

## El Método de Proyectos en Geotecnia Vial Caso: balasto para vía férrea Belencito – Paz del Río<sup>1</sup>

The project method in road geotechnics case: belencito – Paz del Río railway ballast.

La méthode de projets en géotechnique routière cas: ballast pour la voie ferrée belencito – paz del rio.

O método do projeto em geotecnia rodoviária caso: balastro ferroviário Belencito - Paz del Río.

---

**Néstor Rafael Perico-Granados<sup>2</sup>**  
**José Luis Barrera-Acevedo<sup>3</sup>**  
**Dilver Argedis Esquivel-Albarracín<sup>4</sup>**  
**Camilo Andrés Perico-Martínez<sup>5</sup>**

**Cómo citar este artículo:** Perico-Granados, N. R. y Barrera-Acevedo, J. L. y Esquivel-Albarracín, D. A. & Perico-Martínez, C. A. (2019-1). El método de proyectos en geotecnia vial caso: balasto para vía férrea belencito – Paz del Río. *quaest.disput*, 12 (24) 53-70

---

1 *Recibido: 01/4/2018. Aprobado: 19/10/2018*

Investigar sobre una posible alternativa para que un material de uso no convencional como el mineral de hierro pero de fácil acceso para Acerías Paz del Río, sea usado como capa de balasto en la construcción y mantenimiento de infraestructura ferroviaria. Al utilizar el material en la misma zona donde se explota, se reducen los costos y tiempos de transporte del material los cuales pueden ser aprovechados en otras actividades.

2 Ingeniero civil, magister en Educación y doctor en Ciencias de la Educación, nestor.perico@usantoto.edu.co, grupo ACBI, Orcid. <https://orcid.org/0000-0003-1768-793X>. Contacto: nestor.perico@usantoto.edu.co

3 Ingeniero de Transporte y Vías. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, especialista en Geotecnia vial y pavimentos. Contacto: joseluisbarrera10@hotmail.com

4 Ingeniero Civil. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Especialista en Geotecnia vial y pavimentos. Contacto: ingdilver@hotmail.com

5 Ingeniero civil, Ingeniero industrial, especialista en Geotecnia vial, ( c ), Contacto: ca.perico@uniandes.edu.co

## Resumen

El artículo es producto de investigación, en la Universidad Santo Tomás. Se aplicó el método de proyectos en Geotecnia vial, en ferrocarriles, dado que es un proceso que se comienza a utilizar en varias universidades del mundo. Al respecto, se hicieron entrevistas y observaciones para establecer los cambios en las competencias. Se utilizaron ambientes de aprendizaje como ensayos de laboratorio, trabajo de campo, visitas a canteras, toma de muestras y simulación con tramos de prueba y se describen los principales avances. Aunque el material de hierro se usa para la fabricación de acero, se estableció la opción de utilizarlo en capa de asiento y como sub-base granular.

De otro lado, el mineral de hierro se extrajo, se regó sobre la vía y se obtuvieron dos tramos de prueba de 25 metros cada uno, para analizarlos en campo, durante seis meses y se estudiaron los precios. Los ensayos de laboratorio, fueron: Desgaste en la máquina de los Ángeles, equivalente de arena, índice de alargamiento y aplanamiento, porcentaje de caras fracturadas y límites de Atterberg. Los principales resultados se enmarcan en el incremento y construcción de competencias disciplinares y humanas y en la opción para utilizar el material de grava como capa de asiento y la distancia hasta la que es posible y rentable ponerlo. Se tiene como conclusión relevante la bondad del método de proyectos para estructurar habilidades en los ingenieros.

**Palabras Clave:** Método de proyectos, Experticia, Balasto, Mineral de hierro, Transporte férreo.

## Summary

The article is a research product at Santo Tomás University. The project method in Road Geotechnics was applied in railways, since it is a process that is beginning to be used in several universities around the world. In this regard, interviews and observations were made to establish the changes in the competences. Learning environments were used, such as laboratory tests, field work, visits to quarries, sampling and simulation with test sections and the main advances are described. Although the iron material is used for steelmaking, the option of using it in a seat layer and as a granular subbase was established.

On the other hand, iron ore was extracted, irrigated on the road and two test sections of 25 meters each were obtained to be analyzed in the field for six months and prices were studied. The laboratory tests were: Los Angeles Machine Wear, Sand Equivalent, Elongation and Flattening Index, Percentage of fractured faces and Atterberg Limits. The main results are framed in the increase and construction of disciplinary and human competences and in the option to use the gravel material as a seat layer and the distance to which it is possible and



profitable to put it. The kindness of the project method to structure skills in engineers is taken as a relevant conclusion.

**Key Words:** Project method, Expertise, Ballast, Iron ore, Iron transport.

## Résumé

Cet article est un produit de recherche, à L'Université Santo Tomás. Il a été appliqué la méthode de projets en géotechnique routière, aux chemins de fer, vu que c'est un processus qui commence à être utilisée dans plusieurs universités dans le monde. À cet égard, des entretiens et des observations ont été réalisés afin d'établir les changements dans les compétences. Ils ont été utilisés des environnements d'apprentissage, tels que des tests de laboratoire, des travaux sur le terrain, des visites de carrières, des échantillonnages et des simulations avec des sections de test afin de décrire les principales avancées. De plus, même si le matériel de fer est utilisé pour la fabrication de l'acier, on a établi l'option de l'utiliser en couche de siège et en sous-couche granulaire.

D'autre part, du minerai de fer a été extrait et irrigué sur la voie. On a obtenu comme résultat deux tronçons d'essai de 25 mètres chacune pour être analysées sur le terrain pendant six mois. De plus, les coûts ont été étudiés. Les tests de laboratoire ont été: Usure dans la machine de Los Angeles, équivalent de sable, Indice d'allongement et d'aplatissement, pourcentage de faces fracturées et de limites d'Atterberg. Les principaux résultats sont encadrés par l'augmentation et la construction de compétences disciplinaires et humaines et par la possibilité d'utiliser le gravier comme couche de siège et la distance à laquelle il est possible et rentable de le placer. On a pour conclusion pertinente la qualité de la méthode du projet pour structurer les compétences des ingénieurs.

**Mots-clés:** Méthode de projets, Expertise, Ballast, Minerai de fer, Transport de fer.

## Resumo

O artigo é um produto de pesquisa, na Universidade Santo Tomás. O método do projeto foi aplicado em rodovias geotécnicas, em ferrovias, já que é um processo que está começando a ser usado em várias universidades ao redor do mundo. A este respeito, entrevistas e observações foram feitas para estabelecer as mudanças nas competências. Ambientes de aprendizagem foram utilizados, como testes de laboratório, trabalho de campo, visitas a pedreiras, amostragem e simulação com seções de teste e os principais avanços são descritos. Embora o material de ferro seja usado para a produção de aço, a opção de usá-lo em uma camada de assento e como uma sub-base granular foi estabelecida.

Por outro lado, o minério de ferro foi extraído, irrigado na estrada e duas seções de teste de 25 metros cada foram obtidas, para serem analisadas no campo, durante seis meses e os preços foram estudados. Os testes laboratoriais foram: Los Angeles Machine Wear, Equivalente a Areia, Índice de Alongamento e Achatamento, Porcentagem de faces fraturadas e Limites de Atterberg. Os principais resultados são enquadrados no aumento e construção de competências disciplinares e humanas e na opção de usar o material de cascalho como a camada de assento e a distância a que é possível e rentável colocá-lo. A bondade do método de projeto para estruturar habilidades em engenheiros é considerada uma conclusão relevante.

**Palavras-Chave:** Método de projeto, Expertise, Balastro, Minério de ferro, Transporte de ferro.

### Introducción

El deber de los docentes de Ingeniería es construir cada vez mejor el conocimiento disciplinar, y a la vez, desarrollar mejores competencias que permitan a los nuevos profesionales desempeñarse de forma óptima en los estudios, diseños y en las construcciones de las obras y en la contribución al tejido social. Al respecto, en la investigación se encontraron dos resultados muy importantes: en primer lugar, que el método de proyectos permite una cimentación del conocimiento que propicia una experticia acumulada mayor que otros métodos, especialmente el tradicional, como lo expresan otros autores (Kolmos, 2004). Igualmente, se encontró el incremento, en los estudiantes, en la capacidad de decisión y autonomía de forma importante y a partir de una mejor elaboración de los problemas se vio la obtención de una mejor solución de ellos. También, se observó la construcción de conocimientos de forma sólida y por más tiempo y con ello la adquisición de mejores competencias profesionales (Hernández y otros, 2015).

Es notoria la mejora sustancial de la comunicación oral y escrita, el incremento de la iniciativa y el pensamiento crítico, tanto lo encontrado como en investigaciones anteriores (Ruiz, Magallón y Muñoz, 2006). Todos los actores desempeñaron un rol de sujetos durante el proceso, según lo expresa Quintar (2008), a diferencia de otros métodos, y el trabajo en equipo se aumentó de manera significativa. Igualmente, se observó la importancia de la experiencia de los actores, dado que con las actividades del método permite que con la mayor reflexión se consoliden mejor los conocimientos. A lo largo del proceso se utilizaron mayor cantidad de ambientes de aprendizaje, que junto a las otras habilidades desarrolladas permitió ver las bondades del método. Es un tránsito real de la pedagogía crítica expresado por McLaren y Giroux (1998) a la pedagogía de la transformación o pedagogía holística. Aunque el método de proyectos se utiliza en la pedagogía de la Ingeniería hace muchos años, se precisa que normalmente se hace para trabajar específicamente con la parte disciplinar y no se construyen de forma



consciente las otras habilidades que aquí se relacionan (Perico, 2017a). En el trabajo de campo fueron esenciales las entrevistas y las observaciones, como lo plantea Cerda (1995), para encontrar los resultados presentados.

En segundo lugar, se estudia una opción, con base en el proceso permanente de destrucción del medio ambiente, a partir de la explotación de canteras para obtener materiales de construcción (Leonard, 2011). En este sentido, se establecieron unas bondades del material de hierro como balasto para el ferrocarril. Se definió una posible abscisa hasta la que se puede utilizar de forma rentable, distante del origen de la vía cerca de tres kilómetros. Dado que los recursos son escasos y costosos, en el proceso se encontró que, la explotación del mineral de hierro en la empresa Acerías Paz del Río, APR, y su movilización por transporte férreo se puede usar como capa de balasto en infraestructura férrea y como sub-base granular. Por la abundancia del mineral de hierro y las características de otros materiales de la región como la caliza, éste es una excelente alternativa para este corredor vial y para las vías cercanas.

Con el presente proyecto se avanzó en la obtención de resultados interesantes tanto para la educación en la Ingeniería como para los usuarios de las vías adyacentes a la ciudad de Paz del Río, con esta alternativa para el uso no convencional del mineral de hierro. Al utilizar el material en la misma zona donde se explota (Minas Paz del Río), se reducen los tiempos de transporte del material los cuales pueden ser aprovechados en otras actividades. Se reducen los costos de construcción de vías y de mantenimiento de las mismas. Igualmente, se reduce la contaminación debido a que se acortan los viajes que se deben hacer en tren o en volquetas para desplazar el material.

## Metodología

En base en las entrevistas hechas a los actores del proceso y a las observaciones registradas, en el desarrollo de la investigación se observó que los ingenieros estuvieron atentos para comprobar en los laboratorios y contrastar con los conceptos, de los diferentes autores, los elementos nuevos que ellos encontraron. Así, con el método de proyectos, ellos fueron construyendo el conocimiento de forma sólida y se ha comprobado en otros casos que se hace por más tiempo (Perico, 2017a). La reflexión estuvo presente de forma continua, de manera personal y en las conversaciones entre los mismos investigadores y con los laboratoristas. Esta actividad se llevó a cabo en todos los escenarios como en el campo, en los laboratorios, pero especialmente en la interacción con los docentes y asesores del proyecto, siguiendo lo propuesto para la investigación formativa (Perico y otros, 2015). La acción reflexiva es esencial para la construcción del conocimiento (Shön, 2003). Son habilidades que, como las que se señalan, no se desarrollan normalmente en la academia, dada la alta formación instrumental que en muchas universidades se sigue practicando (Perico, 2010).

De la misma manera, en la interacción entre las experiencias de las visitas hechas al sitio de la explotación de los materiales, la toma de muestras, la elaboración de los ensayos de laboratorio y en los tramos de prueba se evidenció que los conocimientos construidos se cimentaron de manera consistente. Se incrementó este proceso con la consulta permanente a los autores que se tenían como referencia y de esta manera se observó que la experticia acumulada fue mayor que en otros métodos, especialmente que en el tradicional (Kolmos, 2004). Igualmente, se pudo ver el incremento, en los estudiantes, en la capacidad de decisión mostrada en todo el proceso de la investigación, de los actores, para precisar tiempos, actividades, escenarios y la oportunidad de ellos. Estas acciones conducen a una formación importante de la autonomía, valor esencial en el mundo contemporáneo (Miranda, 2016).

Como consecuencia del desarrollo de estas destrezas, se evidenció la alta capacidad mostrada en la resolución de problemas, en los diferentes episodios presentados, desde el arreglo de las herramientas, en campo y en los laboratorios, hasta la consecución de materiales e insumos para el desarrollo de la investigación de forma oportuna. Así, la construcción de las competencias profesionales, en términos de Bogoya, (2000), fue un éxito. En otros proyectos llevados a cabo por el autor, tanto como en éste, se observó que la comunicación oral se incrementó de forma importante, por las ocasiones en que se hizo como por el conocimiento del tema y la seguridad que este les proporcionó (Perico, 2017a). En la redacción de documentos fue igualmente manifiesto el avance, tanto en los adelantos presentados, como en el informe final y en la redacción de los borradores del artículo.

De la misma manera, se resalta que con base en el rol de sujetos que desempeñaron los investigadores, como lo expresa Zemelman (2015), a diferencia de las clases magistrales, se vio favorecida la iniciativa constante de los actores para obtener el cumplimiento de sus objetivos. Sin embargo, es probable que lo más impactante fue la observación del desarrollo del pensamiento crítico, dado que no es común que los estudiantes expresen de forma abierta cuando tienen criterios opuestos a los de los autores o a los de los profesores (Dewey, 2004). Se destaca el aumento en la armonía del trabajo en equipo y en los resultados que de este proceso se derivó. La solidaridad y la cooperación tuvieron un reconocimiento especial en las entrevistas y fue observada durante el proceso. Igualmente, se observó la importancia de la experiencia de los actores y el método se fundamentó en las actividades (Perico, 2012). Finalmente, un factor para destacar es el que se utilizaron varios ambientes de aprendizaje (Valero y Navarro, 2006).

### **Desarrollo del proceso**

El procedimiento desarrollado comenzó con la revisión bibliográfica, con el propósito de localizar materiales que ayuden a encontrar una mejor vía férrea



para disminuir los costos ambientales (Perico y otros, 2016). Luego se extrajo el material del mineral de hierro, se describió, se llevó al laboratorio y allí se hicieron los ensayos. En seguida, se llevó a la vía y se revisó su comportamiento. Se analizaron y compararon los resultados y se obtuvieron las conclusiones pertinentes. Se obtuvo la resistencia al desgaste de los agregados gruesos de tamaños mayores de 19 mm (3/4”) por abrasión e impacto en la máquina de los Ángeles (INV-E-219-13).

$$\%p\u00e9rdidas=(P1-P2)/P1$$

Donde:

P1: Masa de la muestra seca antes del ensayo (g)

P2: Masa de la muestra seca después del ensayo, previo lavado sobre tamiz de 1.70 mm (g)

**Tabla 1. Ensayo Desgaste.**

	Granulometrías		
	1	2	3
P1 (g)	10.049,0	10.099,8	10.109,0
P2 (g)	6.797,0	6.814,2	6.196,8
% Desgaste (i)	32,36%	32,53%	38,70%
		% p\u00e9rdidas	35%

**Fuente: Autores del proyecto, 23-01/2015.**

### **Equivalente de arena en suelos y agregados finos (inv-e-133-13).**

En este ensayo se determinaron, bajo condiciones normalizadas, las proporciones relativas de material arcilloso en agregados finos de tamaño inferior a 4.75 mm.

$$EA = \frac{\text{Lectura de arena}}{\text{Lectura de arcilla}} * 100$$

Donde:

EA: Equivalente de arena (%)

**Tabla 2. Cálculo en ensayo de equivalencia de arena.**

Muestra	Lectura de Arena (plg)	Lectura de Arcilla (plg)	Equivalente de Arena (%)
No. 1	12,6	10,2	25,49%
No. 2	12,5	10,1	24,75%
No. 3	12,6	11,0	23,64%
		EA	25%

**Fuente: Autores del proyecto, 23-01/2015.**

Índice de aplanamiento y alargamiento de los agregados para carreteras (inv-e-230-13).

En este ensayo se determinaron los índices de aplanamiento y alargamiento de los agregados que se van a emplear en la construcción de infraestructura.

$$IA = \frac{M3}{M1} * 100$$

Donde:

IA: Índice de aplanamiento (%)

M3: Sumatoria ni

M1: Sumatoria Ri

**Tabla 3. Cálculos, ensayo índice de aplanamiento.**

Tamiz	Masa inicial de cada fracción (g)	% de cada fracción	Masa de partículas aplanadas (g)	Índice de aplanamiento por fracción (%)
1 1/2"	762	5%	173	23%
1"	12280	82%	1743	14%
3/4"	1844,5	12%	174	9%
1/2"	149	1%	12	8%
3/8"	0	0%	-	-
1/4"	0	0%	-	-
	15035,5	100%	2101	
	IA		14%	

**Fuente: Autores del proyecto, 23-01/2015.**

$$IL = \frac{M3}{M1} * 100$$

Donde:

IL: índice de alargamiento (%)

M3: Sumatoria ni

M1: Sumatoria Ri

Tabla 4. Cálculo ensayo índice de alargamiento.

Tamiz	M1 Masa inicial de cada fracción (gr)	% de cada fracción	M3 Masa de partículas alargadas (gr)	Índice de aplanamiento por fracción (%)
1 1/2"	762	5%	0	0%
1"	12280	82%	835	7%
1/2"	1844,5	12%	230	12%
3/8"	149	1%	54	-
1/4"	0	0%	-	-
	15035,5	100%	1118	
	IL		7%	

Fuente: Autores del proyecto, 23-01/2015

#### Porcentaje de partículas fracturadas en un agregado grueso (inv-e-227-13).

Se determinó el porcentaje, por conteo, de partículas de un agregado grueso que tienen un número especificado de caras fracturadas tal y como se aprecia en la figura 5. La norma INVIAS cita que para un tamaño máximo nominal de 63mm o 2 1/2" la masa mínima de la muestra es de 30000g.

$$P = \frac{F}{F + N} * 100$$

Donde:

P: Porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas (%).

F: Masa o número de partículas fracturadas con, al menos, el número de caras fracturadas especificado.

N: Masa o número de partículas en la categoría de no fracturadas que no cumplen en el criterio de partículas fracturadas.

**Tabla 5. Cálculo ensayo porcentaje de caras fracturadas**

Tamiz	Masa retenida (g)	F Masa de partículas fracturadas (g)	N Masa de partículas no fracturadas (g)	% de partículas fracturadas
2 1/2"	2056	1665,36	390,64	81%
2"	8657	7877,87	779,13	91%
1 1/2"	9317	7174,09	2142,91	77%
1"	149	129,63	19,37	87%
3/4"	1986	1290,9	695,1	65%
1/2"	7532	6326,88	1205,12	84%
3/8"	543	401,82	141,18	74%
	30240	P		80%

Fuente: Autores del proyecto, 23-01/2015

### **Límites de Atterberg – límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad (inv-e-125-126-13)**

Al llevar a cabo los ensayos de límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, el mineral de hierro fino no se dejó trabajar, en la simulación del talud, en la cazuela de Casa Grande y en la construcción de los rollos. Se concluye que el mineral de hierro es un material no plástico.

### **Resultados en campo**

Para analizar el mineral de hierro grueso en campo (actividad de investigación para simular su comportamiento), se alistó en minas Paz del Río, en el patio de Santa Teresa. Se hizo con un vagón con 35 toneladas de este material y granulometría entre ¾" y 2 ½". Luego, se extendió en un tramo de 25 metros lineales, en la vía interna de Acerías Paz del Río que conduce al alto horno. Por último, se niveló el tramo de vía y durante 6 meses se llevó a cabo el seguimiento a este corredor para observar el comportamiento del material.

Durante un periodo de 6 meses comprendido entre enero de 2015 a junio de 2015, se evidenció que el material presentó un sobresaliente comportamiento como base de asiento en infraestructura ferroviaria. En presencia de agua no se observaron rastros o acumulaciones de agua y la vía en el transcurso del tiempo no presentó hundimientos o pérdida de nivelación.

Para analizar el mineral de hierro fino en campo, con el propósito de simular su comportamiento, también se hizo en el patio de Santa Teresa con un vagón



con 35 toneladas de este material. Luego, se extendió en un tramo de 25 metros de vía interna de Acerías Paz del Río que conduce al patio de descargue de materiales. Por último, se niveló el tramo de vía y durante 6 meses; también, se llevó a cabo un seguimiento a este corredor para observar el comportamiento del material.

Igualmente, durante los 6 meses de estudio del material, comprendido entre enero de 2015 a junio de 2015, se evidenció que el material no presentó un buen comportamiento como capa de balasto en infraestructura ferroviaria. Aunque en presencia de lluvia no se observaron rastros o acumulaciones de agua, la vía presentó hundimientos y deformaciones que se marcaron fácilmente por la pérdida de nivelación a lo largo del tramo en estudio. Cuando se realizó el riego y emparejado de balasto se hizo una nivelación general, pero a lo largo de los seis meses ésta se había perdido especialmente en las juntas donde se unen rieles de 75 lb/yd con eclisas y tornillería de 7/8 x 5". Además, por el tamaño del material, la presencia de agua en el lugar y el peso de los trenes, que hacen maniobras sobre esta vía, el material se dispersó presentando pérdidas elevadas, cercanas al 20 % del material regado.

A diferencia del mineral de hierro grueso, el riego de este material se hizo en un tramo de vía la cual tiene traviesas de madera (algarrobo). Se hizo para observar las diferencias que se puede tener en un tramo de vía con traviesas de concreto como lo fue el tramo de la vía al alto horno. Como resultado, la vía a patio de descargue de materiales, presentó pérdida de estabilidad ya que la madera cedió, lo que provocó que la vía férrea aumentara su medida de ancho de trocha. Además, facilitó la pérdida de nivelación por el movimiento de los rieles al paso del tren teniendo en cuenta que los elementos de fijación (clavos) de estas traviesas no son estables y pierden presión con el paso del tiempo.

No es frecuente ni aconsejable estudiar materiales finos para tenerlos como alternativa como capa de balasto, pero por la oportunidad en planta para investigar se decidió hacer una prueba en campo. Entonces, para capa de balasto siempre se deben utilizar materiales granulares de tamaños entre  $\frac{3}{4}$ " y 2  $\frac{1}{2}$ " que preferiblemente no sean permeables, para garantizar el flujo del agua a la capa inferior o sub balasto.

### Análisis de resultados

Durante el proceso del proyecto se evaluaron los cambios que expusieron en sus entrevistas los actores y lo observado por los investigadores, en el mismo tiempo. Al respecto coinciden con investigaciones anteriores en las bondades que se desprenden de trabajar con este método, especialmente en los siguientes aspectos: existió una permanente interacción entre las prácticas que se llevaron a cabo tanto en las visitas a las canteras y a los tramos de prueba como en la elaboración de los ensayos de laboratorios, efectuadas por los mismos

investigadores. Así, se observó el aumento de la experticia demostrada por los ingenieros, tal como lo plantean Kolmos (2004) y Hernández (2015). Igualmente, los actores, incluyendo a los docentes, construyeron el conocimiento de forma aquilatada y se ha comprobado en diferentes casos que se hace por más tiempo (Perico, 2017a). Con el enfoque en el proyecto permitió un mayor grado de reflexión tanto de forma individual como de manera colectiva en las sesiones de asesoría y en las reuniones de socialización de los hallazgos con los compañeros y con los laboratoristas, tanto como se ha hecho en otros proyectos (Perico y otros, 2014<sup>a</sup>). De esta manera, se consolidó mejor la construcción del conocimiento (Shön, 2003).

Dado que tuvieron muchas ocasiones, en que debieron tomar decisiones para recoger el material, en diferentes tiempos y en diferentes sitios, entonces ellos incrementaron las competencias para decidir. De esta manera se consolidó la autonomía, valor que requiere un proceso de desarrollo en los estudiantes en el mundo contemporáneo (Kolmos, 2004). Al mismo tiempo, y de forma paralela, ellos mostraron una mayor capacidad para resolver problemas, en muchas ocasiones sobre la marcha para llevar materiales de forma oportuna, para conseguir herramientas y maquinaria, para citar un ejemplo (Vargas, 2013). Entonces, las competencias profesionales y personales se fueron aquilatando de manera sostenida, de forma similar a lo expresado por Bogoya, (2000). Igualmente, se vio el crecimiento en las capacidades para hablar en público frente a sus compañeros. Desde luego que el dominio del tema ha sido un factor determinante en la confianza para hacer una buena exposición oral (Villa, 1994) y (Perico, 2012). Igualmente, en la presentación de los informes parciales y en el final el avance que se evidenció fue muy bueno, con base en los lineamientos seguidos (Perico y otros, 2014b).

De la misma manera, se resalta que los actores, (ingenieros, laboratoristas y monitores), desempeñaron el rol de sujetos dado que ellos fueron los protagonistas principales. En cambio, en las clases en que expone el profesor todo el tiempo los estudiantes sólo son receptores. Se observó que aquella habilidad contribuyó en el desarrollo del pensamiento crítico (Quintar, 2008). De esta manera se contribuye a disminuir las probabilidades de ejecutar proyectos mal elaborados o que los estudiantes caigan en la corrupción (Perico y otros, 2017b) Varios de ellos expresaron sus ideas, de forma abierta, cuando tuvieron criterios opuestos a los de los autores o a los de los profesores (Zemelman, 2014). Igualmente, con el transcurrir del tiempo se cimentaron la solidaridad y la cooperación, aspectos logrados y observados de forma espontánea y paulatina y fueron reconocidas de forma generalizada en las entrevistas.

Estos aspectos promovieron y fortalecieron el trabajo en equipo. Es pertinente destacar que se observó la importancia de la experiencia de los actores, dado que con base en ella se desarrollaron mucho mejor las actividades con las que se fundamentó el método (Covey, 1997). Se encontró que las habilidades para construir el conocimiento van más allá de la formación instrumental (Corchuelo, 2006). Por las mismas circunstancias el trabajo se hizo en diferentes sitios, los



que fungieron como diferentes ambientes de aprendizaje. Estos elementos favorecieron la construcción del conocimiento (Hernández, 2015). Son habilidades que no se desarrollan en la escuela, dada la formación instrumental que en muchas universidades se sigue practicando (Perico, 2010). Es una buena didáctica por su contribución a la reflexión en el aula (Zambrano, 2003).

De otro lado, comparando los resultados de los ensayos de laboratorio con la norma INVIAS, presentados en la tabla 6, se deduce que el mineral de hierro puede trabajar como material de Sub base granular, debido a que está en el rango de valores admisibles para ser aceptado, siendo el valor más crítico el resultado del ensayo de Equivalente de arena (25%), ya que está en el límite que exige la especificación (INVÍAS, 2013). Al no presentar plasticidad el mineral de hierro se hace atractivo desde el punto de vista de mantenimiento y construcción de infraestructura férrea porque no cambia sus condiciones originales ante la presencia de agua (Río Tinto, 2010). El valor de desgaste en la Máquina de los Ángeles (35%), está por debajo del valor admisible (40%) (UTP, 2003) y (Gómez y otros, 2012). Es un indicador esencial dado que Argueso y Tamborero (2006), entre otros, expresan que está dentro de los 3 ensayos prioritarios para caracterizar el balasto debido a que se hace importante la resistencia del material a la degradación por acción de agentes climáticos y del tránsito.

**Tabla 6. Resultados de laboratorio VS requisitos para sub-base granular (INVIAS).**

Ensayo	Mineral de hierro vs Sub base granular				
	Norma de ensayo	Clase A	Clase B	Clase B	Resultados obtenidos
Desgaste en la máquina de los Ángeles, máximo - (%)	E-219	50	50	50	35
Límite líquido, máximo (%)	E-125	25	25	25	0
Índice de plasticidad, máximo (%)	E-125 y E-126	6	6	6	0
Equivalente de arena, mínimo (%)	E-133	25	25	25	25

**Fuente: Autores del proyecto, 26-01/2015**

El objetivo principal de esta investigación fue observar el cambio en competencias humanas y establecer la viabilidad del mineral de hierro como capa de balasto. En este sentido, se compararon los valores obtenidos en laboratorio con valores encontrados en bibliografía descrita en la tabla 7, principalmente normatividad internacional para el recibo del material (Martínez y Gutiérrez, 2008). Cabe aclarar que la normatividad internacional es exigente con los ensayos de materiales para balasto, dado que en la mayoría de los países las vías férreas son de alta velocidad y necesitan materiales de alta calidad, para asegurar el

paso de los trenes por la infraestructura férrea (Martínez y Gutiérrez, 2008). La clasificación internacional que se le puede dar al corredor Belencito – Paz del Río es la clasificación F, porque es una vía que permite una velocidad de operación menor o igual a 30 Km/hora.

Los ensayos de laboratorio y pruebas en campo, en tramos de vía de 25 metros lineales, permitieron identificar de manera individual el comportamiento del mineral de hierro grueso y el fino. Se estudió paralelamente el mineral de hierro fino dado que no se evidencio acumulación de agua en la vía de prueba con mineral de hierro grueso, ante la presencia de lluvia. Entonces, se quería indagar si el material fino tenía el mismo comportamiento, con la voluntad de la empresa Acerías Paz del Río, para facilitar el material y una vía adicional para analizar de forma paralela este material en campo (Ucros, 2009).

El mineral de hierro fino es utilizado de forma habitual por su presencia cercana en planta como material de relleno en paso a niveles, que por algún motivo no fueron construidos en concreto. Ha dado como resultado, por lo menos fluidez al tráfico que por allí transita. Cabe resaltar que en estos lugares no se presenta pérdida de material debido a la compactación que se logra por la repetición de pasadas de los ejes de los vehículos. Así, se disminuye el impacto de explotación en otras canteras para conseguir este tipo de material y disminuye la contaminación (Leonard, 2011).

Entonces, se propone que este material de mineral de hierro fino puede ser usado como capa de balasto o material de relleno en los pasos a niveles, brindando protección a las traviesas de madera y/o concreto que se instalan allí para asegurar rieles y/o contra rieles. Además, ofrece seguridad a los usuarios de otros medios de transporte que por allí circulan, ya que el material al compactarse permite el flujo de vehículos sin ningún problema. En la tabla 8 se analiza el costo unitario del mineral de hierro grueso y de la caliza, teniendo como proveedor a Minas Paz del Río.

**Tabla 8. Comparación precio caliza vs mineral de hierro grueso.**

Precio de caliza de granulometría 30-50	Precio mineral de hierro grueso
\$69.059 / tonelada (No incluye costo de transporte)	\$93.460 / tonelada (No incluye costo de transporte)

**Fuente: Autores del proyecto, 24-01/2018**

## Conclusiones y recomendaciones

Con el método de proyectos se generó una mayor consolidación de los conocimientos y dada la consulta de textos, conceptos y la teoría en general



igualmente se amplió la experticia. En estas actividades se empleó la reflexión, aspecto que contribuyó a la construcción de los conocimientos por parte de estudiantes e investigadores. Entonces, en los procesos pedagógicos es adecuado promover el trabajo con más experiencias, combinadas con la teoría y haciendo lo necesario para propiciar la reflexión.

Los investigadores tomaron decisiones y emprendieron acciones, por su cuenta, con más iniciativa. Igualmente, ellos practicaron varias veces la resolución de problemas, desarrollaron las exposiciones frente a sus compañeros y escribieron sus hallazgos. Con estos aspectos ellos fortalecieron su autonomía y coadyuvaron en generar liderazgo.

Sobresale el rol de sujetos que los investigadores desarrollaron y a la vez su mayor capacidad de pensamiento crítico, con propuestas y acciones diferentes, para mejorar el contexto. Se llevó a cabo un trabajo en equipo con más solidaridad y cooperación, con una buena cantidad de ambientes de aprendizaje. Estos aspectos hicieron que los investigadores tuvieran certeza de las bondades de los resultados obtenidos.

Los resultados de laboratorio para el mineral de hierro grueso hacen de este un material viable para ser utilizado como agregado en Sub Bases Granulares y como capa de asiento (balasto) en infraestructura ferroviaria. Cumple con el valor de resistencia al desgaste con el 35% en la Máquina de los Ángeles, 5% por debajo del valor de la especificación. La no plasticidad del mineral de hierro fino hace práctico el uso de este material en los pasos a nivel, del corredor férreo Belencito – Paz del Río. Esta es zona de sub paramo, con escorrentías, especialmente al paso por los municipios de Tasco y Betétiva.

Con las pruebas en campo, mediante el riego de mineral de hierro grueso y fino, emparejado y nivelado en dos tramos de vía de 25 metros lineales, cada uno, permitió resultados empíricos comparables a los de laboratorio (permeabilidad y resistencia del material). Los resultados dieron información para determinar visualmente comportamientos que el material presentó. Sin embargo, por costos es viable utilizar como capa de asiento para infraestructura férrea la caliza, dado que presenta un ahorro de \$24.401 por tonelada, comparado con el mineral de hierro grueso. La caliza está en las instalaciones de la empresa y se explota en minas en Belencito. Sin embargo, el mineral de hierro como capa de asiento en la zona de Paz del Río y en los 3 Km siguientes, por la vía férrea, es más económico que la caliza, dado que allí se explota el mineral. En mayores distancias se recomienda trabajar con caliza de Belencito.

Se recomienda con el desarrollo de este proyecto generar investigaciones adicionales, en especial con el tema que hace referencia al análisis y caracterización del mineral de hierro fino en los pasos a niveles, del cual no se conocen anteriores investigaciones. Con estas experiencias puede ser una alternativa.

## Referencias

- Argueso, M y Tamborero, J. (2006). *Infraestructuras ferroviarias: Mantenimiento preventivo*, Nota técnica de prevención número 958, España.
- Bogoya Maldonado, José Daniel. (2000). Competencias y proyecto pedagógico. Dos versiones: en papel y en presentación electrónica en CD. Libro elaborado con otros autores. Unibiblos, Bogotá, 2000
- Cerda, H. (1995). *Los elementos de la investigación*, 2ª edición, Bogotá, Colombia: Editorial el búho.
- Corchuelo, M. (2006). "Un giro en la educación en ingeniería: La Universidad del Cauca", Popayán: Unicauca. Rudecolombia, Tesis doctoral.
- Covey, S. (1997). Los siete hábitos de la gente altamente efectiva. Barcelona: Paidós.
- Dewey, J. (2004). *Experiencia y educación*. Barcelona: Paidós.
- Gómez, B. Mora, A. Blanco, P. Quiroz, B y Bonilla, D. (2012). *Resistencia a la abrasión mediante la prueba de la máquina de los ángeles*, Costa Rica.
- Hernández, Carola; Ravn, Ole, y Valero, Paola. (2015). El modelo PO-PBL desde una perspectiva socio-cultural del aprendizaje, en: <https://journals.aau.dk/index.php/pbl/article/view/1206>
- Instituto Nacional de Vías. (2013). Especificaciones generales de construcción de carreteras, Bogotá, Colombia.
- Kolmos, Anette. (2004). Estrategias para desarrollar currículos basados en la formulación de problemas y organizados en base a proyectos. *Educar*, (33), 77-96.
- Leonard, A. (2011). *La historia de las cosas*, Bogotá, Colombia: Nomos Impresores S.A.
- Leonard, A. (2011). *La historia de las cosas*, Bogotá, Colombia: Nomos Impresores S.A.
- Martínez, R y Gutiérrez, LL. (2008). *Investigación sobre el comportamiento de los diferentes tipos de balasto ante la aplicación de los criterios de las diferentes normativas*, Madrid, España.
- Mclaren, Peter y Giroux, Henry. (1998). Escritos desde los márgenes: Geografías de identidad, Pedagogía y Poder. En: *Multiculturalismo revolucionario: Pedagogías de disensión*, de Peter Mclaren. Madrid, España, Siglo XXI
- Medina, F; Núñez, J; Sánchez, I, Cabrera, J. (2017). Implementación del ABP, PBL y método SCRUM en cursos académicos para desarrollar sistemas informáticos enfocados en fortalecer la región 1, En: *Revista de Educación en Ingeniería*, 12 (24), pp. 52-57, julio 2017.



- Miranda Bitar, J. (2016). Monitorias en Ingeniería civil., Universidad Santo Tomás, trabajo de grado de pregrado.
- Organización Rio Tinto. (2010). *Mineral de hierro. 1ª edición*, Australia: Editorial Rio Tinto limited.
- Perico Granados, N. (2010). *La formación de los Ingenieros civiles*, Tunja: Editorial de la Universidad Santo Tomás de Tunja, en: [http://www.ustatunja.edu.co/ustatunja/files/Facultades/Ingenier%C3%ADa%20Civil/LA\\_FORMACION\\_DE\\_LOS\\_INGENIEROS\\_CIVILES.pdf](http://www.ustatunja.edu.co/ustatunja/files/Facultades/Ingenier%C3%ADa%20Civil/LA_FORMACION_DE_LOS_INGENIEROS_CIVILES.pdf)
- Perico Granados, N. (2012). *Primeros pasos en la formación de docentes de ingeniería civil*, Tunja: Universidad Santo Tomás.
- Perico, N; Antolínez, N, y Rivera J. (2014a). "Incidencia de las condiciones laborales en el clima del aula", *Quaestiones disputatae*, Vol 7, N 15, En: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/qdisputatae/article/view/838>
- Perico, G. Néstor R., Acosta, Pedro & Perico, M. Néstor R (2014b). El Ensayo, para Formar Profesionales Reflexivos. *Ingenio Magno*. Vol 5, pp. 111 - 119
- Perico-Granados, N.R., Caro-Camargo, C. & Garavito, L.N. (2015). "El Proyecto en la Investigación Formativa". In *Vestigium Ire*. Vol. 9, p.p 166-174.
- Perico Granados, N. R., Puentes Báez, P. y Soriano López, B. D. (2016). La formación de ingenieros civiles: una experiencia con el ferrocarril del Nordeste y la doble calzada Briceño-Tunja-Sogamoso. *Ingenio Magno*, 7(2), 116-125.
- Perico, N. (2017a). La formación de los docentes de ingeniería civil en la Universidad Santo Tomás de Tunja. Tesis inédita de doctorado en Educación: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.
- Perico, N., Pachón, J. y Perico, L. (2017b). "Educación y ética contra la corrupción", *Revista digital de historia de la educación*, Enero - diciembre 2017, N 20/ensayos, en: <http://www.saber.ula.ve/handle/123456789/44976>
- Quintar, Estela. (2008). "En diálogo Epistémico- Didáctico": México, Ipecal
- Ruiz, D; Magallón, J, y Muñoz, E. (2006). "Herramientas de aprendizaje activo en las asignaturas de Ingeniería Estructural. Ingeniería y Universidad" enero-junio, año vol. 10, número 001. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. Colombia.
- Schön, D. (2003). *La formación de profesionales reflexivos*. Madrid, España: Paidós.
- Ucros, J. (2009). *Propuesta para la implementación de instrumentos de política ambiental en la planta siderúrgica de Acerías Paz del Río S.A, Bogotá, Colombia*.
- Universidad Tecnológica de Pereira, UTP, (2003). *Desgaste de materiales*, Pereira, Colombia.

- Valero-García, Miguel y Navarro, Juan. (2006). "La planificación del trabajo del estudiante y el desarrollo de su autonomía en el aprendizaje basado en proyectos", en: *La metodología del aprendizaje basado en problemas*. Universidad de Murcia, España.
- Vargas, E. (2013). "Método de Proyectos desde fundamentos de ingeniería, en beneficio de necesidades locales", ACOFI, Cartagena.
- Villa, F. (1994). *La comunicación*. Bogotá: editorial Norma
- Zambrano, A. (2002). *Los hilos de la palabra: Pedagogía y Didáctica*, Cali, Colombia: Nueva biblioteca Pedagógica S. en C.
- Zemelman, H. (2015). "Pensamiento y construcción de conocimiento histórico, una exigencia para el hacer futuro": *Revista El Ágora*, pdf. pp. 343-351.