



ISSN: 2664-8245  
ISSN-L: 2664-8245



# IngEniería

*y sus alcances*  
Revista de Investigación

---

Volumen 2 - Número 3 - MAY-AGO 2018





ISSN: 2664-8245  
ISSN-L: 2664-8245



**IngE**niería  
*y sus alcances*  
Revista de Investigación

---

Volumen 2 - Número 3 - MAY-AGO 2018





## CONTACTO

### Dirección postal

Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia  
Avenida Huayna Potosí N° 48  
Nuevos **Horizontes** III, Ciudad de El Alto  
La Paz - Bolivia  
Código Postal: 15000

### Contacto principal

**Ing. Marcelo Israel Leyva López**/Editor

Teléfono: (59 1) 72037872 Correo electrónico: editor@revistaingenieria.org

### Contacto de asistencia

**Ing. Freddy Sánchez**

Teléfono: (593) 999275425

### Información legal

ISSN: 2664-8245

ISSN-L: 2664-8245

**Periodicidad:** Cuatrimestral

## AUTORIDADES

- Lic. David Max Olivares Alvares Msc., Director de Proyecto América
- Dr. José Lázaro Quintero Santos, Director Adjunto - Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador
- Dr. Iván Javier Villamar Alvarado, Director Adjunto - Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia
- Lic. Edgar Olivares Alvares, Director de Posgrados
- Msc. Pedro Misacc Naranjo Bajaña, Director de Publicaciones
- Lic. Doris Lisbeth Villalba Fermín Msc., Directora de Revistas

## Equipo Editorial

### EDITOR/EDITOR

Ing. Marcelo Israel Leyva López, Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, Bolivia

### CONSEJO EDITORIAL / EDITORIAL BOARD

- ING. Guido Rosales Uriona, Yanapti SRL, Bolivia
- PhD. Grether Real Pérez, Ing., Universidad Técnica de Manabí, Ecuador
- MSC. Carlos Carrion Rodríguez, CIP GmbH EEUU / Universidad Central del Ecuador, Ecuador
- Ing. Jorge Luis Martínez Valencia, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- PhD David Ernesto Marón Domínguez, Centro de Estudios Matemáticos, Universidad Tecnológica de La Habana "José Antonio Echeverría", Cuba.



## COMITÉ CIENTÍFICO

- Dra. Elisa Inés Benítez, Universidad Tecnológica Nacional y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina
- Ing. Guillermo A. Corres, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, Argentina
- PhD Fernando Del Vecchio, Universidad de las Américas, Ecuador
- Dr.-Ing. Gonzalo Salinas-Salas, Universidad de Talca, Chile
- PHD. (C) Gustavo Alonso Acosta Amaya, MSC., Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, Colombia
- PhD Andrés Barrios Rubio, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Colombia
- PhD María Ocampo Villegas, Universidad de la Sabana, Colombia
- PhD Andrés Escobar Mejía, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia

## EVALUADORES PARES

- Msc. Ing. Jovanny Rafael Duque, Institución Universitaria –ITSA, Colombia
- MSC. Mauricio Holguín Londoño, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- M.SC. Alejandro Duque Gómez, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- Msc. Rubén Iván Bolaños, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- PhD. César Augusto Quinayás Burgos, Universidad Antonio Nariño, Colombia
- MSC. Jovanny Rafael Duque, Institución Universitaria – ITSA, Colombia
- ING. Camilo Andrés Zapata Castillo, Potencia y Tecnologías Incorporadas, S.A.
- MSC. Paola Andrea De Antonio Boada, Universidad de Boyacá, Colombia
- MSc. PhD. (C) Mauricio Holguín Londoño, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia
- MSC. Rocio Del Rosario Ramos Rodríguez, Universidad del Norte- Colombia
- MSC. Luis Leonardo Camargo Ariza, Universidad de Magdalena- Colombia
- Dr. Jorge Gómez Rojas, Universidad de Magdalena- Colombia
- Ing. Byron Medina Delgado, Universidad Francisco de Paula Santander, Colombia
- MSC. (C) Juan José Largo Fernández, Experto en Tecnología e Innovación Social y Educativa, Colombia
- MSc. Ricardo de Jesús Botero Tabares, Tecnológico de Antioquia Institución Universitaria, Colombia
- PhD. Jeimy J. Cano Martínez, Universidad del Rosario en Colombia.
- MSc. Jesús Estrada De La Hoz, Universidad del Norte Barranquilla, Colombia.
- Dr. Davel Eduardo Borges Vasconcellos, Universidad de Camagüey, Cuba
- PhD Arlys Michel Lastre Aleaga, Universidad Tecnológica Equinoccial, Cuba
- Msc. Ing. Eduardo Javier Díaz Chicaiza, Universidad Tecnológica Equinoccial, Ecuador
- Luis Manuel Alonso Águila, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
- José Martín Muñoz Salcedo, Universidad Estatal de Milagro, Ecuador
- Magister Henry Nelson Aguilera Vidal, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador
- Ing. Geovanni Padilla Mora, Dirección General de Aviación Civil, Ecuador
- PhD. Enrique Gea Izquierdo, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Medicina, Ecuador
- MSC. Alan Arias Hernández, Universidad Tecnológica De Pereira, Colombia



- Dr. Guillermo Jarquín López, Instituto Politécnico Nacional, Argentina
- Dr. Jorge Sosa Pedroza, Instituto Politécnico Nacional, Argentina
- Dr. J. Félix Vázquez Flores, Instituto Politécnico Nacional, Argentina
- PhD. Verónica Delgado Cantú, Universidad Autónoma de Nuevo León, México
- Dr. Rubén Salas Cabrera, Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México
- Dr. José Genaro González Hernández, Universidad Tecnológica de Altamira / Instituto Tecnológico de Ciudad Madero, México
- MSc Julio César Martínez Gámez, Universidad Tecnológica de Altamira, México
- Dr. Julio César Montiel Flores, Universidad De Guanajuato, Campus Celaya-Guanajuato- México
- Ing. Juan Reynaldo Oliva Córdova, SILCOM VoIP & Security Services, Perú
- Dra. Carmen Luisa Vásquez Stanescu, Universidad Nacional Experimental Politécnica Antonio José de Sucre, Venezuela

## EQUIPO TÉCNICO

### Diagramadora

Lic. Alba Gil

### Diseñadora

Lic. Danissa Colmenares

### Traductores

Lic. Ninoska Hernández González

## POLITICA

### Enfoque y Alcance

#### Misión

La Revista de Investigación de *Ingeniería y sus Alcances*, tiene como propósito lograr la difusión y divulgación de los avances y resultados de las investigaciones científicas en el área de Ingeniería de las universidades de Bolivia y todo continente iberoamericano, bajo un enfoque multidisciplinario debido a la amplitud de su campo, manteniéndose en el contexto nacional e internacional.

#### Alcance

La Revista de Investigación de *Ingeniería y sus Alcances*, es un nuevo medio de divulgaciones científicas representadas por las diferentes ramas como lo es la industrial, Sistema, Electrónica, Civil, Petroquímica, Marítima entre otras. Creada por el Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, bajo la modalidad de acceso abierto. Esta revista busca posicionarse en los principales portales de indización, a través de las investigaciones científicas de calidad que se publicaran en ella. Posee además, un alcance internacional, y se mantiene abierta a todos los docentes e investigadores, y demás miembros de la comunidad de científica especializada en el área de ingeniería.



La Revista ***Ingeniería y sus Alcances***, es una publicación periódica de aparición cuatrimestral, en español, arbitrada bajo el sistema de doble ciego; es una revista de acceso abierto. Tiene como propósito lograr la difusión y divulgación de los avances y resultados de las investigaciones científicas y humanísticas en todo el campo de la ingeniería.

La revista está dirigida a investigadores, docentes, estudiantes y demás personas involucradas en el quehacer científico. Los artículos recibidos por la Revista ***Ingeniería y sus Alcances*** serán revisados, arbitrados y aceptados, según los resultados arrojados de la evaluación por pares para su posterior edición y publicación.

El proceso de edición de la Revista ***Ingeniería y sus Alcances***, se encuentra sometido bajo las normas y los estándares de control de calidad, garantizando la originalidad, pertinencia y actualidad de los artículos aceptados y publicados a través del establecimiento de principios de ética y políticas de detención de plagio.

### **Políticas de sección**

***Investigación o Colaboraciones.*** Bajo este rubro, los trabajos deberán contemplar criterios como el diseño pertinente de la investigación, la congruencia teórica y metodológica, el rigor en el manejo de la información y los métodos, la veracidad de los hallazgos o de los resultados, la discusión de resultados, conclusiones, limitaciones del estudio y, en su caso, prospectiva. La extensión de los textos deberá ser de 15 cuartillas mínimo y 25 máximo, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas deberán ir numeradas y estar escritas a espacio y medio.

***Intervenciones educativas.*** Deberán contar con un sustento teórico-metodológico encaminado a mostrar innovaciones educativas. La extensión de estos trabajos es de 15 cuartillas mínimo y 25 máximo, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas irán numeradas y se escribirán a espacio y medio.

***Reseñas de libros.*** Deberán aproximarse de manera crítica a las ideas, argumentos y temáticas de libros especializados. Su extensión no deberá exceder las tres mil palabras, calculadas con el contador de Word, incluidas gráficas, notas y referencias. Las páginas irán numeradas, con interlínea de espacio y medio.

***Reseña de revistas.*** Se referirán revistas nacionales o internacionales cuya temática sea de interés para la comunidad científica. Deben estructurarse con: Título, resumen en inglés y español, descripción del área temática, tipo de artículo y periodicidad, editorial, Institución, país, localización. Máximo 2 páginas.

***Reseña de tesis y trabajos de grado.*** Se referirán trabajos de investigadores de las universidades. Deben estructurarse con: Título, autor (es), resumen del trabajo de investigación en español inglés (abstract) con las palabras claves, tipo de tesis (Doctoral, Maestría), tutor, departamento, universidad, fecha de aprobación. Máximo 2 páginas.



**Reseña de páginas web, blogs y otros documentos electrónicos:** se referirán a trabajos o referencias de trabajos publicados en Internet que sean de interés para el campo académico e investigativo. Deben estructurarse en: título, autor (es) de la revisión, breve información sobre el contenido, especificación de dirección(es) electrónicas y los aportes que justifican dicha referencia. Máximo 4 páginas.

**Eventos.** Los docentes e investigadores que asistan a eventos académicos nacionales o internacionales divulgarán las ponencias, conferencias, foros, simposios entre otras actividades que se hayan sido presentadas o por presentar en un evento. El archivo debe ir estructurado de la siguiente manera: objetivos, resultados, conclusiones y propuestas generados en los mismos. Deben señalar datos de identificación: nombre del evento, lugar, fecha y objetivos. También forman parte de esta sección, la promoción y difusión de Jornadas, Congresos, Reuniones y Conferencias nacionales e internacionales de interés para los lectores. Máximo tres cuartillas

### **Proceso de evaluación por pares**

El tiempo estimado desde la aceptación del trabajo por los evaluadores hasta la publicación se estima de tres (3) meses. La Revista **Ingeniería y sus Alcances** del CET, se reserva el derecho de sugerir modificaciones formales a los artículos que sean aceptados para su publicación. Todos los textos enviados deben regirse por las Normas APA *para la presentación de artículos*.

Este sistema de control de calidad se desarrolla durante todo el proceso editorial de la revista en formato digital, de la siguiente manera:

Inicia con el proceso de recepción de las propuestas de artículos que realiza el (los) autor (es). Seguidamente, el artículo es evaluado de forma rigurosa por el Comité Editorial previendo que posea los parámetros de estructura claridad de los objetivos, coherencia de las ideas, pertinencia de la metodología, solidez de los resultados y discusión, conclusiones y referencias, en función de garantizar la pertinencia, originalidad del aportes, rigurosidad científica y la ética en el proceso editorial, reservándose el comité el derecho de remitir a expertos en la temática planteada.

Posteriormente, se asignarán dos pares externos a la institución editora, nacionales o internacionales, como evaluadores del artículo bajo la modalidad doble ciego, y en caso de presentarse desacuerdo en los conceptos, se asignará un tercer par evaluador para dirimir los desacuerdos; son ellos quienes realizarán observaciones y emitirán una dictamen en términos de: (a) Aceptado para publicación, (b) Pendiente de publicación, o (c) No se acepta para publicación.

Finalmente, el artículo es publicado en el número correspondiente al que se encuentre estructurado en función de temas actuales y pertinentes. Es por ello, que la propuesta de artículos es ingresada a nuestro sistema respondiendo a los parámetros establecidos por el Comité Editorial.



En el proceso de arbitraje se tienen en cuenta los siguientes criterios:

1. Cumplimiento de las normas del manual de Publicaciones de la American Psychological Association (APA).
2. Pertinencia de la temática con el área de cobertura de lo publicado en por la Revista ***Ingeniería y sus Alcances***
3. Aporte de nuevos conocimientos teóricos y prácticos sobre la temática trabajada.
4. Rigurosidad y objetividad con la temática abordada.
5. Uso adecuado, claro y coherente del idioma escrito.
6. Actualización y vigencia del respaldo referencial informado (cinco últimos años).

### **Normas de entrega**

El autor deberá descargar del sitio web de la revista, llenar y adjuntar a su contribución el formato único que integra la siguiente información:

- Solicitud de evaluación del artículo. La declaración de autoría individual o colectiva (en caso de trabajos realizados por más de un autor); cada autor o coautor debe certificar que ha contribuido directamente a la elaboración intelectual del trabajo y que lo aprueba para ser evaluado por pares a ciegas y, en su caso, publicado. Declaración de que el original que se entrega es inédito y no está en proceso de evaluación en ninguna otra publicación. Datos: nombre, grado académico, institución donde labora, domicilio, teléfono, correo electrónico editor@revistadeingenieria.org
- Currículo resumido del autor que no exceda de 5 líneas, en hoja aparte.
- El trabajo y los documentos solicitados arriba se enviarán a la dirección electrónica:
- Los trabajos deberán presentarse en tamaño carta, con la fuente Times New Roman de 12 puntos, a una columna, y en mayúsculas y minúsculas. El título deberá ser en trilingüe (español, inglés y portugués) y no podrá exceder las 15 palabras.
- Toda contribución deberá ir acompañada de un resumen en español que no exceda de 150 palabras, con cinco a seis palabras clave que estén incluidas en el vocabulario controlado del IRESIE, más la traducción de dicho resumen al inglés (abstract) con sus correspondientes palabras clave o key words y Portugués Resumo (obsérvese la manera correcta de escribir este término).
- Las palabras clave se presentarán en orden alfabético. Todos los trabajos deberán tener conclusiones.
- Los elementos gráficos (cuadros, gráficas, esquemas, dibujos, fotografías) irán numerados en orden de aparición y en el lugar idóneo del cuerpo del texto con sus respectivas fuentes al pie y sus programas originales. Es decir, no deberán insertarse en el texto con el formato de imagen. Las fotografías deberán tener mínimo 300 dpi de resolución y 140 mm de ancho.
- Se evitarán las notas al pie, a menos de que sean absolutamente indispensables para aclarar algo que no pueda insertarse en el cuerpo del texto. La referencia de toda cita textual, idea o paráfrasis se añadirá al final de la misma, entre paréntesis, de acuerdo con los lineamientos de la American Psychological Association (APA).
- La lista de referencias bibliográficas también deberá estructurarse según las normas de la APA y cuidando que todos los términos (&, In, New York, etcétera) estén en español (y, En, Nueva York, etcétera).



- Todo artículo de revista digital deberá llevar el DOI correspondiente, y a los textos tomados de páginas web modificables se les añadirá la fecha de recuperación. A continuación se ofrecen algunos ejemplos.

### **Libro**

Skinner, B. F. (1971). *Beyond freedom and dignity*. Nueva York, N. Y.: Knopf.

Ayala de Garay, M. T., y Schwartzman, M. (1987). *El joven dividido: La educación y los límites de la conciencia cívica*. Asunción, pa: Centro Interdisciplinario de Derecho Social y Economía Política (CIDSEP).

### **Capítulo de libro**

Helwig, C. C. (1995). Social context in social cognition: Psychological harm and civil liberties. En M. Killen y D. Hart (Eds.), *Morality in everyday life: Developmental perspectives* (pp. 166-200). Cambridge, ru: Cambridge University Press.

### **Artículo de revista**

Gozálvez, V. (2011). Educación para la ciudadanía democrática en la cultura digital. *Revista Científica de Educomunicación* 36(18), 131-138.

### **Artículo de revista digital**

Williams, J., Mark G., y Kabat-Zinn, J. (2011) *Mindfulness: Diverse perspectives on its meaning, origins, and multiple applications at the intersection of science and dharma*. *Contemporary Buddhism* 12(1), 1-18. Doi: 10.1080/14639947.2011.564811

### **Fuentes electrónicas**

Sistema Regional de Evaluación y Desarrollo de Competencias Ciudadanas (2010). *Sistema Regional de Evaluación y Desarrollo de Competencias Ciudadanas*. Recuperado de: [http://www.sredecc.org/imagenes/que\\_es/documentos/SREDECC\\_febrero\\_2010.pdf](http://www.sredecc.org/imagenes/que_es/documentos/SREDECC_febrero_2010.pdf)

Ceragem. (n. d.). Support FAQ. Recuperado el 27 de julio de 2014, de: <http://basic.ceragem.com/customer/customer04.asp>

### **Política de acceso abierto**

La Revista de “*Investigación de Ingeniería y sus Alcances*”, en su misión de divulgar la investigación y apoyar el conocimiento y discusión en los campos de interés proporciona acceso libre, inmediato e irrestricto a su contenido de manera libre mediante la distribución de ejemplares digitales. Los investigadores pueden leer, descargar, guardar, copiar y distribuir, imprimir, usar, buscar o referenciar el texto completo o parcial de los artículos o de la totalidad de la Revista, promoviendo el intercambio del conocimiento global.

La Revista de “*Investigación de Ingeniería y sus Alcances*”, se acoge a una licencia Creative Commons (CC) de Atribución – No comercial – Compartir igual, 4.0 Internacional: “El material creado puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros si se muestra en los créditos. No se puede obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original”.



Para más información: <http://co.creativecommons.org/tipos-de-licencias/>  
Las licencias CC se basan en el principio de la libertad creativa con fines académicos, científicos, culturales. Las licencias CC complementan el derecho de autor sin oponerse a este.

### **Derechos de autor**

Al enviar los artículos para su evaluación, los autores aceptan que transfieren los derechos de publicación a la Revista de **“Investigación de Ingeniería y sus Alcances”**, para su publicación en cualquier medio. Con el fin de aumentar su visibilidad, los documentos se envían a bases de datos y sistemas de indización, así mismo pueden ser consultados en la página web de la Revista: <http://revistaingenieria.org> Por último, la Revista se acoge en todo lo que concierne a los derechos de autor, al reglamento de propiedad intelectual del Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia, el cual se encuentra en la siguiente dirección: <https://www.cetbolivia.org>

### **Principios éticos y buenas prácticas**

Los artículos publicados en la Revista de **“Investigación de Ingeniería y sus Alcances”**, son sometidos al cumplimiento de los principios éticos contenidos en las diferentes declaraciones y legislaciones sobre propiedad intelectual y derechos de autor específicos del país donde se realizaron el estudio. Por tal motivo los investigadores o autores de los artículos aceptados para publicar y que presentan resultados de investigaciones, deben descargar y firmar la declaración de originalidad, de cesión de derechos y de cumplimiento total de los principios éticos y las legislaciones específicas.

### **Antiplagio**

Todos los artículos sometidos a revisión en Revista de **“Investigación de Ingeniería y sus Alcances”** son inspeccionados por una disciplinada política antiplagio que vela por la originalidad de los artículos. Para ello se utilizan distintos servicios especiales que analizan los textos en busca de coincidencias gramaticales y ortotipográficas, lo que garantiza que los trabajos sean inéditos y que cumplan con los estándares de calidad editorial que avalen producción científica propia.

Revista de **“Investigación de Ingeniería y sus Alcances”** como publicación que busca excelencia a nivel internacional, se inspira en el código ético del Comité de Ética de Publicaciones (COPE), dirigido a editores, revisores y autores.

### **RESPONSABILIDADES DE LOS AUTORES**

Los autores de los artículos enviados a la Revista de **“Investigación de Ingeniería y sus Alcances”** certifican que el trabajo es original e inédito, que no contiene partes de otros autores ni de trabajos ya publicados por los autores. Además, confirman la autenticidad de los datos y que no han sido alterados.

- El autor no debe publicar artículos en los que se repitan los mismos resultados en más de una revista científica u otra publicación académica o de otro carácter. La propuesta



simultánea a múltiples revistas científicas de un mismo trabajo es considerada éticamente incorrecta y reprochable.

- El autor debe suministrar siempre la correcta indicación de las fuentes y aportes a los que se hace mención en el artículo.
- Los autores garantizan la inclusión de las personas que han contribuido de manera científica e intelectual en la conceptualización y la planificación del trabajo como en la interpretación de los resultados y en la redacción del mismo. Al mismo tiempo se jerarquiza el orden de aparición de los autores de acuerdo a su nivel de responsabilidad e implicación.
- En caso de que el Consejo Editorial lo considere apropiado, los autores de los artículos deben poner a disposición también las fuentes o datos en los que se basa la investigación, que puede conservarse durante un período razonable de tiempo después de la publicación y posiblemente hacerse accesible.
- Todos los autores están obligados a declarar explícitamente que no hay conflictos de intereses que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas. Los autores también deben indicar cualquier financiación de agencias y/o de proyectos de los que surge el artículo de la investigación.
- Cuando un autor identifica un error en su artículo, deberá inmediatamente informar a los editores de la revista y proporcionar toda la información necesaria para realizar las correcciones pertinentes. - La responsabilidad del contenido de los artículos publicados en la Revista de **“Investigación de Ingeniería y sus Alcances”** es exclusiva de los autores.

### COMPROMISOS DE LOS REVISORES

La revisión por pares es un procedimiento que ayuda a los editores para tomar decisiones sobre los artículos propuestos y también permite al autor mejorar la calidad de los artículos enviados para su publicación. Los revisores asumen el compromiso de realizar una revisión crítica, honesta, constructiva y sin sesgo, tanto de la calidad científica como de la calidad literaria del escrito en el campo de sus conocimientos y habilidades.

- El revisor que no se sienta competente en la temática a revisar o que no pueda terminar la evaluación en el tiempo programado, deberá notificar de inmediato a los editores. Los revisores se comprometen a evaluar los trabajos en el menor tiempo posible para respetar los plazos de entrega, dado que en la Revista **“Ingeniería y sus Alcances”** los límites de custodia de los manuscritos en espera son limitados e inflexibles por respeto a los autores y sus trabajos.
- Cada manuscrito asignado debe ser considerado como confidencial. Por lo tanto, estos textos no se deben discutir con otras personas sin el consentimiento expreso de los editores. Impugnables.
- La revisión por pares debe realizarse de manera objetiva. Los revisores están obligados a dar razones suficientes para cada una de sus valoraciones, utilizando siempre la plantilla de revisión. Los revisores entregarán un informe crítico completo con referencias adecuadas según protocolo de revisiones de la Revista **“Ingeniería y sus Alcances”** y las normativas públicas para los revisores; especialmente si se



propone que el trabajo sea rechazado. Están obligados a advertir a los editores si partes sustanciales del trabajo ya han sido publicadas o están bajo revisión para otra publicación.

- Los revisores se comprometen a indicar con precisión las referencias bibliográficas de obras fundamentales posiblemente olvidadas por el autor. El revisor también debe informar a los editores de cualquier similitud o solapamientos del manuscrito con otros trabajos publicados.
- Para garantizar que el proceso de revisión sea lo más objetivo, imparcial y transparente posible, la identidad de los autores se suprime antes de ser enviados los trabajos a revisión por pares. Si se da el caso de que por alguna razón se ha visto comprometida la identidad de los autores, sus filiaciones institucionales o algún otro dato que ponga en riesgo la anonimidad del documento, el revisor debe notificar de inmediato a los editores.

### **Visibilidad**

Financiada por el Centro de Estudios Transdisciplinario de Bolivia (CET-Bolivia)

Publicada bajo la licencia Creative Commons

### **Autoarchivo**

Una vez se disponga del documento en PDF editado, el autoarchivo se deposita en los sistemas de información:

- Open Journal System (OJS).
- Repositorio del Centro de Estudios Transdisciplinarios Bolivia



## TABLA DE CONTENIDO

<b>EDITORIAL</b> .....	<b>75</b>
<b>INVESTIGACIONES</b>	
Estudio del comportamiento de la albañilería confinada en el análisis estático y dinámico para la ciudad de Potosí, Bolivia. <i>Study of behavior of the masonry confined in the static and dynamic analysis for the city of Potosí, Bolivia</i> .....	<b>77</b>
<b>Gabriela González</b>	
Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia. <i>Geological-geotechnical study for the stability of taludes in the Department of Potosí-Bolivia</i> .....	<b>85</b>
<b>Luis Oros Méndez</b>	
Exploración geológica preliminar del Depósito Mineralógico del Cerro Huakajchi Chico en Bolivia. <i>Preliminary Geological Exploration of the Mineralogical Deposit of Cerro Huakajchi Chico in Bolivia</i> .....	<b>97</b>
<b>Luis Rueda</b>	
Alternativa para lanzamiento de vigas postensadas Tramo Tres del Viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, La Paz. <i>Alternative for launch of postensed Beams Section Three of the Huanu Huanuni Viaduct - Alto Obrajes, La Paz</i> .....	<b>106</b>
<b>Milder Mayta</b>	
<b>CURRÍCULO DE AUTORES</b> .....	<b>117</b>

# EDITORIAL

El Centro de Investigación y Desarrollo Ecuador (CIDE) a través del Centro de Estudios transdisciplinario Bolivia (CET-Bolivia) presenta a la comunidad académica científica una nueva publicación de la revista de *Ingeniería y su Alcance*. Se trata del Volumen 2, Número 3, correspondiente al segundo cuatrimestre (mayo- agosto) del año 2018, donde se destacan visiones que ahondan en temáticas de las áreas del crear, inventar, construir, en los diversos campos donde la ingeniería cobra vida como los son las esferas Civil, Electrónica, Sistemas, Petroquímica, Industrial, Mecánica, Comercial, Náutica, Bioprocesos, entre otras.

Así, en las siguientes líneas se publican estudios vinculados con el complejo campo de la albañilería confinada y las diferentes características de la edificación. Posteriormente, se cuenta con investigaciones de orden geológico-geotécnico de taludes, exploraciones en depósitos mineralógicos y proyectos para viaductos.

Este número pretende alcanzar, mediante los aportes de calidad que se muestran en él, impactos en la comunidad científica a fin de favorecerla de manera crítica y activa. Los artículos que se publican en este número fueron recibidos durante el primer cuatrimestre del 2018. Las investigaciones proyectan horizontes analíticos sobre procedimientos de la Ingeniería.

Se inicia con el artículo *Estudio del comportamiento de la albañilería confinada en el análisis estático y dinámico para la ciudad de Potosí, Bolivia*, donde González argumenta un enfoque sobre la albañilería confinada.

Seguidamente, se incluye una investigación titulada *Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia*, la cual fundamenta un conjunto de prevenciones y controles para los desastres causados por los deslizamientos y rotura de los taludes en una construcción civil.

Adicionalmente presentamos en este número el artículo *Exploración geológica preliminar del Depósito Mineralógico del Cerro Huakajchi Chico en Bolivia*, donde Rueda concreta diversos aspectos que conducen hacia la delimitación de estructuras puntuales de interés mineralógico.

Finalizamos con *Alternativa para lanzamiento de vigas postensadas Tramo Tres del Viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, La Paz*, el cual presenta la problemática de los viaductos y la necesidad de analizar y calcular las posibilidades que brindan los alzamientos de vigas postensadas en la búsqueda de soluciones.

La revista *Ingeniería y su Alcance* invita a sus lectores a compartir este material con sus compañeros, estudiantes y público en general a fin de procurar la actualización mediante el intercambio de saberes y motivaciones para generar debates y nuevos enfoques académicos.

**Ing. Marcelo Israel Leyva López**  
**Editor de la Revista Ingeniería y su Alcance**



## **Estudio del comportamiento de la albañilería confinada en el análisis estático y dinámico para la ciudad de Potosí, Bolivia**

Study of behavior of the masonry confined in the static and dynamic analysis for the city of Potosí, Bolivia

**Gabriela González**  
g\_gonzalesm@hotmail.com  
Universidad Autónoma Tomás Frías, Bolivia

Artículo recibido febrero 2018 | Arbitrado en marzo 2018 | Publicado en mayo de 2018

### **RESUMEN**

El presente trabajo tuvo como fin estudiar el comportamiento estático y dinámico de la albañilería confinada. Para ello se considera una edificación que cumpla las características de simetría en planta como en elevación. Ésta fue modelada mediante el programa ETABS para su análisis estructural. Previa a la modelación se realizan ensayos para conocer características físico-mecánicas que presentan los ladrillos Dipafex usualmente utilizados en la construcción en la ciudad de Potosí.

**Palabras clave:** Albañilería Confinada; diseño sismoresistente; Ladrillos Dipafex

### **ABSTRACT**

The purpose of this work was to study the static and dynamic behavior of confined masonry. This is considered a building that meets the characteristics of symmetry in the plant and elevation. This was modeled through the ETABS program for structural analysis. Prior to modeling, tests are carried out to know the physical-mechanical characteristics of the Dipafex bricks usually used in construction in the city of Potosí.

**Key words:** Confined Masonry; earthquake resistant design; Dipafex Bricks



## INTRODUCCIÓN

Las estructuras en general se ven amenazadas por eventos sísmicos. López et al. (2017) expresan que estos se presentan en todo el mundo, en algunas regiones más que en otras. Sobre este amplio tema también conviene resaltar lo manifestado por Salamanca et al. (2011); Grandi (2006) y Albariño et al. (2002) sobre la historia de seísmos y sus consecuencias, pues Bolivia se ubica en la región conocida como “Cinturón de Fuego” del Pacífico, llamada así por la intensa actividad sísmica que presenta la zona. Este hecho obligó a hacer un rediseño de las estructuras para que estas puedan comportarse adecuadamente o, por lo menos, no colapsar al ser sometida a estos eventos dinámicos.

Es así que se trataron de adecuar y efectivizar los modelos estructurales ya conocidos, uno de estos, expresan Valdebenito et al. (2015) fueron las estructuras de albañilería, donde el principal elemento estructural es la misma, que presenta buen comportamiento estático, pero sometida a eventos sísmicos este tipo de estructuras son muy frágiles. Para hacer más efectivo la albañilería se procedió, tomando en cuenta lo manifestado por Astroza (2004) a confinarlas con un marco de hormigón originados así las estructuras de Albañilería confinada.

Para San Bartolomé et al. (2011) la albañilería o mampostería se define como un conjunto de unidades de ladrillo trabadas o adheridas entre sí con algún material. La albañilería confinada es simplemente estas piezas de ladrillo adheridas y confinados con columnas y vigas cadena de hormigón.

Este sistema fue creado por el hombre a fin de satisfacer sus necesidades principalmente de

vivienda, es así que la albañilería confinada por elementos de concreto armado fue creada por ingenieros italianos, después que el sismo ocurrido en 1908 en Messina, Sicilia arrasara con las edificaciones de albañilería no reforzada (San Bartolomé, 1994, s/n).

La albañilería fue introducida en Bolivia tan solo con fines constructivos, como tabiques separador de ambientes, pero dejando de lado el comportamiento estructural que este sistema tiene. En algunos sectores de la ciudad, comenta Aguirre (2013), se realizan construcciones de viviendas pequeñas de albañilería, esta trabaja como muro portante, y en otros casos realizan la construcción de los muros con el proceso constructivo de la albañilería confinada, es decir primero los muros, después las columnas y vigas. Esto para ahorrar material de encofrado o simplemente como una técnica constructiva más. En otras palabras, el uso de la albañilería ya sea simple o confinada es muy usual, pero este uso es empírico, es decir sin conocer el comportamiento y las características físico-mecánicas que la albañilería presenta y más aún cuando esta es confinada.

Para cerrar estas líneas introductorias, se concreta que el presente trabajo se enfoca en analizar el comportamiento estático y dinámico de la albañilería confinada, considerando métodos numéricos o de elementos finitos y así poder aprovechar la capacidad de resistencia que nos ofrece este sistema estructural.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Este trabajo abarcó varios métodos de investigación: el empírico, estadístico



matemático y teórico. A continuación una breve explicación de cada uno:

### **Método empírico**

Con la finalidad de conocer las características de resistencia de la albañilería se realizaron pruebas de laboratorio. La población fue conformada por los cinco (5) muros pequeños alrededor de 50 x 50 cm para determinar la resistencia compresión diagonal. Adicionalmente, se usaron otros diez (10) muros para determinar la resistencia a compresión pura.

### **Métodos del nivel estadístico matemático**

Estos métodos se emplearon con la finalidad de analizar cuantitativamente los datos obtenidos en las pruebas indicadas anteriormente y así obtener valores sintetizados y representativos de todas las pruebas.

### **Métodos de nivel teórico**

Con los métodos teóricos se analizaron los diferentes resultados obtenidos en las pruebas y luego se sintetizaron los resultados de estos ensayos. Por otro lado, también se analizó el comportamiento estático y dinámico de la estructura de albañilería confinada.

### **Método de modelación**

Se empleó con finalidad de poder realizar un estudio al comportamiento de la albañilería confinada a través del programa ETABS. Cueva et al. (2013) proporcionaron aportes para abordar este método.

### **Observación**

Se realizó una observación detallada de los resultados obtenidos en las pruebas

de laboratorio y en el modelo para conocer el comportamiento de la albañilería.

### **Novedad científica**

La albañilería confinada es parte del diseño estructural estático y sísmico de otros países, pero en nuestro país no se realiza este tipo de estructuras, quizá debido a que no se cuenta con muchos datos referentes de su comportamiento ni se conoce las características resistentes de los materiales usados, además de no contar con los laboratorios adecuados para realizar un estudio completo y profundo.

En este entendido, este trabajo se enfocó en realizar un estudio del comportamiento de la albañilería confinada sometido a cargas estáticas y sísmicas de manera más simple y por medio de modelaciones computacionales, además de conocer las propiedades físicas y mecánicas que esta nos presenta.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Para realizar un análisis del comportamiento y de las fuerzas internas de la albañilería confinada, en primera instancia se analizaron las características físico mecánicas de acuerdo a la NTP 399.621 (Normas para Muretes de Albañilería), referenciado por Gamarra et al (2018) y NTP 399.613 (Normas de Unidades), revisado por Durand y Benites (2018). Ambos son estudios referenciales de primera fuente que orientan este tipo de investigaciones.

Una vez conocidas estas características consideraremos una estructura de acuerdo a los especificados en la norma E.030 "Diseño sismoresistente", referenciada por San Bartolomé (2008). Una estructura simétrica tanto en planta como en elevación, con formas adecuadas que permitan un buen comportamiento sísmico, además de contar con una



densidad de muros adecuada. Esta estructura fue modelada usando métodos números “elementos finitos” y métodos manuales que nos ayudaron a entender cómo reacciona la estructura de albañilería confinada ante eventos sísmicos.

### Propiedades físicas y mecánicas. Ensayos de laboratorios

Las Tablas del 1 al 4 muestran, tomando en cuenta a González (2017) los resultados de compresión pura y de ladrillos de 18 huecos.

**Tabla 1.** Resultados del ensayo de compresión

NOMBRE PRISMA	Lm (cm)	Am (cm)	Hm (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	fm (kg/cm <sup>2</sup> )
PR 18 - 1	24.5	11.6	38.3	283.0	43200	152.664
PR 18 - 2	24.5	11.5	38.3	281.2	39300	139.771
PR 18 - 3	24.6	11.5	38.5	281.1	33100	117.753
PR 18 - 4	24.5	11.3	38.3	276.3	44200	159.980
PR 18 - 5	24.4	11.4	38.8	278.2	39700	142.724
<b>Promedio</b>						<b>129.746</b>

**Tabla 2.** Valores promedio

<b>Promedio</b>	129.746 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Desviación Estándar</b>	13.053
<b>Resistencia característica a compresión fm</b>	116.693 kg/cm <sup>2</sup>

**Tabla 3.** Prismas de ladrillos de 18 huecos

NOMBRE PRISMA	D (cm)	Área (cm <sup>2</sup> )	P (kg)	Vm (kg/cm <sup>2</sup> )	x-X	(x-X) <sup>2</sup>
PR 18 - 1	54.294	610.8	11.200	18.336	2,078	4,319
PR 18 - 2	54.500	621.3	9.300	14.969	-1.281	1,662
PR 18 - 3	55.174	631.7	10.000	15.829	-0,429	0,184
PR 18 - 4	55.596	639.4	9.800	15.328	-0.930	0,865
PR 18 - 5	55.015	629.9	10.600	16.828	0.570	<b>0,325</b>

**Tabla 4.** Valores promedio

<b>Promedio</b>	16.258 kg/cm <sup>2</sup>
<b>Desviación Estándar</b>	1.213
<b>Resistencia característica diagonal fm</b>	15.045 kg/cm <sup>2</sup>

### Análisis dinámico estructural

Una vez conocidas las características físico-mecánicas de la albañilería, se usaron estos resultados para realizar el estudio de la albañilería confinada en una vivienda acorde con las especificaciones de la norma.

### Descripción de la estructura

Se ha establecido un edificio de estructura regular destinada a ser una vivienda multifamiliar, el cual cuenta con cinco (5) niveles, siendo el último piso la azotea de uso común. Se trata de una construcción de albañilería confinada, con



un sistema de techado de losa aligerada unidireccional cuyo espesor es 20 cm y separación de entre ejes de 50 cm. La altura de piso a techo es de 2.60 m, ancho de puertas 1 m, ancho de las ventanas 1.50m, peralte viga solera 0.20 m y peralte de la viga dintel 0.30 m.

### Características de los materiales

#### Albañilería

- Ladrillos de arcilla: Dipafex espesor  $t = 12$  cm.
- Mortero: tipo P1 cemento arena 1:3
- Pilas: resistencia característica a compresión  $f'_m = 110 \text{ kg/cm}^2$
- Muretes: resistencia característica a corte puro  $v'_m = 15 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad  $E_m = 500 f'_m = 55000 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de corte  $G_m = 0.4 E_m = 22000 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson  $n = 0.25$

#### Concreto

- Resistencia nominal a compresión  $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad  $E_c = 15000 * \text{SQR}(210) = 217370.6512 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson  $n = 0.15$

### Cargas unitarias

#### Pesos volumétricos

- Peso volumétrico del concreto armado:  $2.4 \text{ ton/m}^3$
- Peso volumétrico de la albañilería:  $1.9 \text{ ton/m}^3$
- Peso unitario del acabado:  $2.0 \text{ ton/m}^3$

#### Carga en cada losa

- Contra piso  $80 \text{ kg/cm}^2$
- Acabado de piso  $40 \text{ kg/cm}^2$
- Acabado de techo  $40 \text{ kg/cm}^2$

#### Carga muerta no estructural DNE = $160 \text{ kg/m}^2$

- Peso propio de la losa maciza de  $12 \text{ cm} \times 0.12 \times 2400 = 288 \text{ kg/m}^2$

#### Carga muerta por peso propio D = $200 \text{ kg/m}^2$

- Sobrecarga (incluso en escalera):  $200 \text{ kg/m}^2$ , excepto en azotea:  $150 \text{ kg/m}^2$

#### Carga viva $200 \text{ kg/m}^2$

#### Muros

- Peso de los muros de albañilería con  $1 \text{ cm}$  de acabado:  $1.9 \times 0.12 + 2.0 \times 0.02 = 0.268 \text{ ton/m}^2$
- Ventanas:  $0.02 \text{ ton/m}^2$

### Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes

Usualmente, las edificaciones de albañilería son de mediana altura (hasta de 5 pisos), muy rígidas y califican como regulares, por lo que para estas situaciones es suficiente con realizar un análisis sísmico estático, donde la determinación de la fuerza sísmica o cortante basal "V", en las direcciones principales de la edificación está dada por (Norma E.030):  $V = Z U S VRP$ .

Los factores  $Z =$  zona,  $U =$  uso, y  $S =$  suelo, aparecen en la Norma sísmica E.030. Los términos C, P y R fueron tratados para el caso específico de edificios de albañilería.

Determinaremos cada uno de estos parámetros:

Para el factor de zona  $Z$  se tomó como base la propuesta normativa del Ingeniero Grandi (2006) que nos presenta un mapa de zonificación sísmica de Bolivia, en este podemos observar que el departamento de Potosí se encuentra en la zona sísmica 1 y 2, con una aceleración de 0.05 y 0.1.



## Análisis manual

El análisis manual es un método aproximado para la determinación de las fuerzas internas en los muros, debido a que no se consideran la influencia de las vigas dinteles y de otro elementos.

La realización de este análisis nos mostró claramente la manera cómo la cortante basal es absorbida por la albañilería de acuerdo a las características del mismo.

## Metrado de cargas

Las cargas actuantes en cada muro se obtienen sumando las cargas directas (peso propio, peso de soleras, dinteles, ventanas y alféizares) más las cargas indirectas (provenientes de la losa del techo: peso propio, acabados y sobrecarga).

## Método de análisis mediante elementos finitos

Con la técnica de elementos finitos pueden modelarse estructuras complejas, además de obtener resultados muy precisos.

Señala Lizarza (2000) que todos los productos *Computer and Structures* (CSI) trabajan mediante el Método de Elementos Finitos (MEF), originalmente introducido por Turner en 1956, que es una técnica computacional para soluciones aproximadas de una variedad de problemas de ingeniería del mundo real que tienen complejo dominio sujeto a condiciones generales de borde.

Para realizar un análisis de fuerzas en muros estructurales tanto ETABS, referenciado por Cueva et al. (2013) y Lema (2013), como SAP2000, valorado por Lavado (2013) e Hilarión (2014), los cuales trabajan, según Flores y Onate (2011), a través de elementos tipo

superficie denominado Elemento Shell (*Shell Element*).

## Consideraciones de la discusión

- Se ha establecido un edificio de estructura regular destinada a ser una vivienda multifamiliar, el cual cuenta con cinco (5) niveles, siendo el último piso la azotea de uso común.
- Se trata de una construcción de albañilería confinada, con un sistema de techado de losa maciza de espesor es 12 cm.
- La altura de piso a techo es de 2.60 m, ancho de puertas 1 m, ancho de las ventanas 1.50m, peralte viga solera 0.20 m y peralte de la viga dintel 0.30 m.

## CONCLUSIONES

Se realizaron ensayos en las unidades de albañilería de 18 huecos de acuerdo con lo establecido en la Norma E.070, obteniendo como resultado final: la resistencia característica a compresión ( $f'_m$ ) de 116.693 kg/cm<sup>2</sup>, y la resistencia característica a compresión diagonal ( $v'_m$ ) de 15.045 kg/cm<sup>2</sup>.

Estos resultados nos muestran que la albañilería en la ciudad de Potosí es de buena calidad y alcanza valores satisfactorios, siempre y cuando se cumpla con lo especificado en la norma. Entonces es posible realizar edificaciones de mediana altura con albañilería confinada en nuestra ciudad.

Se realizó el modelo estático de una edificación en base a albañilería confinada en el programa ETABS cuyos resultados mostraron que tanto las columnas como los muros absorben las fuerzas axiales, pero la cantidad de fuerza axial que cada uno de ellos absorbe del total, depende principalmente de las secciones que el



muro y sus columnas de confinamiento presentan.

También se elaboró el modelo dinámico de la edificación de albañilería confinada del cual se concluye que el sismo provoca fuerzas cortantes a la albañilería confinada siendo esta absorbida por el muro específicamente y no así por las columnas. Esta fuerza cortante genera esfuerzos de tracción y compresión horizontales en el muro, las cuales al sobrepasar la resistencia de corte del muro (vm) provocan fisuras o fallas por corte.

Adicionalmente, se pudo observar que la falla también depende de geometría del muro. Si la longitud es parecida a la altura, entonces se produce una falla por corte, pero si la longitud mucho más grande que la altura el muro tiende a fallar por deslizamiento.

El sismo también provoca momentos flectores en los muros y se pudo observar que este momento induce fuerzas verticales de tracción y compresión en las piezas, originando así la falla por flexión. Las columnas al estar adheridas al muro no presenta momentos flectores pero si esfuerzos de tracción y compresión.

En conclusión, se puede decir que la albañilería por sí sola, presenta buen comportamiento en un análisis estático, pero en un análisis dinámico la albañilería necesita refuerzo porque esta no puede absorber los esfuerzos axiales de tracción siendo un complemento efectivo confinarlas en columnas y vigas de concreto.

## REFERENCIAS

- Aguirre, S. C. (2013). Boom en el sector inmobiliario en Bolivia: ¿burbuja o fundamentos económicos?
- Albariño, L., Dalenz Farjat, A., Alvarez, L., Hernandez, R., & Pérez Leyton, M. (2002). Las Secuencias Sedimentarias del Devónico en el Subandino Sur y el Chaco. Bolivia y Argentina. In Congreso de Exploración y Desarrollo de Hidrocarburos (No. 5).
- Astroza, M., y Schmidt, A. (2004). Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño. *Revista de Ingeniería Sísmica*, (70), 59-75
- Cueva Jiménez, R. A., Chalcuacán, G., y Xavier, D. (2013). *Diseño por desempeño de edificaciones en homigón armado con muros de corte mediante los códigos FEMA, utilizando el programa ETABS*
- Durand, R., y Benites, L. (2018). Unidades de albañilería fabricadas con suelo-cemento como alternativa para la construcción sostenible. *Revista Ciencia y tecnología*, 13(1), 21-32
- Flores, F. G., y Onate, E. (2011). Un elemento de sólido con una mejora en el comportamiento del corte transversal para el tratamiento de láminas. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 27(4), 258-268
- Gamarra Cotohuanca, N., Galiano, M., y Luis, J. (2018). Evaluación comparativa de la resistencia a la compresión axial y diagonal en muros de albañilería elaborados con un mortero convencional (C: A) 1: 4, respecto a muros de albañilería elaborados con un mortero adicionado con fibras de polipropileno, utilizando ladrillo king kong 18 huecos
- González, G. (2017) Estudio del Comportamiento de la albañilería confinada en el Análisis Estático y Dinámico para la ciudad de Potosí. Universidad Autónoma "Tomás Frías", Potosí, Bolivia
- Grandi, R. (2006). Norma Boliviana de Diseño Sísmico. Primera Edición. Ministerio de Servicios y Obras Públicas. Bolivia
- Hilarión, F. L. N., y Segrera, D. L. L. (2014). Programa didáctico a código abierto de análisis dinámico de estructuras UNDIN 1.0. *Revista Educación en Ingeniería*, 9(17), 118-131



- Lavado Rodríguez, J., y Granados Romera, J. J. (2013). Cálculo de estructuras con el programa SAP2000
- Lema Toapanta, E. P. (2013). Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos modelamiento en el ETABS
- Lizarza, J. T. C. (2000). *Método de los elementos finitos para análisis estructural*. Escuela Superior de Ingenieros Industriales, Universidad de Navarra
- López, A., Álvarez, C. I., y Villarreal, E. (2017). Migración de fuentes sísmicas a lo largo del cinturón de fuego del Pacífico. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 25(1), 5-15
- Salamanca Mazuelo, L., Quiroga Becerra de la Roca, R., y Zamora Auza, B. (2011). Ochenta y cinco años de la historia de desastres en Bolivia (1920-2005). *Revista Virtual REDESMA*, 5, 15
- San Bartolomé, Á. (1994). *Construcciones de Albañilería*. Fondo editorial de Universidad Católica Perú
- San Bartolomé, A. (2008). Comentarios a la norma técnica de edificación E. 070. *Perú: Sencico*
- San Bartolomé, Á. (2011) Diseño y construcción de estructuras sismorresistentes de albañilería. Fondo editorial de La Pontificia Universidad Católica del Perú ed. San Bartolomé Á, Quiun D, Silva W, editores. Lima: Fondo editorial de La Pontificia Universidad Católica del Perú
- Valdebenito, G., Alvarado, D., Sandoval, C., y Aguilar, V. (2015, Marzo). Terremoto de Iquique Mw= 8, 2-01 abril 2014: daños observados y efectos de sitio en estructuras de albañilería. En *XI Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica* (pp. 18-20)



## Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes en el Departamento de Potosí-Bolivia

Geological-geotechnical study for the stability of taludes in the Department of Potosí-Bolivia

**Luis Oros Méndez**

luis\_oros@outlook.es

Universidad Autónoma Tomás Frías, Bolivia

Artículo recibido febrero 2018 | Arbitrado en marzo 2018 | Publicado en mayo de 2018

### RESUMEN

El estudio geológico-geotécnico brinda los parámetros físico-mecánicos para el análisis de estabilidad, diseño y tratamiento de taludes. Busca prevenir y controlar los desastres causados por los deslizamientos y rotura de los taludes en una construcción civil. La determinación de análisis según los métodos propuestos SMR-RMR y FELLENIUS da una estabilización y solución teórica a los problemas conocidos ocurridos en el tramo carretero El Retiro - Puente Méndez (Progresivas 67+000-51+900), en las cuales se estudiaron las zonas críticas con problemas que dificultan el tránsito libre y seguro del movimiento automovilístico constante, como también asegurar que futuras construcciones requeridas en el tramo estudiado sean factibles y seguras. Se realizó un estudio de los factores Geológicos considerables como: la Geomorfología, la Petrografía describirá y clasificará los materiales y rocas tomando en cuenta su origen, evolución y composición, la Estratigrafía, la Geología Estructural permitió analizar el comportamiento y condiciones de la deformación existente en el área y la Geotecnia analizó las características Geomecánicas de la roca y suelo.

**Palabras clave:** Geológico; geotécnico; Clasificación RMR de Bieniawski; progresiva; taludes

### ABSTRACT

The geological-geotechnical study provides the physical-mechanical parameters for stability analysis, design and slope treatment. It seeks to prevent and control disasters caused by landslides and breakage of the slopes in a civil construction. The determination of analysis according to the proposed methods SMR-RMR and FELLENIUS gives a stabilization and theoretical solution to the known problems that occurred in the El Retiro - Puente Méndez (Progressive 67 + 000-51 + 900) road section, in which the Critical areas with problems that impede the free and safe traffic of the constant automobile movement, as well as ensure that future constructions required in the section studied are feasible and safe. A study of considerable Geological factors was carried out such as: Geomorphology, Petrography will describe and classify materials and rocks taking into account their origin, evolution and composition, Stratigraphy, Structural Geology allowed analyzing the behavior and conditions of the existing deformation in The area and Geotechnics analyzed the Geomechanical characteristics of rock and soil.

**Key words:** Geological; geotechnical; RMR Classification of Bieniawski; progressive; slopes



## INTRODUCCIÓN

La geología como ciencia, según Pedrinaci (1994), permite explicar aquellos fenómenos que se observan permanentemente en la superficie terrestre relacionados con fenómenos internos. Principalmente presenta gran interés en el conocimiento del comportamiento del planeta Tierra, sus características esenciales, los fenómenos y procesos que actúan sobre el mismo. A su vez, manifiesta Anguita (1996) que está dividida en diferentes ramas o disciplinas auxiliares que ayudan a comprender los diferentes eventos geológicos suscitados en el pasado. Actualmente, tanto Angulo (1990) como Chumacero (2004) coinciden en que ha obtenido dentro de su campo resultados satisfactorios, considerando sus métodos de estudio, que son esencialmente: la observación, la deducción, el razonamiento.

Los estudios Geológicos - Geotécnicos son indispensables para realizar un correcto cálculo, diseño, tratamiento y control relacionadas a las construcciones civiles. Estos se ejecutan con el fin de evitar problemas, deslizamientos y todo tipo de inestabilidad que afecten a los mismos. (Herrera et al. 2012; Ordaz et al. 2012).

Por otra parte, conviene tomar en cuenta lo planteado por Massad (2010) pues expresa que uno de los principales objetivos en la Geotecnia es caracterizar las propiedades de los materiales geológicos y determinar el comportamiento frente a las solicitaciones impuestas. Al momento de trabajar sobre ellas, se genera una serie de prospecciones geotécnicas en el terreno, así como una recogida selectiva de muestras para su revisión en profundidad en el laboratorio que cree un modelo geológico en función de los objetivos del estudio y de su alcance, caracterizando las propiedades de los materiales y sus discontinuidades.

Ahora bien, la Geotecnia, como una rama reciente de la geología y fundamental para ingeniería, esta surge mundialmente cuando falla la presa de St. Francis en California Meridional en el año 1928, con

pérdida de vidas significativo y daños económicos. Entre los ingenieros civiles se hizo evidente la idea de que no era suficiente el diseño cuidadoso de su estructura en sí misma, para lograr una garantía de su seguridad. En este sentido, requerían de un Ingeniero Geólogo para un estudio cuidadoso de su ambiente y, esencialmente, de los materiales sobre los cuales se asentaría la estructura. A su vez los geólogos tuvieron que familiarizarse con las exigencias ingenieriles de aquellos materiales y adquirir nociones de las funciones y comportamientos de las estructuras ingenieriles (Krynine, D. 1961). En efecto, con el trabajo realizado por Karl Terzaghi, la Mecánica de Suelos fue reconocida como una disciplina principal de la Ingeniería. Este término y el de Geología Aplicada a la Ingeniería, fueron introducidos en su libro pionero *Erdbaumechanick auf Bodenphysikalischer Grundlage* publicado en 1925.

La Mecánica de Rocas, comenta Villalaz (2004), fue una disciplina desarrollada por ingenieros y geólogos en la industria petrolera y minera. Esta no fue reconocida como parte de la Ingeniería Civil sino hasta 1960, en el Primer Congreso de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas en Lisboa. En 1962, bajo la insistencia de la Escuela Austriaca, con Stini y Müller al frente, se desvincula de la Sociedad Internacional de Mecánica del Suelo, con la pública oposición del fundador de la ciencia geotécnica, Karl Terzaghi. Justamente en esta época, explica Sánchez Caro (2007), se producen dos hechos desafortunados: como en diciembre de 1959, falla la cimentación de la presa bóveda de Malpasset, en Francia, provocando 450 muertos. Adicionalmente, en octubre de 1963, un deslizamiento en la presa de Vajont (Italia) provoca la total destrucción, aguas abajo, de la población de Longarone, con un saldo aproximado de 2.000 muertos. Tras estudiar el desastre de Vajont, Terzaghi escribe:

(...) las curvas de frecuencia de diaclasas no pueden construirse con ningún grado de segu-



ridad si no se realizan cientos de mediciones, si los expertos en Mecánica de Rocas no resisten la tentación de hacer pocos ensayos por razones económicas, los riesgos envueltos en las construcciones civiles en roca aumentarán fuertemente. (En: Genevois et al., 2013, y Sainz, 2013, s/n).

Entre 1973 y 1989, Bieniawski (1989) utiliza cinco parámetros básicos (resistencia a compresión simple, RQD, estado de las juntas, frecuencia de las juntas y presencia de agua) para desarrollar el RMR (*Rock Mass Rating*) como sistema de caracterización del terreno, presentando las primeras correlaciones entre el RMR y el módulo de deformación, permitiendo así hacer cálculos basados en teorías elásticas.

Mientras tanto, en el sur y centro de América, la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE) adoptó el término de Ingeniería Geotécnica en 1974. En la actualidad este último término incluye la mecánica de suelos, ingeniería de cimentaciones y mecánica de rocas, e implica una fuerte relación con la geología aplicada a la ingeniería (Celis y Colmenares, 1989; Palacio, 2013). Por esto, los países sudamericanos consideran los desastres e implementaron distintos tipos de análisis en las obras humanas como presas, embalses, túneles, carreteras, aeropuertos, minas y edificios, obteniendo resultados satisfactorios cuando previamente se determinan las condiciones geológicas-geotécnicas del terreno en el diseño y la construcción de estructuras.

Tal es el caso, como expresan Ferreras (2015) y Ochoa (2013), que para la seguridad en el diseño megaestructuras, para asegurar su estabilidad y mantenimiento, los ingenieros necesitan de la experiencia de geólogos competentes en rocas y suelos, propiedades físicas y químicas de las rocas, los minerales y los procesos geológicos que pueden afectarlas. Actualmente, se construyen mayores túneles, carreteras, presas, aeropuertos para grandes aviones, cortes más profun-

dos para autopistas y terraplenes de mayor altura.

Concuerdan las investigaciones de Iriondo et al. (2000), Cáceres y Pinard (2004) y Mergili et al. (2015) que en Bolivia, el estudio geológico-geotécnico para realizar el diseño de una carretera es muy importante por diferentes aspectos, por ejemplo, nos indican la existencia de materiales que podemos utilizar, su distribución y accesibilidad, las propiedades de los suelos respecto del tránsito y características de los materiales en la superficie para estribos de puentes. Las características geológicas y topográficas del país muestran una diversidad de problemas activos que afectan a las construcciones civiles.

Para lo cual, vemos, a partir de lo señalado por Sanhueza y Rodríguez (2013), que la estabilidad de taludes tiene una gran importancia, ya que los deslizamientos son uno de los procesos geológicos más destructivos que afectan a los humanos causando muertes y daños en construcciones civiles. Sin embargo, es importante acotar lo expresado por Cornejo et al. (2018), pues pocos son conscientes de su importancia considerando que un porcentaje de los deslizamientos son evitables, si el problema se identifica con anterioridad y se toma medidas de prevención o control. Las zonas montañosas de altos topográficos del país son susceptibles a sufrir problemas de deslizamientos, ya que se reúnen elementos importantes para su ocurrencia como son: la topografía, sismicidad, lluvias intensas, meteorización, reactivación de fallas, entre otros.

En razón, el análisis de la estabilidad de taludes es un problema clásico en la mecánica de rocas y suelos. Dichos estudios se efectúan con la finalidad de alargar su vida. Por esta razón, la estabilidad de taludes se emplea a través de un enfoque probabilístico desde inicios de los años 70. Los análisis pueden llevarse por dos métodos: el método de equilibrio límite, referido por Bojorque (2011) y el método de elementos finitos, citado por Sanz (2015). Estos métodos establecen



propuestas de estudios novedosos que avanzarán de la mano con la tecnología disponible.

Actualmente, siguiendo de nuevo a Sanhueza y Rodríguez (2013), la mayoría de los análisis de estabilidad se basan en los estudios de equilibrio límite donde se considera la relación de esfuerzos deslizantes y resistentes a lo largo de una superficie dada. Sin embargo, en los últimos tiempos, se ha incrementado significativamente el uso de elementos finitos, considerando la división de un cuerpo en formas geométricas simples o elementos interconectados entre sí para resolver de forma aproximada el conjunto, la principal ventaja de este método es que considera las relaciones esfuerzo-deformación, por lo que una rotura no se da de forma instantánea sino que es un proceso continuo. En particular el siguiente trabajo de investigación tomará en cuenta con mayor prioridad todos los estudios que engloben a la estabilidad de taludes.

Mier (2001) muestra la aplicación de métodos de ingeniería geotécnica para la estabilización afectada por fallas presentes en la zona, mejorando el libre tránsito en la carretera. Por su parte, Damaso (2009) presenta una alternativa importante y significativa con la finalidad de minimizar los accidentes de tránsito basándose en el estudio de los parámetros geológicos-geotécnicos que influyen en la estabili-

zación de taludes en cortes profundos, evaluando los macizos rocosos y de suelos con la clasificación meto-dológica de Bieniawski y ejecutando paralelamente clasificaciones del macizo por el método de BARTON. Finalmente, Zambrano (2010) expone la importancia de enfocar los estudios de la geología y geotecnia aplicados a carreteras, con la finalidad de mejorar las condiciones de transitabilidad, enfocando el análisis geomecánico, basado en el comporta-miento del macizo rocoso, según los diferentes juegos de juntas o discontinuidades que muestran el grado de estabilidad.

En definitiva, considerando los constantes problemas que afectan a las carreteras y otros tipos de construcciones civiles causados por diferentes eventos naturales, geológicos, climáticos, entre otros, se pudo evidenciar la inestabilidad geológica del tramo a estudiar y con base a los problemas críticos que enfrenta el área se planteó el presente trabajo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio se encuentra ubicada en el Departamento de Potosí, Provincia Cornelio Saavedra del Municipio de Betanzos, carretera principal asfaltada Potosí-Chuquisaca, con referencia menor (el Retiro-Puente Méndez). Las progresivas exactas del estudio se encuentran en la Tabla 1 realizada por Oros (2017).

**Tabla 1.** Progresiva

Punto	Progresiva	Sector	Coordenada Norte	Coordenada Este	Elevación
1	67+000	El Retiro-Otuyo	7841657,413	267062,803	2564,20
2	51+900	Millares - Abra San Miguel	7853608,553	269792,996	2455,36

El tramo carretero se encuentra vinculado con las capitales de los departamentos de Potosí y Chuquisaca, a través de la carretera troncal de primer orden con una distancia de 156,4 km entre

En cuanto a la infraestructura cercana de la zona de estudio, las comunidades

ambas capitales. Las progresivas de estudio se encuentran aproximadamente a 81 y 96 km de la capital del departamento de Potosí.

adyacentes al tramo carretero cuentan con los servicios básicos como luz y agua. Se



observan sembradíos y construcciones de viviendas aptas para el vivir, tomando como punto central la región de Millares, la cual cuenta con un amplio comercio diario, mercado, escuela, cancha deportiva y centro de salud.

### a) Características Geológicas del área en estudio

Geológicamente el área presenta una secuencia estratigráfica sobre la traza del camino de rocas ordovícicas sedimentarias de las formaciones capinota y anzaldo compuestas de areniscas, limolitas, cuarcitas, pizarras y principalmente lutitas muy fracturadas con intenso diaclasamiento poco resistentes a la erosión. Suprayasen a estas el material cuaternario que está representado por los depósitos coluvial, aluvial, terrazas aluviales, deslizamientos o de remoción en masa y depósitos de relleno artificial.

El tramo carretero en sus progresivas presenta rocas lutitas con un alto grado de fracturación y fisibilidad, presencia de vetillas de cuarzo de 0-10 cm de espesor. El contenido de sulfatos y carbonatos emplazadas en el material ordovícico en todo el tramo nos muestra a simple vista una coloración blanca con contenido

húmedo en partes bajas muy abundante según la estación ocasional anual.

### b) Estratigrafía

La secuencia litológica del tramo carretero comienza con el afloramiento de rocas Paleozoicas de edad Ordovícica, que comprende a las Formaciones Anzaldo y Capinota. El Punto 1 progresiva 67+000 (sector entre el Retiro y Otuyo) con rocas ordovícicas lutitas, cuarcitas de la formación anzaldo con alto grado de diaclasamiento, estas se encuentran aflorando en faldas de los cerros Calla Orkho y Chaupi Orkho. El Punto progresiva 51+900 (sector millares y Abra San Miguel). En su integridad afloran rocas lutitas altamente fracturadas de la formación capinota, provenientes del flanco oeste del sinclinal que se centra en el sector de millares. En la parte superior de estas formaciones se observa material del sistema cuaternario, de serie del holoceno sedimentario principalmente aluvial y coluvial. En la Tabla 2 Oros (2017) resume litoestratigráfico, el cual indica la edad cronológica de las distintas formaciones geológicas, así como su designación litológica para los fines de investigación tomando en cuenta solo la secuencia estratigráfica de los sistemas por donde pasa el tramo de estudio.

**Tabla 2.** Lito-estratigrafía del Tramo

Era	Sistema	Época	Ciclo sedimentario	Formación
<b>Cenozoico</b>	Cuaternario	Holoceno	Andino II	Qcl, Qal, Qta, Qdm, Qar
<b>Paleozoico</b>	Ordovícico	Inf - Med	Tacsariano	Formación Anzaldo (Oan) Formación Capinota (Ocp)

### c) Geología Estructural

Estructuralmente la zona de estudio presenta deformaciones como, plegamientos, fallas, diaclasamientos. Igualmente, la presencia de unidades mayores como anticlinales y sinclinales. Se realizó el análisis de las condiciones tectónicas locales a través de un mapeo geológico estructural por las áreas de influencia o dominios estructurales, en el cual las progresivas se ubican en material netamente

ordovícico. El mapeo se realizó en los afloramientos rocosos de la zona que a la vez son afectados por la gravedad de manera directa. Esta se destaca como el factor primordial de activación de fallas y derrumbes, además en la diferenciación de cizallamientos, fracturaciones, entre otros. Posteriormente se realizaron las comparaciones sistemáticas para la estabilidad de los taludes. El rumbo



predominante de los estratos varía entre las direcciones N10°W-NS-NE con una variación de 15°, con buzamientos que fluctúan entre 40 y 70° SW. Debido a una gran actividad tectónica en la zona de estudio se presentan dos juegos claramente visibles de diaclasas, con rumbos promedio de N 70° E y Buzamiento de 80°SE. El segundo juego con rumbo de S 70° E y buzamiento NE.

#### **d) Geomorfología**

El área de estudio se ubica dentro de la unidad mayor de la cordillera oriental de los andes, en específico, las progresivas de estudios se encuentran delimitadas por una sucesión fluyente de ríos. La progresiva 1: entre los ríos de Tatana, Mataca y Otuyo. La progresiva 2: entre los ríos de Jatun Mayu y más lejano el río Pilcomayo, en el cual desembocan en su mayoría todos los ríos secundarios del área, convirtiéndolo en el principal causante de los cambios relativos del paisaje y creando variaciones fluctuantes en la altura.

El paisaje y la geomorfología que presenta el área de estudio han sido afectados por diversos procesos que modelaron y efectuaron un cambio en el relieve actual, dando lugar a la formación de áreas positivas y negativas (altos y bajos topográficos). Este es el resultado de la acción de precipitaciones pluviales sumadas a los procesos de erosión, intemperismo y meteorización esencialmente física; por lo tanto, estas dieron origen a nuevas formas marcadas en el terreno, controlada por diaclasas, fallas y diaclasas locales de origen tectónico.

Las fallas regionales dieron lugar a valles jóvenes con escarpes de mediana altura. Por otra parte, la acción eólica también es muy importante en el sector, ya que dio lugar a la formación de escarpes de pendiente alta, erosionando en forma vertical y pudiendo formar valles profundos.

En el área se observaron dos tipos de redes fluviales: la red dendrítica que nos muestra una uniformidad en todas las direcciones de las rocas y la paralela nos

muestra una discontinuidad que no es muy frecuente.

#### **e) Geotectónica**

La zona de estudio se encuentra dentro de la unidad geomorfológica estructural de la cordillera oriental de los Andes centro- sur, justamente entre las fallas inversas de: lineamiento Aiquile, Chinimayu, la falla Duraznillo y la falla Huayllas (más lejana), todas estas con una dirección general N-S, N-W. Encontrándose en una sucesión de anticlinales y sinclinales alrededor del área. De esta manera, dada las características observadas en la zona de estudio hay un desarrollo activo, primordialmente por las características mencionadas anteriormente.

La tectónica regional refleja un desarrollo estructural complejo atravesadas por un dominio general N 10° W, en este sentido se desarrollan estructuras de gran envergadura de disposición regional tales como la falla inversa el Duraznillo, y los ejes de plegamientos (anticlinales y sinclinales) que dan una clara evidencia del desarrollo compresivo en dirección N 60° E, por otra parte se observó varias fallas direccionales en sentidos opuestos producto de procesos que se desarrollaron en posteriores etapas a la fase Oclòyica en el ciclo Tacsariano del Cámbrico – Ordovícico, tales como el ciclo cordillerano, ciclo sub andino hasta llegar al ciclo sedimentario Andino II.

Tectónicamente el área permitió diferenciar lo siguiente:

**Primero:** Ubicada al NE del área conforma un bloque paleozoico menos deformado, pero caracterizado por constantes derrumbes y deslizamientos de gravedad.

**Segundo:** Ubicada al NW del área presenta variación gradual de estructuras desde anticlinales hasta sinclinales, afectados por grandes fallas inversas, muy deformados por encontrarse en una zona geológica inestable.

**Tercero:** Ubicada al sur del área de trabajo, presencia una zona muy afectada por los deslizamientos, derrumbes, etc.



especialmente porque en este lugar se encuentra la denominada variante el retiro que nos muestra los comportamientos de las estructuras dada la intercepción de camino carretero desde las partes más altas.

Uno de los parámetros primordiales para el problema de activación de las fallas y cualquier inestabilidad en el camino está dada por los movimientos sísmicos, es de esta manera que se puede observar que el área del proyecto se encuentra en una zona de susceptibilidad: Por lo tanto, el área de estudio se encuentra en la zona de 0.10 – 0.12 Ao/g según el Instituto San Calixto de la ciudad de la Paz, que refiere a una zona activa y de constante efecto sísmico.

La evolución tectónica del área de estudio muestra una sucesión de varios ciclos interrumpidos por efectos geodinámicos ocurridos en el margen occidental. Las mayores deformaciones y acortamientos a gran escala datan del oligoceno terminal, como resultado de la mayor actividad subductiva de la Placa de Nazca.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Cálculo y Clasificación RMR de Bieniawski: Mecánica de las Rocas

Este punto se refiere a la variedad de rocas que pueden constituir un macizo rocoso. El área de estudio presenta rocas del Ordovícico como Lutitas y cuarcitas ambas muy fracturadas y diaclasadas de las Formaciones Anzaldo y Capinota. Para el muestreo de rocas y evaluación por el método de Bieniawski se utilizaron los siguientes materiales: Cateador, brújula, huincha, flexómetro, lápices de colores, reglilla de mapeo, tablero, marcadores, lupa, pintura en aerosol, escalímetro, nivel, rugómetro, guantes y equipos de protección personal.

#### • **Punto 1, Progresiva 67+000**

Estimación en el campo de la resistencia compresiva de la roca intacta, utilizando martillo de geólogo. Esta prueba se realizó en campo (*in situ*), realizando

golpes con el cateador con una misma fuerza sobre la cara del talud sin marcas de presencia de discontinuidades, la cual según al número de golpes y características, se pudo clasificar en la tabla específica para esta estimación.

### Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Compresión Simple y/o Uniaxial

Este procedimiento se realizó inicialmente con la toma de muestras del macizo de la cara del talud orientadas respectivamente. Se obtuvieron dos bloques de muestras de aproximadamente 40 kilos cada una. Luego, se realizó el respectivo corte en la máquina cortadora, con el cual se obtuvo las probetas cuyas dimensiones de ancho, largo y alto respectivamente son 7 cm x 7 cm x 7 cm (de forma cúbica). Posteriormente, estas se llevaron al laboratorio de mecánica de rocas para realizar el ensayo de compresión uniaxial. Una vez fragmentada la probeta (ver foto Nro. 8), se realizaron los cálculos y obtención de los datos respectivos.

### Obtención del Índice de la Calidad de la Roca – R.Q.D.

El RQD se determina en el campo mediante las familias de discontinuidades o juntas, las cuales son estratos, diaclasas y toda superficie de debilidad, la distancia de trabajo de cada estación geomecánica es de acuerdo a la accesibilidad como también al tipo de trabajo, a gran detalle o un trabajo específico, la primera familia consiste en aquella que tenga más contenido de discontinuidades, la segunda familia la de un considerado contenido de discontinuidades y la tercera familia aquella que tenga menor contenido de discontinuidades. Para lo cual, tomando en cuenta a Oros (2017) se realiza el mapeo geotécnico (*in situ*), obteniendo los datos y ángulos en la cara del macizo de forma cubica, o sea largo (Hz), alto (Vt) y ancho (Esp).



### **Espaciamiento de Juntas o Discontinuidades**

El espaciamiento de juntas se obtiene midiendo la abertura entre estas, por lo cual se obtiene sacando la distancia promedio de los espaciamientos más representativos y comunes visados durante el mapeo, es distancia fue medida en centímetros. Para esta progresiva, las aberturas entre las discontinuidades resultan ser de 10,2 - 5,2 - 8,1 dándonos como resultado un promedio 7,8 cm. El resultado según la tabla correspondiente se clasifica como un macizo rocoso muy fracturado.

### **Estado de las Discontinuidades**

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- La abertura de las juntas o discontinuidades se obtiene midiendo el espacio entre las paredes de estas, por lo cual se logra sacando la distancia promedio de los espaciamientos más representativos y comunes visados durante el mapeo, esta distancia fue medida en milímetros. Para esta progresiva, las aberturas resultan ser de 8 - 4 - 6, dándonos como resultado un promedio 6 mm. El resultado según la tabla correspondiente se clasifica como de Grado 1 de abertura abierta.
- Esta longitud se consigue midiendo la distancia de la junta dominante, por lo cual se obtuvo sacando un promedio de las distancias más representativas visadas durante el mapeo, esta distancia fue medida en metros. Para esta progresiva, las longitudes fueron de 5,61 - 3,80 - 4,09 dándonos como resultado un promedio 4,5 m
- La rugosidad del macizo se logró con la ayuda del rugómetro de BARTON de una longitud de 0,14 m, esta se apoyó sobre la superficie o pared del talud y se obtuvo el perfil de rugosidad, donde la profundidad más representativa llegó a ser de 6mm.

- Se obtiene según el tipo de material existente entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso, estas pueden ser abiertas o cerradas y estar rellenas o no. Se llegó a clasificar como un tipo de relleno blando < a 5 mm, según la tabla del rango de valores para la clasificación RMR89 se valora = 2.
- Se llegó a clasificar según un análisis (*in situ*), como un tipo roca muy alterada Grado IV.
- Se clasificó según un análisis (*in situ*), como Ligeramente Húmedo.

### **• Punto 2, Progresiva 51+900**

#### ***Estimación en el campo de la resistencia compresiva de la roca intacta, utilizando martillo de geólogo***

Esta prueba se realizó en campo (*in situ*), la cual simplemente realizando golpes con el cateador con una misma fuerza sobre la cara del talud sin contenido de discontinuidades, se pudo clasificar según la tabla específica para esta estimación.

#### ***Determinación de la Resistencia Compresiva mediante el Ensayo de Compresión Simple y/o Uniaxial***

Este procedimiento se realizó primera-mente con la toma de muestras del macizo de la cara del talud orientadas respectivamente, se obtuvieron dos bloques de muestras de aproximadamente 40 kilos cada una. Para posteriormente realizar el respectivo corte en la máquina cortadora, con el cual se obtuvo las probetas cuyas dimensiones de ancho largo alto respectivamente son 5 cm x 5 cm x 5 cm (de forma cúbica). Se llevó al laboratorio de mecánica de rocas para realizar el ensayo de compresión uniaxial. Una vez fragmentada la probeta se realizaron los cálculos y obtención de los datos respectivos. El resultado según la tabla correspondiente se clasifica como Roca de resistencia muy baja.



### **Obtención del Índice de la Calidad de la Roca – R.Q.D.**

El R.Q.D se determina en el campo mediante las familias de discontinuidades o juntas, las cuales son estratos, diaclasas y toda superficie de debilidad, la distancia de trabajo de cada estación geomecánica es de acuerdo a la accesibilidad como también al tipo de trabajo ya sea a gran detalle o un trabajo específico, la primera familia consiste en aquella que tenga más contenido de discontinuidades, la segunda familia la que tenga un considerado contenido de discontinuidades y la tercera familia aquella que tenga menor contenido de discontinuidades, para lo cual siguiendo a Oros (2017) se realizó el mapeo geotécnico (*in situ*), obteniendo los datos y ángulos en la cara del macizo de forma cúbica, es decir largo (Hz), alto (Vt) y ancho (Esp).

### **Espaciamiento de Juntas o Discontinuidades**

El espaciamiento de juntas se obtiene midiendo la abertura entre estas, se logra sacando la distancia promedio de los espaciamientos más representativos y comunes visados durante el mapeo, esa distancia fue medida en centímetros. Para esta progresiva, las aberturas entre las discontinuidades resultan ser de 6,1 - 4 - 5,5 dándonos como consecuencia un promedio 5,2 cm. El resultado según la tabla correspondiente se clasifica como un macizo rocoso muy fracturado.

### **Estado de las Discontinuidades**

En este apartado se tienen en cuenta los siguientes parámetros:

- La abertura de las juntas o discontinuidades se obtiene midiendo el espacio entre las paredes de estas, esto se logra sacando la distancia promedio de los espaciamientos más representativos y comunes visados durante el mapeo, esta distancia fue medida en milímetros. Para esta progresiva, las aberturas resultan ser de 4 - 5 - 6, dándonos como resultado

un promedio 5 mm. El resultado según la tabla correspondiente se clasifica como de Grado 2 de abertura moderadamente abierta.

- Esta longitud se alcanza midiendo la distancia de la junta dominante, por lo cual se obtuvo sacando un promedio de las distancias más representativas visadas durante el mapeo, esta distancia fue medida en metros. Para esta progresiva, las longitudes fueron de 2,20 - 1,55 - 3,19 dándonos como resultado un promedio 2,3 m. El resultado según la tabla del rango de valores para la clasificación RMR89 se valora = 2.
- La rugosidad del macizo se obtuvo con la ayuda del rugómetro de BARTON de una longitud de 0,14 m, esta se apoyó sobre la superficie o pared del talud y se alcanzó el perfil de rugosidad, donde la profundidad más representativa llegó a ser de 9mm, dando como resultado entre 4 - 5. Resultado para esta progresiva según la tabla correspondiente se la clasifica como: Grado de Rugosidad 4 - ondulada, lisa.
- Se obtiene según el tipo de material existente entre las paredes de la discontinuidad, casi siempre más blando que el macizo rocoso, estas pueden ser abiertas o cerradas y estar rellenas o no. Se llegó a clasificar como un tipo de relleno blando < a 5 mm, según la tabla del rango de valores para la clasificación RMR89 se valora = 2.
- Se llegó a clasificar según un análisis (*in situ*), como un tipo roca descompuesta Grado V
- Se clasificó según un análisis (*in situ*), como Ligeramente Húmedo.

### **Determinación del Factor de Seguridad**

Se tomó en cuenta el análisis bidimensional por la facilidad de su aplicación. Este análisis asume cero esfuerzos o cero deformaciones en las superficies laterales del modelo, por lo tanto, para que se simulen las condiciones



de campo se requiere que existan esas condiciones o unas muy cercanas. El empleo de análisis bidimensional se puede ampliar aplicando al modelo una carga hidrostática superficial. Por otro lado, se debe tener en cuenta que los estudios para suelo reforzado requieren considerar el refuerzo del suelo mediante elementos en tensión; estos refuerzos se pueden modelar fácilmente mediante el método de equilibrio límite, pero no ocurre lo mismo mediante los modelos de esfuerzo-deformación. Para el siguiente análisis del factor de seguridad se propuso utilizar el análisis según el método de Fellenius, y una comparación con los métodos de Bishop y Jambù. Utilizando el software SLIDE y GeoSlope. Para el respectivo modelamiento y obtención del Factor de seguridad.

#### **a. Cálculo del factor de seguridad para el talud Progresiva 51+900**

El cálculo se realizó en el talud ubicado en la parte derecha de la carretera (con sentido hacia sucre), con un diseño de software de derecha-izquierda realizándolo a una escala en metros. Se utilizó el ángulo de inclinación del talud 55° medido en campo, las distancia inclinada y altura del talud se obtuvo por simple función trigonométrica y la diferencia de elevaciones del pie y la corona del talud, las cuales fueron 37.5 m. - 30.7 m. respectivamente. El tipo de suelo clasificado según estudios como arena-limosa, con un peso del agua estándar de 9,81 kN/m<sup>3</sup>. La cohesión y el ángulo de fricción para el tipo de suelo obtenida por. Para el peso específico del tipo de suelo clasificado. Valores obtenidos de las tablas generales determinadas en laboratorio según los procedimientos establecidos en las normas ASTM de la *American Society for Testing and Material* El diseño y elaboración de la malla de análisis nos revela un factor de seguridad por debajo de 1.0: inestable (Oros, 2017)

#### **b. Cálculo del factor de seguridad para el talud Progresiva 67+000**

El cálculo se realizó en el talud ubicado en la parte izquierda de la carretera (con sentido hacia sucre), con un diseño de software de izquierda a derecha realizándolo a una escala en metros. Se utilizó el ángulo de inclinación del talud 57° medido en campo, la distancia inclinada y altura del talud se obtuvo por simple función trigonométrica y la diferencia de elevaciones del pie y la corona del talud, las cuales fueron 55 m. - 46.2 m. respectivamente. El tipo de suelo clasificado según estudios como arena-limosa, con un peso del agua estándar de 9,81 kN/m<sup>3</sup>. La cohesión y el ángulo de fricción para el tipo de suelo obtenida por el peso específico del tipo de suelo clasificado. Valores obtenidos de las tablas generales determinadas en laboratorio según los procedimientos establecidos en las normas ASTM de la *American Society for Testing and Material* (1997). El diseño y elaboración de la malla de análisis nos revela un factor de seguridad por debajo de 1.0: inestable (Oros, 2017)

### **CONCLUSIONES**

Se realizó con éxito el levantamiento geológico - geotécnico del área y las progresivas propuestas en el estudio, permitiéndonos conocer todas las características geológicas fundamentales para contribuir al estudio realizado.

Por otra parte, en estas líneas finales es oportuno destacar que se logró realizar la clasificación RMR de Bieniawski para macizos rocosos, los cuales muestran los siguientes resultados y valores:

- Progresiva "67+000": RQD = 26 (Roca Mala), RMR = 34 Clasificación = IV, Descripción = Roca Mala.
- Progresiva "51+900": RQD = 9 (Roca Muy Mala), RMR = 26 Clasificación = IV, Descripción = Roca Mala.

En función a la clasificación RMR, se pudo evaluar la estabilidad de los taludes por el método SMR, dando como resultado las siguientes características:

- Progresiva "67+000": SMR = 30, Clase = IV, - Descripción = mala, Estabilidad = inestable, Tratamiento = Corrección.



- Progresiva “51+900”: SMR = 35, Clase = IV, - Descripción = mala, Estabilidad = inestable, Tratamiento = Corrección. Por el método de Fellenius, se determinó el factor de seguridad, dándonos los siguientes resultados:

- En las Progresivas “67+000 y “51+900”: El factor de seguridad calculado en ambas fue menor a 1.00, dando a conocer un factor de seguridad bajo e inestable.

Finalmente, con todas las características y los datos obtenidos de los diferentes métodos para cada progresiva, se pudo analizar y se ofrecieron soluciones tentativas a las problemáticas existentes diseñadas y presentadas en el anexo correspondiente.

### REFERENCIAS

- Anguita, F. (1996). Geología y ciencias de la Tierra: etimología y un poco de historia. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 4(3), 177-180
- Angulo, T (1990). Geología General. Bolivia: UATF
- Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering*. John Wiley and Sons
- Bojorque Iñiguez, J. (2011). Métodos para el análisis de la estabilidad de pendientes
- Cáceres, F., y Pirard, E. (2004). Teledetección Geológica de la Región de San Pablo de Lipez-Bolivia. En *XVI Congreso Geológico Boliviano*
- Celis, J., y Colmenares, J. E. (2016). Hacia una formación más fundamentada y flexible en ingeniería civil. *Revista Educación en Ingeniería*, 11(21), 4-8
- Cornejo, L., Marchán, R., y Gines, E. (2018). Riesgo por deslizamiento en el sector de “Mal Paso”, Tumbes, Perú. *Manglar*, 15(1), 19-26
- Chumacero, E. (2004). Introducción a la Geología. Bolivia: UATF
- Damaso, U. (2009). Estudio de los parámetros geológicos-geotécnicos en la estabilidad de taludes en la Variante Falda de la Queñua. Bolivia: UATF
- Genevois, R., Martino, S., Prestininzi, A. (2013). La Geología es noticia 50 años de la tragedia de Vajont (Italia). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(1), 92
- Ferreras Recio, A. (2015). Estudio geológico Túnel carretera Cibao-Sur
- Herrera Herbert, J., y Castilla Gómez, J. (2012). Utilización de técnicas de sondeos en estudios geotécnicos: Madrid: Laboratorio de Tecnologías Mineras
- Iriondo, M., Colombo, F., y Kröhling, D. (2000). El abanico aluvial del Pilcomayo, Chaco (Argentina-Bolivia-Paraguay): características y significado sedimentario. *Geogaceta*, 28(2000), 79-82
- Krynine, D. P., Judd, W. R. (1961). Principios de Geología y Geotecnia para ingenieros
- Massad, F. (2010). *Obras de terra: curso básico de geotecnia*. Oficina de textos
- Mergili, M., Marchant, C., y Moreiras, S. M. (2015). Causas, características e impacto de los procesos de remoción en masa, en áreas contrastantes de la región Andina. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(2), 113-131
- Mier, T. (2001) Estabilización de Taludes en la carretera Cochabamba-Santa Cruz falla en el km 135. Bolivia: Universidad Autónoma Tomas Fría
- Ochoa Tapia, M. X. (2013). Estudio geológico-geotécnico del tramo de Vía Nueva Fátima-Numbiaranga-Portachuelo de los cantones Sozoranga y Macará, provincia de Loja (Bachelor's thesis).
- Ordaz, A., Chuy, T. J., Hernández-Santana, J. R., y García, J. A. (2012). División geológico-geotécnica aplicada a la zonación sísmica urbana: San Cristóbal, Cuba occidental. *Cuaternario y Geomorfología*, 26(1-2), 89-104
- Oros, L (2017). Estudio geológico-geotécnico para la estabilidad de taludes (Tramo carretero El Retiro-Puente Méndez "Progresivas 67+000+57 +900) Departamento de Potosí. Boli-



- via: Universidad Autónoma Tomás Frías
- Pedrinaci, E. (1994). Historia de la Geología como herramienta didáctica, *La Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2(2), 332-339
- Palacio, C. (2013). Tendencias y desafíos en la formación de Ingenieros Civiles. *Ingeniería y Sociedad*, (6), 11-19
- Sainz, A. M. C. (2013). La Geología es noticia a 50 años de la catástrofe de Vajont: Riesgos de deslizamiento en el embalse de Yesa. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21(1), 101
- Sánchez Caro, F. J. (2007). *Seguridad de presas: aportación al análisis y control de deformaciones como elemento de prevención de patologías de origen geotécnico*. En *Revista de Obras Públicas*
- Sanhueza Plaza, C., y Rodríguez Cifuentes, L. (2013). Análisis comparativo de métodos de cálculo de estabilidad de taludes finitos aplicados a laderas naturales. *Revista de la Construcción*, 12(1), 17-29
- Sanz, R. V., Martí, S. S., y Orrego, A. D. (2015). Estabilidad de Taludes: Conceptos Básicos, Parámetros de Diseño y Métodos de Cálculo. *Civilizate*, (7), 50-54
- Villalaz, C. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones*. Editorial Limusa
- Zambrano, M. (2010). Estudio geológico-geotécnico del tramo chita-río mulato-Bolivia: Universidad Autónoma Frías



## Exploración geológica preliminar del Depósito Mineralógico del Cerro Huakajchi Chico en Bolivia

### Preliminary Geological Exploration of the Mineralogical Deposit of Cerro Huakajchi Chico in Bolivia

**Luis Rueda**

juan\_rueda@hotmail.com

Universidad Autónoma Tomás Frías, Bolivia

Artículo recibido febrero 2018 | Arbitrado en marzo 2018 | Publicado en mayo de 2018

#### RESUMEN

El objetivo del trabajo fue realizar sondeos de perforación a diamantina en relación a sondaje HCD-004. El área de estudio se localiza en la provincia Tomás Frías del departamento de Potosí. La campaña de prospección geoquímica, dio como resultado anomalías en Zn, Pb y Ag que corresponden a una estructura oxidada tipo stockwork emplazada en una ignimbrita (0,141 % de Zn, 0,149 % de Pb y 4,2 ppm de Ag). Se analizó la presencia de Sn por el método AAS Espectrofotometría de Absorción atómica - Fire Assays. Los sondajes HCD-005 y HCD-006 siguieron anomalías geoquímicas y la traza de la estructura que controla la brecha hidrotermal cortada en el pozo de la primera fase, en ambos pozos la recuperación fue superior al 95 % que se considera buena. Se procedió a realizar una estimación del recurso mineralógico el peso específico determinado fue de 2,58 gr/cc obteniéndose un tonelaje total de 1.947.841,82 Tn con valores de 0,34 % de Zn y 0,075 % de Pb.

**Palabras clave:** Cerro Huakajchi Chico; exploración geológica; depósito mineralógico

#### ABSTRACT

The objective of the work was to conduct diamond drilling in relation to HCD-004 drilling. The study area is located in the Tomás Frías province of the department of Potosí. The geochemical prospecting campaign resulted in anomalies in Zn, Pb and Ag that correspond to an oxidized stockwork type structure located in an ignimbrite (0.141% Zn, 0.149% Pb and 4.2 ppm Ag). The presence of Sn was analyzed by the AAS method Atomic Absorption Spectrophotometry - Fire Assays. The HCD-005 and HCD-006 probes followed geochemical anomalies and the trace of the structure that controls the hydrothermal gap cut in the well of the first phase, in both wells the recovery was greater than 95% that is considered good. An estimation of the mineralogical resource was carried out, the specific weight determined was 2.58 gr / cc, obtaining a total tonnage of 1,947,841.82 Tn with values of 0.34% of Zn and 0.075% of Pb.

**Key words:** Hill Huakajchi Chico; geological exploration; mineralogical deposit



## INTRODUCCIÓN

La minería, como actividad económica del sector primario de los países del mundo, para Martínez (2013) y Harman (1992) se encuentra representada por la extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos. Por su parte, Fernández (2004) afirma que la actividad minera presenta aspectos directos, como la ocupación de mano de obra, e indirectos como los servicios y comercios locales; los propietarios de la tierra ocupada donde se realizan las explotaciones mineras; el impacto ambiental, esencialmente sobre las personas y los ingresos que reciben las provincias o la nación por regalías.

Así, los estudios de Prado (2005) y Millán (2006) manifiestan que, dependiendo del tipo de mineral a extraer, la actividad se divide en minería metálica y no metálica. La primera es empleada como materias primas básicas para la fabricación de una variedad de productos industriales. Siguiendo a Torres (2014) y a Herrera y Pla (2006) la minería no metálica o también denominada de cantera son usados como materiales en la construcción, entre otros.

Para Lankton (1991) distintas organizaciones, como el Banco Mundial, discurren que la minería es uno de los indicadores básicos de las posibilidades de desarrollo económico de una localidad, región o país. Ésta se considera como una de las actividades más antiguas de la humanidad, ya que desde tiempos de la prehistoria el hombre ha usado diversos minerales para la fabricación de herramientas y armas. Con el paso de los siglos, expresa Kuschick (2009) pasa a ser una importante industria, que ha creado una serie de técnicas, estudios y análisis físico-químicos con el objetivo de mejorar la exploración y explotación de los yacimientos.

La minería actual se compone de varias etapas, desde el descubrimiento del yacimiento, pasando por la explotación, hasta finalmente el cierre y post cierre de la mina. La primera fase es el descubrimiento del yacimiento que se realiza mediante la prospección y la exploración, cuyo objetivo es conocer y definir la extensión, ubicación y el valor del mineral (Herrera, 2008).

A partir de los cálculos estadísticos y matemáticos, señala Aluja (2001) se estima el tamaño y el grado del depósito que se utiliza para crear el estudio de prefactibilidad, que determina de manera teórica la economía del depósito, la inversión inicial y los posibles riesgos claves en una inversión minera. Al respecto, Arce et al. (2009) y Guiza (2013) argumentan que las compañías o empresas mineras son las encargadas de llevarla a cabo como industria, cuya competencia depende de la producción de mineral extraído y de su calidad y cantidad. Para entenderla mejor, la actividad minera puede dividirse en grande, mediana y pequeña minería, no obstante, en algunos países existe una cuarta categoría, la artesanal.

Para regular la industria minera, los gobiernos nacionales de todo el mundo y las instituciones financieras internacionales han creado una serie de reformas legislativas, que buscan la armonía y la estabilidad del sector productivo. Éstas están enfocadas en el cuidado del medio ambiente y en la seguridad de los mineros. Sin embargo, las violaciones a estas normas en el último tiempo han provocado diversos desastres en varias naciones del mundo.

Los países que llevan la vanguardia en cuanto a minería podemos mencionar a Canadá, con una legislación minera bastante accesible y como mayor productor de



metales preciosos. Seguido por Australia y Estados Unidos. Sin embargo, no hay que dejar de lado el avance logrado de China, ya que en los últimos años encabeza la lista de inversionistas en diversos países del mundo, con el propósito de asegurar los recursos a futuro (Murguía, 2019). Por otra parte, Ruz (2015) y Lagos (2002) señalan que Sudamérica, considerado dentro de la minería mundial como un importante productor y exportador de minerales y metales, afianzado con una minería dinámica y nuevas tecnologías, busca modernizar aspectos como lo económico, ambiental y social, con una rentabilidad privada posiblemente atractiva, y con una potencial mayor recaudación de impuestos por parte de los Estados.

Bolivia, como país desde tiempos de la colonia, considera a la minería como la mayor industria extractiva, donde a lo largo de la historia han sido explotados el oro, plata, plomo, zinc, estaño, etc. Un referente mineralógico importante es la Cordillera Oriental que, para Vargas (1989) se considera como una de las más grandes provincias mineralógicas del mundo. Específicamente, el departamento de Potosí fue el primer distrito minero de la región andina, dentro del territorio que actualmente constituye Bolivia, siendo San Antonio de López la primera población minera de renombre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio está situada en la faja estannífera de Bolivia, al Oeste del Complejo Volcánico del Kari y en el extremo Sur del Cerro Rico de Potosí, estando a una distancia de 6 km al Sur de la ciudad capital; políticamente se encuentra en el municipio de Potosí siendo parte de la Provincia Tomas Frías del mencionado departamento. Topográfica-

mente el área se encuentra a una altura entre 4240 y 4520 mnm (Rueda, 2018).

El acceso al área de trabajo se realiza por las siguientes carreteras: Carretera Panamericana La Paz-Oruro-Potosí (asfaltada) 559 km, desde la ciudad de Potosí al puesto de peaje a Tarija (5 km asfaltado) – área de trabajo (1 km de tierra); todas las rutas son transitables durante todo el año además existen rutas alternas ripiadas de segundo orden que vinculan distintos sectores del área de estudio.

## Geología Regional

El área de estudio se sitúa en la parte central de la Cordillera Oriental que constituye una región montañosa poligénica, constituida por rocas de edad Ordovícica, Cretácica y Cuaternaria, compuesta por lutitas, limolitas, calizas, areniscas, pizarras y cuarcitas.

Schneider y Halls regionalmente identificaron tres fases de desarrollo magmático y de mineralización. La primera fase relacionada con la intrusión del complejo granodiorítico Kumurana hace 25 M.a. en el extremo sur de la caldera volcánica del Kari. La segunda fase hace 20 M.a., permite la formación de la caldera del Kari, junto a las tobas de Agua Dulce y una tercera fase hace 12 M.a. vinculada a la intrusión del stock Cerro Rico, en la parte noroccidental de la caldera, aprovechando una zona de debilidad.

## Geología Local

Geológicamente en el área se encuentran unidades de los periodos Ordovícico, Cretácico, Terciario y Cuaternario. La parte oriental del área de trabajo está cubierta por una unidad de ignimbritas de tonalidades grisáceas claras, las cuales están alteradas en su parte basal y descansan sobre un basamento pelítico Ordovícico inferior. La unidad ignimbrítica



aflora en toda la extensión del cerro Huakajchi Chico. En el sector Este del cerro Huakajchi Chico, localmente se observa una brecha volcánica cloritizada, silicificada y oxidada, éstas se encuentran en forma de diques cortando a las ignimbritas.

El cuerpo presenta una ligera inclinación hacia el Suroeste y se halla rodeado irregularmente por tobas líticas grises con clastos sedimentarios paleozoicos; en el sector Oeste se observan brechas volcánicas en contacto con las dacítas. A nivel local, el basamento lo constituyen sedimentos ordovícicos y cretácicos cortados por este domo riodacítico y por diques propilitizados, existiéndose en toda el área depósitos cuaternarios coluviales, aluviales y fluviales.

## **Estratigrafía**

### **a) Sistema Ordovícico**

El Ordovícico, de edad no diferenciada, está representado por rocas sedimentarias pelíticas de ambiente reductor y algunos bancos de cuarcitas de poca potencia, aflorando al Sur del área de estudio subyaciendo a unidades cretácicas y a afloramientos terciarios. La secuencia comienza con una unidad basal consistente de una secuencia monótona de lutitas gris oscuras del Ordovícico que afloran en una ventana en el flanco Sur del cerro Huakajchi Chico, mientras que hacia el tope se tienen areniscas y cuarcitas cuya potencia llega aproximadamente a unos 10 m, estando expuestas en el lado occidental del cerro Huakajchi Grande.

Las cuarcitas que se encuentran en el flanco occidental del cerro Huakajchi Grande presentan una ligera oxidación con presencia de limonita. Las lutitas, en sus niveles intermedios, presentan alternancia de bancos de areniscas de 30 a 50 cm de espesor.

### **b) Sistema Cretácico**

En el área de estudio los afloramientos de este periodo corresponden a sedimentitas de las formaciones típicas del Cretácico, entre las que se encuentran sedimentos de areniscas de la Formación La Puerta, sedimentos limo-líticos de tono rojizo violáceo de la Formación Aroifilla y sedimentos calcáreos de tonos claros de la Formación El Molino. Al Sur del domo Huakajchi Grande, las sedimentitas del Ordovícico infrayacen en discordancia angular a rocas arenosas y arcillosas las cuales, por sus características litológicas, corresponden a unidades básicas del Cretácico.

El contacto con el domo no es visible por estar cubierto por tobas líticas y material coluvial. En el sector Sureste, las rocas paleozoicas presentan alteraciones ligeras a moderadas (argilización y sericitización) e infrayacen a las ignimbritas propilitizadas del cerro Huakajchi Chico. En dirección Este, están cubiertas por brechas argilizadas y oxidadas; hacia el Sur afloran delgados niveles lenticulares de rocas calcáreas pertenecientes a la Formación El Molino.

### **c) Sistema Terciario**

El sistema terciario está representado por unidades volcánicas efusivas e hipobisales de diferentes litologías representados por depósitos piroclásticos (ignimbritas y tobas), domos, brechas de falla y brechas volcánicas.

Estas rocas ocupan casi toda el área de trabajo, suprayaciendo discordantemente a sedimentos ordovícicos; estos depósitos piroclásticos consisten de fragmentos heterogéneos de tonalidad gris clara localmente gris-verdosa, presentando



fenocristales de feldespatos euhedrales de hasta 4 mm, mica negra (biotita) idiomórfica además de cuarzo de origen magmático todo cementado por una matrix afanítica levemente alterada.

Estas ignimbritas tienen una asociación de fragmentos líticos ordovícicos (lutitas laminadas de bordes angulosos a subredondeados y cuarcitas gris claras) con dacitas silicificadas de grano medio. En la secuencia suprayacente, estas tobas soldadas del cerro Huakajchi Chico contiene clastos líticos de roca sedimentaria (cuarcitas, areniscas y lutitas) y en menor cantidad clastos volcánicos de composición dacítica a riódacítica. Los clastos son habitualmente subangulosos de variadas dimensiones ( $\leq 10$  cm).

En el cerro Huakajchi Chico la estructura de las ignimbritas son comúnmente masivas, con clastos predominantemente cuarcíticos en una matrix con alteración argílica moderada a débil; mientras que en el cerro Huakajchi Grande presentan una estructura con dirección de flujo; la ignimbrita del Huakajchi tendría  $11,85 \pm 0,05$  Ma. En varios sectores del área de estudio existe una zonación de alteración hidrotermal externa (propilítica y argílica); la alteración propilítica es de débil a moderada coincidiendo con varios lineamientos de dirección NE a SO; teniendo una tonalidad verduzca por la presencia de epidota y/o clorita, afectando principalmente la base de las ignimbritas y a gran parte de las brechas de falla y en menor grado a las brechas volcánicas.

En otros sectores la alteración argílica es de débil a moderada siendo acompañada por una silicificación de la toba dacítica (muy notorio en la parte Sur del área). Los fracturamientos regionales tienen una dirección general con tendencia al Norte (en un rango de  $35^\circ$  que va de  $N5^\circ O$  a  $N30^\circ E$ ) las mismas cortan los masivos

rocosos del área teniendo buzamientos altos entre  $70^\circ$  a  $85^\circ$  a veces verticales ( $90^\circ$ ) con inclinación tanto al Este como al Oeste.

#### **d) Domo**

En el sector Noroeste del área, se encuentra un domo riódacítico, abarcando una superficie aproximada de 87 hectáreas constituyéndose principalmente en la parte Oeste de la cima del cerro Huakajchi Grande; este domo presenta una coloración grisácea a marrón claro, teniendo grano medio a grueso y una textura porfídica (presencia de fenocristales de cuarzo magmático con bordes subredondeados y feldespatos alcalinos y/o potásicos de hasta 2 cm. de largo) en una matrix de tonalidad clara y textura afanítica. Las ignimbritas subyacen al domo riódacítico porfídico habiendo desarrollado hacia el Suroeste una chimenea de brecha, la misma se encuentra silicificada y cuyos clastos son paleozoicos de origen sedimentario.

#### **e) Chimenea de brecha "Breccia Pipes"**

Se encuentra en la parte occidental del cerro Huakajchi Grande, se extiende sobre una superficie de aproximadamente  $600 \text{ m}^2$  teniendo una posición vertical, siendo un cuerpo cilíndrico de sección ovoide en planta y teniendo su diámetro menor de unos 25 m; los fragmentos de esta brecha van desde algunos cm hasta 1 m siendo angulosos a subredondeados, teniendo una coloración marrón verduzca y notándose una alteración hidrotermal tipo filica débil. Esta chimenea de brecha estaría asociada al emplazamiento del domo riódacítico en su borde occidental. La matrix del cuerpo tubular exhibe una coloración gris verdosa cuya estructura es brechoide y su textura porfídica de grano



medio a grueso, teniendo una composición con marcada tendencia ácida y conformada por fenocristales de cuarzo además de feldespatos moderadamente argilizados.

### **f) Brechas volcánicas**

Afloran en el sector oriental del área y se presentan infrayacentes a las ignimbritas del cerro Huakajchi Chico. Estas unidades están constituidas por clastos poligénicos angulosos a subredondeados de variada granulometría ( $\leq 10$  cm); siendo la principal característica la presencia de clastos riolacíticos alterados de coloración marrón-verdusca con una matrix compacta de tonos claros, presentan una alteración argílica de bajo grado además de una silicificación débil a moderada.

### **g) Cuaternario**

#### **• Depósitos coluvio-glaciares**

Estos depósitos cuaternarios conformados por bloques, gravas, arenas y arcillas, se encuentran en el área de estudio rellenando paleorelieves, terrazas, escarpes de pendiente moderada y taludes.

#### **• Depósitos aluviales**

Estos depósitos que corresponden a material detrítico (cantos, gravas y arenas de grano grueso), se presentan como acumulaciones en las terrazas presentes en los márgenes de los valles fluviales de la zona.

#### **• Depósitos fluviales**

Constituidos por un material mejor seleccionado (guijarros, arenas, limos y arcillas), se encuentran en los lechos de los ríos y quebradas; formando a veces llanuras de inundación producto de la erosión y deposición fluvial, que en algunos sectores sirvieron para el desarrollo de bofedales.

### **• Geología Estructural**

En el mapa geológico se pueden contemplar los principales lineamientos y estructuras tectónicas identificadas en el terreno, los mismos se complementan con la geología local del área de estudio; es así que se pudo evidenciar los siguientes aspectos:

- a) Existe un sistema principal de fallas y lineamientos locales de posición NNE-SSO (entre  $2^\circ$  a  $30^\circ$  de azimut) teniendo buzamientos generalmente de altos ángulos hacia el Este como al Oeste afectando casi toda el área objeto de estudio (Fotografía N° 9); en un recorrido por la parte Oeste del cerro Huakajchi Grande se evidenció que, dentro las ignimbritas, estos lineamientos y fallas presentan buzamientos casi verticales (entre  $70^\circ$  a  $85^\circ$  al NO) posiblemente por efecto del emplazamiento tangencial del domo indicando un solevantamiento posterior.
- b) En la parte central del área, una serie de lineamientos y fallas casi transversales a las anteriores, coinciden con alteraciones de baja intensidad de la zona, teniendo una dirección azimutal de  $300^\circ$  aproximadamente; aparentemente ciertos elementos de estas fallas presentan desfases horizontales dextrales. La falla del Socavón Pilar, que tiene un rumbo N  $15^\circ$  E y un buzamiento de  $54^\circ$  SE, se encuentra desplazada por este tipo de fallas.
- c) En la parte occidental del cerro Huakajchi Chico, estas fallas transversales tienen una dirección azimutal de  $60^\circ$  cortando a los lineamientos principales de posición NNE-SSO. En la parte occidental del área, un lineamiento regional de orientación Norte-Sur cruza la parte central hasta llegar



a la parte más alta del cerro Huakajchi Grande, atravesando las formaciones sedimentarias paleozoicas y mesozoicas. Las fracturas sin movimiento aparente (diaclasas) se presentan en diferentes litologías, con frecuencias variables y juegos de diaclasas entre 1/m hasta 4/m teniendo la dirección de estas una tendencia NNE-SSO (entre 5° a 35°) y ONO-ESE (80° a 110°).

#### ***h) Mineralogía y alteración hidrotermal***

En superficie existen indicios de mineralización primaria que se manifiestan por medio de disseminaciones esporádicas además de halos de alteraciones hidrotermales presentes en la zona. Aunque no ha sido posible evidenciar cuerpos mineralizados a excepción de aquellos que se encuentran en algunos desarrollos mineros subterráneos en los cuales se pudo evidenciar algunas estructuras de potencia variable, pueda que, por las disseminaciones presentes en superficie, a profundidad la mineralización se enriquezca en elementos como el Pb, Zn y Ag.

La alteración argílica moderada a intermedia (que de las 2 encontradas en el área, es la de mayor grado considerando la zonación hidrotermal), tiene un grado de afectación débil a moderado sobre las brechas e ignimbritas del cerro Huakajchi Chico. Esta zonación hidrotermal puede que a profundidad se incremente pudiendo haber alteraciones cuarzo-sericíticas u otras de mayor grado, las mismas tienen mayor probabilidad de emplazar mineralizaciones con características para ser aprovechadas económicamente.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

La prospección geoquímica estratégica planificada fue realizada en un área más

reducida respecto a la primera fase, enfocándose sobre todo en la parte Sur del cerro Huakajchi Chico habiendo tomado también algunas muestras en el cerro Huakajchi Grande con el objetivo de establecer la existencia de mineralizaciones de importancia económica o señales de emplazamientos importantes de minerales de Zn, Pb, Ag u otros.

#### ***Muestreo***

Las muestras fueron obtenidas mediante canaletas de 20 x 15 cm (ancho x profundidad), en su mayoría en estructuras geológicas (lineamientos, fallas, brechas, stockworks, diques y apófisis de afloramientos de brechas volcánicas) con indicios de albergar algún tipo de mineralización (por ejemplo, zonaciones de alteraciones hidrotermales presentes en el área), ya que no se identificaron estructuras vetiformes mineralizadas en toda el área de estudio.

#### ***Análisis y límites de detección geoquímicos***

Las muestras fueron preparadas y analizadas en el laboratorio ALS Bolivia Ltda. De la ciudad de Oruro, por el método ME-ICP61 AES (33 elementos) +Sn (Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectroscopy “espectroscopia de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente”), digestión casi total con cuatro (4) ácidos. El método se refiere a que la muestra se digiere en una mezcla de ácidos nítrico, perclórico y fluorhídrico al que se añade ácido perclórico para ayudar a la oxidación de la muestra y para reducir la posibilidad de pérdida mecánica de la muestra a medida que la solución se evapora a sales húmedas.

Por otra parte, en lugar del oro, que, por su estilo de mineralización y porque en los análisis geoquímicos de la primera fase



no se reportaron valores por encima del límite de detección, se hizo analizar la presencia de Sn por el método AAS.

### **Perforación de pozos a diamantina**

En la primera fase del proyecto, en los resultados de la perforación del pozo HCD-004 se llegó a cortar una brecha hidrotermal mineralizada con sulfuros de Zn y Pb entre los 195,73 m y los 200,5 m y cuyas leyes, después del análisis geoquímico, dieron valores promedio de 0.036% de Pb, 1.09 % de Zn y 0.045 % de Ag.

El levantamiento geofísico realizado en el área, no priorizó la perforación de este pozo (HCD- 004) pero los resultados del mapeo y muestreo geológico-minero de superficie (en donde estructuras con vislumbres de mineralización fueron identificadas y muestreadas dando valores anómalos interesantes), hicieron que sí se tome en cuenta la ejecución de este taladro como última alternativa, logrando cortar la estructura mineralizada anteriormente mencionada.

Tomando en cuenta todas las consideraciones anteriores, se propuso un programa de perforación de pozos exploratorios para interceptar principalmente el cuerpo mineralizado interceptado con el taladro HCD-004 (blancos geoquímicos).

En la etapa de perforación, los 3 pozos propuestos inicialmente; se realizaron de la siguiente manera: dos sondajes se perforaron siguiendo anomalías geoquímicas y el tercero se ejecutó siguiendo una anomalía geofísica.

### **CONCLUSIONES**

En la zona existen áreas anómalas con interesantes valores de plata, zinc y plomo (Ver anexo 3), por lo que realizar un remuestreo ayudarían a delimitar estructuras puntuales de interés mineralógico.

La estructura brechosa hidrotermal presenta disseminaciones de sulfuros interceptada en los tres pozos HCD-004, HCD-005 Y HCD-006, tiene una orientación N 7°O y una inclinación subvertical con un buzamiento al Oeste.

Con el taladro HCD-004 se interceptó un tramo con una ley media de Zn (0.24%) de Zn, a una profundidad de entre 195.4 a 205.8m.

También con el taladro HCD-005 se interceptó un solo tramo con valores interesantes de Zn de hasta 0,41 % y una vez cuantificado se determinó un tramo de 6,24 m ancho real (entre los 187 y 194 m) con una ley media de 0,22 % de Zn.

Así con el taladro HCD-006 se interceptó 2 tramos de interés con valores de Zn de hasta 4,9 % en el primer tramo y valores de hasta 0,69 % de Zn en el segundo. Se cuantificó el primer tramo (entre los 28 y 44 m) determinando un ancho real de 11,42 m con una ley media de 0,23 % de Zn mientras que la cuantificación del segundo tramo dio como resultados un ancho real de 5,36 m con una ley de 0,24 % de Zn (entre los 232 y 239 m).

Por último, los recursos calculados dan en total de 1,947.841,82 Tn con una ley de 0.34 % de Zn y 0.075 % de Pb. Donde 1,668.157,62 Tn son recursos inferidos y 279.684,20 Tn de recursos indicados.

### **REFERENCIAS**

- Aluja, T. (2001). La minería de datos, entre la estadística y la inteligencia artificial. *Qüestiió: quaderns d'estadística i investigació operativa*, 25(3), 479-498
- Arce, V. A., Dávila, D. L., Santibañez, L. P., y Celis, M. C. (2009). Contexto de la responsabilidad social minera y la gobernabilidad. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Inge*



- nería Geológica, Minera, Metalur-gica y Geográfica*, 12(23), 59-66
- Fernández, T. (2004). Reflexiones sobre la actividad minera. Bariloche: Ecoportal
- Güiza, L. (2013). La pequeña minería en Colombia: una actividad no tan pequeña. *Dyna*, 80(181), 109-117
- Hartman, H. L. (1992). *SME mining engineering handbook* (Vol. 2). S. G. Britton (Ed.). Denver: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration
- Herrera, J., Pla Ortiz de Urbina, F. (2006). Métodos de minería a cielo abierto
- Herrera, H. (2008). Etapas en la vida de un Proyecto Minero. Pascua: Barrik, Minería responsable Pascua
- Kuschick, I., Parejo-Coudert, R. (2009). *Etnografía de la zona minera vizcaína: fuentes orales y tradiciones musicales*. Diputación Foral de Bizkaia
- Lagos, G. E., Blanco, H., Torres, V., y Bustos, B. (2002). Hallazgos y Desafíos desde la Investigación. *Centro de Investigación y Planificación del Medio Ambiente (CIPMA)*, Santiago, Chile. 38-48
- Lankton, L. (1993). *Cradle to grave: life, work, and death at the Lake Superior copper mines*. Oxford University Press
- Martínez Ortiz, A., y Aguilar Londoño, T. (2013). Estudio sobre los impactos socioeconómicos del sector minero en Colombia: encadenamientos sectoriales. *Nueva Serie-Cuadernos de Fedesarrollo*, 47
- Murguía, D. (2019). La competitividad del sector minero metalífero argentino en perspectiva: una comparación con Australia y Canadá. The competitiveness of the Argentine metal mining sector in perspective: a comparison with Australia and Canada. *Cuyonomics. Investigaciones en Economía Regional*, 1(3), 48-79.
- Millán, A. (2006). *La minería metálica en Chile en el siglo XX*. Editorial Universitaria
- Prado, O. A. (2005). *Situación y perspectivas de la minería metálica en Argentina* (Vol. 91). United Nations Publications
- Rueda, (2018). Exploración geológica preliminar del depósito mineralógico del Cerro Huakajchi Chico: Potosí: Universidad Autónoma "Tomás Frías"
- Ruz Meneses, N. M. (2015). Determinación de oportunidades de negocios para empresarios coreanos en la minería del cobre en Chile
- Torres, V. (2014). Grupos económicos y bonanza minera en el Perú. *Apuntes*, 41(75), 171-210
- Vargas, H. (1989). Estudio menarológico y paragenético del sistema de vetas Don Mauticio Yacimiento Cerro Rico de Potosí. La Paz: Universidad Autónoma San Andrés



## Alternativa para lanzamiento de vigas postensadas Tramo Tres del Viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, La Paz

Alternative for launch of postensed Beams Section Three of the Huanu  
Huanuni Viaduct - Alto Obrajes, La Paz

**Milder Mayta**

ma\_milder@hotmail.com

Universidad Autónoma Tomás Frías, Bolivia

Artículo recibido febrero 2018 | Arbitrado en marzo 2018 | Publicado en mayo de 2018

### RESUMEN

Debido a la dificultad de transatibilidad del Municipio de La Paz en Bolivia es necesario la construcción de nuevas vía de acceso, con el imperante de no poseer las capacidades de las grúas necesarias para construir el viaducto. Se evalúan tres alternativas para subsanar esta indisponibilidad y cumplir con los plazos establecidos en el cronograma del proyecto. De éstas nace el objetivo del presente trabajo que fue analizar y calcular la alternativa de lanzamiento de vigas postensadas, mediante rodillos y tesado exterior, en el tercer tramo del viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, en la ciudad de La Paz. La metodología seguida consistió en la observación de la topografía de lanzamiento de las vigas y de las estructuras de hormigón que intervendrían en el lanzamiento para estudiar y diseñar las estructuras metálicas que se utilizarán en el lanzamiento de vigas mediante rodillos, los esfuerzos en la viga postensada para dicho lanzamiento. Además se calculó el tesado exterior de esta viga y se analizaron los esfuerzos para el proceso del lanzamiento.

**Palabras clave:** Lanzamiento de viga, rodillos metálicos, viaducto, viga postensada

### ABSTRACT

Due to the difficulty of transatibility of the Municipality of La Paz in Bolivia, the construction of new access roads is necessary, with the imperative of not possessing the capacities of the cranes necessary to build the viaduct. Three alternatives are evaluated to remedy this unavailability and meet the deadlines established in the project schedule. From these, the objective of the present work was born, which was to analyze and calculate the alternative of launching post-tensioned beams, using rollers and external testing, in the third section of the Huanu Huanuni - Alto Obrajes viaduct, in the city of La Paz. The methodology followed consisted in the observation of the launch topography of the beams and the concrete structures that would intervene in the launch to study and design the metal structures that will be used in the launching of beams by rollers, the efforts in the post-tensioned beam for that launch. In addition, the external testing of this beam was calculated and the efforts for the launch process were analyzed.

**Key words:** Beam launch, metal rollers, viaduct, post-tensioned beam



## INTRODUCCIÓN

La ubicación geográfica del Municipio de La Paz, comenta Tauber et al. (2005), le permite gozar de una extensa variedad de escenarios topográficos que la hacen tan particular. Por su parte, para Bazant (2010) al considerarse un área de expansión de la mancha urbana, se debe estimar la transitabilidad en el sector, término referenciado por Gómez y Magnin (2008) y Huarca y Argamonte (2016), y hacia el centro de la ciudad para aquella gente que habita en la zona y la que la visita. Desde otro punto de vista, colindando con la zona de Huanu Huanuni, expresa Villegas (2013), se encuentra la urbanización residencial “Verde Olivo” que es propiedad de la Policía Boliviana Nacional. Expresa Flores et al. (2013) que esta zona cuenta con más de 20 edificaciones con varias plantas, las cuales albergan a familias que en su mayoría trabajan o estudian en el centro de la ciudad.

El acceso a la zona residencial, desde el centro, es a través de la avenida Hernando Siles -calle 17 de Obrajes -calle Tomás Monje. Adicionalmente, existe otro acceso por la zona de Alto Obrajes, no conveniente debido a la pendiente y estrechez de vía. Estos accesos no son suficientes debido al crecimiento vehicular y congestión que se presenta en horas pico. Sin dejar de lado la tardanza que sufre la gente que se traslada hacia el centro de la ciudad, por tener que transitar por la calle 17 de Obrajes para poder acceder a la avenida principal Hernando Siles.

Existe la avenida Max Portugal que se encuentra en la zona de Alto Obrajes, con la facilidad de conectarse de forma directa, por un lado hacia la calle 10 de Obrajes y por la avenida Sabaleta. Ambas tienen una vía rápida hacia el centro de la ciudad. En

este sentido, la construcción del viaducto “Huanu Huanuni – Alto Obrajes” tiene por objetivo el de unificar la zona de Alto Obrajes y la zona de Huanu Huanuni de forma directa, así crear un acceso hacia esta zona a través de una vía rápida para el transporte (Sánchez y Llorente, 2016).

Se realiza, valorando lo referenciado por Zotar y Aníbal (2014), el diseño correspondiente del viaducto, determinando de esta forma la construcción (en su primera fase), de tres tramos de 30,6 m cada uno. La infraestructura, tomando en cuenta lo planteado por Vardé (2003), está conformada por un Estribo de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup> con fundación directa, tres Pilas de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup> fundadas sobre Pilotes, Superestructura conformada por Vigas de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup> y Losa de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup>, considerando a Benjumea et al. (2010). Por otra parte, desde lo expuesto por Olazábal (2013), García (2017) y López y García (2017), las pilas son de diferente altura debido a la topografía y la pendiente de la Rasante.

La empresa adjudicada para la construcción realiza el proyecto según el cronograma especificado, en el cual se tiene el ítem de lanzamiento de vigas que consiste en el alquiler de grúas de gran capacidad para su izado hasta la posición final. En un sector habilitado para el efecto, se vacían y tesan las vigas y la infraestructura. Cuando se debe proceder con el paso de izado de vigas se tropieza con el problema que las grúas destinadas para el trabajo se encuentran dispuestas en su capacidad. Debido a que existe un contrato con la Alcaldía Municipal de La Paz, la empresa constructora no puede retrasarse en el proyecto por las condiciones del contrato. En este sentido, se toman alternativas diferentes para el izado de vigas sin tomar en cuenta grúas de mayor capacidad.



A continuación se mencionan algunas alternativas de izado de vigas:

- 1) Realizando un relleno de tierra alrededor de las pilas, de forma tal que su altura disminuya y así poder utilizar grúas de menor capacidad para el izado. Sin embargo, por la altura de las Pilas se necesita gran cantidad de material de relleno y este no se encuentra disponible cerca de la obra, por lo que implica demora en el traslado de material y elevado costo de transporte (Chasco, 2000).
- 2) Utilizando una lanzadora de vigas, compuesta por elementos metálicos a lo largo de todo el tramo, pero, como el tramo es de más de 30 m no existe en la ciudad un lanzador de este tipo. Adicionalmente, la construcción de la estructura metálica implica un elevado costo y tiempo de ejecución (Yepes, 2018).
- 3) Realizando un lanzamiento de vigas sobre rodillos metálicos desde la Pila 3 hacia la 2, lo que constituye el tramo tres del viaducto. De esta manera dar continuidad con la ejecución del proyecto y evitar el uso de grúas de mayor capacidad. En esta alternativa será necesario un tesado exterior en cada viga postensada antes del lanzamiento (Pichucho, 2012).

El presente trabajo tuvo como propósitos analizar y calcular la alternativa de lanzamiento de vigas postensadas, mediante rodillos y tesado exterior, en el tercer tramo del viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, en la ciudad de La Paz.

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

El área de estudio se ubica hacia el sur de la ciudad, dentro de la jurisdicción del gobierno municipal de La Paz, perteneciente a la subalcaldía sur Distrito 21, zona

Huanu Huanuni–Alto Obrajes. La metodología sigue los siguientes pasos, a partir de Mayta (2018):

- Observar la topografía para el lanzamiento de vigas.
- Estudiar y diseñar estructuras metálicas que se utiliza en el lanzamiento de vigas mediante rodillos.
- Analizar los esfuerzos en la viga postensada para el lanzamiento mediante rodillos.
- Calcular el tesado exterior en la viga postensada.
- Observar las estructuras de hormigón que intervendrán en el lanzamiento.
- Analizar los esfuerzos en la viga postensada con tesado exterior, en diferentes estados de carga, durante el lanzamiento mediante rodillos.

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Según el levantamiento topográfico realizado para la construcción del viaducto, tomando en consideración lo expuesto por Mayta (2018), se tienen las curvas de nivel correspondientes del área de trabajo, que sirve para el cálculo de movimiento de tierras que se realiza en los trabajos preliminares. Adicionalmente, la visita de campo realizado en la obra, propiamente en lo que concierne el tramo tres. Se observa que existe espacio suficiente para el traslado de vigas mediante la habilitación de vías, habiendo sólo la interferencia de algunos árboles.

La topografía permite que entre las Pilas 2 y 3 se coloque un apoyo auxiliar. Con estas verificaciones se realiza el lanzamiento de vigas postensadas desde la Pila 3 hacia la Pila 2, lo que constituye el tercer tramo. Para tener una idea clara acerca del terreno y realizar los movimientos correspondientes de tierra, se establece el perfil longitudinal entre las Pilas 2



y 3. Específicamente, en el eje del viaducto, estableciendo el perfil longitudinal del tramo tres, paralelo a la posición de las vigas postensadas. Este perfil nos permite ubicar la posición exacta de la estructura metálica auxiliar entre ambas Pilas.

La alternativa de realizar el lanzamiento de vigas postensadas mediante rodillos consiste en colocar, mediante un transporte adecuado, una por una las vigas postensadas en la plataforma cerca de la Pila 3. Ésta cuenta con una pantalla de sección 0,60 m x 0,80 m, que sirvió de apoyo para la losa que conecta con la calle continua. En éste se apoya el primer rodillo; en la plataforma B entre las Pilas 2 y 3 está situado un pórtico (trípode) metálico en el cual se apoya el segundo rodillo. Sobre el cabezal de la Pila dos se arma un pórtico metálico, el cual mediante cables tendrá la función de jalar de un extremo cada viga, de modo que mediante los rodillos se desplace hasta su posición final.

### Trabajos preliminares

La continuación del viaducto será una losa de 10 m, conectada a una calle. En este sentido, se hace posible la utilización de maquinaria pesada para realizar corte y relleno según las secciones transversales. Además, se tiene una idea clara acerca del proceso de lanzamiento mediante rodillos, revisando el levantamiento topográfico y el perfil longitudinal se trazan los lugares que sirven de plataforma como también el espacio necesario para el traslado de las vigas.

De esta manera se determinan los trabajos preliminares, que consisten en derribar algunos árboles y habilitar una vía para el paso del Dolly (Dolly equipo que permite unir a dos semirremolques para ser jalados por un mismo tractoca-

mión) el cual trasladará la viga, para este trabajo se realiza corte propia-mente.

Según el levantamiento topográfico se hace accesible la conformación de una plataforma cerca a la Pila 3, que denominaremos plataforma A. En este último trabajo se realiza corte y relleno según las secciones transversales; mismas que nos permitirán el posicionamiento de cada viga al inicio de su lanzamiento. Por otro lado, para el posicionamiento del trípode debe ser a la mitad del tramo tres, es decir, a 15.30m. Sin embargo, observando el perfil longitudinal, no es posible esta distancia por no existir espacio suficiente desde la Pila 3 hacia la Pila 2.

La distancia máxima que se posicionaría el trípode es de 14,30 m desde la Pila 3, teniendo la seguridad suficiente para el soporte del peso total de la viga. De esta manera, se habilita una plataforma para el colocado del soporte metálico que se ubicará entre las Pilas 2 y 3, denominado plataforma B, en este trabajo se realiza corte, relleno y compactación. Estos trabajos se realizan mediante maquinaria pesada (excavadora tornamesa y volquetes), en los lugares inaccesibles, para la plataforma B por medio de mano de obra manual. Para una mejor estabilización del suelo se utiliza una compactadora manual (saltarín).

### Diseño de estructuras metálicas

A partir de los trabajos preliminares se realizan los diseños de las estructuras metálicas, los cuales tienen como objetivo general el de soportar el peso propio de la viga postensada. En algunos casos se determina la forma y resistencia de la estructura metálica. En otros, ya se tienen estructuras prediseñadas, que solamente se debe comprobar la resistencia al peso propio de la viga. Cabe mencionar que los pesos propios de las estructuras metálicas



son despreciados, debido a la comparación con la carga que estará sometido. En principio se tienen tres estructuras metálicas: El pórtico que se sitúa en el cabezal de la Pila 2, el trípode que se ubica entre las Pilas 2 y 3, por último los rodillos. En se describen cada una de las estructuras metálicas.

### **Rodillos**

Los rodillos, como su nombre lo indica, nos sirven para el desplazamiento de la viga a lo largo del tramo tres. Su forma está destinada para el ruedo, la resistencia es calculada para el soporte del peso propio total de la viga postensada. En primer lugar se tiene la forma del rodillo que se asemeja a un rodamiento, estarán formados de dos anillos, el interior de 6,35cm (2,5 plg) y el exterior de 20 cm de diámetro, soportados por un eje de 2,5 plg de diámetro, anclados en dos soportes de 2 plg de espesor. Para facilitar la fabricación se divide en dos partes el rodillo, cada uno de 25cm de largo, sobre una plancha de 0,60m x 0,85m x 1plg. El objetivo que tiene el rodillo es de soportar el peso propio de la viga postensada según este vaya desplazándose.

### **Comprobación de la Resistencia del Rodillo**

Como datos iniciales tenemos el peso propio de la viga postensada 44,55 Tn, el acero A36 con  $f_y = 2.530 \text{ kg/cm}^2$ . El análisis se realizara en la parte delicada de la estructura, el eje de 2,5 plg de diámetro. El rodillo está dividido en dos partes, por lo que se tomara solo una para el análisis, es decir, el largo de 25 cm. Por último, para mayor seguridad tomaremos para el análisis todo el peso propio de la viga, en realidad solo soportaría la mitad. El cálculo se realizara como resistencia a la flexión

con una viga con carga distribuida, con un apoyo simple y otro empotrado.

### **Trípode**

El trípode intermedio se ubica en la plataforma B, tiene la función de resistir el peso propio de la viga mientras esta se desplaza hacia la Pila 2, sirve de apoyo para el segundo rodillo en el transcurso del lanzamiento en el tramo tres. Éste está constituido de cuatro pórticos formados por dos perfiles de C4x7.25 en forma triangular unidos por tres travesaños. La altura vertical es de 5.30m lo necesario que se proyecta en el lanzamiento de la Pila 3 hacia la Pila 2, una abertura de las patas de 2.0m el cual se pueda ubicar sin problemas en el espacio de la plataforma B, la separación entre pórticos es de 1.05m en los extremos y 0.30m en el medio, debido a que mayormente el rodillo se ubicara en el medio del trípode.

Encima los cuatro pórticos se colocan una viga travesaño de perfil W14x38 y 2.40m de largo, que tendrá la función de apoyo para el rodillo y además de soportar el peso propio de la viga, también esta facilitara para el desplazamiento del rodillo a lo largo de la viga.

### **Comprobación de la Resistencia del Trípode**

El análisis que se realiza en el trípode se divide en dos partes, el primero la resistencia de la viga travesaño a flexión, el segundo los pórticos triangulares a compresión; el acero por analizar es A36, la carga muerta de cada viga es de 44.55Tn. La parte desfavorable por analizar en la viga travesaño será donde se encuentra la máxima separación, es decir, 1.05m. La sección de la viga travesaño es adecuada, entonces se adopta el perfil W14x38. El análisis en el trípode se realizara en un solo pórtico triangular el que



está formado por dos perfiles unidos C4x7.25 y 5.39m de largo.

### **Pórtico**

El pórtico está anclado en el cabezal de la Pila 2, tiene el objetivo de sujetar los cables mientras se va jalando la viga desde la Pila 3, la viga travesaño sirve de soporte para la viga postensada en el momento que este se encuentre sobre el cabezal de la Pila 2, mientras se acomoda para su posición final. Los dos rombos que conforman el pórtico anteriormente se utilizaron con otro fin, es por tanto que tenemos que adaptarnos al prediseño, los rombos están constituidos por la unión de dos perfiles C12x20.7, con una base horizontal de 10.60m, altura vertical de 3.20m, arriostrado en el medio por un parante de 2.96m de altura. Encima de los rombos se coloca una viga travesaño que tiene perfiles S12x31.8 con una longitud total de 9.60m.

### **Comprobación de la Resistencia del Pórtico**

En primer lugar se realiza el análisis sobre la viga travesaño que está sometida a flexión en una longitud de 5.20m que es la separación entre rombos, acero A36, carga puntual por soportar la mitad del peso propio de la viga 22.28Tn. Con dos perfiles S12x31.8, se tiene la seguridad para soportar la mitad del peso propio de la viga. Por otro lado, también la viga travesaño trabaja en los lados exteriores a los rombos debido a que son cuatro las vigas que se lanzan, dos de ellas por fuera de los rombos; así, para mayor seguridad se añaden dos perfiles más, en total cuatro perfiles S12x31.8.

El análisis para el rombo se realiza en el parante que está constituido por dos perfiles C12x20.7 y 2.96m de largo, mismo que está sometido a compresión.

### **Estructuras de Hormigón**

El proceso del lanzamiento de vigas mediante rodillos en el tramo tres, se tienen afectadas tres estructuras de hormigón: la viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup> (hormigón postensado), la Pila 2 de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup> (hormigón armado) y la Pila 3 de H<sup>o</sup>A<sup>o</sup>. Este último no tiene relevancia, debido a que la estructura servirá de apoyo para el primer rodillo. Es decir, estará sometida a compresión, como la pantalla de la Pila 3 está destinada para la continuación del viaducto mediante una losa, tiene el refuerzo necesario para soportar tanto la carga viva de los automóviles como la carga muerta de la superestructura, es por esto que se desprecia el análisis en esta estructura de hormigón.

### **Viga de hormigón postensado**

En un principio las vigas de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup> se diseñaron para que sean izadas mediante grúas de gran capacidad, desde la base de las Pilas hasta los cabezales; entonces en la construcción se dejan orificios en ambos extremos de las vigas con el refuerzo necesario para el soporte de su peso propio. Según el cronograma de actividades de la obra, se vaciaron las fundaciones de las Pilas y paralelamente se vaciaron las vigas de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup>, en un espacio determinado, con el propósito de optimizar el tiempo de ejecución del proyecto. Una vez vaciados los cabezales de las Pilas, 25 días antes se concluye el vaciado de 12 vigas; para que 30 días después se proceda con el tesado de las mismas; quedando listas ambas estructuras para el izado.

Debido a la falta de grúas de gran capacidad se opta por el lanzamiento mediante rodillos, para este proceso necesariamente se tuvo que realizar el rediseño de la viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup>, por lo tanto, en primer lugar se analizan los esfuerzos de la viga en el momento de transferencia de fuerza



axial, es decir, el preesfuerzo a que estará sometida.

### **Análisis de la viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup>**

Se observa en la secuencia del lanzado mediante rodillos, que nuestra viga estará sometida a esfuerzos a flexión en el transcurso del tramo tres. Es por tanto que se realiza el rediseño de la misma con el objetivo de determinar los momentos y esfuerzos, que nos servirán de referencia para el análisis posterior.

### **Análisis de la viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup> para el lanzamiento mediante rodillos**

La viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup> está sometida a esfuerzos de tracción y compresión en el instante que se termina de tesar. Preparada para el lanzamiento de la misma, se observa que al estar en voladizo se producirá un esfuerzo a compresión en la parte inferior y tracción en la parte superior de la viga, el máximo momento que se producirá será cuando la viga este con la mitad en voladizo. Para modelar este problema se recurrió a la ayuda del programa SAP2000, referenciado por Lavado y Granados (2013), el cual analizará la viga en el instante del voladizo a la mitad, este programa se encargará de calcular y obtener los esfuerzos máximos de momento y, cortante en la viga, provocado por el peso propio de la misma.

### **Tesado exterior**

Como solución al problema que presenta la viga en el instante del voladizo, se opta por contrarrestar los esfuerzos producidos por el preesfuerzo, a través de un tesado exterior en la viga, de tal forma que produzca una fuerza puntual en el medio de la misma, de esta manera adicionando un momento positivo, que equilibre el momento negativo producido en el voladizo. Mediante el programa

SAP2000, observamos que en la viga, aplicando el tesado exterior se provoca una carga puntual en el medio. Es decir, aplicando la fuerza puntual en el medio de la viga, se causara un momento positivo, equilibrando el momento negativo que se producía por la carga del peso propio de la viga, en el instante del voladizo, permitiéndonos contrarrestar los sobreesfuerzos de tracción y compresión.

### **Análisis de la viga con el tesado exterior**

Con la ayuda del programa SAP2000, se comprueba la resistencia de la viga con la carga puntual en el medio (tesado exterior) y la carga muerta del peso propio de la viga, en el caso más desfavorable cuando la viga se encuentra apoyado en ambos extremos (simplemente apoyado). El máximo momento que se produce será a consecuencia del peso propio sumado al tesado exterior, momento positivo en el medio de la viga es de 340835.04kg-m, según esta ocasión seguidamente tenemos que verificar los esfuerzos producidos tanto a compresión como a tracción.

### **Construcción del tesado exterior**

Como se observó anteriormente no existe problema alguno aplicando la carga puntual en el medio de la viga, que contrarrestara los momentos producidos en el voladizo. A continuación, se modela la forma de cómo se ejecutará el tesado externo: para producir una carga puntual de 22276.8kg (esta carga se origina por un cálculo invertido a partir del momento máximo 170417.52kg-m, producto de la carga puntual en la viga simplemente apoyada) en el medio de la viga, se necesita utilizar estructuras metálicas que soporten estas fuerzas. Por otro lado, se necesitaran tendones que a través del esfuerzo a tracción produzcan la carga



puntual deseada, en primer lugar se ideó la utilización de 2 tirfor de 3tn de capacidad. Sin embargo, no es suficiente por lo que se ocurre utilizar torones de pretensados de grado 270ksi al igual que se usaron en el preesfuerzo de la viga, a fin de garantizar la estabilidad.

En primer lugar tomamos como referencia los orificios que tiene cada viga, a 0.45m de la base y 0.65m de los extremos, es por ahí que pasaran los tendones; la viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup> tiene una altura de 1.70m, con estos datos procedemos a modelar el tesado externo. Es así que se forma un triángulo con los tendones y la viga, a partir de estos datos se procede con el cálculo de las fuerzas.

Se toma una altura de 2.50 m encima la viga, porque es la que mejor se adapta para tener un ángulo favorable en los anclajes de los extremos y la fuerza horizontal que produzcan los tendones no afecten a la viga.

### **Diseño de estructuras metálicas para el tesado exterior**

A continuación, procedemos al diseño de estructuras metálicas para el tesado exterior, los mismos que tendrán la función de soportar la carga puntual aplicada en el medio de la viga, formando el triángulo requerido analizado anteriormente.

### **Mástil**

El mástil tendrá la función principal de soportar las fuerzas producidas por el tesado externo y transmitir a la viga la fuerza puntual requerida. La forma de este mástil tendrá el objetivo de triangular los tendones tal como se realizó en el modelado. Además estará diseñada de forma que los tendones formen un triángulo paralelo en ambos lados de la viga.

El mástil está constituido por dos perfiles C6x8.2, formando un pórtico de 2.5m de alto y 0.8m de ancho, unidos por celosías de perfil C6x8.2. El travesaño está formado por dos perfiles C6x8.2, de 1m de largo, en cuyos extremos se apoyan los tendones. Por ese motivo, ambos extremos se refuerzan con pies de amigo de perfil C6x8.2 soldados a los parantes; la base del mástil está constituido por un perfil C6x8.2 de 1m de largo, cuya función es la de transmitir toda la carga transversalmente en el medio de la viga.

### **Comprobación de la resistencia del mástil**

Como el mástil es simétrico, se analiza en un solo extremo; debido a que los tendones se apoyan en los extremos del pórtico, los perfiles que conforman los parantes están sometidos a compresión.

### **Anclajes**

Los anclajes para el tesado exterior son dos, ubicados cada uno en los extremos de la viga, la función principal de estos es la de anclar los tendones de tal forma que resistan y produzcan la fuerza puntual requerida, a su vez están anclados al hormigón en los extremos de la viga, con el motivo de evitar desplazamientos. Los anclajes están formados principalmente por dos perfiles de sección 50x210mm, 1.67m de longitud, se añade por encima de estos una plancha de 20x20cm con un orificio circular de 10cm de diámetro, donde se apoyaran las cunas de cada tendón, a ambos lados de la viga. Por otro lado, para el anclaje en el hormigón se adhiere a los perfiles una plancha de 40x50cm con ocho orificios para tornillos de empotramiento de 1/2plg de diámetro.



## Comprobación de la resistencia de los anclajes

Prácticamente, los anclajes están sometidos a flexión, se ejerce fuerza en ambos extremos de los perfiles de 50x210mm, para analizar la resistencia tomaremos la fuerza total ejercida y comprobaremos en la parte más desfavorable, que es en el medio de los perfiles de 50x210mm. Comprobando con un solo perfil de 50x210mm

## Análisis de la viga en diferentes estados de carga durante el lanzamiento mediante rodillos

Para mayor seguridad en el momento del lanzamiento en el tercer tramo del viaducto, se realiza un análisis de la viga en diferentes estados de carga, es decir, análisis de la viga en diferentes posiciones durante el lanzamiento mediante rodillos; con estos resultados se tendrá mayor seguridad para efectuar esta alternativa.

Los estados de carga se modelaron con el programa SAP2000, obteniendo los resultados de los momentos máximos (positivos y negativos), en cada etapa durante el lanzamiento, se observa que los esfuerzos varían solamente en la carga producida por el peso propio de la viga. Por último, se observa que los esfuerzos máximos producidos en la viga, se presentan en la primera etapa (simplemente apoyado) y novena etapa (mitad en voladizo), de acuerdo con los esfuerzos admisibles del hormigón, los esfuerzos finales en la viga resisten satisfactoriamente al lanzamiento mediante rodillos.

## Pila 2 de hormigón armado

La Pila 2 es una infraestructura de hormigón armado, está conformada de acuerdo con las especificaciones del plano principal del viaducto. Esta soporta las vigas postensadas del tramo dos como

también del tramo tres. En nuestro caso, para el lanzamiento de vigas mediante rodillos en el tramo tres, esta infraestructura permite utilizarla de apoyo para el pórtico metálico, la función principal que tiene es la de jalar y resistir a la viga mientras se realiza el lanzamiento. La Pila 2 está formada por una zapata de 7x9m con una altura de 1.4m, la corona de la zapata 2.7x4m con altura de 0.5m, la Pila o Pilar de sección 3x1.7m con las esquinas recortadas en forma circular a partir de los 30cm, altura de 11.34m, por último el cabezal de sección 7.78x1.25m con altura de 1.7m.

La armadura principal de la Pila está formada por dos líneas paralelas, la primera de 56 o 25 con estribos de 12, la segunda de 56 o 25 con estribos de 10/20, de acuerdo con las especificaciones de los planos principales del viaducto.

## Comprobación de la resistencia de la pila 2

Analizando la Pila 2, la parte donde se debe verificar la resistencia será en la corona de la zapata (donde empieza la Pila o pilar), es ahí que se producirá un esfuerzo a flexión, debido a la fuerza horizontal por el jalado de la viga, este esfuerzo se presentará en la parte ancha de la Pila, es decir, de 3m. Analizando en la parte más desfavorable tomaremos como fuerza horizontal, el peso propio de la viga 44.55 Tn descartando el peso propio de la Pila 2. Dicho análisis se realiza como una viga en voladizo con una fuerza puntual en el extremo.

## CONCLUSIONES

Según la topografía del área de trabajo, el tramo tres del viaducto es el más aconsejable para el lanzamiento mediante rodillos. Así, las estructuras metálicas involucradas en el lanzamiento



mediante rodillos, son: los rodillos, trípode y pórtico. Se calcularon las mismas para soportar el peso propio de la viga (44.55Tn), dándonos como resultado resistencias de diseño adecuados.

La viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup> fue analizada con el objetivo de calcular los esfuerzos en la misma al momento de transferencia del preesfuerzo, obteniendo como resultado:  $f_1=14.822\text{kg/cm}^2$  (parte superior a tracción) y  $f_2=-207.967\text{kg/cm}^2$  (parte inferior a compresión). Por otra parte, analizando la viga para el lanzamiento mediante rodillos, se observa que cuando esta se encuentre con la mitad en voladizo también se producirán esfuerzos, debido al peso propio de la misma:  $f_1=69.62\text{kg/cm}^2$  y  $f_2=-77.75\text{kg/cm}^2$ . Sumando ambos esfuerzos se producía una falla en la viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup>. Para evitar la falla en la viga de H<sup>o</sup>P<sup>o</sup>, se calculó el tesado exterior que evitó dichos sobreesfuerzos en la misma, logrando mantener de forma enderezada la viga en todo el lanzamiento mediante rodillos a través de ejercer una carga puntual en el medio de la viga, con la ayuda de estructuras metálicas (mástil y anclajes) y torones formando un triángulo. Esta carga puntual se calcula inversamente a partir del momento máximo (170417.52kg-m) producido en la viga por una carga puntual (simplemente apoyada), obteniendo un valor de 22276.8kg.

Observando las estructuras de hormigón que intervienen en el lanzamiento mediante rodillos, la Pila 3 no sufre ningún esfuerzo adicional a su diseño original, en cambio la Pila 2 si ejercerá un esfuerzo adicional en la base de la Pila (entre la corona de la zapata y el inicio de la Pila), se realizó el cálculo más desfavorable analizando como viga en voladizo ejerciendo una carga puntual en el extremo de 44.55Tn (peso de la viga), obteniendo una resistencia de diseño favorable.

El proceso constructivo de lanzamiento de vigas mediante rodillos, se llevó a cabo según la hipótesis planteada, incluyendo el tesado exterior en cada viga del tercer tramo del viaducto, con el único detalle de que la viga fue jalada mediante un sistema de poleas, una polea ubicada en el extremo de la viga y otra en el pórtico situado en el cabezal de la Pila 2, jalando el cable con la ayuda de una grúa.

El presupuesto de la alternativa de lanzamiento de vigas mediante rodillos, alcanza un valor de 143 863.20bs, que surge del alquiler de equipo pesado. Esta alternativa es más económica en comparación con el relleno de tierra y la lanzadora de vigas, además tomando en cuenta que esta alternativa se ejecuta de forma inmediata, en el tiempo de 24 días calendario.

Este método solamente se utilizó en el tramo tres, para el izado del tramo dos y tramo uno, ya se contó con la ayuda de grúas de mayor capacidad e izar de manera cómo estaba proyectada desde el inicio. Levantado desde la base de las Pilas, sujetado a ambos extremos de la viga y colocar a su posición final.

## REFERENCIAS

- Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio abierto*, 19(3), 475-503
- Benjumea, J., Chío, G., y Maldonado, E. (2010). Comportamiento estructural y criterios de diseño de los puentes extradosados: visión general y estado del arte. *Revista ingeniería de construcción*, 25(3), 383-398
- Chasco, F. (2000). La técnica de cimentación de puentes hasta el siglo XVIII. In *Actas del Tercer Congreso Nacional de Historia de la construcción: Sevilla*,



- 26 a 28 de octubre de 2000 (pp. 879-886). Instituto Juan de Herrera
- Flores, R., Arquipino, E., Estrada, J. C., y Quispe, V. H. (2013). Simulación de la demanda de suelo urbano en la ciudad de La Paz. *Revista Investigación y Tecnología*, 44
- García, G., y Eliesser, B. (2017). *La importancia de la topografía en la construcción de puentes vehiculares*. Facultad de Ingeniería-Ingeniería Topográfica e Hidrología-UNICACH
- Gómez, J. C., y Magnin, L. (2008). Cartografía geomorfológica aplicada a un sector de interés arqueológico en el Macizo del Deseado, Santa Cruz (Patagonia Argentina). *Investigaciones geográficas*, (65), 22-37
- Huarca Maquera, B., y Atahui Argamonte, J. (2016). Mejoramiento de la transitabilidad vehicular y peatonal del sector de Cruz verde en el Distrito de Poroy-Cusco
- Lavado Rodríguez, J., y Granados Romera, J. (2013). Cálculo de estructuras con el programa SAP2000
- López, J., y García, J. (2007). *Rehabilitación de un tramo de calle urbana de 381.6 metros en el Municipio de San Marcos*, Departamento de Carazo. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua
- Mayta, M. (2018). Alternativa para lanzamiento de vigas postensadas, mediante rodillos y tesado exterior, tramo tres del viaducto Huanu Huanuni – Alto Obrajes, La Paz. Potosí: Universidad Autónoma “Tomás Frías”
- Pichucho, C. (2012). *Diseño y fabricación de los rodillos y malacate para el desplazamiento del puente metálico de vigas continuas sobre el Río Cebadas de 60 metros de longitud y procedimiento de lanzamiento*. Espe. Sangolquí
- Olazábal Herrero, P. (2013). *La instrumentación: una nueva forma de comprender los puentes. Una aportación a un fenómeno desconocido: el gradiente térmico en pilas de gran altura*. Universidad de Cantabria
- Sánchez, M., y Llorente Zurdo, M. P. (2016). Las infraestructuras de ingeniería como génesis y expresión de la ciudad
- Tauber, F., Delucchi, D., Martino, H., y Bognanni, L. (2005). Sistema Integral de Información Geográfica Municipal. Municipalidad de Marcos Paz. Información Geográfica de La Paz
- Vardé, O. A. (2003). Fundaciones sobre pilotes de gran diámetro conexión vial Rosario-Victoria. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, (3), 22-38
- Villegas, P. (2013). Huanuni y la inminente transformación estructural de la minería. *PetroPress*, 31, 19-25
- Yepes Piqueras, V. (2018). Construcción de puentes mediante lanzador de vigas. Universidad Politécnica de Valencia
- Zotar, C., Aníbal, M. (2014). *Diseño de un puente con estribo integral*. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales

# Currículo de Autores

## *Gabriela González*

---

Lic. en Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Tomás Frías.  
Actualmente labora como Consultor independiente.

## *Luis Oros*

---

Lic. en Ingeniería Geológica la Universidad Autónoma Tomás Frías.  
Actualmente se desempeña como Consultor independiente.

## *Luis Rueda*

---

Lic. en Ingeniería Geológica la Universidad Autónoma Tomás Frías.  
Actualmente labora como Consultor independiente.

## *Milder Mayta*

---

Lic. en Ingeniería Civil de la Universidad Autónoma Tomás Frías.  
Actualmente se desempeña como Consultor independiente.



**Ingeniería**  
*y sus alcances*  
**Revista de Investigación**