

Adecuación de senderos reutilizando caucho sintético en el Geositio Piedra Jabón

Trails adaptations reusing synthetic rubber in the Piedra Jabón Geosite

Yinela Y. Solís^{1,2}, Genesis M. Poveda¹, Ernesto Martínez^{1,2*}, Rita D. Rodríguez^{1,2}

¹Universidad Tecnológica de Panamá, Facultad de Ingeniería Civil, Panamá

²Grupo de Investigación Propuesta de Geoparque Puente de las Américas, Panamá

Fecha de recepción: 4 de septiembre de 2023. **Fecha de aceptación:** 22 de diciembre de 2023.

***Autor de correspondencia:** ernesto.martinez@utp.ac.pa

Resumen. Cuidar el medio ambiente requiere acciones para disponer de manera correcta de los residuos, por ello se debe tener una gestión que incentive la reutilización y reciclaje; considerando el incremento desmesurado de desechos sólidos en Panamá, se busca liderar una red de soluciones aplicables en el país contribuyendo al ODS 11. El objetivo es diseñar y construir un prototipo de escaleras con 2301 mallas de neopreno desechadas en el Vertedero Municipal de Penonomé, que permita mejorar los accesos y el desplazamiento tanto para el geoturismo como para los moradores del Geositio Piedra Jabón. Para los diseños se tomó en cuenta la construcción de una escalera en condiciones variables de terreno considerando lluvias intensas, socavación, deslizamientos de terreno, arboles existentes a preservar y espacios empleados por la comunidad. Para el diseño se realizaron ensayos de laboratorio al suelo, verificaciones del material a emplear y cálculos geotécnicos. Se concluye que, debido a la dureza del material, su resistencia al clima y al tiempo presenta las características necesarias para ser usado como escaleras, se definen las condiciones geotécnicas, anclajes y detalles requeridos para la construcción; además, la comunidad demostró un alto interés, por tanto, al finalizar la validación del prototipo, se ha planificado la ejecución del proyecto en los sitios indicados por los moradores del sector, generando plazas de servicio social que contribuyen al desarrollo integral de los futuros profesionales y beneficiando a unas 70 familias de artesanos que cada día utilizan los senderos.

Palabras clave. Accesibilidad, geoturismo, neopreno, resistencia, sostenibilidad.

Abstract. Caring for the environment requires actions to dispose of waste correctly, so you must have a management that encourages reuse and recycling; considering the disproportionate increase in solid waste in Panama, it seeks to lead a network of solutions applicable in the country contributing to SDG 11. The objective is to design and build a prototype of stairs with 2301 discarded neoprene meshes in the Penonome Municipal Landfill, which allows improving access and displacement for both geotourism and the inhabitants of the Piedra Jabón Geosite. For the designs, the construction of a staircase in variable ground conditions is considered, considering intense rains, undermining, landslides, existing trees to be preserved and spaces used by the community. For the design, laboratory tests were carried out on the soil, verifications of the material to be used and geotechnical calculations. It is concluded that, due to the hardness of the material, its resistance to climate and time presents the necessary characteristics to be used as stairs, the geotechnical conditions, anchors and details required for construction are defined; In addition, the community showed a high interest, therefore, at the end of the validation of the prototype, the execution of the project has been planned in the sites indicated by the inhabitants of the sector, generating social service places that contribute to the integral development of future professionals and benefiting about 70 families of artisans who use the trails every day.

Keywords. Accessibility, geotourism, neoprene, resistance, sustainability.

1. Introducción

Uno de los desafíos a los que se enfrenta el medio ambiente y la sociedad es la contaminación ambiental ocasionada por los residuos sólidos, problema que influye en el aceleramiento del calentamiento global, factor de relevancia considerando que en el mundo se recogen aproximadamente 11,200 millones de toneladas de residuos sólidos cada año [1].

Fomentando la reutilización de materiales se establece la idea de acondicionar accesos en el Geositio Piedra Jabón que forma parte de la Ruta 3: Georuta de Piedra de Jabón de Penonomé Me Enamora y del Proyecto de Geoparque Punte de las Américas, tomando como materia prima mallas de neopreno (caucho sintético) provenientes de la industria minera.

Se planteó el diseño y validación de un prototipo de escalera que permitiera definir la mejor estrategia de construcción y utilización del material disponible (2301 piezas de estilo variable) como se aprecia en la figura 1, bajo ciertas condiciones específicas de uso y ubicación, buscando realizar un diseño exitoso y replicable en diferentes puntos turísticos.



Figura 1. Mallas de neopreno.

Para la construcción del prototipo de escaleras a base de mallas de neopreno se consideraron los siguientes criterios que hacen referencia a su producción, resistencia y adecuación al sitio; el diseño cumple con los siguientes criterios: autoportante, resistente al tiempo y clima, debe preservar los árboles existentes en la zona, resistente a cargas, permeable, ajustable a la condición del terreno, de bajo mantenimiento, de bajo costo y con un proceso constructivo de fácil aplicación.

En el mundo existen diversas maneras de reutilizar el neopreno de productos en desuso o desechados como el presente en los neumáticos, sin embargo, no se encontraron evidencias de que se esté realizando reutilización de mallas de neopreno utilizadas por la industria minera.

El objetivo principal de esta investigación plantea diseñar, validar y construir un prototipo de escaleras a base de mallas de neopreno como materia prima que permita mejorar los accesos en sitios utilizados para el geoturismo en el Geositio Piedra Jabón.

Este documento recopila la investigación realizada para conocer las características e historia del material, así como el surgimiento de la idea, el planteamiento del diseño y las consideraciones para su implementación además resalta el proceso constructivo del prototipo y verifica su reproducibilidad.

Es importante mencionar, que efectuar esta investigación contribuye a alcanzar el desarrollo sostenible a través del apoyo al ODS 11 como objetivo principal (Ciudades y comunidades sostenibles) y los ODS 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13, 14, 17 como secundarios [2]. Basados en la Agenda 2030, se resalta que las comunidades del Geositio Piedra Jabón por motivo de la construcción de escaleras a base de neopreno como proyecto global posterior, adelanta la transición hacia una comunidad con infraestructuras más respetuosas con el medio ambiente, sumado a esto la investigación tiene un enfoque positivo con respecto a la atención a turistas y visitantes, brindándoles un desplazamiento más seguro, aumentando el flujo del turismo, así como, el desplazamiento de los pobladores debido a que estos senderos se localizan en puntos estratégicos que son parte de la servidumbre siendo utilizadas como aceras y mejorando la calidad de vida de las personas que diariamente transiten el sitio, otra de las líneas de beneficios sugieren que apoya el trabajo decente y crecimiento económico, basados en el potencial que tiene el geoturismo en el sitio, debido a la presencia de la Mina de Piedra Jabón de Pajonal, una roca única [3]; entre las características de este proyecto resalta la inducción a miembros de la comunidad con el objetivo de que comprendan el proceso constructivo, y que además sean los ejecutores y encargados de brindar mantenimiento a la infraestructura logrando la sostenibilidad.

1.1 Planteamiento de la problemática

Entre las observaciones de esta investigación se destaca que la disposición de los recursos sólidos y su gestión son un desafío demandante que le compete a toda la sociedad. La reutilización de los materiales que una vez fueron descartados es la idea que se impulsa en las últimas décadas. El desarrollo de las comunidades rurales está ligado a la utilización de los recursos naturales que tienen a su alrededor. El Geoturismo es una alternativa de turismo sostenible que se encuentra en desarrollo en Panamá. La creación de infraestructuras como

accesos a cientos de kilómetros de senderos que existen es una de las falencias para el desarrollo del turismo.

De manera que se realiza la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo se pueden reutilizar las mallas de neopreno de la industria minera para acondicionar accesos a senderos geoturísticos en el Geositio Piedra Jabón?

Para buscar esta respuesta se plantea que las mallas de neopreno pueden reutilizarse como escaleras para el acondicionamiento de senderos debido a las características y propiedades intrínsecas de este material, siendo capaz de adaptarse a necesidades constructivas y del sitio.

2. Antecedentes

Por ser el neopreno un caucho sintético familia de los plásticos se considera mencionar la Iniciativa Mundial sobre Turismo y Plásticos donde la Organización Mundial del Turismo (OMT) da a conocer sus ambiciosos planes para eliminar el plástico de un solo uso y adoptar modelos de reutilización en las prácticas turísticas a nivel mundial [4].

En Panamá, la gestión de los residuos sólidos es un problema, por ello la Alcaldía de Penonomé, en Coclé, busca liderar una red de soluciones replicables en Panamá, tomando la iniciativa de realizar contratos con empresas privadas que se encarguen de procesar sus desechos, lo que resultó en un convenio que permite que la basura sea convertida en energía [5].

Siguiendo esta línea y tomando en cuenta los residuos del vertedero que no son procesados, se encuentran dentro del área de depósito del Vertedero Municipal de Penonomé cientos de mallas de neopreno que ha solicitud de la alcaldía se les busca dar un segundo uso.

Las mallas de neopreno eran utilizadas en la industria minera, en la antigua operación del proyecto Minero Petaquilla Gold, S.A.; donde eran empleadas para separación precisa de material a granel en los procesos de clasificación y tratamiento de minerales por motivo de su gran resistencia al desgaste.

El Proyecto Geoparque Puente de las Américas, promueve el progreso de las comunidades rurales por medio del desarrollo sostenible [6]. En este, se destaca la utilización de los recursos geológicos, naturales y culturales para impulsar la generación de trabajo decente a través del geoturismo, lo que permite a comunidades administrar sus recursos para ofrecerlos a los turistas, de manera que la Alcaldía de Penonomé sugiere reutilizar el neopreno para el acondicionamiento de senderos que son utilizados como atractivos turísticos.

En esta zona, estudiantes de la Universidad Especializada de las Américas (UDELAS) ejecutaron el Proyecto Señalética La Mina, donde los senderos fueron acondicionados con letreros y señalizaciones, pero, en este no se realizaron grandes reformas de las infraestructuras de desplazamiento [7].

En función de ello, la construcción de las escaleras con los materiales antes mencionados es una oportunidad de mejora para el desplazamiento en la zona.

3. Metodología

La ejecución de la investigación siguió el método científico lo que permite probar la hipótesis y validar la reproducibilidad del prototipo.

3.1 Diseño

La ejecución de esta investigación se planteó de manera escalonada, por lo que se dio una sucesión de hechos desde la evaluación del material hasta la construcción del prototipo.

La investigación comenzó con una inspección visual para evaluar de manera simple el material y encontrar rasgos característicos que mostrarán indicios de su historia, luego se ejecutó una búsqueda virtual para su caracterización.

Tomando en cuenta los aspectos generales de una escalera se realizó en 2D el predimensionamiento empleando la herramienta AutoCAD-AutoDesk (figura 2).

Se visitó el geositio para evaluar condiciones de terreno y localizar el sitio para la construcción del prototipo, realizar entrevistas con los lugareños para establecer referencias sobre las lluvias, socavación e inundaciones y sus necesidades, se recolectaron muestras de suelo para su clasificación siguiendo los procedimientos de: ASTM D2488-17(Standard Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedures)), ASTM D4318-17(Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils) y ASTM D2487-17(Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)) [8].

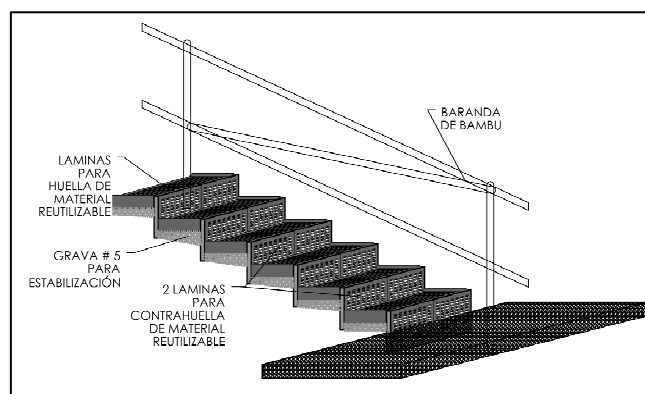


Figura 2. Predimensionamiento realizado en AutoCAD-AutoDesk.

Además, se realizó verificaciones de diseño como cálculo de presiones en reposo, presiones laterales y factores de seguridad que prevean deslizamiento, volteo y que verifiquen la capacidad de soporte de la estructura. Usando las ecuaciones geotécnicas de Rankine, se determinan los coeficientes de presiones (ecuaciones 1 a 3).

$$k_a = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\phi}{2}\right) \quad (1)$$

$$k_p = \tan^2\left(45^\circ + \frac{\phi}{2}\right) \quad (2)$$

$$k_o = 1 - \text{sen}\phi \quad (3)$$

Las ecuaciones 4 y 5 determinan presiones activas y pasivas en cada escalón:

$$P_a = \frac{1}{2} * \sigma_a * H \quad (4)$$

$$P_p = \frac{1}{2} * \sigma_p * H \quad (5)$$

Las ecuaciones 6, 7 y 8 se utilizan para determinar factores de seguridad:

$$FS_{\text{deslizamiento}} = \frac{P_p + f}{P_a} > 1.5 \quad (6)$$

$$FS_{\text{volteo}} = \frac{M_r}{M_d} > 2 \quad (7)$$

$$FS_{\text{capacidad de soporte}} = \frac{q_{\text{ultima}}}{q_{\text{applied}}} > 3 \quad (8)$$

Las escaleras se diseñan para brindar seguridad y comodidad a quienes las transitan, para que una escalera sea cómoda, lo mejor es que sus escalones tengan entre 16 cm a 17 cm de contrahuella y una huella de 30 cm, además de contar con uno o varios descansos [9].

Considerando las variables como lluvia, deslizamientos de terreno, la disponibilidad de materiales y su tiempo de vida, se analiza el diseño preliminar y se propone dos opciones de anclaje a emplear (figura 3).

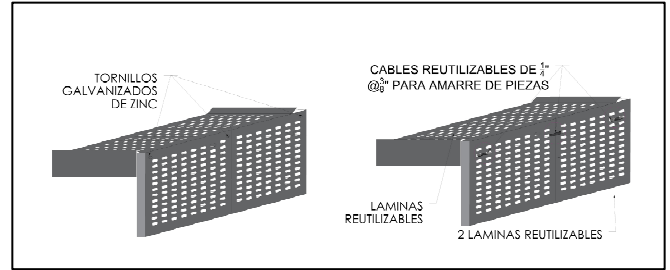


Figura 3. Opciones de anclaje.

3.1.1 Opción de anclaje 1

En este diseño se evaluó un tipo de anclaje entre cada escalón, en el análisis se determinó reutilizar tornillos galvanizados con una longitud de 3 ½ pulgadas que unirán las mallas de neopreno. Los tornillos son reutilizados del sector agrícola donde su función era fijar las pantallas de equipos de precisión en tractores que posteriormente fueron retirados, para su traslado a otros tractores dejando los tornillos en buenas condiciones. Los tornillos trabajan como pines que unen cada contrahuella con la huella.

3.1.2 Opción de anclaje 2

Mediante análisis se determinó reutilizar cables de tipo eléctrico con un diámetro de 3/8 pulgadas, que permitieran ser encajados a las mallas de neopreno por una ranura de su estructura quedando fija. El cable de tipo eléctrico es un material en desuso de tendidos eléctricos y posteriormente fue retirado debido a la modernización de sistemas.

3.2 Construcción

- Para construir el prototipo fue necesario explicar a la comunidad el objetivo del proyecto, idea que generó un impacto positivo incentivando el apoyo para la construcción.
- Se inició la obra realizando el lavado de las mallas de neopreno, inmediatamente se inició la construcción de la escalera de abajo hacia arriba partiendo de la marcación de una pieza (62 cm x 30 cm), para esto fue necesario excavar aproximadamente 6 cm de profundidad, añadir grava y colocar el neopreno.
- Seguido a esto se anexa la contrahuella conformada por dos láminas de neopreno pequeñas (30 cm x 30 cm) que estarían enterradas entre 15 cm y 16 cm de profundidad.
- Una vez el procedimiento fue claro se procedió a la construcción del resto del tramo de la escalera.

3.2.1 Materiales y herramientas

Los materiales utilizados para la elaboración del prototipo de escaleras se encuentran establecidos en la tabla 1, las herramientas utilizadas para llevar a cabo la construcción fueron: dos coas, dos palas, un nivel, dos cintas métricas y un taladro industrial.

Tabla 1. Materiales utilizados y sus propiedades

Materiales	Propiedades
Mallas de neopreno	Resistencia a la degradación a causa del clima, resistencia a la corrosión, aislante termoestable, resistencia al envejecimiento, capacidad para absorber energía mecánica, resistente a daños causados por la flexión y torsión, dureza Shore desde 55 A hasta 90 A [10].
Grava	Durabilidad, resistencia al desgaste, capacidad de soporte, alta consistencia, amplia gama granulométrica.
Tornillos Galvanizados	Durabilidad, resistencia a la corrosión [11].
Cable tipo eléctrico	Durabilidad, resistencia al desgaste, resistencia a la corrosión, resistencia a la degradación a causa del clima.

4. Resultados

Para justificar las idealizaciones, cumplir con las condiciones descritas, así como validar y verificar la reproducibilidad del prototipo se presentan las siguientes secciones.

4.1. Construcción y validación del prototipo

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las pruebas de laboratorio para las muestras de suelo recolectadas en la tabla 2.

Tabla 2. Resultados de las pruebas de laboratorio

Norma	Resultado
ASTM D2488-17e1	Soil Color: 7.5 YR 4/6 Strong Brown
ASTM D4318-17e1	LL(%)=43, LP(%)=35, IP(%)=8
ASTM D2487-17e1	Group Symbol: SP Group Name: Poorly graded sand with gravel.

Se calculó para las mallas a una profundidad de 15 cm los coeficientes de presiones activas, pasivas y de reposo que genera el suelo en ellas con las ecuaciones 1, 2 y 3, dando como resultado 0.33, 1.7, 0.5 respectivamente. Teniendo estos coeficientes se obtienen las presiones laterales calculadas con las ecuaciones 4 y 5, obteniendo como presión activa 0.4158 kN/m y presión pasiva 0.09 kN/m. Los factores de seguridad con las ecuaciones 6, 7 y 8 resultan para deslizamiento 3.73, para volteo 7.25 y capacidad de soporte 3.18. Con los factores de seguridad se verificó que la estructura es resistente bajo las condiciones del caso y permite probar su adecuado funcionamiento. Dado los resultados obtenidos para estos parámetros a comparación con los lineamientos descritos en el Reglamento Estructural Panameño 2021 en la sección de Geotecnia (capítulo 6), la construcción de la escalera utilizando mallas de neopreno se puede llevar a cabo para las condiciones dadas garantizando su funcionamiento.

Para la construcción del prototipo con cinco escalones propuestos, debido a la evaluación de los materiales obtenidos por reutilización se decidió ejecutar en total ocho escalones y las dos opciones de anclaje propuestos permitiendo la construcción y validación de ambas opciones (figura 4).



Figura 4. Escalera utilizada (Izquierda) Prototipo de escalera (Derecha).

4.2. Oportunidades de desarrollo del prototipo

El proyecto de extensión de la adecuación de senderos reutilizando caucho sintético en el Geositio Piedra Jabón se planificó para el mes de abril 2024 en donde con ayuda de las comunidades, la Alcaldía de Penonomé y estudiantes del servicio social de la Universidad Tecnológica de Panamá, se realizará la construcción. Se prevé que participen aproximadamente 50 personas, que contribuirán voluntariamente durante las jornadas de trabajo, generando la mejora en la accesibilidad de la comunidad (figura 5).

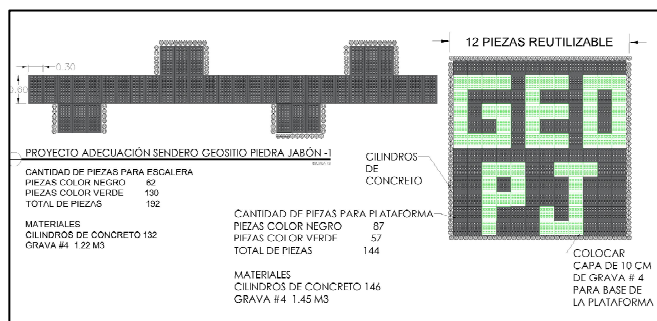


Figura 5. Proyecto de extensión para adecuaciones en senderos del Geositio Piedra Jabón con materiales reutilizados.

En otra ocasión, la comercialización del concepto de diseño podría ser factible al ser ofrecida a empresas de construcción, canteras y mineras para que estas reutilicen los materiales bajo un concepto de innovación y producción responsable, además, debido a la versatilidad del concepto y sabiendo que, el diseño puede ser ajustado según el tipo de suelo en sitio.

5. Conclusiones

La adecuación del sendero en el Geositio Piedra Jabón mediante el prototipo construido en esta investigación beneficia a unas 70 familias de artesanos de las comunidades que lo utilizan para desplazarse y como atracción turística brindando apoyo a los ODS 8 y 9.

Debido a la dureza del material, su resistencia al clima y al tiempo presenta las características necesarias para ser usado sosteniblemente aplicando el ODS 12, por lo que se incentiva a la comunidad mundial a que se reutilicen estos desechos de la industria minera para generar nuevas oportunidades de uso, concluyendo que estos materiales pueden ser utilizados como escaleras que forman infraestructuras innovadoras y que son el eje transversal para lograr una comunidad más sostenible incentivado a través de los ODS 9 y 11. Continuando con esta idea, se establece necesario brindar mantenimiento preventivo por la comunidad, para asegurar el óptimo funcionamiento de la escalera considerando que pueda ser cubierta por la vegetación, debido a lo cual se realizará una inducción y los pobladores serán capaces de realizar estas acciones.

La ejecución de proyectos de construcción de escaleras basados en este prototipo se encuentra limitada por las cantidades de piezas de material disponible en el Vertedero Municipal de Penonomé.

La construcción del prototipo se realizó en un tiempo de ocho horas, tomando en consideración el aumento de cinco escalones que se había planificado a ocho escalinatas con dos descansos para terminar la ejecución debido a la pendiente del sitio y la necesidad de los pobladores por utilizarla en la época de invierno, además por iniciativa de la comunidad se agregó

una baranda reutilizando madera y bambú que se encontraban en el área, también se añadió grava al inicio y finalización de la escalera para mejorar el acceso a la misma y se obtuvieron alianzas para el futuro proyecto (ODS 17).

Basado en las experiencias con respecto a la construcción del prototipo, se identifican procesos de mejoras a nivel administrativo para la ejecución del proyecto de extensión de modo que se ejecuten acciones como reuniones previas con la comunidad para planificar la construcción, la necesidad de proyectar cuadrillas de trabajo que permitan la optimización del tiempo, coordinación de la alimentación y la disposición de agua para los trabajadores en sitio y la limpieza previa del lugar.

Por otro lado, mediante observación se determinó que es necesario la utilización de grava de menor tamaño que pueda usarse para rellenar completamente el escalón, para mejorar la perspectiva visual se integrarán follajes de colores y además se sembrarán plantas de enraizado profundo que permita amarrar el suelo a los lados de las escaleras para evitar la socavación del material a causa de la escorrentía.

Se recomienda ejecutar nuevas investigaciones que permitan reutilizar otros materiales de características análogas encontrados en los vertederos del país, que cumplan con los criterios necesarios para fabricar infraestructuras similares, de modo que se puedan seguir adecuando más kilómetros de senderos en los distintos destinos turísticos y apostando por el cumplimiento de la Agenda 2030 en la búsqueda de soluciones sostenibles.

AGRADECIMIENTOS

A la Alcaldía de Penonomé, quién incentivó y financió la construcción del prototipo, agradecemos su confianza. A la Comunidad de la Mina de Membrillo y al Grupo Artesanal Ambiental por brindarnos su apoyo y sugerencias. A todas aquellas personas que de una u otra manera nos demostraron su solidaridad en la ejecución de este proyecto.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener algún conflicto de interés.

REFERENCIAS

- [1] ONU Programa para el medio ambiente, «Día Internacional de Cero Desechos 2023,» 30 marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.unep.org/es/events/un-day/dia-internacional-de-cero-desechos-2023>.
- [2] Naciones Unidas, «Objetivos de Desarrollo Sostenible,» 24 mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

- [3] H. Sandoval, T. Destro, R. Rodríguez, E. Martínez, E. Gutierréz y Y. Solís, «Estudio y descripción de la Jabonera de Pajonal,» IEEE Xplore, 2023.
- [4] UNTWO, 17 Diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.unwto.org/es/desarrollo-sostenible/iniciativa-mundial-turismo-plasticos>.
- [5] Ministerio de Relaciones Exteriores - Gobierno Nacional, República de Panamá, 28 abril 2023. [En línea]. Available: <https://mire.gob.pa/penonome-sera-la-primera-alcaldia-de-america-latina-que-convertira-la-basura-en-energia-limpia/>.
- [6] T. Destro, E. Martínez, R. Rodríguez y H. Sandoval, Proyecto Geoparque Puente de las Américas, Plan Maestro 2020 - 2021, Panamá, 2022.
- [7] A. Aguilar y A. Mendoza, «Proyecto de Señalética La Mina,» 2022. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/udelas.ac.pa/senaletica-de-la-mina/inicio>.
- [8] ASTM INTERNATIONAL, [En línea]. Available: <https://www.astm.org/>.
- [9] SENADIS, «Acceso - Desarrollo de la normativa nacional de accesibilidad en temas de urbanística y arquitectura. Diseñado para Ingenieros, arquitectos y afines.» Panamá, 2008.
- [10] Schenck process, «Direct Industry,» [En línea]. Available: <https://pdf.directindustry.es/pdf/schenck-process-holding-gmbh/screen-panels-for-the-steel-industry/14361-641924.html>.
- [11] J. H. Flores Lozano, Diseño del proceso de galvanizado para piezas eléctricas automotrices (pernos, platinas, tornillos, terminales de batería) con producción a mediana escala, Riobamba, 2022.