



ANÁLISIS COMPARATIVO DE DISEÑO DE PASES AÉREOS CON TUBERÍAS DE PVC Y HDPE EN SISTEMAS DE SANEAMIENTO RURAL

COMPARATIVE DESIGN ANALYSIS OF OVERHEAD PASSAGES WITH PVC AND HDPE PIPES IN RURAL SANITATION SYSTEMS

Marinely Torres Infante¹

(Recibido/received:13-abril-2023; aceptado/accepted:23-mayo-2023)

RESUMEN: En el Perú en los proyectos de sistemas de saneamiento en el ámbito rural, comúnmente se han venido construyendo pases aéreos ubicados en la línea de conducción, aducción y distribución con tubería de PVC y HDPE con un mismo sistema estructural, que consta de torres de concreto armado, cámaras de anclaje de concreto ciclópeo y cables de acero que permitan suspender a la tubería de PVC o de HDPE según sea el caso de forma horizontal. La única diferencia de esta opción tecnológica es el tipo de tubería, porque su sistema estructural es el mismo para ambos diseños. Razón por la cual fue importante realizar el análisis comparativo a nivel de diseño, costo y tiempo de ejecución entre pases aéreos con tuberías de PVC y HDPE. Para la presente investigación se realizó el análisis comparativo para un pase aéreo de 100m de longitud cimentado sobre un suelo con capacidad portante de 0.73 kg/cm^2 ; el diseño estructural se realizó en el programa Excel usando las fórmulas básicas de física clásica y normativas peruanas, el presupuesto se calculó en el programa S10 y la programación se realizó en el programa Ms Project, donde se obtuvo que construir un pase aéreo de 100 m de longitud con tubería de HDPE de 2" de diámetro es la mejor alternativa debido a que existe una diferencia en costos de ejecución en un 33.71% y en tiempo de ejecución en un 50%, con respecto a un pase aéreo con tubería de PVC.

PALABRAS CLAVE: Pase aéreo; tubería de PVC; tubería de HDPE; diseño estructural; costo; tiempo; saneamiento rural.

ABSTRACT: Currently in Peru, in sanitation system projects in rural areas, overpasses have been commonly built in the pipeline, adduction and distribution with PVC and HDPE pipes with the same structural system, consisting of reinforced concrete towers, cyclopean concrete anchor chambers and steel cables that allow the PVC or HDPE pipe to be suspended horizontally, as the case may be. The only difference in this technological option is the type of pipe, because its structural system is the same for both designs. For this reason, it is important to carry out a comparative analysis at the level of design, cost and execution time between overhead passages with PVC and HDPE pipes. For the present investigation, the comparative analysis was carried out for a 100 m long

¹ Universidad Peruana Unión, ORCID: 0000-0002-5778-9810, Merinelytorres@upeu.edu.pe

overpass founded on a soil with a bearing capacity of 0.73 kg/cm²; the structural design was carried out in the Excel program using the basic formulas of classical physics and Peruvian regulations, the budget was calculated in the S10 program and the programming was carried out in the Ms Project program, where it was obtained that building a 100 m long overpass with 2" diameter HDPE pipe is the best alternative due to the fact that there is a 33.71% difference in execution costs and a 50% difference in execution time, with respect to an overpass with PVC pipe.

KEYWORDS: Overhead pass; PVC pipe; HDPE pipe; structural design; cost; time; rural sanitation.

INTRODUCCIÓN

En el Perú la Norma Técnica de Diseño *opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural* (2018), contempla una única opción tecnológica para el diseño de pases aéreos que consta de un sistema estructural en base a torres de concreto armado, cámaras de anclaje de concreto y cables de acero donde se suspende la tubería de PVC o de HDPE según sea el caso de forma horizontal. La única diferencia de esta opción tecnológica, es el tipo de tubería, porque en sí se aplica el mismo sistema estructural para ambos diseños. Asimismo, esta no es limitativa ya que indica que se puede realizar nuevos diseños no desarrollados en la presente norma (pp.87-88). En ese sentido es muy común usar los pases aéreos con tubería de PVC en los proyectos de agua y saneamiento rural, aun cuando en la actualidad existen tuberías de otro tipo de material tal como lo señala (Contreras, (2005): "comparados con los materiales de tuberías tradicionales, los sistemas de tubería HDPE pueden ofrecer ahorros en instalación, mano de obra y equipo".

Asimismo, según Fernández (2019) de la Universidad Privada del Norte, en la tesis "Análisis comparativo de costo, tiempo y calidad entre tuberías de PVC y HDPE en instalación sanitaria de la Asociación Santa María del Gramadal, Lima 2019" donde uno de sus objetivos es determinar el costo, tiempo y calidad en redes de tuberías de PVC y HDPE para la asociación Santa María del Gramadal, llega a la conclusión que después de un análisis comparativo la mejor alternativa para la construcción del sistema de agua es usando la tubería de HDPE.

De esta manera, según Chasquibol y Bacalla (2019) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza a través de su tesis "Evaluación técnica-económica de la línea de conducción de agua con tuberías de PVC – UF y HDPE, Chachapoyas, Amazonas, 2018" donde su objetivo es determinar que tipo de material resulte más favorable aplicado a cada zona de estudio. Llegando a la conclusión que el sistema de conducción de agua en las localidades de Nuevo Olmal y Quillunya se verían favorecidos técnica y económicamente al implementarse la tecnología HDPE-100 en su línea de conducción debido a sus características técnicas de producción, funcionamiento y su buen acoplamiento en el sistema.

Asimismo, según Diez y Muñoz (2019) de la Universidad Privada Antenor Orrego a través de su tesis "Diseño comparativo técnico-económico entre sistemas de saneamiento con tuberías de PVC y de Polietileno – C.P. Pacanguilla – La Libertad"

donde su objetivo es realizar un diseño comparativo técnico – económico en los sistemas de saneamiento con tuberías de PVC y Polietileno del C.P. Pacanguilla – La Libertad, llegando a la conclusión que finalmente la diferencia en el tiempo y costo de ejecución queda marcado en la metodología de unión haciendo que el polietileno sea más ventajoso que el PVC.

También, Freire y Sánchez (2018) de la Universidad de Guayaquil a través de su tesis “Análisis comparativo de rehabilitación de red de AA.PP., utilizando tuberías PEAD, PVC, Hierro dúctil, en Suburbio Oeste”, concluye que, para proyectos de agua potable la tubería HDPE es la más apta, ya que viene en rollos de 100 m y la forma de transportar es más fácil, mientras que la tubería PVC solo viene en longitudes menores de 12 m.

Además, Roca (2005) de la Universidad de San Carlos de Guatemala a través de su tesis “Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del Polietileno de Alta Densidad (PEAD)”, donde su objetivo es conocer en forma general la obtención, propiedades y aplicaciones del Polietileno de Alta Densidad, llegando a la conclusión que las propiedades físico – químicas del Polietileno de Alta Densidad son de las mejores entre los plásticos debido a su estructura molecular ya que es una molécula apolar, lineal, químicamente estable y relativamente cristalino.

Por lo mencionado anteriormente resulta muy importante realizar un análisis comparativo a nivel de diseño, costo y tiempo entre pases aéreos con tubería de PVC y HDPE con el fin de determinar cuál es la mejor alternativa para la construcción de pases aéreos en sistemas de saneamiento rural.

Con la determinación de la mejor alternativa para pases aéreos en sistemas de saneamiento rural se aportará como un modelo de diseño óptimo para que los ingenieros proyectistas lo consideren al momento de realizar estudios técnicos y se tengan proyectos más económicos y de mejor calidad.

METODOLOGIA

El análisis comparativo de pases aéreos se inició con la identificación y reconocimiento de la zona a intervenir. Se realizaron los estudios de topografía y mecánica de suelos.

Con la información obtenida se procedió a realizar el diseño estructural en el programa Excel para cada pase aéreo. Se realizó el diseño estructural se realizó el presupuesto en el programa S10 y programación de obra en programa Ms Project.

Finalmente, con los resultados obtenidos se realizó el análisis comparativo entre los pases aéreos con tubería de PVC y HDPE.

Para mayor detalle se presenta en la figura 1, el diagrama de flujo metodológico

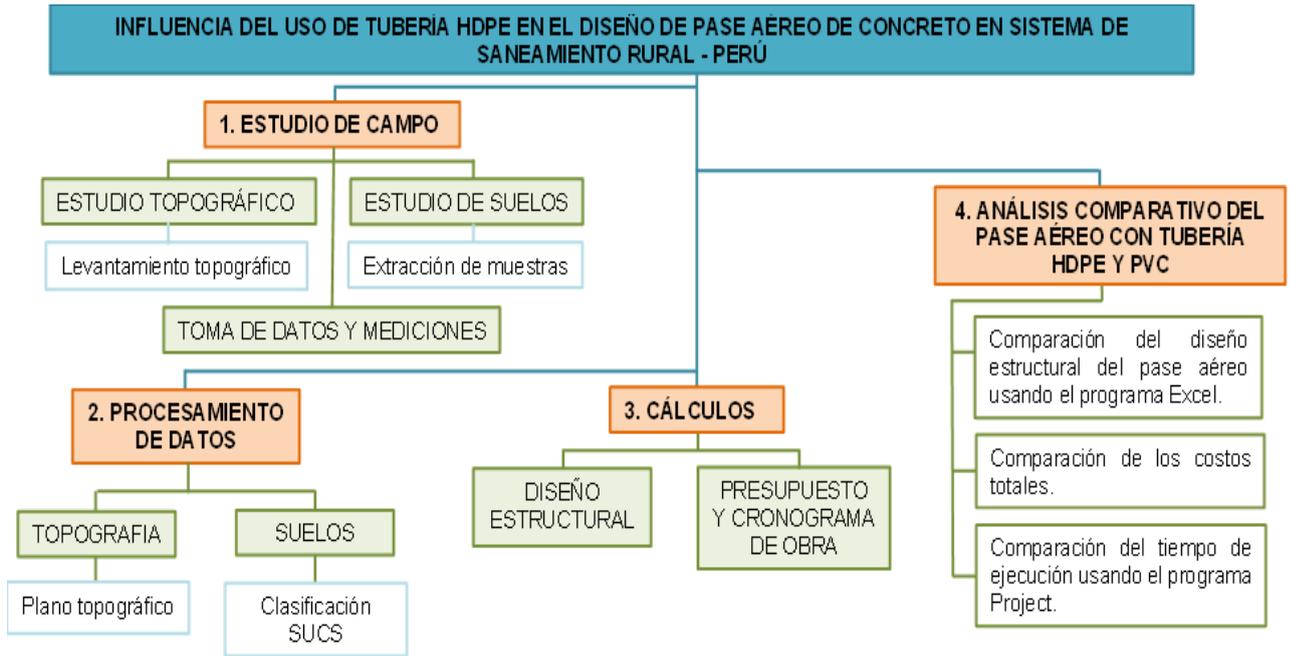


Fig 1. Diagrama de flujo metodológico aplicado

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para aplicar el análisis comparativo entre pases aéreos con tuberías PVC y HDPE se tomaron los siguientes resultados:

La zona de intervención se ubicó entre las progresivas 0+885 – 0+995 de la línea de aducción (con tubería de 2" de diámetro) del sistema de agua potable rural de las localidades de La Libertad, Perlamayo y Nuevo Amazonas, distrito de Yamon, provincia Utcubamba, departamento Amazonas – Perú.

Del estudio topográfico se obtuvo que el terreno en la zona a intervenir presenta una depresión a salvar de 100 metros de longitud y 8 metros de altura medida desde el fondo del cauce.

Para el estudio de mecánica de suelos, se realizó de acuerdo con la Norma Técnica Peruana E-050 Suelos y Cimentaciones (2020) de donde se determinó la profundidad de exploración de la calicata $p= 1.50m$, también se realizó el análisis granulométrico y clasificación SUCS (pp.20-24), obteniéndose los resultados mostrados en la siguiente tabla.

Tabla 1. Capacidad portante del suelo

CALICATA N°	ESTATRO DEL SUELO DE LA CIMENTACIÓN	Df	ϕ	Qadm (Kg/cm ²)	F.S	ZONA
C-1	CH: Arcilla de Alta Plasticidad	1.50	18	0.73	3	2
C-2	ML: Limo de Baja Plasticidad con Arena	1.50		0.73		

Df: Profundidad de desplante y F.S: Factor de seguridad.

Con los datos de la identificación de la zona de intervención, topografía y suelos se realizó el diseño estructural de los pases aéreos usando tubería PVC y HDPE en el programa Excel. De donde se obtuvo los siguientes resultados:

Pase aéreo con tubería de PVC

Considerando el modelo desarrollado por la norma técnica de diseño: opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural (2018) y las Normas E-020, E-030 y E-060 del Reglamento Nacional de Edificaciones (2020) se realizó el diseño estructural, determinándose lo siguiente:

El pase aéreo con tubería de PVC está conformado por dos torres de concreto armado $f'c=210$ kg/cm² con su respectiva zapata; cada torre está compuesta por una columna de 1.00mx1.00mx13.40m reforzada con 8 varillas de acero corrugado $f_y=4200$ kg/cm² de 1" y una zapata de 6.40mx6.00mx0.90m reforzada con acero corrugado de 3/4"@0.35m en ambas direcciones en la parte inferior y superior de la misma. Asimismo, cuenta con dos cámaras de anclaje de concreto ciclópeo $f'c=175$ kg/cm², de 1.70mx1.85mx1.50m.

La tubería de PVC de 2" de diámetro es sujeta por 99 péndolas de cable tipo boa (6x19) de 1/4" espaciadas a cada 1.0m con longitudes que varían desde 0.50m hasta 11.16m, debido a que están suspendidas y siguen la catenaria formada por el cable principal tipo boa(6x19) de 1" que presenta una flecha de 11.10m y está fijado a la cámara de anclaje pasando por la parte superior de las torres.

Pase aéreo con tubería HDPE

Considerando el modelo y las tablas desarrollado por el Manual Técnico y de Instalación Supertubo HDPE (2018) se realizó el diseño estructural en una hoja de cálculo Excel, donde se ha determinado lo siguiente:

El pase aéreo con tubería de HDPE será conformado por seis cámaras de anclaje (tres por cada lado) de concreto ciclópeo $f'c=175$ kg/cm² de 2.50mx2.50mx3.00m.

La tubería de HDPE de 2" de diámetro es sujeta por 109 péndolas de cable tipo boa (6x19) de 1/4" espaciadas a cada 0.91m con longitudes constantes de 0.50m debido a que están suspendidas cable principal tipo boa(6x19) de 1 1/2" que presenta una flecha

de 3.00m y está fijado a las cámaras de anclaje.

Con los datos obtenidos del diseño estructural se realizó el presupuesto por cada tipo de pase aéreo, donde se obtuvo los siguientes resultados:

Para el caso del pase aéreo con tubería de PVC se obtuvo como resultado un presupuesto total de 170,002.03 (ciento setenta mil dos con 03/100 soles), tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 2. Presupuesto de pase aéreo con tubería de PVC

Ítem	Descripción	Und	Cantidad	Precio (s/)
01	Torres de concreto armado	und	2.00	105,366.50
02	Cámaras de anclaje	und	2.00	4,434.60
03	Elementos metálicos de soporte	Glb	1.00	58,190.96
04	Tubería PVC	m	107.60	2009.97
Presupuesto total:				170,002.03

Fuente: Elaboración Propia

Para el pase aéreo con tubería de HDPE se obtuvo como resultado un presupuesto total de 112,693.83 (Ciento doce mil seiscientos noventa y tres con 83/100 soles), tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 3. Presupuesto de pase aéreo con tubería HDPE

Ítem	Descripción	Und	Cantidad	Precio (s/)
01	Cámaras de anclaje	und	6.00	53,467.44
02	Elementos metálicos de soporte	Glb	1.00	56,898.08
03	Tubería HDPE	m	120.50	2,328.31
Presupuesto total:				112,693.83

Asimismo, con los datos obtenidos del presupuesto se realizó el cálculo de la programación de obra en el programa Ms Project cuyos resultados fueron los siguientes: El tiempo de ejecución para un pase aéreo con tubería de PVC es de 60 días calendarios, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 4. Programación de pase aéreo con tubería de PVC

Ítem	Descripción	Tiempo (días)
01	Torres de concreto armado	56.00
02	Cámaras de anclaje	5.00
03	Elementos metálicos de soporte	19.00
04	Tubería PVC	1.00
Tiempo total de programación:		60.00

El tiempo de ejecución para un pase aéreo con tubería de HDPE es de 30 días calendarios, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 5. Programación de pase aéreo con tubería de HDPE

Ítem	Descripción	Tiempo (días)
01	Cámaras de anclaje	18.00
02	Elementos metálicos de soporte	12.00
03	Tubería HDPE	2.00
Tiempo total de programación:		30.00

Finalmente, con todos los resultados obtenidos tanto del diseño estructural, presupuesto y programación se realizó el análisis comparativo para los dos tipos de pases aéreos tal como se muestra a continuación:

Tabla 6. Cuadro comparativo de pases aéreos

Cuadro comparativo de pases aéreos			
Pase aéreo	Diseño estructural	Presupuesto (s/)	Tiempo de ejecución (días)
Con tubería de PVC	<p>Conformado por dos torres de concreto armado $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ con su respectiva zapata; cada torre está compuesta por una columna de $1.00\text{m} \times 1.00\text{m} \times 13.40\text{m}$ reforzada con 8 varillas de acero corrugado $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$ de 1" y una zapata de $6.40\text{m} \times 6.00\text{m} \times 0.90\text{m}$ reforzada con acero corrugado de $3/4" @ 0.35\text{m}$ en ambas direcciones en la parte inferior y superior de la misma. Asimismo, cuenta con dos cámaras de anclaje de concreto ciclópeo $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, de $1.70\text{m} \times 1.85\text{m} \times 1.50\text{m}$.</p> <p>La tubería de PVC de 2" de diámetro es sujeta por 99 péndolas de cable tipo boa (6x19) de 1/4" espaciadas a cada 1.0m con longitudes que varían desde 0.50m hasta 11.16m, debido a que están suspendidas y siguen la catenaria formada por el cable principal tipo boa(6x19) de 1" que presenta una flecha de 11.10m y está fijado a la cámara de anclaje pasando por la parte superior de las torres.</p>	170,002.03	60.00
Con tubería de HDPE	<p>Conformado por seis cámaras de anclaje (tres por cada lado) de concreto ciclópeo $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$ de $2.50\text{m} \times 2.50\text{m} \times 3.00\text{m}$.</p> <p>La tubería de HDPE de 2" de diámetro es sujeta por 109 péndolas de cable tipo boa (6x19) de 1/4" espaciadas a cada 0.91m con</p>	112,693.83	30.00

Cuadro comparativo de pases aéreos			
Pase aéreo	Diseño estructural	Presupuesto (s/)	Tiempo de ejecución (días)
	longitudes constantes de 0.50m debido a que están suspendidas cable principal tipo boa(6x19) de 1 1/2" que presenta una flecha de 3.00m y está fijado a las cámaras de anclaje.		

Del cuadro comparativo se analiza lo siguiente:

Con respecto al diseño estructural la principal diferencia es que para el pase aéreo con tubería de PVC se usa además de las cámaras de anclaje torres de concreto armado, no siendo así para el caso de pases aéreos con tubería HDPE. Esto gracias a la capacidad de flexión con la que cuenta la tubería HDPE que sigue la curvatura del cable de acero tipo boa (6x19), es por ello que se puede prescindir del uso de torres de concreto armado, usando solo cámaras de anclaje como elementos de soporte en cada extremo.

La diferencia en el diseño estructural influye directamente en los presupuestos y programación de obra. El costo para construir un pase aéreo con tubería de PVC representa el 66.29% el costo de construcción de un pase aéreo con tubería de HDPE. Así mismo el tiempo de ejecución de un pase aéreo con tubería de PVC representa dos veces el tiempo de construcción de un pase aéreo con tubería HDPE.

También se puede decir que el costo por metro lineal de un pase aéreo de 100m de longitud con tubería de PVC de 2" es de s/ 1,700.02; mientras que para un pase aéreo con las mismas características geométricas con tubería de HDPE de 2" el costo por metro lineal es de s/ 1,126.94, esto significa que el costo por metro lineal de un pase aéreo con tubería de HDPE cuesta s/ 573.08 menos que un pase aéreo con tubería PVC.

Al término de esta investigación, se pudo demostrar que construir un pase aéreo con tubería de HDPE es la mejor alternativa porque es más económico en un 33%, y en tiempo de ejecución en un 50%, con respecto a un pase aéreo de PVC.

De la misma manera Fernández (2019), de la Universidad Privada del Norte en su tesis, realizó el análisis comparativo de sistemas de agua y alcantarillado con tubería de PVC y HDPE, obtuvo como resultado, que realizar un sistema de agua potable y alcantarillado con tubería de HDPE, es la mejor alternativa, debido a su menor costo que realizarlo con tubería PVC.

También, Chasquibol y Bacalla (2019), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza en su tesis, realizó una evaluación técnica económica de agua con tubería de PVC-UF y HDPE, obteniendo como resultado, que la valoración económica evidencia un ahorro significativo del 35,15% cuando la tubería es HDPE-100 respecto a la de PVC-UF.

También Diez y Muñoz (2018), de la Universidad Privada Antenor Orrego en su tesis, realizó un diseño comparativo entre sistemas de saneamiento con tubería de PVC y HDPE, obteniendo como resultado, el costo por metro lineal de tubería de PVC es de S/. 128.24 y de Polietileno es de S/. 147.38, habiendo una diferencia de 12.99%. Pero con respecto a la instalación resulta más costoso la tubería de PVC. Y en el tiempo de ejecución en un 17.41% más ventajoso que el PVC.

Así mismo, Freire y Sánchez (2018), de la Universidad de Guayaquil en su tesis, realizó un análisis comparativo de rehabilitación de red de agua potable con tubería de PVC, HDPE y Hierro Dúctil, obteniendo como resultado, en cuanto al presupuesto que la tubería de PVC es más económica, y con respecto a los cronogramas la que menor tiempo tomará será la tubería de HDPE.

CONCLUSIONES

El sistema estructural para el pase aéreo con tubería de PVC, está conformado por torres de concreto armado y cámaras de anclaje en cada extremo, mientras que para el pase aéreo con tubería HDPE, solo es necesario considerar cámaras de anclaje como elementos de soporte en cada extremo.

Con respecto al diseño de péndolas, se tiene que, para el pase aéreo con tubería de PVC, el número total de péndolas es de 99 unidades, de longitud variable que va desde 0.50m en el centro hasta 11.16m en sus extremos, haciendo una longitud total de 408.97m. Mientras que para el pase aéreo con tubería de HDPE el número total de péndolas es de 109 unidades, de longitud constante en todo el pase aéreo de 0.50m, haciendo una longitud total de 55.00 m.

Y con respecto al diseño del cable principal, se tiene que, para el pase aéreo con tubería de PVC, el diámetro del cable principal es de 1", la tensión máxima de servicio es de 4.31 Ton y la longitud total del cable es de 144.76 m. Mientras que para el pase aéreo con tubería de HDPE el diámetro del cable principal es de 1 1/2", la tensión máxima de servicio es de 15.53 Ton y la longitud total del cable es de 120.30 m.

Con respecto al diseño de las torres de concreto armado, se tiene que, para el pase aéreo con tubería de PVC, 02 columnas de concreto armado de 1.00mx1.00mx13.40m, 02 zapatas concreto armado de 6.40mx6.00x0.90m. No siendo necesario las torres de concreto armado y las zapatas para el pase aéreo con tubería de HDPE.

Con respecto al diseño de las cámaras de anclaje de concreto simple, se tiene que para el pase aéreo con tubería de PVC, 02 cámaras de anclaje de 1.70mx1.85mx1.50m. Mientras que para el pase aéreo con tubería de HDPE se consideró cámaras de anclaje de 2.50mx3.00mx2.50m.

Un pase aéreo con tubería HDPE es la mejor alternativa ya que disminuyen los costos de ejecución en un 33.71%, y en tiempo de ejecución en un 50%, con respecto a un pase aéreo de PVC.

REFERENCIAS

- Análisis y diseño de puentes colgantes. (Diciembre de 2007). Lima, Perú.
- Aucapuclla, F. F. (2019). "Análisis Comparativo de Costo, Tiempo y Calidad entre Tuberías de PVC y HDPE en Instalación Sanitaria de la Asociación Santa María del Gramadal, Lima 2019". Lima.
- Fernandez, D. A. (2019). Evaluación Técnica-Económica de la línea de conducción de agua con tuberías de PVC - UF - HDPE, Chachapoyas, Amazonas, 2018. Chachapoyas, Perú.
- Freire Triana José Paúl, S. S. (Enero de 2018). Análisis comparativo de rehabilitación de red de AA.PP., utilizando tuberías PEAD, PVC, Hierro Dútil, en Suburbio Oeste. Guayaquil, Ecuador.
- Girón, I. E. (2005). Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del Polietileno de Alta Densidad (PEAD). Guatemala.
- Manual Técnico y de Instalación Super Tubo HDPE.* (2018).
- Ministerio de Vivienda, C. y. (Abril de 2018). Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural. Lima.
- Norma E.020 Cargas - Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). Lima, Perú.
- Norma E.030 Diseño Sismorresistente - Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). Lima, Perú.
- Norma E.050 Suelos y Cimentaciones - Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). Lima, Perú.
- Norma E.060 Concreto Armado - Reglamento Nacional de Edificaciones. (2020). Lima, Perú.
- Ramos, P. G. (2018). Análisis de tuberías de Polietileno frente al Policloruro de Vinilo para agua potable, Pasco. Huancayo, Perú.
- Saldarriaga, L. Á. (2017). Diseño estructural comparativo entre los pases aéreos de acero y concreto armado para obras de saneamiento. Arequipa, Perú.
- Wilmer, E. y. (2019). Diseño comparativo técnico-Económico entre sistemas de saneamiento con tuberías de PVC y de Polietileno - C.P. Pacanguilla - La Libertad. Trujillo, Perú.

SEMBLANZA DEL AUTOR



Marinely Torres Infante: Bach. en Ingeniería Civil Universidad Peruana Unión, Gerente General en la empresa Consultora & Constructora Toinma E.I.R.L. Experiencia en Formulación y Ejecución de Proyectos de Ingeniería.

marinelytorres@upeu.edu.pe