| Tránsito de carrotanque con MM | 39,2 | 32,7 | 30,7 | 29,7 | 28,7 | 27,9 | 27,6 | 27,1 | 27,0 | 26,9 | 26,9 | 26,8 |
| Tránsito de camioneta sin MM | 49,7 | 37,6 | 34,0 | 32,2 | 30,3 | 28,9 | 28,2 | 27,3 | 27,2 | 27,0 | 26,9 | 26,9 |
| Tránsito de camioneta con MM | 38,2 | 32,2 | 30,4 | 29,5 | 28,5 | 27,9 | 27,5 | 27,1 | 27,0 | 26,9 | 26,9 | 26,8 |

Fuente: Elaboración propia.

dores presentan concentraciones de contaminantes más altas, ya que son de mayor capacidad que los generadores para el funcionamiento del campamento y para la bomba de extracción.

la Salud, 2018). Esta área es definida como el área de influencia.

A continuación (figuras 4 y 5), se muestran las isopletras de concentración para la construcción de la vía:

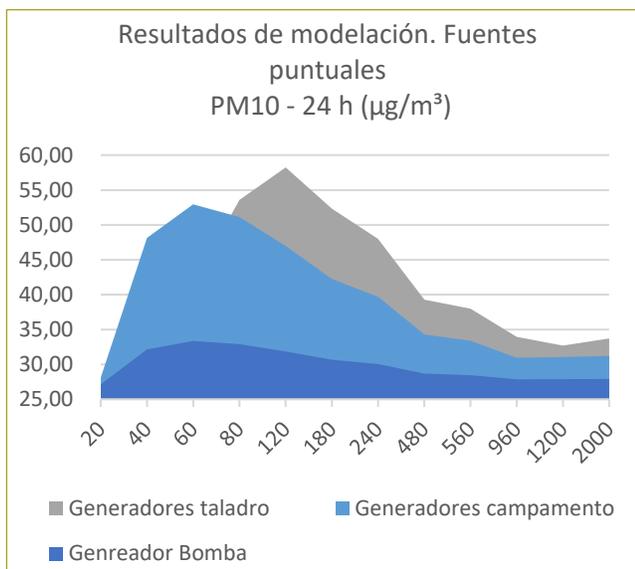


Figura 3. Modelación APE Canelo, Santa Ana y Tamarín PM₁₀ - 24 h (µg/m³). Fuentes puntuales.

Fuente: Elaboración propia.

Las isopletras de concentración creadas en ArcGIS limitan (en color verde) el área en la que los impactos sobrepasan las concentraciones permitidas por la norma; de conformidad con lo recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), el máximo permitido es de 50 µg/m³ (Organización Mundial de

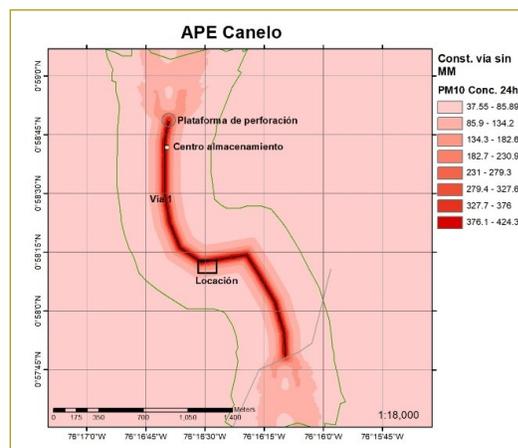


Figura 4. Dispersión PM₁₀ construcción vía APE Canelo sin MM.

Fuente: Elaboración propia.

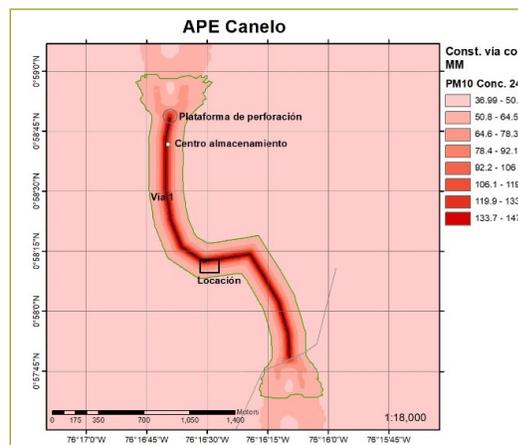


Figura 5. Dispersión PM₁₀ construcción vía APE Canelo con MM.

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se limitó el área de influencia total del proyecto, teniendo en cuenta las isopletas de concentración y las concentraciones máximas permitidas por la OMS; para esto se hizo una superposición de las capas de las áreas de influencia de cada fuente y se generó una sola área de influencia definitiva para los dos escenarios contemplados: con medidas de mitigación y sin medidas de mitigación.

Al aplicar las medidas de mitigación para el total del AID, esta se reduce en un 59,53 %.

El AID del proyecto licenciado por la ANLA es de 2114,18 ha; según el estudio realizado, el AID CMM para el componente atmosférico es de 156,15 ha, que corresponde al 7,05 % del área licenciada; el AID SMM para el componente atmosférico es de 385,88 ha, que corresponde al 17,43 % del área licenciada.

CONCLUSIONES

La modelación de dispersión de contaminantes es el mejor método para cuantificar los impactos en la atmósfera de manera razonable; en consecuencia, se requiere hacer una modelación de dispersión de contaminantes para delimitar el área de influencia del componente aire.

La evaluación de impactos del componente atmosférico en Colombia puede mejorarse, haciendo uso de herramientas tecnológicas y científicas como los modelos de dispersión de contaminantes y sistemas de información geográfica licenciados (ArcGis) y de código abierto (Quantum GIS).

De acuerdo con las modelaciones hechas, en todos los casos las medidas de mitigación podrían reducir las emisiones en la construcción de infraestructura.

Para la modelación se pueden utilizar modelos unidimensionales, como Screen3 o similares, o se pueden usar modelos refinados.

La propuesta metodológica sirve como guía, además de que aproxima de una manera más acertada la evaluación de impactos para determinar el AID del componente atmosférico.

REFERENCIAS

Adelle, C., & Weiland, S. (2012). Policy assessment: the state of the art. *Impact assessment and project appraisal*, 30(1), 25-33. Alcaldía de Bogotá (n.d.). Retrieved from Documentos para licencia ambiental: reglamentación: <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=21557>.

ANLA (2010). *Términos de referencia del sector de hidrocarburos, estudio de impacto ambiental, proyectos de explotación de hidrocarburos*. Bogotá, D.C.: Autoridad Nacional de Licencias Ambientales.

ANLA (2018). *Guía para la definición, identificación y delimitación del área de influencia*. Bogotá, D.C.

ANLA (2018). *Metodología general para la elaboración y presentación de estudios ambientales*. Bogotá, D.C.

Arce Ruiz, R. M., Ortega Pérez, E., & Otero Pastor, I. (2010). Los sistemas de información geográfica aplicados a la evaluación ambiental en la planificación de las infraestructuras de transporte. *Ciudad y Territorio. Estudios Territoriales*, 165-166(2), 513-528.

Auditoría Ambiental Ltda. (2010). *Estudio de impacto ambiental para el área de interés de perforación exploratoria Santa Ana*. Bogotá.

Banco Mundial (2011). Anexo A. Definitions. In *Operational Manual OP 4.01 - Evaluación ambiental*. Retrieved from <https://ppfddocuments.azureedge.net/3901.pdf>.

Canter, L., & Sadler, B. (1997). *A Tool Kit for Effective EIA Practice: Review of Methods and Perspectives on Their Application: A Supplementary Report of the International Study of the Effectiveness of Environmental Assessment*. Environmental and Ground Water Institute, University of Oklahoma.

Consultoría y Medio Ambiente (C&MA Ltda.) (2010). *Estudio de impacto ambiental. Área de interés exploratorio Canelo*. Puerto Guzmán.

Convenio Interadministrativo 0133-2015 entre el Establecimiento Público Ambiental de Cartagena (EPA) y la Universidad de Cartagena (2015). *Diseño del sistema inteligente de monitoreo de la calidad ambiental del distrito de Cartagena*. Cartagena de Indias. Distrito Metropolitano de Gestión de la Calidad del Aire de Sacramento - Sac Metro (2018). Road Construction Emission Model (RCEM). Sacramento, EE.UU.

EPA (1992). *Screening Procedures for Estimating the Air Quality Impact of Stationary Sources. Revised*. Research Triangle Park, NC. EPA (1996). Chapter 3: Stationary Internal Combustion Sources. In *AP-42: Compilation of Air Emission Factors* (5th ed., vol. 1, pp. 3.4-1 - 3.4-11).

EPA (2000). *Guía del usuario del modelo Screen3*. EPA-454/B-95-004. Retrieved from United States Environmental Protection Agency: <https://www3.epa.gov/ttncat1/cica/files/scrn3ds.pdf>.

EPA (2013). *United States Environmental Protection Agency*. Retrieved from <https://www.epa.gov/scram/air-quality-dispersion-modeling-screening-models#screen3>.

EPA (2016, 17 de septiembre). *Air Quality Models*. Retrieved from United States Environmental Protection Agency: <https://www.epa.gov/scram/air-quality-models>.

Gaitán Varón, M., & Cárdenas Ruiz, P. (2017). *Guía para la elaboración de inventarios de emisiones atmosféricas*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia.

García Leyton, L. A. (2004). *Aplicación de análisis multicriterio en la evaluación de impactos ambientales*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Geocol Consultores S.A. (2010). *Estudio de impacto ambiental para la perforación exploratoria del bloque Tamarín*. Bogotá.

Ideam (2002). Anexo 9. *Guía para la utilización de modelos de calidad del aire. Auditoría a la red de monitoreo de calidad del aire de Bogotá*. Bogotá, D.C.

Khaniabadi, Y. O., Sicard, P., Taiwo, A. M., De Marco, A., Esmaeili, S., & Rashidi, R. (2018). Modeling of particulate matter dispersion from a cement plant: Upwind-downwind case study. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(2), 3104-3110.

- Kozová, M., Drdoš, J., Pavličková, K., & Úradníček, Š. (1996). *Environmental impact assessment*. Comenius University in Bratislava. Bratislava.
- Kumar, P., Mulheron, M., & Som, C. (2012). Release of ultrafine particles from three simulated building processes. *Journal of Nanoparticle Research*, 14(4) 771.
- Kumar, P., Mulheron, M., Fisher, B., & Harrison, R. M. (2012). New directions: airborne ultrafine particle dust from building activities – a source in need of quantification. *Atmospheric Environment*, 56, 262-264.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2017). *Resolución 2254 de 01 Nov 2017*. Bogotá D.C.
- Ministerio de Energía y Minas (2013). Resolución ministerial 0547-2013-MEM. Perú. Retrieved from <https://www.gob.pe/institucion/minem/normas-legales/107967-0547-2013-mem>.
- Ministerio del Medio Ambiente (2014). Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental. Santiago de Chile, Chile. Retrieved from <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1053563&f=2014-10-06&p=>.
- Morgan, R. (2012). Environmental impact assessment: the state of the art. *Impact Assessment and Project Appraisal*, 30(1), 5-14.
- Organización Mundial de la Salud (2005). *Guías de calidad del aire de la OMS relativas al material particulado, el ozono, el dióxido de nitrógeno y el dióxido de azufre*.
- Organización Mundial de la Salud (2018). *Organización Mundial de la Salud*. Retrieved from [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
- Retief, F. (2010). The evolution of environmental assessment debates: critical perspectives from South Africa. *Journal of Environmental Assessment Policy and Management*, 12(4), 375-397.
- Ribeiro de Almeida, J., Camero, A., Rodrigues de Aquino, A., Guimaraes Monteiro, A., Harada Penna, M. A., Enrici, M. C., ... Moreira Soares, P. S. (2008). *Análisis y evaluación de impactos ambientales*. Río de Janeiro. Retrieved from <http://livroaberto.ibict.br/handle/1/914>.
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) (n.d.). Retrieved from <http://www.siac.gov.co/monitoreoaire#:~:text=Un%20Sistema%20de%20Vigilancia%20de,las%20actividades%20necesarias%20para%20su>.
- Toro Calderón, J., Martínez Prada, R., & Arrieta Loyo, G. (2013). Métodos de evaluación de impacto ambiental en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 4(2), 43-53.
- Viloria Villegas, M. I. (2015). *Metodología para evaluación de impacto ambiental de proyectos de infraestructura en Colombia*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Propuesta metodológica para determinar los coeficientes de reducción de resistencia Φ_c y Φ_e de la NSR-10 en estructuras de concreto reforzado

Methodological proposal to determine the F_c and F_e resistance reduction coefficients of NSR-10 in reinforced concrete structures

JENNY PAOLA ZULUAGA ARIAS¹ - LUIS ENRIQUE AYCARDI FONSECA² - JUAN JACOBO PINILLA RODRÍGUEZ³

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
2. Master of Science in Civil Engineering de la Universidad Estatal de Nueva York en Buffalo.
3. Magíster en Estructuras de la Universidad Nacional de Colombia.

jenny.zuluaga@mail.escuelaing.edu.co - luis.aycardi-f@escuelaing.edu.co

Recibido: 25/10/2020 Aceptado: 15/11/2020

Disponible en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista
<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se presenta una propuesta metodológica semicuantitativa para determinar los coeficientes de reducción de resistencia Φ_c y Φ_e , establecidos por la NSR-10 para establecer la vulnerabilidad sísmica de una edificación. La NSR-10 utiliza un método cualitativo para la determinación de estos coeficientes que puede llevar a resultados muy diferentes, de acuerdo con los criterios del evaluador. Para esta propuesta se consideran criterios objetivos relativos al sistema estructural, cimentación, información previa, patologías constructivas y no constructivas, entre otros.

En este proyecto se presenta un formato numérico que el evaluador debe diligenciar según lo observado en la visita a la estructura y la información existente disponible. El resultado final es una calificación numérica del sistema estructural que se puede asociar con valores numéricos de los coeficientes Φ_c y Φ_e .

Finalmente, se propone una variación menos drástica en los valores de los coeficientes, de acuerdo con los rangos de la calificación.

Palabras claves: concreto, estructuras, metodología, NSR-10, reforzamiento, resistencia, vulnerabilidad.

Abstract

This article shows a semi-quantitative methodological proposal to determine the Φ_c and Φ_e resistance reduction coefficients established by NSR-10 to establish the seismic vulnerability of a building. NSR-100 uses a qualitative method to determine such coefficients, which can lead to strongly different results, according to the evaluator. For this proposal, the following objective criteria, related to the structural system, are considered: foundation, previous information, building and non-structural pathologies, among others.

This project presents a numerical format that the evaluator must fill in according to their observations during the on-sit visit and current available information. The result is a numeric grade of the structural system which can be associated with the numerical values of the Φ_c and Φ_e coefficients.

Finally, a less drastic variation of the coefficient values is proposed, according to the grading ranks.

Keywords: concrete, structures, methodology, NSR-a0, reinforcement, resistance, vulnerability

INTRODUCCIÓN

Con la Ley 400 de 1997, que posteriormente dio origen al Reglamento Colombiano de Construcción Sismo-resistente de 1998, se estableció la obligatoriedad de evaluar la vulnerabilidad sísmica de algunas edificaciones existentes. Posteriormente, con la actualización efectuada en el año 2010 se introdujeron algunos cambios en el proceso de la evaluación de esta vulnerabilidad, específicamente en el capítulo A-10 de la NSR-10, “Evaluación e intervención de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del reglamento”.

Uno de los pasos más importantes de este proceso consiste en determinar la resistencia actual del sistema estructural (N_{ef}), como se estipula en la sección A.10.4 de la NSR-10, “Criterios de evaluación de la estructura existente”; para obtener este valor es necesario multiplicar la resistencia existente (N_{ex}) por el coeficiente de reducción de resistencia por calidad del diseño y construcción de la estructura (Φ_c) y por el coeficiente de reducción de resistencia por el estado de la estructura (Φ_e) (ecuación 1).

$$N_{ef} = N_{ex} * \Phi_c * \Phi_e \quad (\text{Ecuación 1})$$

En la sección A.10.2, “Estudios e investigaciones requeridas”, se hace una descripción de los factores que deben tenerse en cuenta para determinar estos coeficientes, los cuales dependerán del estado actual y de la calidad del diseño y de la construcción de la edificación. Hoy en día, se califica la estructura en tres categorías, y según esta calificación se asigna un valor a los coeficientes de reducción de resistencia (tabla 1).

Tabla 1
Valores de Φ_c y Φ_e (tabla A.10.4-1 NSR-10)

| Calidad del diseño y la construcción, o del estado de la edificación | | | |
|--|-------|---------|------|
| Φ_c o Φ_e | Buena | Regular | Mala |
| | 1,00 | 0,80 | 0,60 |

Al utilizar la ecuación 1 se obtienen los siguientes valores de resistencia efectiva para diferentes combinaciones de los coeficientes de reducción de resistencia Φ_c y Φ_e .

Tabla 2

Valores porcentuales de N_{ef} para diferentes combinaciones de Φ_c y Φ_e

| N_{ex} | Φ_c | Φ_e | N_{ef} |
|----------|----------|----------|----------|
| 100 % | 1,00 | 1,00 | 100 % |
| 100 % | 1,00 | 0,80 | 80 % |
| 100 % | 1,00 | 0,60 | 60 % |
| 100 % | 0,80 | 1,00 | 80 % |
| 100 % | 0,80 | 0,80 | 64 % |
| 100 % | 0,80 | 0,60 | 48 % |
| 100 % | 0,60 | 1,00 | 60 % |
| 100 % | 0,60 | 0,80 | 48 % |
| 100 % | 0,60 | 0,60 | 36 % |

En la tabla 2 se observa que para valores de Φ_c y Φ_e iguales a 0,6, se obtiene un valor de resistencia efectiva igual a 0,36 veces la resistencia existente, lo cual, dicho de otro modo, significa que la reducción de resistencia de la estructura es de un 64 %. Lo anterior destaca la importancia de adoptar un valor adecuado de estos coeficientes para así llevar a cabo un apropiado proceso de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación, ya que la selección de un valor u otro de Φ_c y Φ_e puede determinar resultados completamente diferentes.

En la NSR-10 se plantea una evaluación cualitativa. Sin embargo, con lo mostrado anteriormente se considera necesario proponer una metodología para determinar los valores de Φ_c y Φ_e , basada en criterios definidos, con la cual la selección de estos coeficientes se pueda hacer de una manera más objetiva. En esta metodología se utiliza un método semicuantitativo para la selección de dichos coeficientes.

RESULTADOS

En este artículo se plantea una metodología semicuantitativa, con la que se busca determinar los factores de reducción de resistencia Φ_c y Φ_e utilizados en la NSR-10 para calcular el valor de la resistencia efectiva de un elemento estructural, como se explica en la sección A.10.4 de la NSR-10, “Criterios de evaluación de la estructura existente”.

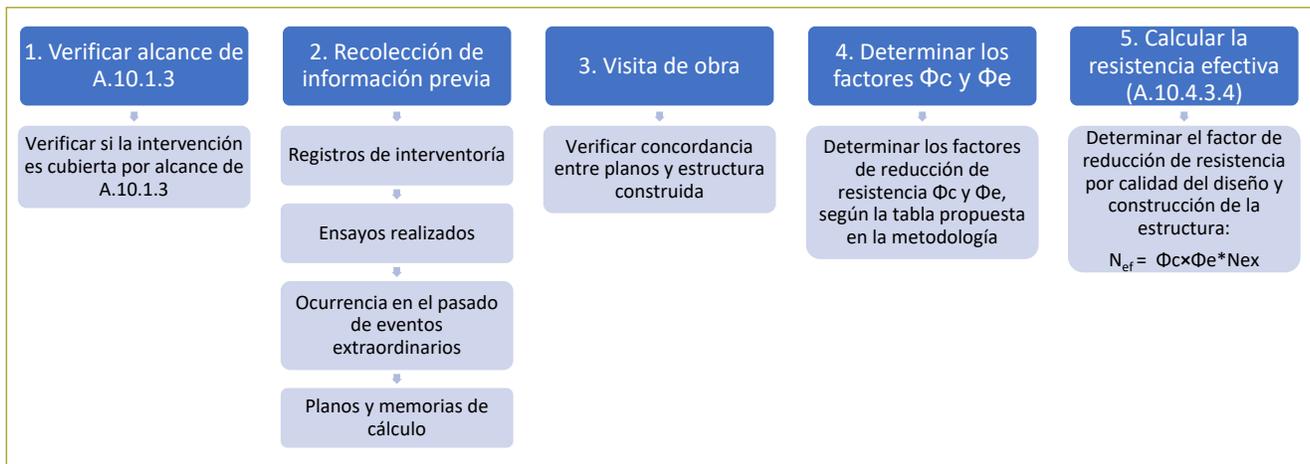


Figura 1. Procedimiento para determinar la resistencia efectiva, según la metodología propuesta.

El primer paso de esta metodología es verificar si la estructura en estudio está cubierta por el alcance de la sección A.10.1.3 de la NSR-10, que se debe utilizar cuando se realice una evaluación de vulnerabilidad y reforzamiento estructural de edificaciones existentes antes de la vigencia del reglamento.

Una vez que se ha definido que la estructura está cubierta por el alcance de la NSR-10, se debe proceder a recolectar información existente, como memorias de cálculo de la estructura y cimentación, planos de diseño, planos de remodelación o reforzamientos previos, registros de fallas en la estructura, registros de asentamientos en la cimentación, ocurrencia previa de eventos sísmicos y, en general, cualquier documento que pueda proporcionar datos importantes que hay que tomar en cuenta al momento de evaluar la vulnerabilidad de una estructura.

En el paso 3, se visita la estructura sujeta de estudio, en la que se hace un levantamiento de todas las patologías estructurales y no estructurales presentes; adicionalmente, se deben realizar ensayos para verificar la concordancia de la construcción con las especificaciones consignadas en los planos y memorias de diseño estructural.

Los criterios de evaluación y los porcentajes de importancia, que se deben emplear en el paso 4, se obtuvieron al validar la propuesta inicial, con una encuesta aplicada a cinco ingenieros que cuentan con 25 y hasta 60 años de experiencia en la academia y la práctica del diseño estructural; todos ellos tienen participación en oficinas de ingeniería estructural en calidad de socios y han sido profesores de las universidades más reconocidas del país.

Una vez efectuado el procedimiento anterior, los coeficientes obtenidos y recomendados por esta metodología son los indicados a continuación (tablas 3 y 4). Y con esta información se desarrollaron los formatos para la aplicación de la “Propuesta metodológica para determinar los coeficientes de reducción de resistencia ϕ_c y ϕ_e de la NSR-10 en estructuras de concreto reforzado” mostrados más adelante (tablas 5 y 6).

Con el fin de probar la metodología propuesta, se visitaron cinco estructuras y posteriormente se aplicó el procedimiento para establecer los valores de los coeficientes de reducción de resistencia. También se hizo la determinación con la metodología cualitativa propuesta por la NSR-10. Los resultados obtenidos se muestran a renglón seguido (tabla 7).

Tabla 3
Coeficientes de importancia seleccionados – Φ_c

| Coeficientes de ponderación para el cálculo del coeficiente Φ_c (calidad del diseño y la construcción) | | | | |
|---|---|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Pregunta | | Primera propuesta de coeficientes | Coefficiente de importancia expertos | Coefficientes seleccionados |
| 1. Sistema estructural | | | | |
| 1.1 | Trayectoria de la carga | 0,11 | 0,11 | 0,11 |
| 1.2 | Separación sísmica | 0,03 | 0,05 | 0,04 |
| 1.3 | Columna corta o cautiva | 0,10 | 0,10 | 0,09 |
| 1.4 | Refuerzo continuo en vigas | 0,15 | 0,05 | 0,08 |
| 1.5 | Refuerzo continuo en columnas o muros | 0,15 | 0,10 | 0,15 |
| 1.6 | Existencia de estribos o ganchos | 0,10 | 0,07 | 0,10 |
| 2. Cimentación | | | | |
| 2.1 | Anclaje de las columnas a la cimentación | 0,06 | 0,09 | 0,08 |
| 2.2 | Existencia de vigas de cimentación formando anillos | 0,06 | 0,06 | 0,06 |
| 2.3 | Elementos en concreto reforzado | 0,08 | 0,09 | 0,08 |
| 3. Información previa | | | | |
| 3.1 | Concordancia de planos con construcción | 0,09 | 0,12 | 0,12 |
| 3.2 | Existencia de memorias cálculo estructural | 0,03 | 0,04 | 0,03 |
| 3.3 | Estudio de suelos | 0,02 | 0,06 | 0,02 |
| 3.4 | Bitácora de obra y ensayos | 0,02 | 0,06 | 0,04 |
| | | | Σ | 1,00 |

Tabla 4
Coeficientes de importancia seleccionados – Φ_e

| Coeficientes de ponderación para el cálculo del coeficiente Φ_e (estado de la estructura) | | | | |
|--|--|-----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Pregunta | | Primera propuesta de coeficientes | Coefficiente de importancia expertos | Coefficientes seleccionados |
| 1. Patologías constructivas | | | | |
| 1.1 | Hormigueros | 0,05 | 0,08 | 0,07 |
| 1.2 | Acero expuesto | 0,15 | 0,08 | 0,10 |
| 2. Patologías no constructivas | | | | |
| 2.1 | Fisuras en vigas | 0,15 | 0,11 | 0,10 |
| 2.2 | Fisuras en columnas o muros | 0,20 | 0,14 | 0,15 |
| 2.3 | Asentamientos | 0,05 | 0,08 | 0,05 |
| 2.4 | Humedad | 0,05 | 0,03 | 0,03 |
| 2.5 | Sometida a fuego | 0,02 | 0,05 | 0,05 |
| 2.6 | Daños postsismo | 0,05 | 0,10 | 0,10 |
| 2.7 | Corrosión en acero de refuerzo | 0,10 | 0,07 | 0,10 |
| 2.8 | Pérdida de recubrimiento | 0,08 | 0,05 | 0,05 |
| 2.9 | Deterioro del concreto | 0,05 | 0,11 | 0,10 |
| 2.10 | Deflexiones excesivas de los elementos | 0,05 | 0,10 | 0,10 |
| | | | Σ | 1,00 |

Tabla 5
Formato para la determinación del coeficiente ϕ_c

| APLICACION DE LA METODOLOGIA PARA EL CALCULO DEL COEFICIENTE ϕ_c (CALIDAD DEL DISEÑO Y LA CONSTRUCCIÓN) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------|------------------|------|--|----------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|---------------------------------|------|
| 1. Id. proyecto: | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. Nombre de la estructura | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Evaluador | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4. Fecha de evaluación | DÍA | MES | AÑO | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| <p>Según lo observado en la visita a la estructura y la información existente recolectada, califique los siguientes items con un valor de 1 a 5, siendo 1 muy malo y 5 muy bueno.</p> | | | | | | | | | | | | | | | |
| | a | b | c | | | | | | | | | | | | |
| | Calificación de 1 a 5 | % importancia | a*b | | | | | | | | | | | | |
| 1. SISTEMA ESTRUCTURAL | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Trayectoria de la carga | 1 | 0.11 | 0.11 | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 Separación Sísmica | 1 | 0.04 | 0.04 | | | | | | | | | | | | |
| 1.3 Columna corta o cautiva | 1 | 0.09 | 0.09 | | | | | | | | | | | | |
| 1.4 Refuerzo continuo en vigas | 1 | 0.08 | 0.08 | | | | | | | | | | | | |
| 1.5 Refuerzo continuo en columnas y/o muros | 1 | 0.15 | 0.15 | | | | | | | | | | | | |
| 1.6 Estribos y ganchos | 1 | 0.10 | 0.10 | | | | | | | | | | | | |
| 2. CIMENTACIÓN | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2.1 Anclaje de las columnas a la cimentación. | 1 | 0.08 | 0.08 | | | | | | | | | | | | |
| 2.2 Existencia de vigas de cimentación formando anillos | 1 | 0.06 | 0.06 | | | | | | | | | | | | |
| 2.3 Elementos en concreto reforzado | 1 | 0.08 | 0.08 | | | | | | | | | | | | |
| 3. INFORMACIÓN PREVIA | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 Concordancia de planos con construcción | 1 | 0.12 | 0.12 | | | | | | | | | | | | |
| 3.2 Existencia de memorias calculo estructural | 1 | 0.03 | 0.03 | | | | | | | | | | | | |
| 3.3 Estudio de suelos | 1 | 0.02 | 0.02 | | | | | | | | | | | | |
| 3.4 Bitácora de obra y ensayos | 1 | 0.04 | 0.04 | | | | | | | | | | | | |
| | | Σc | 1.00 | | | | | | | | | | | | |
| | | ϕ_c | 0.60 | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1" style="margin: auto; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 80%;"></th> <th style="width: 20%;">ϕ_c</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">SI, $1.00 > \Sigma c \leq 1.80$</td> <td style="text-align: center;">0.60</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SI, $1.81 > \Sigma c \leq 2.60$</td> <td style="text-align: center;">0.70</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SI, $2.61 > \Sigma c \leq 3.40$</td> <td style="text-align: center;">0.80</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SI, $3.41 > \Sigma c \leq 4.20$</td> <td style="text-align: center;">0.90</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">SI, $4.21 > \Sigma c \leq 5.00$</td> <td style="text-align: center;">1.00</td> </tr> </tbody> </table> | | | | | ϕ_c | SI, $1.00 > \Sigma c \leq 1.80$ | 0.60 | SI, $1.81 > \Sigma c \leq 2.60$ | 0.70 | SI, $2.61 > \Sigma c \leq 3.40$ | 0.80 | SI, $3.41 > \Sigma c \leq 4.20$ | 0.90 | SI, $4.21 > \Sigma c \leq 5.00$ | 1.00 |
| | ϕ_c | | | | | | | | | | | | | | |
| SI, $1.00 > \Sigma c \leq 1.80$ | 0.60 | | | | | | | | | | | | | | |
| SI, $1.81 > \Sigma c \leq 2.60$ | 0.70 | | | | | | | | | | | | | | |
| SI, $2.61 > \Sigma c \leq 3.40$ | 0.80 | | | | | | | | | | | | | | |
| SI, $3.41 > \Sigma c \leq 4.20$ | 0.90 | | | | | | | | | | | | | | |
| SI, $4.21 > \Sigma c \leq 5.00$ | 1.00 | | | | | | | | | | | | | | |

Tabla 7
Valores de los coeficientes Φ_e y Φ_c para las cinco estructuras visitadas

| Estructura | NSR-10 | | Metodología | |
|------------|----------|----------|-------------|----------|
| | Φ_c | Φ_e | Φ_c | Φ_e |
| 1 | 1,0 | 0,6 | 0,9 | 0,7 |
| 2 | 0,8 | 0,6 | 0,9 | 0,6 |
| 3 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 1,0 |
| 4 | 1,0 | 0,8 | 1,0 | 0,9 |
| 5 | 1,0 | 0,8 | 0,7 | 0,9 |

En la estructura 1, aplicando la metodología de la NSR-10, el valor de Φ_c se calificó como “bueno”, Φ_c de 1,00, pues no se observan problemas de configuración estructural; sin embargo, al emplear la metodología propuesta, criterios como la falta de información existente, factor que hay que tomar en cuenta según la NSR-10, arrojó un valor de 0,90 del coeficiente Φ_c .

En la estructura 2 se consideró una calificación de “regular”, Φ_c de 0,80, ya que presenta algunos problemas de configuración estructural. Al aplicar la metodología se obtiene un valor de 0,90 para Φ_c , lo que evidencia la importancia de ampliar los intervalos de calificación, pues al tener valores intermedios puede ser más representativo de la realidad de la estructura.

En la edificación 3 se calificó el estado actual de la estructura como “regular” y se obtuvo un Φ_e de 0,80, mientras que al aplicar la metodología se alcanzó un valor de 1,00. Al verificar nuevamente la información existente de la estructura, se identificó que al hacer una calificación cualitativa algunas patologías menores que no afectan el comportamiento de la estructura indujeron a calificar mal la estructura.

En la estructura 4 la calificación del coeficiente Φ_e fue “regular”, por algunas deficiencias patológicas que no permitían asignar una calificación de “bueno”. Al aplicar la metodología se llegó a un valor de 0,90 para el coeficiente Φ_e , lo cual demuestra que tener valores intermedios puede ser más representativo de la realidad de la estructura.

En la estructura 5, los valores del coeficiente Φ_e son similares. No se cuenta con información de la estructura (planos, memorias de cálculo, estudios de suelo), información que es necesaria según los requerimientos de la NSR-10; eso hace que el valor de Φ_c se vea bastante afectado al aplicar la metodología.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En la NSR-10 hay tres categorías para la evaluación de los coeficientes de reducción de resistencia, que son bueno, regular y malo, con un valor de 1,00, 0,80 y 0,60, respectivamente; en la metodología se proponen cinco rangos de calificación que van de 0,60 a 1,00, en rangos de 0,10.

Se encuestó a cinco especialistas, y con los valores obtenidos se ratificó la propuesta inicial de coeficientes de importancia dada a los criterios; aun cuando los valores obtenidos no fueron exactamente iguales, sí coincidían en el orden de magnitud.

Al comparar los resultados de resistencia efectiva obtenidos por los dos métodos se concluyó que hay factores que pueden orientar erróneamente la calificación cualitativa que recomienda el reglamento, pero que al estar ponderados numéricamente en la metodología propuesta se logra enfatizar la importancia de los factores más relevantes, relacionados con el comportamiento sísmico del sistema estructural.

Aunque el criterio del especialista siempre estará presente en la determinación de los coeficientes, y por esto es necesario que la haga personal idóneo, lo que se busca con esta propuesta es que tal determinación se haga más objetivamente al establecer unos criterios de evaluación, los cuales se podrían llegar a omitir al hacer la evaluación cualitativa.

El tiempo invertido en utilizar la metodología no es significativo, por lo que la implementación de esta no generará más costos al consultor y sí se generará más confianza de los valores obtenidos para la determinación de la resistencia efectiva de los elementos de la estructura.

Desempeño de pernos de anclajes posinstalados en mampostería hueca sometidos a tensión

Performance of anchor bolts post installed on hollow stonemasonry subject to tension

VÍCTOR WILSON VALBUENA FORERO¹ - PEDRO NEL QUIROGA SAAVEDRA²

1. Magíster en Ingeniería Civil con énfasis en Estructuras.

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

victor.valbuena-f@mail.escuelaing.edu.co - pedro.quiroga@escuelaing.edu.co

Recibido: 26/10/2020 Aceptado: 17/11/2020

Disponibile en http://www.escuelaing.edu.co/es/publicaciones_revista

<http://revistas.escuelaing.edu.co/index.php/reci>

Resumen

En este artículo se presentan los resultados del estudio del comportamiento de anclajes posinstalados en mampostería hueca de arcilla y concreto sin ningún tipo de relleno.

En Colombia, el diseño de la mampostería se hace siguiendo el título D del Reglamento de Construcción Sísmorresistente. Allí se establecen los requisitos mínimos de diseño y construcción para las estructuras de mampostería y sus elementos. Sin embargo, en este no se define el diseño de elementos como anclajes a la mampostería, como sí se hace, por ejemplo, en el ACI 530/530.1-13.

No obstante, la referencia mencionada se puede tomar como una guía, pero no contiene información relacionada con anclajes posinstalados en mampostería hueca, por lo que mediante ensayos se determina el comportamiento de los anclajes de inyección que consisten en una varilla roscada introducida en una perforación, en la que se ha dispuesto un *socket* o malla con mortero para el anclaje.

En el estudio, mediante 140 ensayos, se identificaron los modos de falla de los anclajes y la influencia de variables como resistencia de la mampostería, profundidad de anclaje y diámetro del anclaje.

Palabras claves: anclaje posinstalado, camisa o tamiz, fijación, insertos especiales.

Abstract:

This article shows the results of the study about the behavior of post-installed anchors on clay and concrete hollow stonemasonry with no filling whatsoever.

In Colombia, stonemasonry design is performed under the guidelines of Title D of the Seismic-resistant Building Guidebook. It establishes the minimum design and building requirements for stonemasonry structures and their elements. However, it does not define the design of elements such as anchors on stonemasonry, unlike ACI 530/530.1-13. Although the reference can be used as a baseline, it does not have information related to post-installed anchors on hollow stonemasonry, therefore, through tests, the behavior of injection anchors composed of threaded rods introduced in a perforation, containing either a socket or mortar mesh, is determined.

The study, after 140 tests, showed the failure modes of anchors and the influence of variables such as stonemasonry resistance, anchor depth, and anchor diameter.

Keywords: post-installed anchors, sieve, fixation, special inserts.

INTRODUCCIÓN Y DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Actualmente, existe una amplia variedad de anclajes y sistemas de fijación, entre estos la fijación con adhesivos. Si bien la diversidad de productos brinda al usuario la oportunidad de elegir el mejor para una aplicación específica, en el proceso de selección de un sistema de anclaje hay que tomar en cuenta lo siguiente:

- El material de base en que se instalará el anclaje.
- La magnitud de las cargas o sollicitaciones que se le impondrán.
- Procedimientos de instalación, entre estos los métodos de perforación.
- Las dimensiones del material de base, así como la separación y distancia a los bordes.
- Los efectos de la durabilidad de acuerdo con el entorno de servicio.

Los materiales de base utilizados en la construcción varían mucho. Aunque las fijaciones se pueden aplicar a gran cantidad de materiales, la parte más débil en el diseño de los anclajes suele ser el material de base. La resistencia de la mampostería es variable y depende del proceso de fabricación, de manera que únicamente se obtienen resistencias similares para un mismo producto del mismo fabricante.

En el estudio efectuado se determina el comportamiento de los pernos de anclaje posinstalados en unidades de mampostería hueca al ser sometidos a cargas de tensión. El sistema de anclaje que se va a estudiar consiste en anclajes de inyección conformados por una varilla roscada introducida en una perforación, en la que se ha dispuesto un *socket* o malla con mortero para fijar el anclaje.

De acuerdo con el Masonry Standards Joint Committee (MSJC, 2013), en ACI 530 se permite el empleo de pernos de anclaje embebidos en *grouting*, pero como las resistencias nominales determinadas por cálculos no cubren todos los tipos de pernos de anclaje, entonces los anclajes no cubiertos se deben diseñar utilizando datos de prueba o ensayos.

Así mismo, los pernos de anclaje se deben ensayar de acuerdo con la norma ASTM E488, en la que las condiciones de carga del ensayo deberán ser representativas del uso previsto del perno de anclaje.

Si bien la norma ASTM E488 parece que tuviera una aplicación exclusiva para anclajes embebidos en con-

creto, el ACI 530-13 ha encontrado válida esta norma para ensayar los anclajes en mampostería embebidos en *grouting*.

Entonces, por tratarse de pernos de anclaje instalados en mampostería hueca, la normativa que se ajusta y con la cual se desarrolla la presente investigación es la norma europea ETAG-029.

ESTADO DEL ARTE

En la mayoría de los artículos encontrados sobre investigaciones desarrolladas se hace referencia a los anclajes instalados en bloques de concreto rellenos de *grout* o en mampostería de arcilla maciza. Aun cuando los artículos no se refieren a anclajes en mampostería hueca, sí permiten tener una idea más clara sobre los hallazgos en este tipo de investigaciones, al igual que la metodología para desarrollar los ensayos.

En “Strenght of anchor bolts in grouted concrete masonry” (Brown & Whitlock, 1983), se investigó mediante 45 ensayos el comportamiento de 45 pernos de anclaje con su extremo doblado en *J*, embebidos en ladrillos de concreto conforme a la especificación “Hollow load-bearing concrete masonry units”, ASTM C90. Se encontraron tres modos de falla para la carga monotónica en tensión, fractura en el perno, extracción por enderezado y fractura en la mampostería. El enderezado de los pernos en *J* se produjo antes de la carga de fractura, pero para pernos largos la fractura de la mampostería ocurría antes del enderezado del perno.

Igualmente, en “Capacity of anchor bolts in concrete masonry” (McGinley, Singleton, Greenwald, & Thompson, 2004) se estudió, mediante 185 ensayos en la fase 2 y 225 ensayos para la fase 3, el comportamiento de anclajes fijados en mampostería. En el estudio se compararon los resultados experimentales con las fórmulas teóricas del “MSJC, 2002. Masonry Standards Joint Committe” y se halló que para pernos en tensión o cortante el Código MSJC parece dar resultados relativamente buenos en diámetros de anclaje pequeños, pero pueden ser muy poco conservadores para los pernos de gran diámetro.

Por otra parte, en “Experimental pull-out Test Program of Wall-to-Diaphragm Adhesive Connections and Observations from 2010/2011 Canterbury Earthquakes” (Dizhur, Ingham, Campbell & Schultz, 2013), se presentan las observaciones de campo hechas

a raíz del terremoto de Canterbury 2010/2011 en Nueva Zelanda. Se encontraron numerosos casos en los que las conexiones de la tensión de anclaje que unen las paredes de mampostería con los diafragmas fallaron prematuramente, por lo que se llevó a cabo un programa de pruebas consistente en 400 anclajes instalados en once edificios URM, en un intento de evaluar la resistencia de los pernos de anclaje de adhesivo entre el diafragma y las paredes de ladrillo en arcilla no reforzada, y se establecieron unas fórmulas para determinar la resistencia de los anclajes en mampostería maciza.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

El programa experimental de los anclajes para uso en mampostería objeto de este trabajo se basó en la guía técnica de ETAG 029. Los detalles para las pruebas en mampostería se basaron en el anexo A de ETAG 029, para poder utilizarlos en el procedimiento de diseño del anexo C de la guía de diseño en referencia.

Las muestras elegidas para los ensayos son representativas de la producción normal, es decir, no se escogieron o fabricaron muestras especiales para la realización de las pruebas o ensayos, de acuerdo con el numeral A.1 de ETAG 029.



Figura 1. Tipos de mampostería usadas para la realización de las pruebas.



Figura 2. Sistema de anclaje ensayado.

Tabla 1

Tipos de mampostería empleados para los ensayos

| Elemento | Largo mm | Ancho mm | Alto mm | f'_m kg/cm ² |
|---|-------------|-------------|------------|------------------------------|
| Mampostería tipo A (Ladrillera Santafé) | 515 | 120 | 486 | 37 |
| Mampostería tipo B (Ladrillera Helios) | 510 | 120 | 490 | 55 |
| Mampostería tipo C (ladrillos de concreto) | 590 | 140 | 389 | 61 |
| Mortero de pega | | | | 30 |

El sistema de anclaje ensayado es el producido por Hilti y diseñado para usarse en ladrillos de arcilla huecos, bloques de hormigón y piedra natural; el sistema está compuesto por una barra de acero, la cual se fija mediante dos componentes: un manguito de tamiz modular (HIT-SC) y una resina epóxica o anclaje químico de dos componentes (HIT-MM PLUS).



Figura 3. Perforado de unidades.

Las perforaciones se hacen sin la función de martillo del taladro, pero se encontró que si se perforaba con la broca que tiene el tamaño requerido para el tamiz correspondiente se producía un daño sobre el bloque, desprendiendo una gran cantidad de material. Por lo anterior, se optó por un método de perforación escalado para llegar al diámetro.



Figura 4. Limpieza e instalación de los anclajes.

CLASIFICACIÓN DE LA MAMPOSTERÍA QUE SE VA A ENSAYAR

Según el numeral 2.3.2.1 de ETAG 029, la mampostería se clasifica como categoría C, “Anclajes metálicos de inyección en muros de mampostería hueca o perforada”.

De acuerdo con el numeral 2.3.2.2 de ETAG 029, la instalación se clasificaría en categoría D/D, “Instalación y uso en estructuras sometidas a condiciones secas, sometidos a un ambiente normal sin variaciones de temperatura”.

EQUIPO DE PRUEBA

La aplicación de la carga se hace mediante la máquina universal, la cual deja hacer dicha aplicación a una tasa constante, lo que permite tener un registro de aplicación de carga en los intervalos de tiempo deseados.



Figura 5. Montaje general del ensayo.

Las deformaciones se midieron mediante deformímetros del tipo LVDT, los cuales se conectan a una unidad principal que permite una toma de datos a un intervalo de tiempo coordinado con la aplicación de la carga.

PROCEDIMIENTO DEL ENSAYO

Las pruebas para la determinación de las condiciones de servicio admisibles se llevarán a cabo en el material de base en el que se utilizará el anclaje de inyección.

Los ensayos se hicieron en unidades individuales debido a que la falla no trascendía más allá de la unidad de mampostería.

Para los ensayos de tracción se distinguen dos métodos de prueba:

- Pruebas no confinadas.
- Pruebas confinadas.

Las pruebas no confinadas permiten una formación sin restricciones del cono de rotura en el material.

Durante los ensayos de tracción, la tensión se aplica concéntricamente al anclaje de inyección. Para conseguir lo anterior, se incorporarán articulaciones que permitan giros entre el dispositivo de carga y el anclaje de inyección.

Después de la instalación, el anclaje de inyección se conecta al equipo de prueba y se carga hasta la falla. Los desplazamientos del anclaje con respecto a la superficie del elemento de ensayo se miden continuamente, hasta que se inicia el deslizamiento incontrolado de los anclajes de inyección.

Adicionalmente, en los anclajes de diámetro medio se estudia el comportamiento a cargas sostenidas y a efectos de torque. No se estudian el efecto de cargas repetitivas, el funcionamiento bajo cargas de congelamiento ni la durabilidad del material de adherencia.



Figura 6. Armado para pruebas confinadas.



Figura 7. Armado para pruebas no confinadas.

DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA Y LA ESTABILIDAD

Como método de verificación ETAG 029, en el numeral 2.4 se dividen los ensayos relacionados con la evaluación de resistencia mecánica y estabilidad de los anclajes así:

- Pruebas para confirmar su idoneidad (no confinada).
- Pruebas para comprobar la durabilidad (no se incluyen estas pruebas).

RESUMEN DE PLANTEAMIENTO DE ENSAYOS EN MAMPOSTERÍA

Tabla 2
Planteamiento o cantidad de ensayos en mampostería tipo A-B-C

| Objeto de la prueba | Tabla según ETAG 029 | Descripción del ensayo | Nota | Longitud de perno 85 mm | | | Longitud de perno 50 mm | | |
|------------------------------------|----------------------|--|-------------------------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-------|-------|
| | | | | Ø1/4" | Ø3/8" | Ø1/2" | Ø1/4" | Ø3/8" | Ø1/2" |
| Condiciones admisibles de servicio | 2.4.3 | Ensayos de tensión de referencia para ensayo de idoneidad. | En unidades. Prueba confinada | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 |
| | 2.4.2 | Función bajo cargas sostenidas. | | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2.4.2 | Máximo momento de torque. | | 0 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 2.4.3 | Características de resistencia para cargas de tensión no influenciadas por distancias al borde y entre pernos. | En muro. Prueba no confinada | 5 | 5 | 5 | 0 | 5 | 0 |

Nota: Los cuadros sombreados corresponden a la cantidad de ensayos para la mampostería tipo C.

RESULTADOS

A continuación se presenta el resumen general de los resultados obtenidos.

Resumen general de ensayos confinados

En la figura 8 se muestran las curvas carga-deformación para un grupo de ensayos realizados con las mismas características y en las mismas condiciones. Cada curva pertenece a un ensayo y los colores se refieren a los tipos de mampostería en ensayo.

Las deformaciones iniciales registradas en cada una de las curvas se presentan en general, mientras el sistema de anclaje, resina bloque o resina perno se acomoda. Así mismo, hubo caídas y recuperaciones de carga en las curvas debido a que, a medida que se incrementa la carga en la resina epóxica, se producen pequeñas fisuras que permiten que el perno se deslice. La falla se presenta en el sistema de anclaje, la cual se inicia por fisuración debido al aplastamiento de la resina epóxica contra la mampostería.

En razón de que la falla es en el sistema de anclaje, en los gráficos para cada grupo de ensayos en las mismas condiciones se obtienen valores medios muy parecidos, independientemente del tipo de mampostería ensayada.

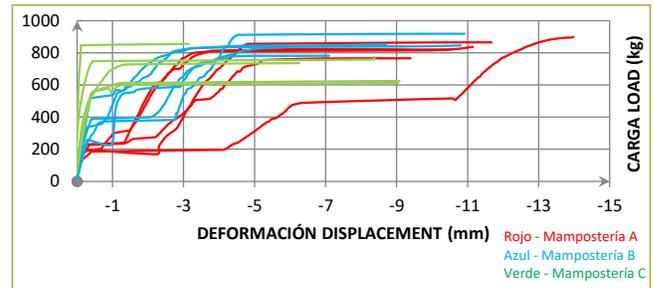


Figura 8. Curvas carga-deformación mampostería A-B-C, long. 85 mm, Ø3/8".



Figura 9. Resumen de resultados condición confinada.

En la tabla 3 se presenta la carga máxima medida para cada tipo de anclaje

Tabla 3
Resumen de resultados condición confinada

| N.º | Tipo | Descripción | P (kg) |
|-----|------|-------------------|--------|
| 1 | B | Long. 85 mm Ø1/4" | 303 |
| 2 | B | Long. 85 mm Ø3/8" | 683 |
| 3 | B | Long. 85 mm Ø1/2" | 713 |
| 4 | B | Long. 50 mm Ø3/8" | 143 |
| 5 | A | Long 85 mm Ø1/4" | 44 |
| 6 | A | Long. 85 mm Ø3/8" | 667 |
| 7 | A | Long. 85 mm Ø1/2" | 660 |
| 8 | A | Long. 50 mm Ø3/8" | 435 |
| 9 | C | Long. 85 mm Ø3/8" | 370 |
| 10 | C | Long. 85 mm Ø1/2" | 530 |



Figura 10. Resumen de resultados condición confinada.

Resumen general de ensayos no confinados

En la siguiente figura se muestran las curvas carga deformación para cada uno de los grupos de ensayos realizados con las mismas características y en las mismas condiciones. Cada curva pertenece a un ensayo, y los colores de las curvas corresponden a los tipos de mampostería en ensayo.

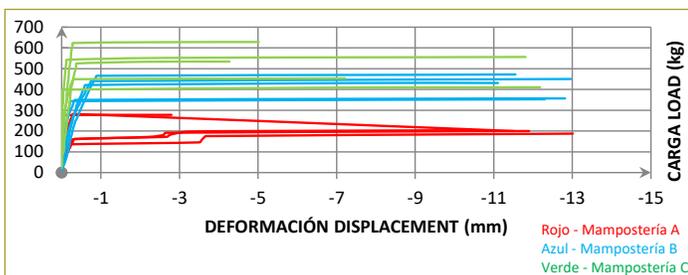


Figura 11. Curvas carga deformación mampostería A-B-C. Long. 85 mm Ø3/8".

Las deformaciones iniciales registradas en cada una de las curvas se presentan en general, mientras se acomoda el sistema de anclaje, resina bloque o resina perno.

La falla se produce en la mampostería con una menor carga que en la condición confinada. La variación de resultados es mayor que en la condición confinada. En este caso, mientras mayor es el f_m^t , más resistencia se obtiene.

En la tabla 4 se presenta la carga máxima medida para cada tipo de anclaje

Tabla 4
Resumen de resultados condición no confinada

| N.º | Tipo | Descripción | P (kg) |
|-----|------|-------------------|--------|
| 11 | B | Long. 85 mm Ø1/4" | 225 |
| 12 | B | Long. 85 mm Ø3/8" | 227 |
| 13 | B | Long. 85 mm Ø1/2" | 139 |
| 14 | B | Long. 50 mm Ø3/8" | 138 |
| 15 | A | Long. 85 mm Ø1/4" | 42 |
| 16 | A | Long. 85 mm Ø3/8" | 91 |
| 17 | A | Long. 85 mm Ø1/2" | 65 |
| 18 | A | Long. 50 mm Ø3/8" | 102 |
| 19 | C | Long. 85 mm Ø3/8" | 224 |
| 20 | C | Long. 85mm Ø1/2" | 181 |

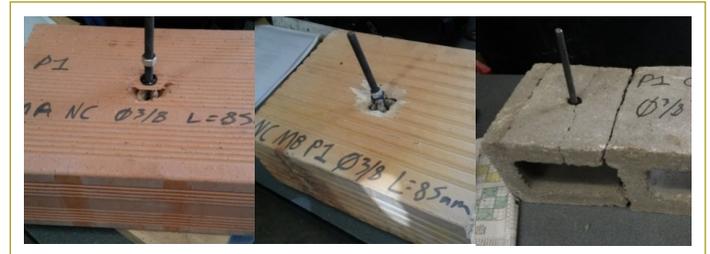


Figura 12. Falla típica en la mampostería.

Proyección de la resistencia de acuerdo con ETAG 029

Esta conversión se llevará a cabo de acuerdo con la solución de la siguiente ecuación:

$$F_{RU}(f_b) = F_{Ru}^t \left[\frac{f_b}{f_{b.test}} \right]^\alpha$$

Ecuación 2.4.2 de ETAG 029

En la ecuación se toma como base la resistencia obtenida en la mampostería A, con $F_{Ru}^t = 90,6\text{kg}$, para proyectarla en la mampostería B.

La fórmula da una predicción conservadora $F_{Ru} (f_b) = 117$ kg de la resistencia, debido a que en los ensayos se obtuvo una resistencia de 139 kg para la mampostería B.

CONCLUSIONES

Para los diámetros ensayados, la falla de los anclajes no confinados estuvo lejos de producirse en la barra roscada o en la resina, como era de esperarse. La falla ocurrió en la mampostería y aumentando la resistencia del anclaje con la resistencia de la mampostería.

Con respecto a las pruebas de carga confinada, se alcanzaron resistencias muy similares en los tres tipos de mampostería A, B y C, resultados que concuerdan con lo esperado ya que la resistencia en condición confinada depende de la resistencia del epóxico y no de la mampostería.

En general, los resultados no muestran relaciones claras entre resistencia y longitud o entre resistencia y diámetro de los anclajes, posiblemente porque la resistencia depende de los esfuerzos de apoyo entre el adhesivo y las paredes de la mampostería.

Las pruebas de carga sostenida mostraron que las deformaciones se estabilizaron después de cien horas indicando un buen desempeño de la resina epóxica en lo que a flujo plástico se refiere al nivel de carga impuesto.

RECOMENDACIONES

Se aconseja hacer una secuencia de programas similares de ensayos, en los cuales se estudie el comportamiento de pernos a cortante y a combinaciones de tensión y cortante.

Para la realización de pruebas de torque, es necesario reacondicionar el esquema de prueba, de tal manera que

se puedan tomar registros en una forma sincronizada entre la aplicación de la carga y la deformación; también se recomienda usar una celda de carga que permita registrar directamente la tensión que se está aplicando al anclaje.

REFERENCIAS

- American Concrete Institute. ACI 318S-14. Comité 318 (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario*. Michigan: Farmington Hills.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismorresistente, NSR-10*. Bogotá, D.C.
- ASTM E488 (2015). *Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete Elements*. Pennsylvania: West Conshohocken.
- Brown, R. H., & Whitlock, A. R. (1983, June). Strength of Anchor Bolts in Concrete Masonry. *Journal of the Structural Division American Society of Civil Engineers, ASCE, 109*, 1362-1374.
- Dizhur, D., Ingham, J. M., Campbell, J., & Schultz, A. (2013). Experimental Pull-Out Test Program of Wall to Diaphragm Adhesive Connections and Observations from 2010/2011 Canterbury y Earthquakes. *2013 NZSEE Conference. Paper Number XXX* (p. 11).
- European Organisation for Technical Approvals (2013). *ETAG 029 - Metal Injection Anchors for Use in Masonry. Annex C: Design Methods for use in Masonry*. Brussels: EOTA.
- European Organisation for Technical Approvals (2013). *ETAG 029 - Metal Injection Anchors for Use in Masonry. Annex A: Details of Test*. Brussels: EOTA.
- European Organisation for Technical Approvals (2013). *ETAG 029 - Metal Injection Anchors for Use in Masonry*. Brussels: EOTA.
- Fabrello, A. M., Pollock, D. G., McLean, D. I., & Young, T. (s.f.). Performance of Anchor Bolts in Concrete Masonry Under Combined Tension and Shear Loading. *9th Canadian Masonry Symposium*. UNB.
- Hilti (2013). *Hilti USA - Anchor Systems*. Recuperado de <https://www.hilti.com/anchor-systems>.
- McGinley, W. M., Singleton, S., Greenwald, J., & Thompson, J. (2004). Capacity of Anchor Bolts in Concrete Masonry. *12th International Brick and Block Masonry Conference* (p. 10). Amsterdam.
- Masonry Standards Join Committee (MSJC) (2013). *The Masonry Standards Join Committee. Building Code Requirements for Masonry Structures ACI530/ASCE5/TMS 402*.

REVISTA DE LA 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 bibliografía 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, 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 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