

Revista Ciencia y Construcción

Vol.3 No.4 Octubre – Diciembre 2022

Facultad de Ingeniería Civil Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” CUJAE

13

Technical Solutions

**Ferrocement
Applied On
Water And
Sanitation**

31

**SELECTION OF WILD PLANT
SPECIES AS SOIL
BIOENGINEERING FOR SOIL
SLOPE STABILITY IN SOUTH
KALIMANTAN INDONESIA TO
OVERCOME SHALLOW
LANDSLIDES**

HELPING NATURE HELP US

Título: “La Lonja” © Rigoberto Prado León / CUJAE

43

**ANÁLISIS DINÁMICO
INCREMENTAL DE MARCOS
MULTI-PANEL ARRIOSTRADOS
CONCÉNTRICAMENTE**

EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO



Rik_lens

Consejo Editorial

Director/Editor Técnico

- Dra. Vivian Beatriz Elena Parnás, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba

Editor Ejecutivo

- Dra. Ingrid Fernández Lorenzo, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba

Editores Asociados

- Dr. Willian Cobelo Cristiá, Universidad Tecnológica de La Habana, José Antonio Echeverría (CUJAE), Cuba
- Dra. Zenaida Paulette Frómeta Salas, Universidad de Oriente, Cuba
 - Dr. Rafael Larrúa Quevedo, Universidad de Camagüey, Cuba
- Dr. José Cataldo Ottieri, Universidad de la República, Udelar, Uruguay

Comité Científico

- Dra. Beatriz Camaño Schettini, Universidad Federal de Rio Grande del Sur (UFRGS), Brazil
- Dr. Carlos A. Recarey Morfa, Universidad Central de Las Villas, Marta Abreu, Cuba, Cuba
 - Dr. Francisco Lamas Fernández, Universidad de Granada, Spain
 - Dr. Gilberto Quevedo Sotolongo, Universidad Central de Las Villas, Marta Abreu, Cuba
- Dr. Geert Lombaert, KU Leuven University, Belgium
- Dr. José Fernando Martirena Hernández, Universidad Central de Las Villas, Marta Abreu, Cuba

02	Consejo Editorial
03-04	Sumario
05	Sección 1: Artículos de Investigación
06-12	Barras FRP De Basalto: Construcción De Estructuras De Hormigón Armado De Larga Duración Libres De Corrosión ○ Álvaro Ruiz Emparanza ○ Francisco de Caso ○ Antonio Nanni
13-20	Ferrocement Applied On Water And Sanitation ○ Sávio Nunes Bonifácio
21-30	Análisis Geométrico De La Rotonda Del Monumento A La Paz En La Ciudad De Huaquillas ○ Billy Henry Paladines Calderón ○ Erwin Javier Oyola Estrada ○ Leyden Oswaldo Carrión Romero ○ Elsi América Romero Valdiviezo
31- 42	Selection Of Wild Plant Species As Soil Bioengineering For Soil Slope Stability In South Kalimantan Indonesia To Overcome Shallow Landslides ○ Rusdiansyah ○ Adriani ○ Innocentia EP ○ Rusna Apriani

Sumario 2

- 43-53 **Análisis Dinámico Incremental De Marcos Multi-Panel Arriostrados Concéntricamente**
- Paúl André Añazco Campoverde
 - Gilbert Adrián Añazco Campoverde
 - Leyden Oswaldo Carrión Romero
- 54 **Sección 2: Artículos de Estudio de Casos**
- 55-64 **Diseño Y Trazado Geométrico De La Calle Benalcázar En La Ciudad De Huaquillas**
- Peter Leonard Reyes Estrella
 - Erwin Javier Oyola Estrada
 - Leyden Oswaldo Carrión Romero
 - Elsi América Romero Valdiviezo
- 65-76 **Análisis De La Capacidad Vial Y Nivel De Servicio De Las Vías De Ingreso De La Ciudad De Machala**
- José Miguel Peñafiel Pavón
 - Carlos Eugenio Sánchez Mendieta
 - Yudy Patricia Medina Sánchez
- 77-89 **Evaluación Del Diseño Geométrico Del Drenaje Transversal En La Vía Tíllales Y El Sitio La Palestina**
- Washington Eduardo Barahona Velez
 - Erwin Javier Oyola Estrada
 - Leyden Oswaldo Carrión Romero
 - Elsi América Romero Valdiviezo

Artículos de Investigación

Barras FRP De Basalto: Construcción De Estructuras De Hormigón Armado De Larga Duración Libres De Corrosión

Basalt FRP Rebars: Building Long-lasting Reinforced Concrete Structures Free Of Corrosion

Autores

Álvaro Ruiz Emparanza¹, Francisco De Caso², Antonio Nanni²

¹ Mafic USA, Shelby, North Carolina, USA, :e-mail alvaro.ruiz@mafic.com

^{2 y 3} Univeristy of Miami, Dept. of Civil and Architectural Engineering, Florida USA

RESUMEN

El uso de barras de refuerzo de polímero reforzado con fibra, FRP (del inglés Fiber Reinforced Polymer), evita el deterioro acelerado que sufren las estructuras de hormigón armado debido a la corrosión de la armadura de acero. Las barras de refuerzo FRP están hechas de fibras alineadas longitudinalmente en una matriz de resina polimérica, siendo el vidrio E-CR el tipo de fibra predominante en la industria. Sin embargo, en la última década, el uso de fibra de basalto ha aumentado significativamente debido a las propiedades mecánicas mejoradas y al impacto ambiental reducido en comparación con el vidrio E-CR.

Este documento detalla las principales propiedades que tienen las barras de FRP de basalto (BFRP), resume los estándares y especificaciones existentes para su uso en estructuras de hormigón armado, incluida la nueva especificación ASTM para fibras de basalto, y evalúa su uso a través de proyectos prácticos de construcción existentes. El objetivo de este artículo es crear un marco de referencia para presentar las herramientas necesarias para que los profesionales de la industria de la construcción utilicen barras de refuerzo BFRP en lugar de acero donde se necesite un refuerzo anticorrosivo para extender la vida útil de estructuras de hormigón.

Palabras claves : Basalto, BFRP, Construcción, Corrosión, Durabilidad, Hormigón, Sostenibilidad.

ABSTRACT

The use of fiber reinforced polymer (FRP) rebars avoid the accelerated deterioration that reinforced concrete structures suffer due to the corrosion of the steel reinforcement. FRP composite rebars are made of longitudinally aligned fibers embedded in a polymeric resin, being E-CR glass the predominant type of fiber in the FRP rebar industry. However, in the last decade the use of basalt fiber has increased significantly due to the enhanced mechanical properties and reduced environmental impact compared to E-CR glass.

This paper lists the main properties that BFRP rebars have, summarizes the existing standards and specifications including the new ASTM specification for basalt fibers, and evaluates their use through existing practical construction projects. The aim of this article is to create a frame of reference to introduce the necessary tools for professionals in the construction industry to use BFRP rebars in lieu of steel where non-corrosive reinforcement is needed to extend the service life of the built infrastructure.

Keywords: Basalt, BFRP, Corrosion, Construction, Concrete, Durability, Sustainability.

Nota Editorial: Recibido: Octubre 2022 Aceptado: Noviembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

Las barras de refuerzo de polímero reforzado con fibra (FRP) son una alternativa no corrosiva y duradera a las barras de acero tradicionales para el uso como refuerzo interno en estructuras de hormigón armado. Las barras de refuerzo FRP están hechas de fibras alineadas longitudinalmente en una matriz de resina fabricadas mediante un proceso llamado pultrusión. Las barras de refuerzo de FRP se han utilizado en estructuras de ingeniería civil durante más de tres décadas. La fibra de vidrio fue y sigue siendo el tipo de fibra más utilizado debido a su disponibilidad y bajo costo. Sin embargo, el interés en otras fibras como el basalto ha ido en aumento ya que sus propiedades mecánicas superan a las del vidrio [1,2] y la diferencia de costo es marginal. Con un suministro creciente de fibra de basalto en los EE. UU., su uso en barras de refuerzo de FRP se está volviendo económicamente factible [3].

Históricamente, las barras de refuerzo FRP se han utilizado con mayor frecuencia en la infraestructura de transporte que en edificios. La razón principal ha sido el interés de los Departamentos de Transporte de aumentar la vida útil y reducir el costo de mantenimiento de los puentes y otras estructuras viales. Por ejemplo, Al-Khafaji et al. [4] evaluó 11 puentes reforzados con FRP de vidrio (GFRP) después de estar en servicio durante 15 a 20 años y, de los cupones extraídos, casi no se observó degradación de GFRP a pesar de que las barras de refuerzo utilizadas en estos proyectos se fabricaron con vidrio E-Glass en lugar del vidrio E-CR que se utiliza actualmente, el cual es una evolución libre de boro más reciente para mejorar la resistencia a la corrosión. De hecho, si bien el vidrio E-glass es la fórmula de fibra de vidrio más utilizada en el mundo, contiene boro y flúor, dos compuestos que quedan atrapados en partículas liberadas a la atmósfera durante la fabricación, lo que provoca contaminación ambiental. Por el contrario, la fibra de vidrio E-CR no contiene boro ni flúor y tiene mejores propiedades mecánicas, mayor resistencia al calor, resistencia al agua y mayor resistencia superficial que la fibra de vidrio E-glass. La fibra de vidrio E-CR se produce bajo la norma ASTM D578 desde 2005.

Últimamente, sin embargo, el uso de barras BFRP ha aumentado significativamente en edificios y otras obras comerciales después de los resultados positivos que ha mostrado el refuerzo de FRP en la infraestructura. Además de la durabilidad, una ventaja muy importante para los contratistas es el peso ligero del material (una cuarta parte del acero tradicional) que hace que el transporte, la manipulación y la instalación sean significativamente más fáciles y rentables.

2. PROPIEDADES DE LAS BARRAS BFRP



Las barras FRP de basalto (BFRP) tienen una resistencia alta a tracción (más de tres veces mayor que el acero Grado 60 (420 MPa) para diámetros de barra equivalentes), son livianas (una cuarta parte del peso del acero), eléctricamente no conductoras y transparentes a los campos electromagnéticos. Sin embargo, la principal ventaja de estas barras compuestas es la alta resistencia a la corrosión, incluso cuando se exponen a entornos hostiles como zonas costeras donde niveles altos de cloruros debido a la presencia de agua marina [1, 5-7]. Como en el caso de las barras FRP de vidrio, carbono o aramida, las barras BFRP son elásticas lineales hasta la falla y no exhiben una meseta plástica como en el caso del acero dulce. En comparación con otros tipos de FRP, las barras de refuerzo BFRP se encuentran entre el vidrio y el carbono tanto en resistencia como en rigidez. En comparación con las barras de refuerzo FRP de vidrio E-CR, las barras BFRP tienen un módulo y una resistencia ligeramente superiores, y una mayor durabilidad [1,5]. El módulo elástico de una barra de BFRP es aproximadamente un tercio del del acero.

La Tabla 1 resume las propiedades de las barras de refuerzo BFRP #5 (16 mm) que se ensayaron en la Universidad de Miami como parte del proceso de certificación del Departamento de Transporte de Florida (FDOT). Esta tabla presenta los valores medios o garantizados obtenidos experimentalmente siguiendo los diferentes métodos de ensayo ASTM, y se comparan con tres especificaciones de materiales existentes [8, 9 y 10].

Tabla 1 - Propiedades de las barras de refuerzo BFRP #5

Propiedad	Método de ensayo	Unid.	Valor	Especificaciones		
				ASTM D7957	ICC-ES AC454	FDOT 932
Área	ASTM D792	mm ²	228	186-251	186-251	186-251
Contenido de fibra	ASTM D2584	%	84	≥ 70	≥ 70	≥ 70
Carga máxima a tracción	ASTM D7205	kN	286.8	≥ 130	≥ 144	≥ 130
Resistencia máxima a tracción (nominal)		MPa	1441	n/a	≥ 104.9ksi	n/a
Modulo elástico (nominal)		GPa	65.2	≥ 44.8	≥ 44.8	≥ 44.8
Elongación máxima		%	2.21	≥ 1.1	n/a	n/a
Capacidad de adherencia	ASTM D7913	MPa	9.95	≥ 7.6	≥ 7.6	≥ 7.6
Resistencia al corte transversal	ASTM D7617	MPa	255	≥ 131	≥ 152	≥ 152
Resistencia al corte horizontal	ASTM D4475	MPa	48.6	n/a	≥ 38	≥ 38
Resistencia a alcalinidad (con carga): retención de carga a tracción	ASTM D7705- Procedure B	%	92	n/a*	≥ 70	≥ 70
Temperatura de tránsito vítrea (DSC)	ASTM E1356	°C	125	≥ 100	≥ 100	≥ 100
Grado de curado	ASTM E2160	%	99	≥ 95	n/a	≥ 95
Absorción de humedad en 24h	ASTM D570	%	0.07	≤ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.25
Absorción de humedad hasta saturación		%	0.40	≤ 1.0	≤ 1.0	≤ 1.0

*ASTM D7957 especifica el uso de ASTM D7705 - Procedimiento A (sin carga) como prueba de durabilidad. Se requiere una retención mínima del 80 % para que se acepte la barra de refuerzo de FRP.

En general, como se observa en la Tabla 1, los valores físico-mecánicos obtenidos experimentalmente están significativamente por encima de los valores mínimos establecidos por las normas ASTM D7957, ICC-ES AC454 o FDOT 932 [8, 9 y 10] (explicadas en la sección 3). Hay dos razones para explicar estos hallazgos: (i) las fibras de basalto tienen mayor resistencia y rigidez que las fibras de vidrio E-CR que se utilizaron como referencia en el desarrollo de estas especificaciones de materiales; y (ii) el proceso de fabricación y los sistemas aglutinantes (es decir, resina, rellenos y aditivos) han mejorado considerablemente desde que se crearon estas especificaciones por primera vez, lo que ha dado lugar a barras de refuerzo de FRP con propiedades físico-mecánicas más altas. En la futura revisión de estas especificaciones, se espera que los requisitos mínimos se incrementen para reflejar el desempeño actual del material.

3. NORMAS Y ESPECIFICACIONES

Para un uso seguro y eficiente de cualquier material de construcción, es fundamental que existan especificaciones del material y guías de diseño adecuadas. En el caso de las barras de refuerzo BFRP, se han logrado avances significativos para proporcionar un marco técnico y legal para su uso en estructuras de hormigón. Aunque los documentos existentes se crearon primero para las barras de refuerzo GFRP, la mayoría de ellos planean incluir o han incluido recientemente las barras BFRP.

Especificaciones de materiales

La primera especificación ASTM para la fibra de basalto se aprobó a principios de septiembre 2022, lográndose así un hito muy importante en el mundo de la fibra de basalto. El ASTM D8448-22 [11], Especificación Estándar de Fibras de Basalto, tiene como objetivo definir las especificaciones necesarias que la fibra de basalto debe tener para asegurar una calidad adecuada. Entre otras cosas, se definen los rangos aceptables en cuanto a la composición química del basalto, la nomenclatura de los productos de fibra de basalto, las propiedades físicas y mecánicas mínimas, etc.

En cuanto a las barras, en EE.UU. existe la especificación ASTM D7957-17 [8] para barras GFRP. Esta especificación no cubre las barras BFRP debido a la falta de un ASTM para la fibra de basalto (equivalente al ASTM D578 para la fibra de vidrio [12]) cuando se desarrolló esta especificación para barras FRP en 2017. Ahora, ya con el ASTM D8448-22 aprobado, el subcomité ASTM D30.10 está terminando de desarrollar un documento ASTM nuevo para barras BFRP y GFRP de propiedades superiores a las especificadas en el ASTM D7957-17. Además de las especificaciones ASTM, ciertos estados de los EE.UU. tienen sus propias certificaciones de materiales, como es el caso de Florida: en la sección 932-3 de la Especificación del Departamento de Transporte de Florida [10] se definen los requisitos mínimos para el uso de las barras BFRP como refuerzo de hormigón en la infraestructura del estado de Florida.

En el marco internacional, el 'International Code Council – Evaluation Service (ICC-ES)' ha publicado dos documentos de certificación: ICC-ES AC454 [9] e ICC-ES AC521 [13]. Ambos hacen referencia a las barras de refuerzo BFRP: el AC454 define las características fisio-mecánicas mínimas de las barras BFRP para su uso como refuerzo estructural en miembros de hormigón armado, mientras que el AC521 es el criterio de aceptación para el uso de barras de refuerzo BFRP como refuerzo no estructural.

Códigos de diseño

El primer código para el diseño de estructuras reforzadas con armadura FRP se aprobó a principios de septiembre de 2022, marcando un antes y un después en la industria de la construcción. Bajo el nombre 'ACI 440.11-22 - Hormigón estructural reforzado con barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP)' [14], el código solo contempla el uso de barras GFRP. Sin embargo, dado que las propiedades mecánicas de las barras BFRP son generalmente superiores a las barras GFRP con vidrio E-CR, muchas instituciones promueven el uso de este documento para el diseño de estructuras de hormigón armado con armadura BFRP.

Para las estructuras de transporte, existe la guía de diseño para estructuras de hormigón armado con barras FRP de AASHTO [15], la cual también está redactada solo para GFRP. Sin embargo, también podría usarse para el refuerzo de BFRP como se indica en el Volumen 4 del Manual de Estructuras del FDOT (2021) [16]. De hecho, este documento permite el uso de BFRP en el estado de Florida al prescribir los mismos criterios de diseño que para GFRP: *"...el diseño de todos los miembros de hormigón que contengan barras de refuerzo de GFRP deberá estar de acuerdo con las especificaciones de la guía de diseño de puentes AASHTO LRFD para hormigón reforzado con GFRP. Para BFRP utilice los mismos criterios de diseño que para GFRP."*

4. IMPACTO MEDIOAMBIENTAL

El acero es el material más utilizado como refuerzo interno de estructuras de hormigón. El componente principal en la producción de acero es el mineral de hierro. La minería y fabricación de acero requiere un alto consumo de energía, emitiendo en promedio 1,74 toneladas de CO₂ por cada tonelada de acero producida en EE.UU. Esto hace que la producción de acero sea uno de los principales contribuyentes al calentamiento global [17]. Las fibras de basalto, sin embargo, están hechas únicamente de roca basáltica (sin productos químicos adicionales). El basalto es una roca orgánica inerte que es muy abundante en la tierra. Es reciclable y no combustible, por lo que no genera residuos durante la producción [18]. En comparación con el acero, la energía requerida durante la producción de fibra de basalto es significativamente menor: mientras que se necesitan en promedio 14 kWh/kg para producir acero en un horno eléctrico, la fibra de basalto requiere solo 5 kWh/kg, lo que reduce el consumo de energía en aproximadamente un 65% [18].

En el proceso de fabricación de las barras de refuerzo BFRP, las fibras de basalto se alinean en una matriz de resina termoestable, que suele ser resina de éster de vinilo o epoxi. Incluso si se tiene en cuenta que las barras de refuerzo BFRP están hechas de aproximadamente un 20 % de resina termoestable y un 80 % de fibra de basalto (de la masa total), siguen siendo un refuerzo interno para el hormigón respetuoso con el medio ambiente. Inman et al. [19] realizaron un estudio sobre la evaluación mecánica y ambiental de vigas de hormigón reforzadas con barras BFRP y barras de acero. Los resultados de la evaluación del ciclo de vida mostraron que las vigas reforzadas con barras BFRP obtuvieron significativamente mejor valoración en los dieciocho indicadores ambientales evaluados en el estudio (p. ej., agotamiento del ozono, acidificación y eutrofización), en comparación con las vigas reforzadas con barras de acero. En términos de potencial de calentamiento global, se observó que las emisiones de cambio climático se redujeron en un 62% cuando se usó refuerzo BFRP sobre acero convencional [19]. Esto convierte a BFRP en una solución ecológica para el refuerzo del hormigón.

5. BENEFICIOS DEL USO DE BARRAS BFRP PARA LOS CONTRATISTAS

El uso en el refuerzo BFRP brinda múltiples beneficios a los contratistas debido a su peso ligero y resistencia a la corrosión. En esta sección se presentan algunas de las principales ventajas:

- **Transporte:** El costo y el impacto ambiental del transporte de materiales a obra es considerablemente menor para el refuerzo BFRP que para el acero: siendo el peso de las barras corrugadas BFRP una cuarta parte del peso del acero, permite reducir los costos de transporte en aproximadamente un 60%.
- **Manipulación e instalación:** La manipulación e instalación de barras de refuerzo BFRP es más rápida, más eficiente, más económica y, por lo tanto, más sostenible. La ligereza de la armadura BFRP en comparación con el acero permite el uso de maquinaria más liviana en obra (es decir, menos consumo de combustible) y una reducción de personal de trabajo. Además, la manipulación de las barras es más seguro para los trabajadores (menos dolores de espalda y lesiones). Esto equivale a una reducción en las emisiones y el costo. En la obra, las barras de refuerzo se pueden cortar fácilmente con una sierra normal si es necesario, y una vez cortadas, los extremos de las barras no necesitan un tratamiento especial como sería el caso de las barras de refuerzo de acero recubiertas de epoxi.
- **Construcción sostenible:** el uso de armadura no corrosivos permite a los contratistas ofrecer a los clientes estructuras "verdes" y duraderas, lo que agrega un valor significativo al proyecto y evita posibles reclamos por deterioro durante la vida útil.

6. USO DE BARRAS BFRP EN LA CONSTRUCCION: PROYECTOS

En Estados Unidos, Florida es uno de los estados que más utiliza el refuerzo de FRP en proyectos de infraestructura debido a los problemas de corrosión en sus extensas zonas costeras. Algunos de los proyectos en este estado incluyen:

- **Puente peatonal en la Universidad de Miami (2016):** este puente de un vano de 70 pies de largo (21,3 m) fue construido en la Universidad de Miami y diseñado para una vida útil de más de 75 años sin costos anticipados de reparación debido a la corrosión. Fue construido completamente con refuerzo anticorrosivo. Se utilizaron barras de BFRP para reforzar el alma y el ala de las vigas doble-T prefabricadas. Otros elementos hormigonados in-situ como bordillos y cabezales de pilotes, también se reforzaron con estribos y barras rectas de BFRP.
- **I-dock en Miami, Florida (2019):** Se utilizó refuerzo de BFRP para reforzar las losas prefabricadas del muelle que se construyó para reemplazar el que resultó dañado por el huracán Irma. No se usó acero en todo el proyecto.
- **Muros de contención del Túnel del Puerto de Miami (2014):** En dos de los muros de contención del Túnel del Puerto de Miami se utilizó refuerzo de BFRP en lugar de acero según propuesta del contratista general, Bouygues Civil Works Florida, debido a su durabilidad y ligereza.



Figura 1. Proyectos de infraestructura en Florida

Las barras BFRP también están ganando mucho protagonismo en edificios. Algunos ejemplos del uso de barras BFRP en edificios son:

- Torre Avocet en Bethesda, Maryland (2022): Esta es una estructura de hotel y oficina de 22 pisos que está coronado por una terraza en la azotea. El edificio cuenta con dos niveles de estacionamiento bajo rasante y cinco sobre rasante. Las losas de acabado fueron reforzadas con barras BFRP.
- Bodega de vinos en Lake Ozark, Missouri (2023): Los cimientos de esta bodega de tres pisos y una superficie construida de 1,100 m² fueron completamente reforzados con barras BFRP. Se prevé que la obra se finalice en junio 2023.
- Residencia, tipo casa adosada en Miami, Florida (2021): Esta residencia de dos pisos, tiene una estructura de hormigón, y bloque, donde todos los elementos de hormigón están reforzados con armadura BFRP incluido los cimientos. Además, se adoptaron nuevas tecnologías de fabricación de estribos para la armadura.

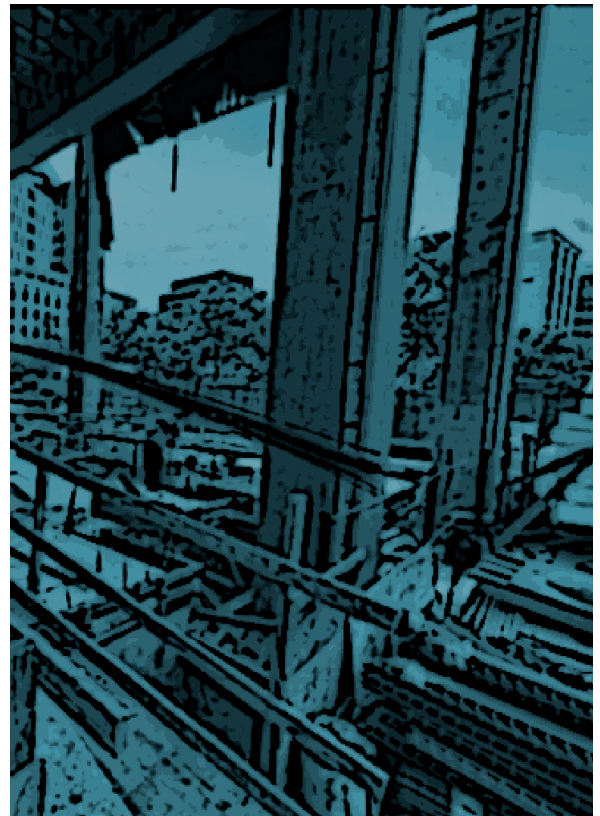


Figura 2. Uso de armadura BFRP en edificios

7. CONCLUSIONES

El uso de la armadura BFRP está en auge y su uso está aumentando exponencialmente debido a sus beneficios en comparación con la armadura de acero tradicional.

- Las barras de refuerzo de BFRP tienen un módulo de elasticidad, una resistencia y una durabilidad ligeramente superiores a las barras FRP hechas de vidrio E-CR.
- En comparación con el acero tradicional de grado 60, las barras BFRP tienen una mayor resistencia a tracción (alrededor de tres veces mayor), tienen un peso menor (alrededor de una cuarta parte del acero), no son corrosivas y son sostenibles. Sin embargo, el módulo de elasticidad es un tercio del del acero.
- Existen especificaciones de materiales y guías de diseño actualizadas para las barras de refuerzo BFRP, lo que hace que su uso sea seguro y eficiente.
- Múltiples proyectos han utilizado BFRP como refuerzo principal o secundario con resultados positivos, incluyendo infraestructura y estructuras de edificios.



1. Ali, A. H., Mohamed, H. M., Benmokrane, B., ElSafty, A., & Chaallal, O. (2019). Durability performance and long-term prediction models of sand-coated basalt FRP bars. *Composites Part B: Engineering*, 157(August 2018), 248–258.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.08.065>
2. Kampmann, R., Telikapalli, S., Emparanza, A. R., Schmidt, A., & Dulebenets, M. A. (2021). Tensile Properties of Basalt Fiber-Reinforced Polymer Reinforcing Bars for Reinforcement of Concrete. *ACI Materials Journal*, 118(1).
<https://doi.org/10.14359/51729288>
3. Schmidt, A., Telikapalli, S., Ruiz Emparanza, A., Kampmann, R., & De Caso Y Basalo, F. (2019). Basalt FRP Production - Market Analysis and a State-Of-The-Art Report. *FIB Symposium 2019; Innovations in Materials, Design and Structures*. Krakow, Poland.
4. Al-Khafaji, A. F., Haluza, R. T., Benzecry, V., Myers, J. J., Bakis, C. E., & Nanni, A. (2021). Durability Assessment of 15-to 20-Year-Old GFRP Bars Extracted from Bridges in the US. II: GFRP Bar Assessment. *Journal of Composites for Construction*, 25(2), 4021008.
5. Dhand, V., Mittal, G., Rhee, K. Y., Park, S. J., & Hui, D. (2015). A short review on basalt fiber reinforced polymer composites. *Composites Part B: Engineering*, 73, 166–180.
<https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.011>
6. Mohamed, O. A., Al Hawat, W., & Keshawarz, M. (2021). Durability and Mechanical Properties of Concrete Reinforced with Basalt Fiber-Reinforced Polymer (BFRP) Bars: Towards Sustainable Infrastructure. *Polymers*, 13(9), 1402.
7. Wu, G., Wang, X., Wu, Z., Dong, Z., & Xie, Q. (2015). Degradation of Basalt FRP Bars in Alkaline Environment. *Science and Engineering of Composite Materials*, 22(6), 649–657.
8. ASTM D7957-17 (2017), Standard Specification for Solid Round Glass Fiber Reinforced Polymer Bars for Concrete Reinforcement, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017.
9. AC454 (2020), "ICC-ES Acceptance Criteria for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars for Internal Reinforcement of Concrete Members", AC454, ICC Evaluation Services, Inc., last revision December 2020.
10. Florida Department of Transportation Standard Specifications for Road and Bridge Construction, (January 2021), Standard Specification 932-3.
11. ASTM D8448-22, Standard Specification for Basalt Fiber Strands, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2022.
12. ASTM D578 / D578M-18, Standard Specification for Glass Fiber Strands, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2018.
13. AC521 (2020), "Fiber-reinforced Polymer (FRP) Bars and Meshes for Internal Reinforcement of Non-structural Concrete Members", AC521, ICC Evaluation Services, Inc., last revision April 2021.
14. [14]ACI 440.11-22 (2022), "Structural Concrete Reinforced with Glass Fiber-Reinforced Polymer (GFRP) Bars - Code and Commentary", American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.
15. AASHTO (2018), Design Guide Specifications for GFRP-Reinforced Concrete (2nd ed.). American Association of State Highway Officials.
16. Florida Department of Transportation Fiber Reinforced Polymer Guidelines (FRPG) Structures Manual Volume 4, January 2021.
17. Hasanbeigi, A., Arens, M., Cardenas, J. C. R., Price, L., & Triolo, R. (2016). Comparison of carbon dioxide emissions intensity of steel production in China, Germany, Mexico, and the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, 127–139.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.06.008>
18. De Fazio, P. (2011). Basalt fiber: from earth an ancient material for innovative and modern application. *Energia, Ambiente e Innovazione*, 3, 89–96.
19. Inman, M., Thorhallsson, E. R., & Azrague, K. (2017). A Mechanical and Environmental Assessment and Comparison of Basalt Fibre Reinforced Polymer (BFRP) Rebar and Steel Rebar in Concrete Beams. *Energy Procedia*, 111(March), 31–40.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.005>

Ferrocemento Aplicado Al Tratamiento De Aguas Residuales

Authors

Sávio Nunes Bonifácio

¹Brasillian Ferrocement Society (SBF) – President, savionunesbonifacio61@gmail.com

ABSTRACT

The use of ferrocement on water and sanitation units had its higher application on Minas Gerais State of Brazil. The structure made by FRP together welded steel fabrics constituent the reinforced of cylindrical tanks. Since 1993 these tanks were arranged to serve communities in form of Potable Water Treatment Plants (ETA in Portuguese) and Wastewater Treatment Plants (ETE in Portuguese). A financial feasibility study carried out comparing the costs of units on ferrocement and reinforced concrete in a flow rate of 12 and 24 L/s and proved the saving from 50% to 60%, showed in the paper. An ETA have a classic hydraulic concept composed by flash mixing camera, flocculation, sedimentation and filtration. Since 1998 were developed wastewater treatment plants with a reactor UASB with volume until 400 m³ for flow up around to 30 L/s with efficient of 80% of removal of organic load. The construction is showed step to step on the paper. Finally, is showed a future project of a ferrocement rain water collector in form of hyperbolic paraboloids connect into a roof of a tank to reserve this precious water. The water supply service and sewage treatment on smaller villages and municipalities can take on ferrocement a promising material.

Keywords: Ferrocement, Potable Water Treatment Plant, Wastewater Treatment Plant, Structural Analysis.

RESUMEN

El uso de ferrocemento en unidades del agua y saneamiento tuvo su mayor aplicación identificada en el estado de Minas Gerais de Brasil. La estructura hecha por FRP híbrido con esqueleto de acero soldadas constituye el refuerzo de los tanques cilíndricos. Desde 1993, estos tanques fueron dispuestas para servir a las comunidades en forma de Estaciones de Tratamiento del Agua Potable (ETA) y Estaciones de Tratamiento de Aguas Residuales (ETE). Un estudio de factibilidad financiera realizado comparando los costos de las unidades sobre ferrocemento y hormigón armado en un caudal de 12 y 24 L/s y comprobó el ahorro del 50% al 60%, expuesto en el documento. Una ETA tiene un concepto hidráulico clásico compuesto por cámara de mezcla rápida, floculación, sedimentación y filtración. Desde 1998 se desarrollaron plantas de tratamiento de aguas residuales con reactor UASB con volumen hasta 400 m³ para caudales hasta 30 L/s con eficiencias del 80% de remoción de carga orgánica. La construcción se muestra paso a paso en el estudio. Finalmente, se muestra un proyecto futuro de un colector de agua de lluvia de ferrocemento en forma de paraboloides hiperbólicos conectados a un techo de un tanque para reservar esta preciosa agua. El servicio de abastecimiento de agua y tratamiento de aguas servidas en los pueblos y municipios menores puede asumir el ferrocemento como un material prometedor.

Palabras claves: Ferrocemento, Tratamiento del Agua, Tratamiento de Aguas Residuales, análisis estructural.

Nota Editorial: Recibido: Octubre 2022 Aceptado: Noviembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

This paper would like to contribute showing the experience of application of structures on ferrocement in the Company of Water and Sanitation of the State Minas Gerais – Brazil during three decades building hundreds of water treatment plants, wastewater treatment plants and water tanks with low costs and at all regions of the state [1].

The structure can be made by FRP or metal wire or both, mixing a welded metal wire and a tiny FRP web (see FIG. 1). The use of a metal wire in the middle and two layers on both sides it will higher the tractive module within minimum volume factor [2]. In these tanks the FRP have the advantage that the water doesn't corrosion. The geometry of all ferrocement tanks is cylindrical or hemispheres. Where FRP tiny mesh could be used with simplicity and to attended the ferrocement parameters of superficial specific. Included the project the tubes that connecting between all tanks are on PVC coated by ferrocement, whose protect the plastic for sun UV radiation and the PVC protect the cement for the gases of water in treatment. The valves used were normal in iron or plastic with compatible diameter.

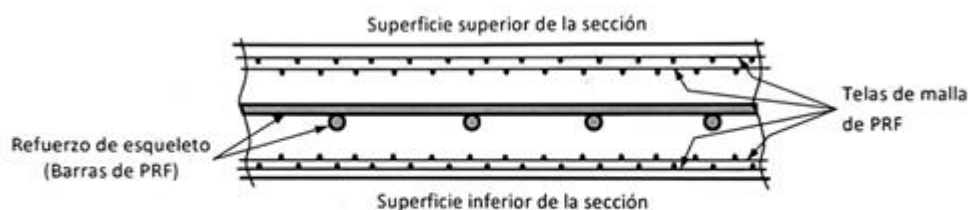


Fig. 3.1. Sección típica de ferrocemento.

Figure 1 A typical ferrocement section using welded steel fabrics and FRP mesh fabrics

Source: Adapted from WAINSTOK RIVAS; HERNANDEZ CARNEIRO; DÍAZ PÉREZ, 2018 [2]. p.154.

The State Minas Gerais is known a hilly landscape who's the difficulty it's perfect for ferrocement treatment plants. That have different levels one to flocculation and decanter and other to filters and filtered water tank bellowed by a pump house to elevate the treated water to the necessary ground height to distribute to the city or village.

The same image you can mind for the wastewater treatment plant. The sewage net is project on gravity force in its end is on the low level near the river area. In this point a wastewater pump house to elevate to another place where be save to constructed the WWTP. Whose will Include a UASB reactor in modules with capacity 250 m³ or 400 m³ followed by rock filter and finally a surface flow like a third phase of treatment.

A special attention with the protection of the inside surface of wastewater treatment plants cover [3]. Above the water line are formed gases like hydrogen sulfide who's reacting highly and deeply with the cement and the iron making a powder of the structure. The solution is separate the gases from the structure by a polymer. Some materials were be testing like PRVF applied inside under face cover (Hight difficult process) and modified polyurethane applied with airless and other products will be testing.

2. FINANCIAL FEASIBILITY STUDY OF POTABLE WATER TREATMENT PLANT

A financial feasibility study carried out by Bonifácio, Sidney, Silva and Moreira (2018) [4], achieve the results showing a saving from 50% to 60% on the costs of potable water treatment plant on ferrocement comparative with reinforced concrete with a mean flow rate of 12 and 24 L/s (see FIGs. 2 and 3), sufficient to serve a population of 6,000 and 12,000 inhabitants, respectively.



Figure 2 Water Treatment Plant in Ferrocement (flow = 12,0L/s) Pingo d'Água-MG, 1993.



Figure 3 Water Treatment Plant in Ferrocement (flow = 24 L/S) Guimarães-MG, 2017.

In Minas Gerais, Brazil, the first Potable Water treatment Plant (ETA acronyms in Portuguese) using ferrocement as constructive material dates from 1993 [5].

An ETA have a hydraulic concept on classical type (see FIG. 4), described below:

Flash mixing –

A cylindrical unit where can the raw water arrives divided by a flat vertical septum with a triangular weir that promote a measure of the inflow and a waterfall for the flash mixing. The coagulant/ flocculant aluminum sulfate or ferric chloride is injected at this point. Eventually it is necessary addition of lime to adjust the incoming water.

Flocculation –

Hydraulic flocculation was used composed by cylindrical chambers interconnected with conductors terminated in 90-degree elbows which put up the water. The water moves from a chamber to another through passages located at the button of chamber that return the water making a continually mixing.

Sedimentation –

A cylindrical shaped with a depth 1.50 m only. The flocculated water is introduced into a center cylindrical chamber with circular holes which distributed to entire tank. The decanted water is collected through around all border circumference of the sedimentation tank.

Filtration –

They are four cylindrical units on ferrocement arranged in parallel which operate as a self-washed system. To washer one filter use the water filtered by the three remaining units. Their filtering bed is double-type consisting of anthracite layer coal installed over a sand layer which goes over a gravel layer. There are only two valves in each filter, one inlet and other wash water valve.

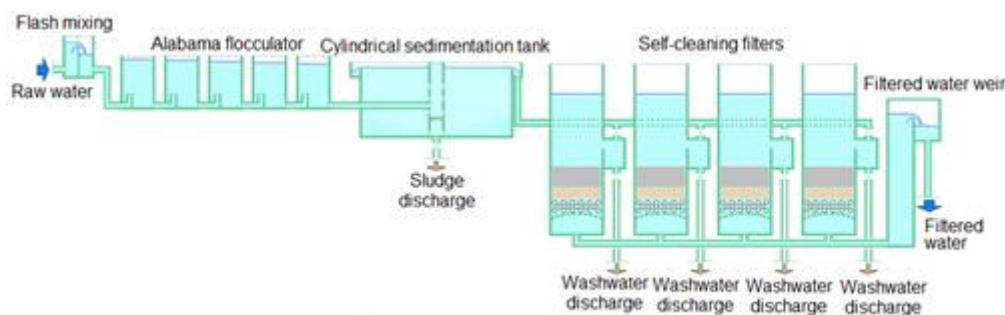


Figure 4 First conception of ETA on ferrocement.

Costs for construction processes

The comparison of use ferrocement structures and reinforced concrete (see FIG. 5) in the manufacture of a ETA with flow rate of 12 and 24 L/s will show for analysis and critical comparison.

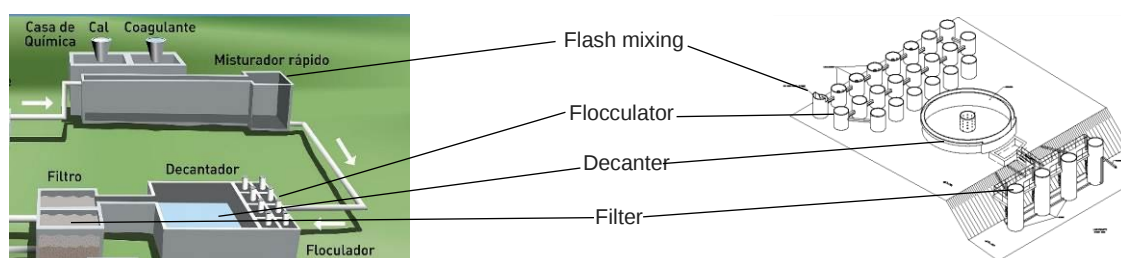


Figure 5 Comparison a Potable Water Treatment Plant in reinforced concrete and in ferrocement

Two budgets based on values of inputs and services generating the data described in table 1, below:

Table 1 - Service Description and Costs

Service Description	ETA 12 L/s		ETA 24 L/s	
	Ferrocement (US\$)	Reinforced Concrete (US\$)	Ferrocement (US\$)	Reinforced Concrete (US\$)
Earth Moving	561,11	2.954,74	1.121,87	3.115,55
Foundations and Structure	37.824,45	47.202,97	47.411,89	66.482,84
(¹)				
Settlements	2.558,32	19.063,89	3.841,83	18.225,96
Miscellaneous Services (²)	26.535,58	21.512,08	31.602,17	56.081,29
Materials (³)	7.289,06	61.903,55	10.749,95	97.181,79
TOTAL (⁴)	74.768,52	152.637,24	94.727,71	241.087,43

Source: BONIFÁCIO; SIDNEY; SILVA; MOREIRA, 2018 [4].

(¹) In the foundation item, it was considered a direct foundation in both projects.

(²) The building elements such as electricity, water and sewage, landline, cell phone, internet, office supplies and surveillance company during the execution period were considered within the miscellaneous services item.

(³) In the item "materials" are considered the elements such pipes and connections.

(⁴) The workforce was considered within each specific item because it deals with basic items of construction of the structures.

Is possible to verify that the use of ferrocement structure it is possible to obtain a saving of 50% to 60% in the value when compared to the use of reinforced concrete.

3. WASTEWATER TREATMENT PLANT

At Minas Gerais Brazil, since 1998, UASB reactors have been built for Wastewater Treatment Plant (ETE, acronym in Portuguese), in modules for flow rates of up to 30 L/s with efficiency of 80% of removal of the organic load BOD [6].

The anaerobic reactors of 400 m³, built in ferrocement, are in cylindrical form with 4.60 meters of external height and 10.00 meters of internal diameter. The walls have a thickness that varies from 3 to 8 cm.

The structural analyses are showed on Figures 6 and 7.

The steps of construction are carefully explained on Figures 8 to 15, below.

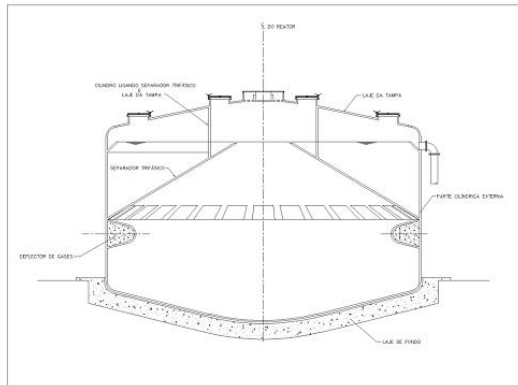


Figure 6 UASB Reactor - Typical Cross Section (2018) [7].

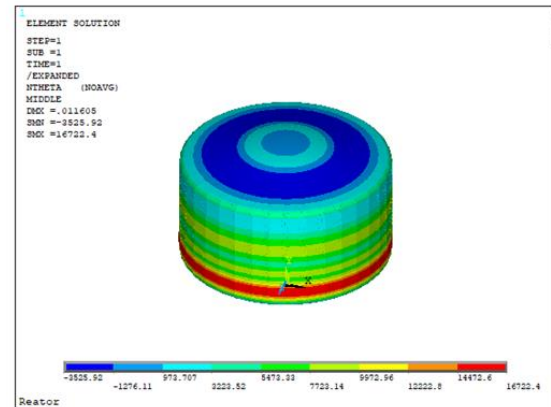


Figure 7 UASB reactor – Circumferential Membrane Force N_{θ} (2018) [7].



Figure 8 Execution of the reinforcement of bottom slab on ferrocement (2021).



Figure 9 Execution of the reinforcement for ferrocement (2021).



Figure 10 Application of mortar on the inner side of the wall (2021)



Figure 11 Application of the second layer of mortar on the external side of the wall (2021)



Figure 12 Cement curing water (2021)



Figure 13 Working inside the reactor tank (2021).



Figure 14 Application of FRP in the gas chamber (2022).



Figure 15 Installation of guardrails and access ladder to the reactor UASB (2022).

The internal surfaces received a crystallizing and waterproof cementitious mineral coating to protect surfaces in contact with wastewater. For the covering slab in contact with gases from anaerobic digestion, coatings were researched: high thickness with polyurea systems and polyurea / polyurethane hybrids; or based on polymeric silicate and for the ETE on this study, was chosen vinyl ester resin reinforced with fiberglass applied to the ferrocement substrate.

The construction cost of each UASB reactor in ferrocement for the ETE was US \$ 126,765 in 2020 [6].

4. FUTURE PROJECTS – A FERROCEMENT RAIN WATER COLLECTOR

A project to building a rain water collector in ferrocement supported by the cover of an underground tank. The tank cover has a cone form and the roof slab is a combination by two hyperbolic paraboloids, “hypar” (see FIGs 16 and 17). The connect between the roof with the cone and the real behavior are being studied.

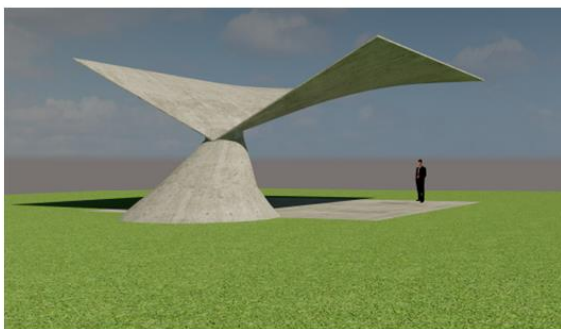


Figure 16 Computer view of the ferrocement rain water collector [8].

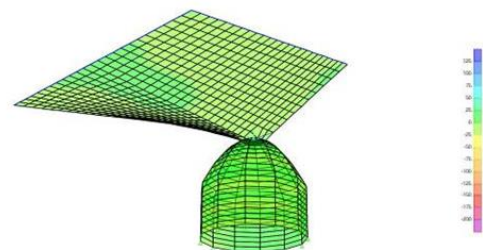


Figure 17 Study of structural analysis of the ferrocement rain water collector [8].

5. CONCLUSIONS

The largest deficits in developing countries of potable water supply services and sewage treatment persist in municipalities with smaller populations. According to the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE, in municipalities with a population of less than 20 thousand inhabitants, about 44% of the Total, located in urban and rural areas, are excluded from water supply services and 70% from collection of sewage.

Ferrocement is therefore a promising building material for sanitation managements as it is an appropriate technology for the construction of different sanitation units, like Sand Filters and other tanks. The efficiency of the applicability of these solutions can also be emphasized that the use of ferrocement technology promote the diffusion of information (how to construct) in a democratic way, thus contributing, to overcome difficulties of poor populations in the construction of Potable Water Treatment Plants – ETA, Wastewater Treatment Plants and Water Tanks, an equation to solve a social and environmental issues.



1. Bonifácio, Sávio Nunes. The revolutionary use of ferrocement in the construction of water tanks, water and sewage treatment plants in the state of Minas Gerais, Brazil. In: 10th International symposium on ferrocement and thin reinforced cement composites. La Habana, Cuba: IFS; Sociedad de Ingenieria Civil; UNAICC, 2012.
2. Wainstok Rivas, Hugo; Hernandez Carneiro, Julio A.; Díaz Pérez, Isel Del Carmen. Calidad Y durabilidad de las constucciones. – El uso de los PRF com refuerzo del hormigón armado y el ferrocemento. La Habana, Cuba: CUJAE; Universidad Politécnica de Valencia, 2018(?).
3. Companhia de saneamento de minas gerais - copasa. Norma Técnica T.186 - Ferrocimento para Obras de Saneamento. Belo Horizonte: COPASA, 2016.
4. Bonifácio, Sávio Nunes; Sidney, Eugênio Luiz; Silva, Fernando de Oliveira; Moreira, Caio Augusto Ribeiro. Financial feasibility study on construction of water treatment plant with ferrocement structure and other. In: 12th International symposium on ferrocement and thin cement composites. Belo Horizonte: IFS, 2018.
5. Vianna, Marcos Rocha; Bonifácio, Sávio Nunes; Bloom consultoria Ltda. Potable water treatment plants using ferrocement as constructive material: Hydraulic conception aspects. In: 12th International symposium on ferrocement and thin cement composites. Belo Horizonte: IFS, 2018.
6. Bonifacio, Sávio Nunes; Quintão, Cristiano Martins; Cardoso, Frieda Keifer. Building, fallen down and recovery of tanks of ferrocement in sewage treatment plants. In: 13th international symposium on ferrocement and thin fiber reinforced inorganic matrices. Lyon, France, 2021.
7. Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG. Relatório de consultoria técnica – Análise e dimensionamento da estrutura do reator UASB em ferrocimento. Belo Horizonte: COPASA – Companhia de Saneamento de Minas Gerais, 2018.
8. Franco, Marcelo Lobato; Bonifácio, Sávio Nunes. Estudo estrutural do coletor de água de chuva em ferrocimento. Vitória-ES: Edição dos Autores, 2020.



Análisis Geométrico De La Rotonda Del Monumento A La Paz En La Ciudad De Huaquillas

Geometric Analysis Of The Roundabout Of The Peace Monument In The City Of Huaquillas

Autores

Billy Henry Paladines Calderon¹, Erwin Javier Oyola Estrada², Leyden Oswaldo Carrión Romero³, Elsi América Romero Valdiviezo⁴

¹ Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: bpaladine2@utmachala.edu.ec

² Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: eoyola@utmachala.edu.ec

³ Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: locarrion@utmachala.edu.ec

⁴ Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
e-mail: eromero@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Se pretende determinar una nueva geometría para la intersección, que permita garantizar la seguridad y fluidez del tráfico, con base en el manual de la Federal Highway Administration (FHWA) y siguiendo la premisa de evitar invadir con la nueva proyección los predios adyacentes a la vía secundaria que conecta con la rotonda. Se aborda la investigación partiendo de una simple observación al circular dentro de la rotonda y notar que el trayecto es desordenado. Se opta por realizar un levantamiento topográfico para conocer la geometría existente, para ello se utilizó el método fotogramétrico con imágenes aéreas obtenidas con un dron cuadricóptero. Fue necesario un aforo vehicular para determinar la relación de demanda – capacidad de la intersección, este se ejecutó en un lapso de siete días. Posteriormente, con software de análisis de tráfico, se comprobó dicho porcentaje; y con un programa de diseño CAD se realizó una verificación para validar la nueva geometría planteada. Se encontró que las isletas deflectoras de la calle principal no poseen los radios de giro adecuados al tamaño de la isleta central, con alrededor de 20 metros en los accesos, y no dirigen el tráfico de manera suave hacia el anillo de circulación de dos carriles. Por su parte, las isletas deflectoras de la calle secundaria no respetan el ancho del anillo de circulación y se vuelven un obstáculo para los vehículos que ya ingresaron a la rotonda. Además, provocan que los vehículos del carril exterior invadan el carril interior.

Palabras claves: *glorieta, rotonda, trazado, tráfico, isletas.*

ABSTRACT

It is intended to determine a new geometry for the intersection, which allows to guarantee the safety and fluidity of traffic, based on the Federal Highway Administration (FHWA) manual and following the premise of avoiding invading the properties adjacent to the road with the new projection. secondary that connects with the roundabout. The investigation is approached starting from a simple observation when driving inside the roundabout and noticing that the route is messy. It is decided to carry out a topographic survey to know the existing geometry, for this the photogrammetric method was used with aerial images obtained with a quadcopter drone. A vehicle capacity was necessary to determine the relation of demand - capacity of the intersection, this was executed in a period of seven days. Subsequently, with traffic analysis software, said percentage was verified; and with a CAD design program a verification was carried out to validate the new geometry proposed. It was found that the deflection islands of the main street do not have adequate turning radii for the size of the central island, with around 20 meters at the accesses, and do not direct traffic smoothly towards the two-lane traffic ring. For their part, the deflection islands of the secondary street do not respect the width of the traffic ring and become an obstacle for vehicles that have already entered the roundabout. In addition, they cause vehicles from the outside lane to invade the inside lane.

Keywords: roundabout, layout, traffic, islets.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Diciembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

La importancia de una red vial en buen estado justifica que las normativas atiendan con vehemencia la creación y cuidado de estas infraestructuras. Recuérdese que el rol de una red vial tiene gran significancia para el desarrollo socioeconómico de las zonas urbanas y rurales [1], paradójicamente, es también responsable de externalidades negativas en ese aspecto cuando las condiciones de la infraestructura no son las adecuadas [2]. En los últimos años, en Ecuador, se han desarrollado nuevos proyectos viales que, acorde al crecimiento poblacional, han mejorado el transporte terrestre y lo han ido adecuando a las nuevas necesidades de volumen y comodidad.

Con el crecimiento de las ciudades se presentan nuevos retos, de los cuales, unos de los de más importantes y complejos son los de control de tráfico, no por nada las administraciones se preocupan cada vez más por optimizar este apartado [3]. Las ciudades más grandes presentan los retos más complejos, puesto que su demografía y geografía genera situaciones de estrechez y poca libertad de expansión territorial [4]. Este problema se acentúa en la región montañosa. Por su parte, la región costera, aún sin las complicaciones del relieve, presentan sus propias complejidades.

Los nuevos proyectos apuntan a infraestructura y sistemas de transporte modernos, que permitan tener modelos eficientes y que, a su vez, igualen las oportunidades de accesibilidad en el territorio [5]. Recientemente se han notado esfuerzos para plantear soluciones que integren las tecnologías más recientes de los vehículos (sensores de velocidad, lluvia, GPS, entre otros) y complementarlo dentro de Sistemas Inteligentes de Transporte, llamados ITS [6]. Dentro de estos sistemas se apunta a la adopción de Redes Vehiculares *Ad hoc* (VANET's) que permiten un funcionamiento colectivo de los vehículos e infraestructura vial, y que se pueden orientar a la optimización del consumo de energía, monitoreo del tráfico, detección y control de congestionamientos [6, 7].

Cabe recalcar que la seguridad vial es un tema que no debe descuidarse, las normativas internacionales exigen vehículos más seguros en los países desarrollados [8], algo que lamentablemente está demorando en aplicarse en países latinoamericanos. El éxito de ese aspecto va de la mano de la infraestructura vial y de la calidad de los vehículos que circulan en ella [9]. La infraestructura debe proyectarse de manera cuidadosa, con especial atención en la estimación del flujo de tráfico [10] y en la señalización [11]. Por ello es que los estudios de vialidad buscan métodos más sofisticados para evaluar el tráfico y, por consiguiente, llegar a resultados que contribuyan al mejoramiento de la seguridad vial [12].

En la intersección objeto de este proyecto, se implementó una glorieta para conducir el tráfico de la Av. La República y la Av. Martha Bucaram, ver figura 1. Además, dicho proyecto se pensó como un símbolo de atractivo turístico, dando homenaje a los históricos acuerdos logrados con el país vecino, Perú, y tomando el nombre de "Monumento a la Paz". En conjunto, la vía principal se amplió a cuatro carriles en total y se pavimentó la vía secundaria de dos carriles.



Figura 1: Vista aérea de la intersección Av. La República y Av. Martha Bucaram, Huaquillas. 2003 (izquierda) y 2020 (derecha).

El proyecto fue inaugurado en octubre de 2010 y supuso un avance en la infraestructura vial, mejoró el ingreso a la ciudad desde el norte del país y significó un buen aporte a la estética, consolidando un símbolo característico de la ciudad fronteriza. Sin embargo, con el aumento del tráfico, se acentúa la problemática objeto de este trabajo; y es que la geometría de la isleta deflector no logra conducir el tráfico de forma fluida al ingreso y salida de la rotonda. El circular a través de la rotonda se vuelve tedioso, ver figuras 2 y 3, debido a que para entrar a ella se debe hacer un giro muy brusco, la trayectoria de los ingresos en la Av. La República dirige a los vehículos de frente hacia el redondel, convirtiéndolo básicamente en un obstáculo.

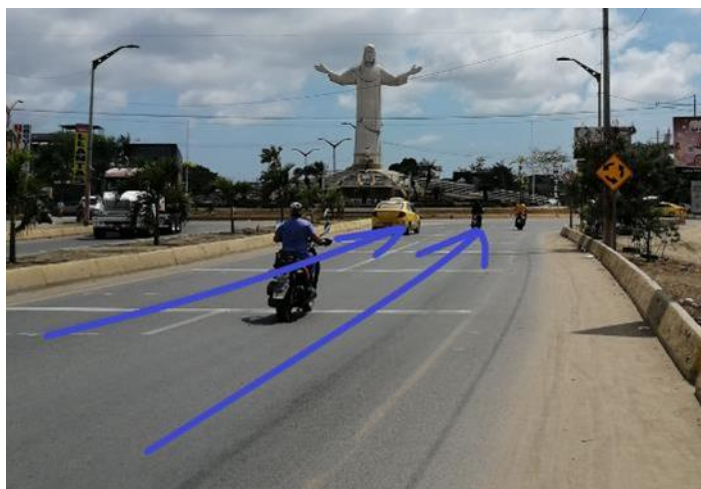


Figura 2: Trayectoria de ingreso a la rotonda por la vía principal



Figura 3: Ancho de circulación afectado por isletas secundarias

2. DESARROLLO

El área urbana de Huaquillas ha mejorado significativamente en los últimos años. Conjuntamente, los retos en materia de circulación vial se han remarcado. Por ello, es importante concebir obras que estén pensadas a futuro, de forma que no se conviertan en un inconveniente dentro de su plazo de vida útil.

La modificación de la geometría de la intersección busca solucionar la problemática partiendo de varias premisas, el mantener la geometría de la isleta central que contiene este importante símbolo de la ciudad y el evitar invadir los predios que se encuentran en la vía secundaria. Esto para no generar un impacto negativo en las familias que habitan cerca de la intersección y para conservar intacto el símbolo de paz de la ciudad.

Con ello, las isletas deflectoras son las que recibirán las modificaciones, respetando los radios de ingreso y salida a la rotonda que especifica el manual de la FHWA 2010 y los manuales de diseño de carreteras de los países vecinos.

El proceso de diseño de la alternativa de solución comprende una etapa de levantamiento de información y otra de diseño, para este cometido se usó softwares específicos de fotogrametría, análisis de tráfico y diseño asistido por computadora (CAD).

2.3. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico de la intersección se llevó a cabo mediante fotogrametría y puntos de control tomados con GPS. Este método permite optimizar los tiempos de obtención de información en campo [15, 16]. Se utilizó un dron de tipo multirrotores debido a que la zona de estudio levantada comprende un área relativamente pequeña (2.25 hectáreas aproximadamente), el modelo específico es DJI Phantom 4 Pro v2.

El plan de vuelo y captura de información se realizó en un dispositivo móvil. Se tomaron un total de 21 fotografías a una altura media aproximada de 166 m, lo que proporcionó un solapamiento de más de 9 imágenes por sector en la zona de interés y una resolución de 4,12 cm/píxel.

La cantidad de imágenes se establece en base a la fidelidad del modelo que se quiera obtener [17], mientras mayor sea el número, mayor será la información recopilada y la reconstrucción del modelo será más fidedigna [18]. Se buscó obtener un alto grado de m para poder obtener medidas precisas sobre la ortofoto y el modelo digital de elevaciones.

Con la ortofoto georreferenciada se pueden realizar las mediciones respectivas para conocer las características de la estructura existente, ver figura 6, medir el diámetro de la isleta central, los anchos de carril, dimensiones de las isletas deflectoras, radios de ingreso y salida a la rotonda.

Los datos más relevantes son los radios de ingreso que lo establecen las isletas deflectoras, ver tabla 1.

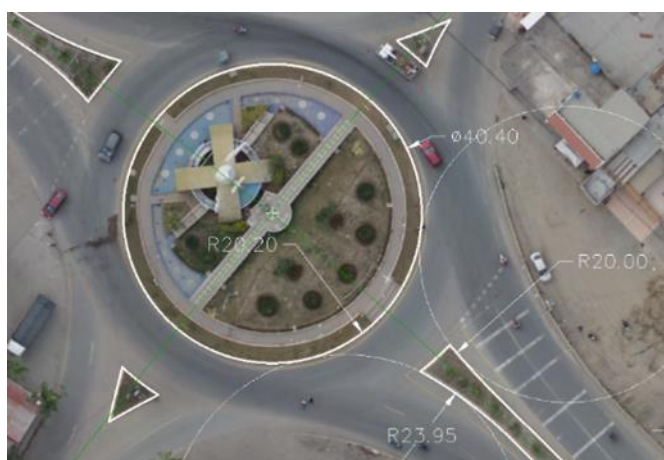


Figura 6: Estructura existente, radios de ingreso y dimensión de isleta central.

Tabla 1: Características geométricas de la rotonda y sus accesos.

Descripción	Dimensión (m)
Diámetro de isleta central	40.4
Radio de entrada (ramal SE)	20.0
Radio de salida (ramal SE)	23.9
Radio de entrada (ramal NO)	21.2
Radio de salida (ramal NO)	32.6

2.4. Modelo

Para tener el modelo en tres dimensiones dentro de Civil 3D se debe importar la nube de puntos que anteriormente se clasificó y depuró. Se crea una superficie basada en una red irregular de triángulos (TIN) a partir de la nube. El intervalo de las curvas de nivel debe ser el adecuado, acorde a las características del terreno, para visualizar los relieves existentes, ver figura 7.

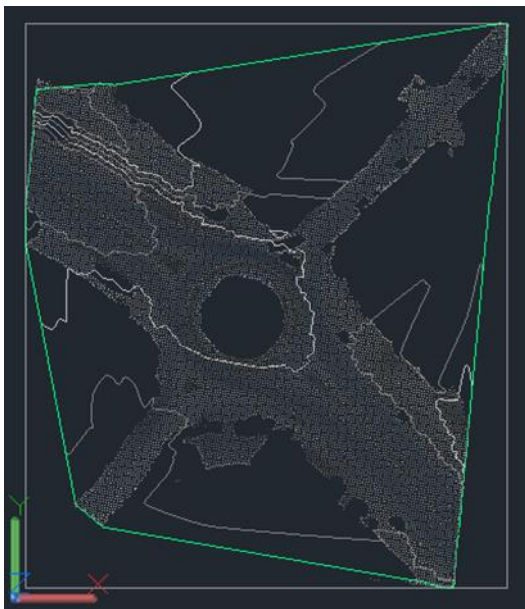


Figura 7: Superficie, curvas de nivel

Se dibujan los alineamientos, en este caso corresponden a las vías Av. La República y Martha Bucaram, principal y secundaria, respectivamente. Los alineamientos corresponden a los ejes viales sobre los que se generará la intersección a diseñar. Se trazan coincidentes con el eje de las calles sobre la ortofoto de la zona de estudio, ver figura 8.



Figura 8: Trazado de ejes viales

Por consiguiente, se define la rotonda como objeto paramétrico dentro del software. Se debe ingresar el diámetro de la isleta central, el número de carriles y la designación de la superficie sobre la que se implanta el proyecto, ver tablas 2 y 3. El software intenta resolver la intersección de forma predeterminada con la normativa de diseño que se escoja, que en este caso es Federal Highway Administration (FHWA) 2010 referido a Rotondas Urbanas de dos carriles. Todas las consideraciones de diseño se refieren a esta normativa y se verifica la coincidencia con normas suramericanas.

Tabla 2: Dimensiones de ramales correspondientes a la Av. la República.

Av. La República ramales SE y NO	
Descripción	Dimensión en metros
Carriles	4
Ancho de carriles	3.65
Espaldón exterior	2.45
Espaldón interior	1
Ancho de parterre	2.7

Tabla 3: Dimensiones de ramales correspondientes a la Av. Martha Bucaram.

Av. Martha Bucaram ramales SO y NE	
Descripción	Dimensión en metros
Carriles	2
Ancho de carriles	3.65
Espaldones	1.35

2.5. Isletas deflectoras

Las isletas canalizadoras, también llamadas deflectoras, son los elementos más importantes de las rotondas, luego de la isleta central, ver tablas 4 y 5 y figura 9. Estas son las encargadas de dirigir el tráfico correctamente al ingreso y salida de una intersección con rotonda. Los manuales de diseño coinciden en que se deben respetar radios mínimos en la trayectoria de ingreso y salida a la rotonda.

Tabla 4: Criterios de diseño de glorietas. Fuente: Norma de diseño geométrico de carreteras. Colombia 2008.

Descripción		Unidad	Magnitud
Diámetro mínimo de la isleta central		m	25
Diámetro mínimo del círculo inscrito		m	50
Radio interior mínimo en los accesos	De entrada	m	30
	De salida	m	40



Figura 9: Proyección de ingresos a la rotonda

Tabla 5: Radios de entrada y salida definidos para las isletas deflectoras.

Descripción	Accesos			
	SE	NE	NO	SO
Radio interno de entrada (m)	80	30	80	30
Radio interno de salida (m)	80	40	100	40

Con base en el Manual de diseño de Carreteras [19], al tratarse de vías urbanas, se adoptan los radios de curvatura mínimos para las entradas y salidas de los accesos de la Av. Martha Bucaram. Debido al escaso espacio disponible. Este inconveniente se debe a que no existió una planificación adecuada al crecimiento de la ciudad y no se determinó correctamente la línea de fábrica al legalizar los terrenos adyacentes a esta intersección. La nueva proyección se definió como se muestra a continuación:

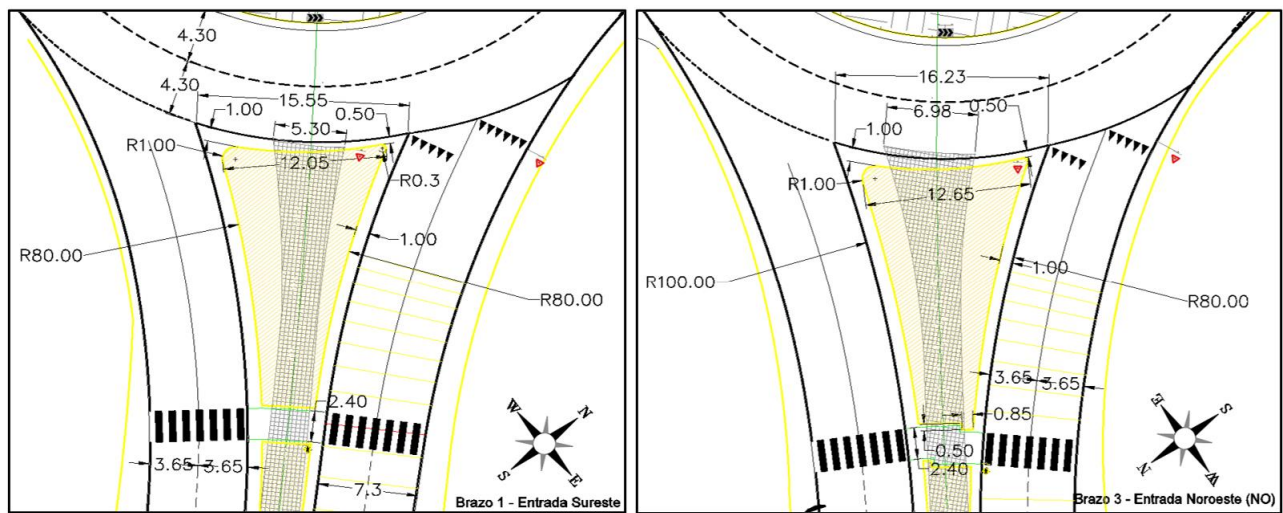


Figura 10: Geometría proyectada de accesos de la vía principal.

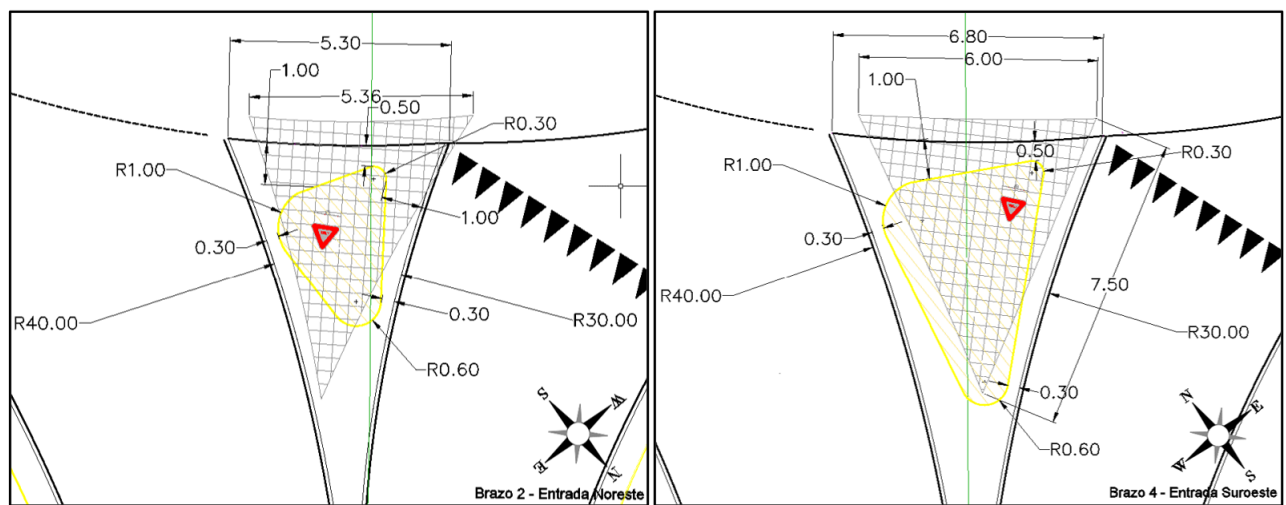


Figura 11: Geometría proyectada de los accesos de la vía secundaria.

Por último, con el modelo digital de la rotonda se testeó la trayectoria de vehículos pesados para verificar que se elimina el entrecruzamiento en el anillo de circulación de la rotonda con el nuevo diseño geométrico de las isletas deflectoras.

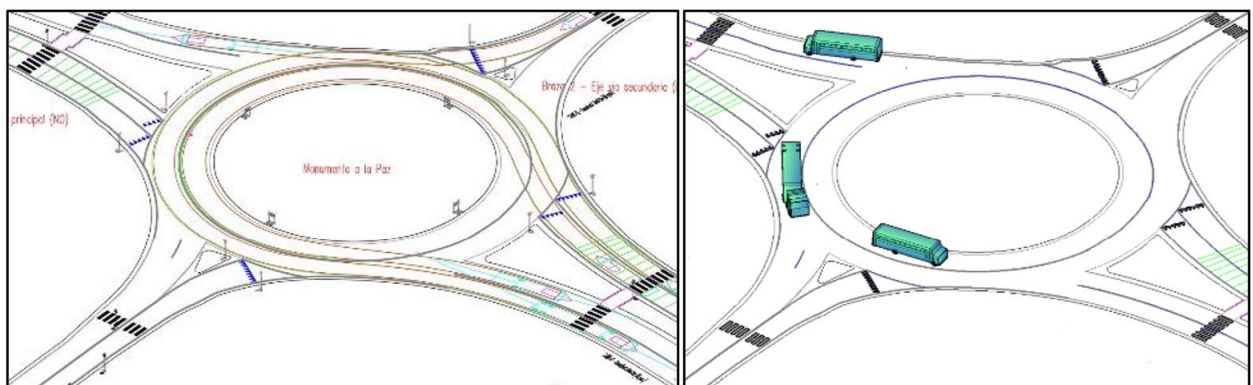


Figura 12: Modelado de trayectoria de vehículos y prueba con vehículos pesados para comprobar el entrecruzamiento.

3. CONCLUSIONES

Las intersecciones con rotonda son consideradas, por el Manual de Diseño de Carreteras, como la solución a nivel más segura, teniendo un grado de uso relativamente alto en vías importantes y entre los beneficios destacan la reducción del número de puntos de conflicto en comparación a otras alternativas.

Las rotondas son más eficientes en cuanto los ramales que se conectan a ella tengan características similares y cuando las maniobras de giro sean las que predominen. Sin embargo, tiene puntos en contra como el requerimiento de una amplia zona de implantación, esto conlleva a requerir más superficie pavimentada, lo que aumenta su costo. Entonces, el escoger esta solución para una intersección necesita de un análisis minucioso de la realidad de las vías a conectar y de la disponibilidad de espacio y recursos.

En la intersección analizada se evidencia que el espacio disponible es muy limitado, especialmente en los accesos de la vía secundaria, la Av. Martha Bucaram. Además, de la información obtenida con el levantamiento fotogramétrico, se observa que el ancho de la calzada de circulación de la rotonda no es uniforme en toda la circunferencia, esto debido a una errónea ubicación de las isletas deflectoras de los cuatro accesos.

El aforo vehicular indica que no se ve superada la capacidad de la intersección, lo que demuestra que la solución aplicable es enteramente de carácter geométrico.

El diseño planteado se ocupa de corregir la ubicación y la forma de las isletas deflectoras. Para los accesos de la vía secundaria se requieren isletas más pequeñas que las existentes, contrario a lo que ocurre en la vía principal, donde se requieren isletas significativamente más grandes para cumplir con los radios mínimos especificados por norma y para direccionar de forma tangencial el tráfico hacia el anillo de circulación.



1. S. Caro y B. Caicedo, "Tecnologías para vías terciarias: perspectivas y experiencias desde la academia", *Revista de Ingeniería*, núm. 45, pp. 12–21, ene. 2017, doi: 10.16924/revinge.45.3.
2. L. Machado y L. S. Piccinini, "Os desafios para a efetividade da implementação dos planos de mobilidade urbana: uma revisão sistemática", *urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana*, vol. 10, pp. 72–94, feb. 2018, doi: 10.1590/2175-3369.010.001.AO06.
3. S. Ibarra, E. Castán, J. Laria, J. A. Castán, y J. Guzmán, "Control de tráfico basado en agentes inteligentes", *Polibits*, vol. 50, pp. 61–68, 2014, Consultado: el 29 de junio de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402640464010>
4. N. Iván-Herrera-Herrera, S. Luján-Mora, E. R. Gómez-Torres, N. Iván-Herrera-Herrera, S. Luján-Mora, y E. R. Gómez-Torres, "Integración de herramientas para la toma de decisiones en la congestión vehicular", *DYNA*, vol. 85, núm. 205, pp. 363–370, jun. 2018, doi: 10.15446/dyna.v85n205.67745.
5. D. Hernández y R. Witter, "Entre la ingeniería y la antropología: hacia un sistema de indicadores integrado sobre transporte público y movilidad", *Revista Transporte y Territorio*, núm. 4, Universidad de Buenos Aires, pp. 29–46, 2011. Consultado: el 10 de agosto de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=333027082003>
6. O. O. Sarasti, G. L. Ramírez, O. O. Sarasti, y G. L. Ramírez, "Aplicaciones para redes VANET enfocadas en la sostenibilidad ambiental, una revisión sistemática", *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, p. 23, 2014, [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0124-81702014000200007
7. J. Singh y K. Singh, "Congestion control in vehicular Ad Hoc Network: A Review", *Next-Generation Networks*, vol. 638, pp. 489–496, 2018, doi: 10.1007/978-981-10-6005-2_49.
8. S. S. Nanthini, S. Anusubha, y G. Jenisha, "Safety precautions for crashes involving electric vehicles", *IJRTER*, vol. 05, núm. Special Issue 07, pp. 78–82, mar. 2019, doi: 10.23883/IJRTER.CONF.20190304.012.UAX77.
9. S. Sohrabi, A. Khodadadi, S. M. Mousavi, B. Dadashova, y D. Lord, "Quantifying the automated vehicle safety performance: A scoping review of the literature, evaluation of methods, and directions for future research", *Accident Analysis & Prevention*, vol. 152, p. 106003, mar. 2021, doi: 10.1016/j.aap.2021.106003.
10. A. Bouhaloufa, K. Zellat, y T. Kadri, "Probabilistic evaluation of traffic flux and bridges safety (La evaluación probabilística de flujo del tráfico y seguridad del puente)", *Revista Ingeniería de Construcción RIC*, vol. 33, p. 8, 2018, [En línea]. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/ric/v33n2/0718-5073-ric-33-02-00147.pdf>
11. O. Oviedo-Trespalacios, V. Truelove, B. Watson, y J. A. Hinton, "The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 122, pp. 85–98, abr. 2019, doi: 10.1016/j.tra.2019.01.012.
12. A. Ziakopoulos, A. Theofilatos, E. Papadimitriou, y G. Yannis, "A meta-analysis of the impacts of operating in-vehicle information systems on road safety", *IATSS Research*, vol. 43, núm. 3, pp. 185–194, oct. 2019, doi: 10.1016/j.iatssr.2019.01.003.
13. M. a. Abdelwahab, "Fast approach for efficient vehicle counting", *Electronics Letters*, vol. 55, núm. 1, pp. 20–22, 2019, doi: 10.1049/el.2018.6719.
14. Z. Dai et al., "Video-Based vehicle counting framework", *IEEE Access*, vol. 7, pp. 64460–64470, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2914254.
15. L. Tello-Cifuentes et al., "Evaluación de daños en pavimentos flexibles usando fotogrametría terrestre y redes neuronales", *Tecnológicas*, vol. 24, núm. 50, pp. 59–71, abr. 2021, doi: 10.22430/22565337.1686.
16. M. Koeva, M. Muneza, C. Gevaert, M. Gerke, y F. Nex, "Using UAVs for map creation and updating. A case study in Rwanda", *Survey Review*, vol. 50, núm. 361, pp. 312–325, jul. 2018, doi: 10.1080/00396265.2016.1268756.
17. S. A. Valverde, A. F. Appel, y R. Rimolo-Donadio, "Fotogrametría terrestre con sistemas aéreos autónomos no tripulados", *Investiga. Tec*, núm. 31, pp. 4–4, 2018, [En línea]. Disponible en: https://revistas.tec.ac.cr/index.php/investiga_tec/article/view/3475
18. L. Polidori, C. R. T. Caldeira, M. Smessaert, y M. E. Hage, "Digital elevation modeling through forests: the challenge of the Amazon", *Acta Amaz.*, vol. 52, pp. 69–80, mar. 2022, doi: 10.1590/1809-4392202103091.
19. Normas de Diseño Geométrico de Carreteras. Ecuador: Ministerio de Transporte y Obras Públicas, 2003. [En línea]. Disponible en: <https://bit.ly/3V1mikC>

Selection Of Wild Plant Species As Soil Bioengineering For Soil Slope Stability In South Kalimantan Indonesia To Overcome Shallow Landslides

Selección De Especies De Plantas Silvestres Como Bioingeniería Del Suelo Para La Estabilidad De La Pendiente Del Suelo En Kalimantan Del Sur, Indonesia, Para Superar Deslizamientos De Tierra Poco Profundos

Authors

Rusdiansyah¹, Adriani², Innocentia EP³, Rusna Apriani⁴

^{1,2,3}Civil Engineering Study Program - Faculty of Engineering, University of Lambung Mangkurat, Banjarbaru, South Kalimantan, Indonesia, Email : rusdiansyah74@ulm.ac.id

⁴Road and Bridge Maintenance Section of the Banjarbaru City Public Works Service, South Kalimantan.

ABSTRACT

Soil Biotechnology is a cost-effective and environmentally friendly alternative method to improve soil slope stability, as well as to control slope surface erosion. Vegetation, which is part of soil bioengineering, can indirectly affect slope stability through its influence on fluctuations in soil water content. Furthermore, it has the ability to control the adverse effects of rainfall on the slope surface and can draw water from the soil through evapotranspiration. These conditions can reduce soil moisture and pore pressure, increase soil shear strength, and increase resilience. Vegetation roots tend to increase soil permeability, infiltration, and moisture content. In this research, vegetation was used for soil bioengineering in the form of plants that grow wild and are easily found in the mainland of South Kalimantan Province, in Indonesia. These plants include Teki, Paitan, Elephant, Setaria, and Alang-alang grasses. This research aims to determine the effects of different plants and their root types on the surface of the soil slope, especially to determine changes in the value of the soil shear strength, the resisting moment of slope failure, and the safety factor of the slope's stability. Accordingly, soil testing and the analysis of slope stability were carried out using the direct shear test and the Bishop methods respectively with the help of the 2022 version of the Geo5 computer application program. The results showed that the use of Elephant grass vegetation on the slope surface was able to increase the shear strength of the soil, the landslide resisting moment, and the safety factor for slope stability which was better than other types of vegetation.

Keywords: *Soil Bioengineering, soil shear strength, resisting moment, safety factor of slope stability*

RESUMEN

La biotecnología del suelo es un método alternativo rentable y respetuoso con el medio ambiente para mejorar la estabilidad de los taludes del suelo, así como para controlar la erosión de la superficie de los taludes. La vegetación, que forma parte de la bioingeniería del suelo, puede afectar indirectamente la estabilidad de las pendientes a través de su influencia en las fluctuaciones del contenido de agua del suelo. Además, tiene la capacidad de controlar los efectos adversos de la lluvia en la superficie de la pendiente y puede extraer agua del suelo a través de la evapotranspiración. Estas condiciones pueden reducir la humedad del suelo y la presión de los poros, aumentar la resistencia al corte del suelo y aumentar la resiliencia. Las raíces de la vegetación tienden a aumentar la permeabilidad del suelo, la infiltración y el contenido de humedad. En esta investigación, la vegetación se utilizó para la bioingeniería del suelo en forma de plantas que crecen de forma silvestre y se encuentran fácilmente en el continente de la provincia de Kalimantan del Sur, en Indonesia. Estas plantas incluyen pastos Teki, Paitan, Elephant, Setaria y Alang-alang. Esta investigación tiene como objetivo determinar los efectos de diferentes plantas y sus tipos de raíces en la superficie del talud del suelo, especialmente para determinar los cambios en el valor de la resistencia al corte del suelo, el momento resistente de falla del talud y el factor de seguridad de la estabilidad del talud. . En consecuencia, el ensayo de suelos y el análisis de estabilidad de taludes se realizaron mediante el ensayo de corte directo y los métodos de Bishop respectivamente con la ayuda de la versión 2022 del programa de aplicación informática Geo5. Los resultados mostraron que el uso de vegetación de pasto elefante en la superficie de la pendiente pudo aumentar la resistencia al corte del suelo, el momento de resistencia al deslizamiento y el factor de seguridad para la estabilidad de la pendiente, que fue mejor que otros tipos de vegetación.

Palabras clave: Bioingeniería de suelos, resistencia al corte del suelo, momento resistente, factor de seguridad de estabilidad de taludes

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Diciembre 2022

1. INTRODUCTION

Soil change is a dynamic system that occurs when large amounts of soil, rock or a combination of the two transform into a new state. An example of such change is the landslide, which usually occurs when there is a disturbance that affects the shear strength and shear stress of the soil. One of the factors that often affect soils is high and intense rainfall over a long period. Indonesia is a country with areas where landslides are relatively frequent, and this was caused by the country's climate change. Therefore, it is necessary to handle and overcome climate change in order to reduce the occurrence of landslides.

The factor of safety of the slopes is a very important issue in geotechnical engineering [1]. The stability of a soil slope is determined by the nature and magnitude of the load, which is the driving force of landslides, and the resistance, which depicts the strength of the vegetation root system when soil biotechnological methods are used. Vegetation, as a part of soil bioengineering, can indirectly affect a variety of soil components including slope stability, through its influence on fluctuations in soil water content. Furthermore, it can control the influence of rainfall on the slope surface and it is also able to draw water from the soil through evapotranspiration. These conditions can increase the soil's moisture, pore pressure, shear strength, resistance permeability, and infiltration. Vegetation can also improve slope stability by influencing hydrological processes that determine stability conditions and directly modifying the soil's mechanical properties [2]. In many cases, vegetation makes a significant contribution to slope stability and promises an economical solution [3].

A research on the behavior of vegetation root reinforcement due to the presence of water is consequently needed to support the modeling of slope failure caused by rainfall. Subsequently, the presence of vegetation root reinforcement had been modeled as an additional soil cohesion component in slope stability analysis [4-7]. Punetha et al stated that soil bioengineering is a cost-effective and environmentally friendly alternative method to improve soil slope stability and surface erosion [8]. In this research, it was proven that there are at least 3 phenomena of failure of the soil root system on the slope surface, adhesion, tensile, and progressive failures in slope stability systems utilizing soil bioengineering.

According to Azis, the vetiver root vegetation type is better than other types of vegetation roots in terms of the ability to increase the safety factor of slope surface stability [9]. Furthermore, poorly graded sand and sandy silt soil were used to develop a medium for growing vetiver grass.

Various methods of soil bioengineering have been carried out by researchers. Some of these methods include layering shrubs on the surface of the slopes, using stone gabions combined with vegetation, and so on. Furthermore, efforts to obtain vegetation types that can grow in various weather conditions and various soil types, as well as contribute greatly to increasing slope stability are indispensable in the soil bioengineering method. One of the efforts presently gaining popularity is the conservation of sloped soil by utilizing body parts from vegetation. In this research, however, a type of vegetation that grows wild, has the capability of surviving in various weather conditions and soil types, as well as having a complex physical root system was used.

In the research used vegetation as soil bioengineering, specifically Teki, Paitan, Elephant, Setaria, and Alang-Alang grasses, which are easy to find and grow in the wild of South Kalimantan Province, in Indonesia. This study aims to determine the effects of various plant roots on the soil surface of the slope, especially to determine changes in the value of soil shear strength, slope failure resisting moment, and the safety factor of slope stability. Accordingly, soil testing and analysis of slope stability were carried out using the direct shear test and the Bishop methods respectively with the help of the Geo5 version 2022 computer application program [10].

This research was conducted after reviewing several results that are in line with the results obtained from previous works [11] regarding the role of vegetation on slope stability. Several research have been conducted with the to determine the effects of vegetation roots from various types of plants on soil parameters, especially its shear strength. Additionally, landslide events is evidence that a soil's structure has changed shape hence it is no longer able to withstand the load and water pressure [12]. Based on the sliding depth, landslide events can be distinguished as follows.

The collapse that occurs during the deformation indicates that the shear resistance applied to the soil has reached its critical value, therefore the soil pores are easily destroyed and soil aggregation is very weak. This theory is known as the Mohr Columb theory [13-14], stating that the shear stress in the soil has a functional relationship with the cohesion and friction between soil particles, hence:

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Description:

τ = soil shear stress

c = cohesion

σ = normal voltage

ϕ = inner shear angle

Table 1. Landslide Depth Classification (after USSR State Committee on Construction, 1981)

NO	Landslide Type	Depth (m)
1.	Surface Slide	<1,5
2.	Shallow Slides	1,5-5,0
3.	Deep Slides	5,0-20
4.	Very Deep Slides	>20

The soil bioengineering method involves the utilization of living plant materials. In handling slope failure or landslides, this method is a conservation measure that is carried out by covering the slope surface with plants, to reduce infiltration that occurs in the soil [15-16]. The influence given by plants consists of a hydrological mechanism in the form of evaporation and absorption by leaves and roots, hence the transpiration process occurs which can reduce positive pore water tension. It also consists of a mechanical mechanism by which the plants add strength to the soil by utilizing their ability to grip/anchor their roots into the soil layer, and the ability of roots to bind soil particles together, thereby reducing erosion as illustrated in Figure 1. Other things that affect the strength of the plant used was the size of its roots, as well as the root content at a location, and the plant's ability to grow in the soil

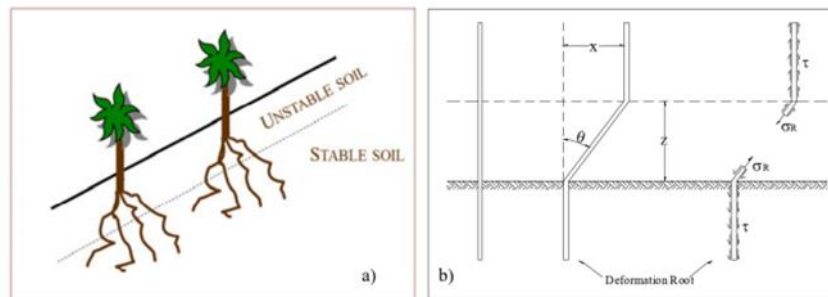


Figure 1 Schematic of the Effect of Plant Roots on Soil Slope [2].

2. RESEARCH METHODS

2.1. MATERIAL

In this research, 5 types of vegetation were used, namely: Paitan grass (*Axonopus compressus*), Teki grass (*Cyperus rotundus* L.), Elephant grass (*Pennisetum purpureum*), Setaria grass (*Setaria sphacelata*), and Alang-alang grass (*Imperata cylindrica*). The visualization of each type of vegetation is shown in Figures 2.a to 2.e. All these types of vegetation grow wild, can survive under various weather and environmental conditions, and can grow on various types of soil. different plants used in this research were taken from South Kalimantan Province and Central Kalimantan Province, Indonesia.

The results of testing the physical properties of the soil with the type of vegetation are shown sequentially and graphically, with a gradation curve of the grain size of the soil as a vegetation growth medium, in Table 2 and Figure 3 respectively.

Based on the results obtained from these tests, the highest water content value was found in the soil overgrown with Elephant grassroots, which was 32.68%, while the lowest was found in the soil with Alang-alang grassroots at 10.08%.



Figure 2a Visualization of Paitan Grass (*Axonopus compressus*), has a root type W, and has a root length of up to 1m



Figure 2.b Visualization of Teki Grass (*Cyperus rotundus* L.), has a root type W, and has a root length of up to 4m

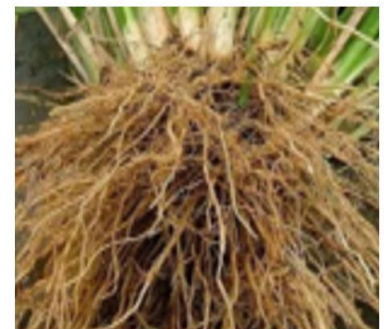


Figure 2.c Visualization of Elephant Grass (*Pennisetum purpureum*), has root type R, and has a root length of up to 4.5m



Figure 2.d Visualization of Setaria Grass (*Setaria sphacelata*), has root type M, and has a compound root length of 40-60 cm

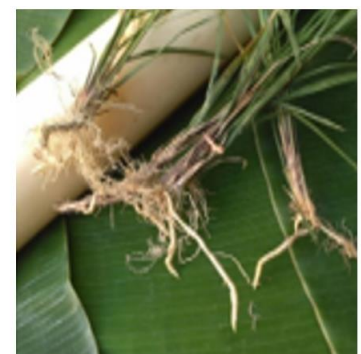


Figure 2.e Visualization of Alang-alang Grass (*Imperata cylindrical*), has root type H, Fiber, and has a compound root length of 40cm

Furthermore, the results of the Atterberg limit test showed that the soil overgrown with Paitan grassroots had a liquid and plasticity limit value of 66.11% and 38.64% respectively, and was classified as Organic clay (OH) based on the USCS classification system.

The soil with Teki grassroots had a liquid limit value of 81.82% and a plasticity limit of 64.58% and was included in the Inorganic Silt (MH) soil type based on the USCS classification system. Following this, soil overgrown with Setaria grass had a liquid and plasticity limit of 27.38% and 21.51% respectively, and was classified as Silty or clayey fine sand (ML) while soils overgrown with Elephant grass had a liquid and plasticity limit of 40.93% and 23.98% and was classified as Inorganic clay low (CL) soil. Lastly, the soil overgrown with Alang-alang grass's roots had a liquid limit of 34.2% and a plasticity limit of 20.43% and belongs to the Inorganic clay low (CL) soil.

2.2. TESTING PROCEDURE

The testing procedure was divided into 2 stages. Phase 1 involves testing the soil's physical properties to determine its suitability for growing all the types of vegetation observed. In Phase 2, the soil's mechanical properties were tested in the form of direct shear tests in the laboratory for each variation of soil and vegetation. During this test, the parameters of cohesion and the angle of friction on the soil and its vegetation were obtained. Figure 4 shows the schematic of the direct shear test equipment used in this research. The shear test method refers to So and Okada [16].

Table 2: Test Results of Soil Physical Properties and Vegetation

Parameter	Jenis Vegetasi	Paitan Grass	Teki Grass	Setaria Grass	Gajah Grass	Alang-Alang Grass
Root of Diameter (mm)		0.700	0.470	0,800	1,400	0,960
Ratio of Root Content (%)		14.000	12.000	38.000	24.000	16.000
Specific Gravity (Gs)		2.371	2.428	2.545	2.577	2.580
Water Content (W)	%	65.690	54.500	20.690	32.680	10.080
Volume Weight (g)	gr/cm ³	1.570	1.589	1.857	1.836	2.079
Gravel (>2mm)	%	0.71	0.25	2.47	0.47	13.05
Coarse Sand (0.6-2.00mm)	%	0.03	0.09	5.68	4.30	5.50
Medium Sand (0.2-0.6mm)	%	0.01	0.10	18.45	11.97	4.36
Fine Sand (0.05-0.2mm)	%	1.39	1.60	22.34	20.57	12.49
Silt and Clay (0.002-0.05mm)	%	78.47	49.21	40.90	50.67	52.35
Clay (<0.002mm)	%	19.39	48.75	10.16	12.03	12.25
No. 10 (2.00mm)	%	99.29	99.75	97.53	97.73	86.95
No. 40 (0.425mm)	%	99.25	99.63	88.53	92.73	80.25
No. 200 (0.0075mm)	%	99.21	99.37	55.23	67.13	65.51
Liquid Limits (LL)	%	66.11	81.82	27.38	40.93	34.21
Plastic Limit (PL)	%	38.64	64.58	21.51	23.98	20.43
Plasticity Index (PI)	%	27.48	17.23	5.88	16.95	13.78
USCS Classification	USCS	OH	MH	ML	CL	CL



Figure 3: Graph of Soil Grain Distribution with 5 Types of Plant Roots

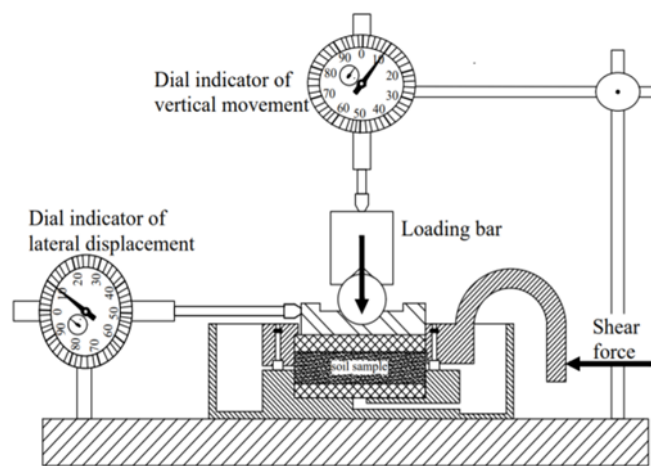


Fig. 4: Scheme for the Direct Shear Test Tool

All parameters of the soil and vegetation's physical and mechanical properties were obtained from the results of direct shear testing and index properties testing, then these quantities were used as input values in the slope modeling with vegetation using the Geo5 version 2022 computer software application. Especially the soil shear parameters such as cohesion and internal friction angle, which is an added value from the previous parameter. This is the research of the behavior of vegetation roots that is strengthened when water is present, and this is necessary to assist the modeling of slope failure due to rainfall.

The results of this modeling analysis produce a slope safety factor in conditions before and after the presence of vegetation on the slope's surface. Furthermore, the value of the retaining moment of slope stability was also obtained from various variations of vegetation. An analytical investigation was conducted to determine how each variation's physical and mechanical parameters relates to each other as well as how plant type and slope resisting moments relate to one another.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Relationship between Vegetation Type to Cohesion Parameters and Friction Angle in Soil

The relationship between the vegetation type and the cohesion parameters as well as the angle of friction in the soil is shown in Figures 5 and 6, and the value of the friction angle in the soil was the largest compared to the roots of other grass vegetation. The smallest value of cohesion and internal friction angle was found in the roots of the Setaria grass vegetation. This was due to the differences in the diameter and length of the grass's roots. However, the Elephant grass had a larger diameter and length of grass stems as well as a higher root density compared to other types of grasses observed in this research.

This shows that the dimensions and density of vegetation roots embedded in the soil can play an important role in increasing the cohesion parameters and internal friction angles through the interaction of soil and vegetation roots. This is in line with the results of Tengbeh's research [17], where it was stated that the cohesion value increases with increasing root density. Vergani et al and Gray et al also stated that the strengthening of vegetation roots in the soil can increase the soil's shear strength as long as the root and soil networks are fused in one bond, and this is often referred to as "root cohesion" which is an important factor that is relevant to the mechanism of the bonding process [18-19].

Relationship of Vegetation Type to Soil Shear Strength

The soil's shear strength parameters overgrown with various vegetation produced different values. As shown in Figure 7 below, the value of the soil's shear strength varied for each soil with the type of vegetation. Based on the graphical image, soils with vegetation roots of the Elephant grass type produce the highest shear strength value compared to the roots of other vegetation types.

Furthermore, based on the results of mechanical properties testing, the soil with Elephant grass's roots had the highest friction angle and cohesion value of 0.788 kg/cm² and 27.19° respectively, hence it had the highest shear strength of 141.863 kg/cm². The increase in the shear strength of the soil is mainly through an increased cohesion which was caused by the presence of vegetation whose roots performs the binding action or the composite pattern and the adhesion of soil particles to the root medium [20].

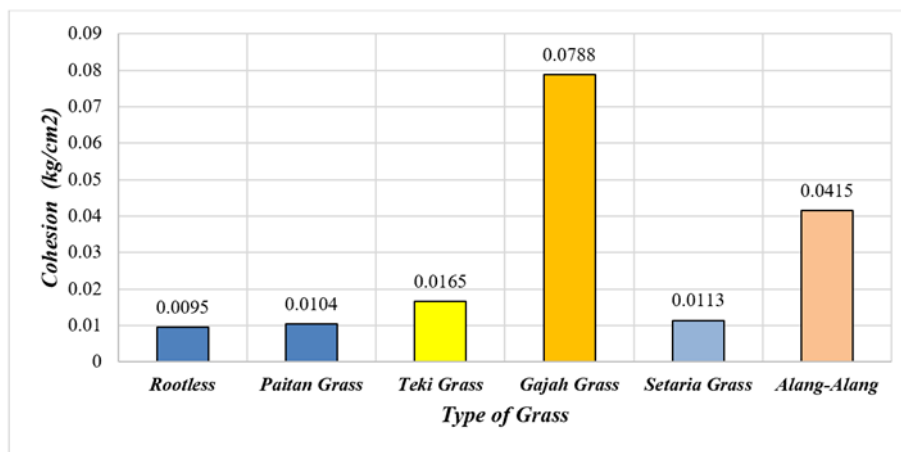


Figure 5: Graph of the Relationship between Soil Cohesion and Plant Root Types

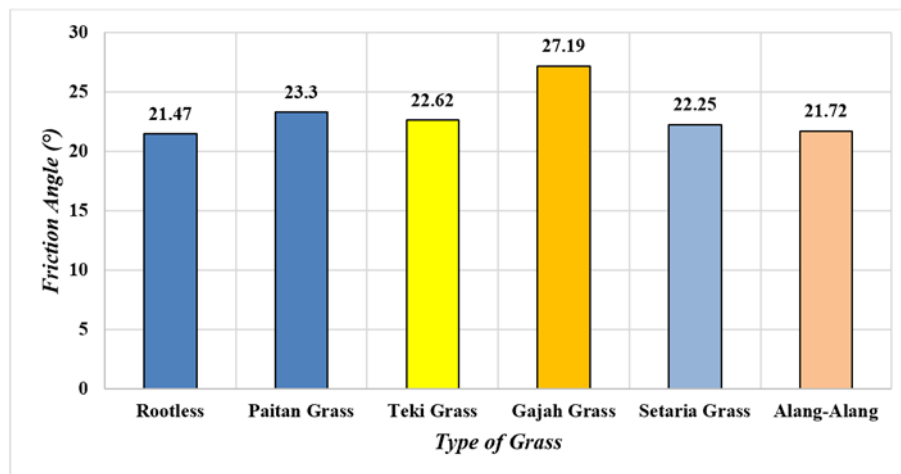


Figure 6: Graph of Inner Friction Angle Relationship and Type of Plant Root

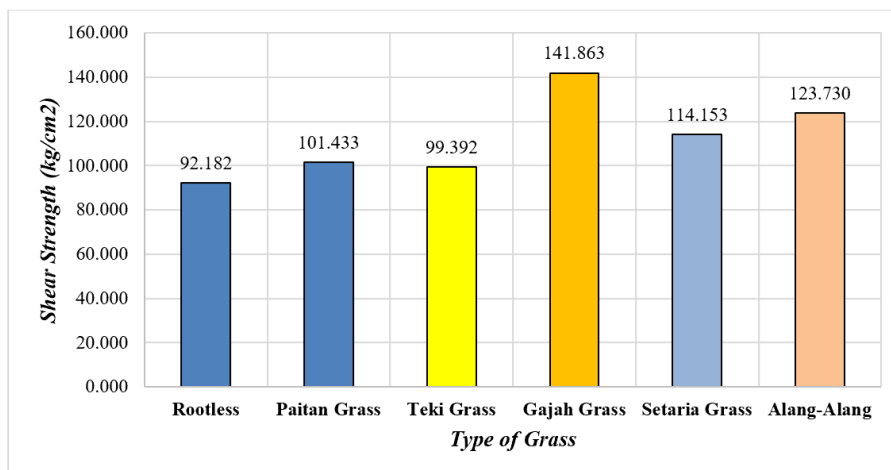


Figure 7: Graph of Soil Shear Strength Relationship with Plant Root Types

Effect of Vegetated Soil Moisture on Shear Strength

Figure 8 is a graphical representation of the relationship between the water content of each soil overgrown with different vegetation and the shear strength of the soil. Based on the figure, it can be seen that the greater the value of the soil water content, the higher the shear strength of the resulting soil.

When viewed from the point of the water content of each soil having different vegetation types, the value of the shear strength of vegetated soil was not dominantly influenced by the value of the water content. However, the Elephant grass vegetation produced higher soil shear strength than other types of vegetation, although the value of the soil moisture content was not minimum. This condition indicates that the physical factor of grass vegetation, especially the diameter and length of the root stem, has a more significant effect on the shear strength of the resulting soil compared to the factor of soil water content.

Based on the research conducted by [21], it was stated that the optimum water content value that can increase the shear strength of the soil is about 32%. This is in line with the results of this research where the soil with Elephant grass has a water content of 32.68%, hence it had the highest shear strength value of 141.863 kg/cm². Furthermore, Brenner [22] also stated that soil moisture decreases due to the presence of vegetation in the soil which can reduce pore water pressure on the soil slope and then increase slope stability. According to Wang et al [23], the effects of water content on soil reinforcement with plant roots resulted in changes in the interfacial friction between the soil and the grasses used during precipitation. It was also found that grass can delay the initiation of landslides, but the effect diminishes with increasing soil moisture content.

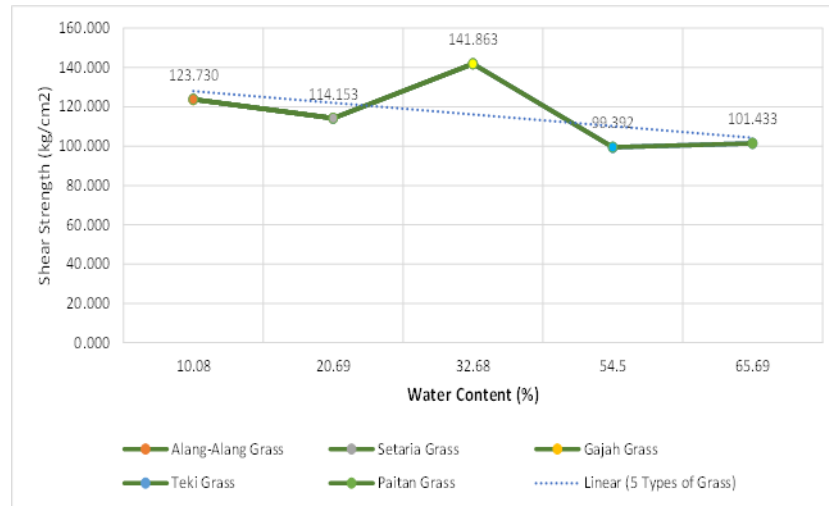


Figure 8: Relationship between Moisture Content and Shear Strength for 5 Types of Vegetation

Effect of Vegetated Soil Root Diameter on Shear Strength

The diameter of the vegetation roots also contributed to the soil's shear strength value. It is depicted on the curve pattern shown in Figure 9 below. Based on the graphical image, it can be seen that the Elephant grass's root resulted in the highest soil shear strength value compared to other types of vegetation roots. This is in accordance with the aforementioned explanation where the roots of the Elephant grass vegetation had a larger root diameter than the others.

Effect of Vegetation Root Type on Safety Factor and Slope Stability Retaining Moment

In this research, the slope modeling was conducted using subgrade soil, which is a type of laterite soil commonly used for road construction in South Kalimantan, then simulations were carried out on the slope surface with the different vegetation types. They include Paitan, Teki, Setaria, Elephant, and Alang-alang grasses. Furthermore, the Slope Stability Safety Factor and Retaining Moment values were obtained with the help of the 2022 version of the Geo5 computer software application. Figure 10 shows some result examples of running the 2022 version of the Geo5 computer software application on the soil slopes overgrown with one type of vegetation on the slope surface.

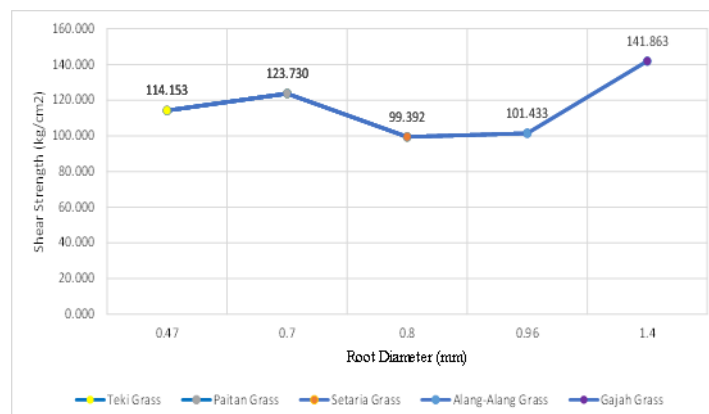


Figure 9: Relationship of Root Diameter and Shear Strength for 5 Types of Vegetation

In Figure 11, it can be seen that the slope stability safety factor increased after the vegetation was planted on the slope surface. The graph shows that the safety factor (FS) of the slope increased to 25.51 after the presence of Elephant grass vegetation on the slope surface compared to when the vegetation was absent, in which case FS was 19.29. Hence, the slope's stability safety factor increased by 24.4% after the slope surface was overgrown with Elephant grass. The increase in FS value obtained with the vegetation of other grass types was insignificant compared to their absence on the slope surface. This is in line with the results of the research conducted by [24-27], where it was stated that the higher the concentration of fibrous roots, the stronger the plant holds the soil.

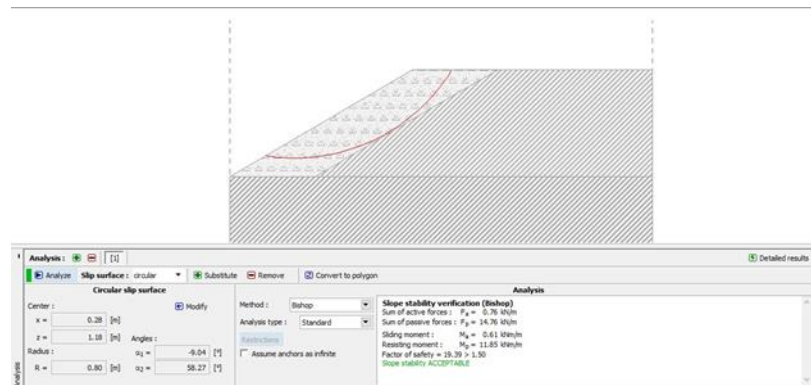


Figure 10: Example of the 2022 version of the Geo5 software running computer application on one type of vegetation

Finally, Figure 12 shows the relationship between the retaining moment of slope stability and the type of vegetation on the slope surface. According to what was depicted in the figure, when viewed from the value of the slope stability resisting moment resulting from various types of vegetation on the slope surface, the soil overgrown with Elephant grass species produced a greater slope stability barrier moment compared to the other types of vegetation. This was because the physical roots, which are larger in diameter and longer, can produce higher shear strength. As observed, vegetation roots can increase the soil shear strength by the root's tensile strength and provide slope shear resistance during or after heavy rains in shallow landslides [28]. Suman et al stated that the physical factor of vegetation roots, especially their level of density, can significantly increase the soil's shear strength parameters and increase the safety factor (FS) of slope stability [29].

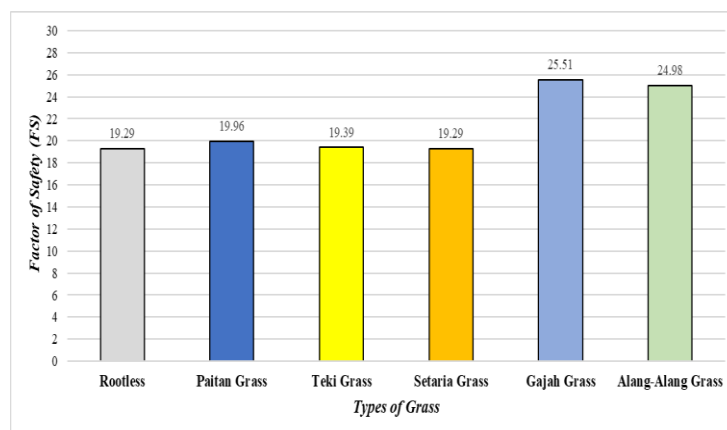


Figure 11: Graph of the Safety Factor for 5 Types of Vegetation

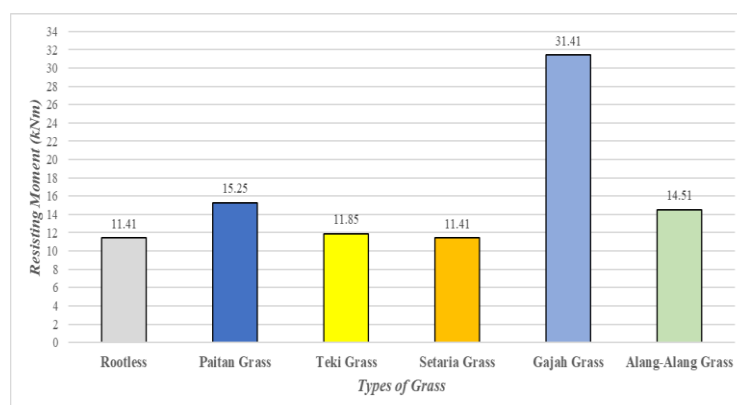


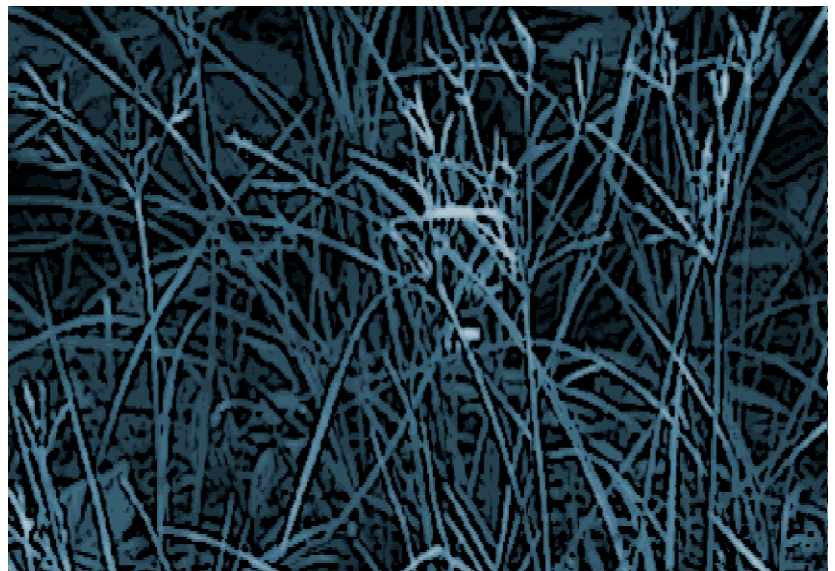
Figure 12: Graph of Retaining Moment for 5 Types of Vegetation

4. CONCLUSIONS

- 1) This research shows that the effect of vegetation roots can make a significant contribution to increasing the shear strength of the soil. Its contribution mainly depends on the physical composition of the plant's roots, mainly related to the length, diameter, and density of the roots.
- 2) The use of vegetation in maintaining the stability of shallow soil slopes has potential value in an effective, economical, and environmentally friendly way.
- 3) The smallest value of cohesion and internal friction angle was found in the roots of the *Setaria* grass vegetation. This was due to the differences in the diameter and length of the grass's roots.
- 4) The diameter of the vegetation roots contributed to the soil's shear strength value. The Elephant grass's root resulted in the highest soil shear strength value compared to other types of vegetation roots. This was due the roots of the Elephant grass vegetation had a larger root diameter than the others.
- 5) The use of Elephant grass vegetation on the slope surface was able to increase the shear strength of the soil, and the landslide resisting moment. It also aided in the enhancement of the safety factor of slope stability more than the other vegetations.

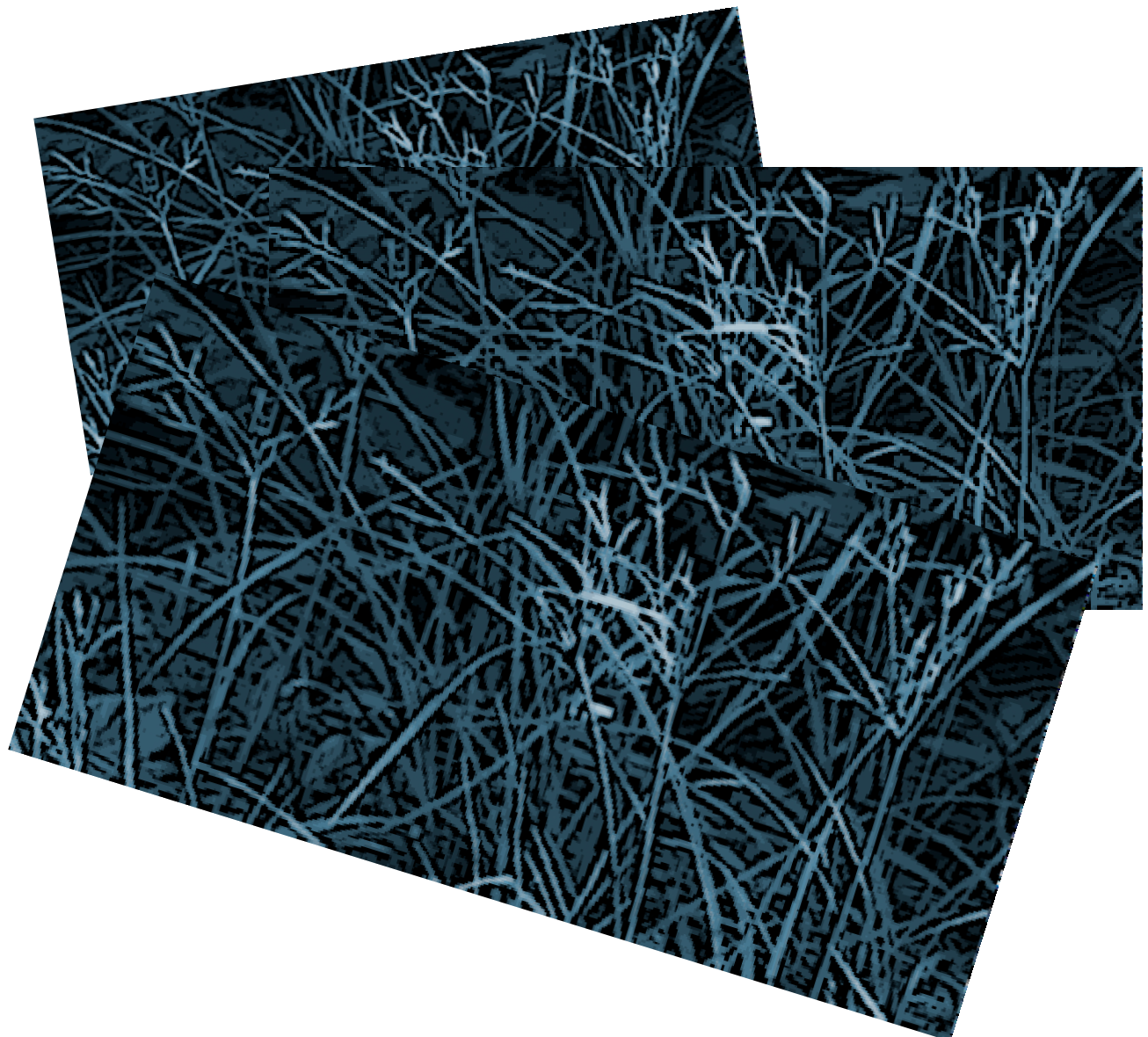
5. ACKNOWLEDGMENT

The authors are grateful to Lambung Mangkurat University, for funding this research for the 2022 fiscal year through the Research and Service Institute.



1. E. Naderi¹, A. Asakereh, M. Dehghani., "Numerical and Physical Modeling of Soft Soil Slope Stabilized with Stone Columns." *Journal of Rehabilitation in Civil Engineering*; 8(4): 118-136. <https://doi.org/10.22075/jrce.2020.19431.1367>, 2020.
2. Capilleri, P.P., Cuomo, M., Motta, E. *et al.* "Experimental Investigation of Root Tensile Strength for Slope Stabilization." *Indian Geotech J*, Vol.49, pp.687–697, <https://doi.org/10.1007/s40098-019-00394-2>, 2019.
3. Wu, T. H., McKinnell, W. P. and Swanston, D. N., "Study of soil-root interactions." *Journal of Geotechnical Engineering (ASCE)*, Vol. 114 (GT12), pp.1351–1375, 1988.
4. Chok, Y.H.; Jaksa, M.B.; Kaggwa, W.S.; Griffiths, D.V., "Assessing the influence of root reinforcement on slope stability by finite elements." *International Journal of Geoengineering*, Vol. 6, Issue 12. 2015.
5. Hales, T.C.; Miniati, C.F., "Soil moisture causes dynamic adjustments to root reinforcement that reduce slope stability", *Earth Surf. Process. Landf.*, Vol. 42, pp.803–813, 2017
6. Cuomo, S.; Masi, E.B.; Tofani, V.; Moscarello, M.; Rossi, G.; Matano, F., "Multiseasonal probabilistic slope stability analysis of a large area of unsaturated pyroclastic soils. Landslides." Vol. 18, pp.1259–1274, 2020.
7. Preti, F. Giadrossich, F., "Root reinforcement and slope bioengineering stabilization by Spanish Broom (*Spartium junceum* L.)." *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Vol.13, pp.1713–1726, 2009.
8. Punetha, P., Samanta, M., Sarkar, S., "Bioengineering as an Effective and Ecofriendly Soil Slope Stabilization Method: A Review. In: Pradhan, S., Vishal, V., Singh, T. (eds) *Landslides: Theory, Practice and Modelling*." *Advances in Natural and Technological Hazards Research*, Springer, Cham. Vol 50, <https://doi.org/10.1007/978-3-319-77377-3-10>, 2019.
9. Aziz, S., Islam, M.S., "Mechanical Effect of Vetiver Grass Root for Stabilization of Natural and Terraced Hill Slope." *Geotech Geol Eng*, Vol. 40, pp. 3267–3286, <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02092-y>, 2022.
10. Bokade, Prajwal, "Analysis and Stabilization of Slopes Using Geo5 Software." *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, Vol. 9, pp.1490-1498, 22214/ijraset.2021.37611, 2021.
11. Masi, E.B., Segoni, S., Tofani, V., "Root Reinforcement in Slope Stability Models: A Review." *Geosciences*, Vol. 11, pp.212. <https://doi.org/10.3390/geosciences11050212>, 2021.
12. Priyono. "Hubungan Klasifikasi Tanah Longsor, Klasifikasi Tanah Rawan Longsor dan Klasifikasi Tanah Pertanian Rawan Longsor." *GEMA*, Vol. 49(XXVII), pp.1602-1617, 2015.
13. Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (. "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)." (1 ed.). Jakarta: Erlangga, 1995.
14. Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B., "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)." (2 ed.). Jakarta: Erlangga, 1995.
15. Nugraha, Yudhistira, F., Hamdhan, & Noer, I, "Analisa Stabilitas Lereng Menggunakan Perkuatan Tanaman Switchgrass." *Reka Rencana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, Vol. 2(2), pp. 71-82. 2016,
16. So E.K. and Okada F., "Some factors influencing the residual strength of remoulded clays." *Soils and Foundations*, Volume 18, Issue 4, pp. 107–118 (in Japanese), 1978.
17. Tengbeh, G. T., "The Effect of grass cover on bank erosion." Ph.D Thesis, Silsoe College, Cranfield Institute of Technology., 1989.
18. Vergani, C., Giadrossich, F, Buckley, P., Conedera, M., Pividori, M., Salbitano, F., Rauch, H.S., Lovreglio, R., Schwarz, M, "Root reinforcement dynamics of European coppice woodlands and their effect on shallow landslides: A review." *Earth Sci. Rev.*, Vol. 167, pp.88–102, 2007.
19. Gray, D.H., Sotir, R.B., "Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilization: A Practical Guide for Erosion Control." John Wiley & Sons: New York, NY, USA, pp. 1–400, 1996.
20. Styczen, M. E. and Morgan, R. P. C., "Engineering properties of vegetation, Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach (eds. by Morgan, R. P. C. and Rickson R. J.)." E and FN Spon, London, pp.5–58, 1995.

21. Hakim, R. N., Santoso, E., & Prihatino, G. T., "Studi Pengaruh Kadar Air Terhadap Kuat Geser Tanah Pada Area Bekas Tambang Di Kota Banjarbaru." Jurnal GEOSAPTA, Vol. 6, No. 1, pp.19-21, 2020.
22. Brenner R P., "A hydrological model study of a forested and a cutover slope Hydrol." Sci. Bull.,Vol. 18, pp.125-44, 1973.
23. Wang, H., He, Y., Shang, Z., Han, C., Wang, Y., "Model Test of the Reinforcement of Surface Soil by Plant Roots under the Influence of Precipitation." Adv. Mater. Sci., 3625053., 2018.
24. Abe K and Ziemer R R, "Effect of tree roots on shallow-seated landslides." USDA For.Serv.Gen. Tech. Rep., pp.11-20, 1991.
25. Abe K and Iwamoto M., "Preliminary with experiment on shear in soil apparatus." J.Japanese For. Soc. Vol. 68, pp. 61-5, 1986.
26. Danjon F, Barker D H, Drexhage M and S A. "Using three-dimensional plant root architecture in models of shallow-slope stability." Ann. Bot. Vol.101, pp. 1281-93., 2008.
27. Suryatmojo H and Soedjoko S A. "Selection of vegetation for land landslide control (in Indonesian)." Indonesia Disaster J. Vol.1, pp.374-82., 2009.
28. Fan C C and Su C F. "Role of roots in the shear strength of root-reinforced soils with high moisture content." Ecol. Eng. Vol. 33, pp.157-66, 2008.
29. Suman, S., Raj, P., Sharma, S.K., Gupta, S., Kumar, S. and Devi, V, "Slope Stability Analysis for Optimal Tree Density of Cedrus Deodar Tree in Kumaon Region of Uttarakhand State in India." International Journal for Research Trends and Innovation (www.ijrti.org), Volume 7, Issue 1, ISSN: 2456-3315, 2021.



Análisis Dinámico Incremental De Marcos Multi-Panel Arriostrados Concéntricamente

Incremental Dynamic Analysis Of Concentrically Braced Multi-Panel Frames

Autores

Paúl André Añazco Campoverde¹, Gilbert Adrián Añazco Campoverde², Leyden Oswaldo Carrión Romero³

¹Universidad Técnica de Machala, e-mail: panazco@utmachala.edu.ec

²Universidad Técnica de Machala, e-mail: ganazco@utmachala.edu.ec

³Universidad Técnica de Machala, e-mail: locarrion@utmachala.edu.ec

RESUMEN

Los proyectos de obra civil industriales son comúnmente utilizados todos los países, incluyendo los de alta sismicidad, los marcos multi-panel, cuyo sistema estructural está conformado por arriostramientos, los cuales son los encargados de proporcionar la suficiente resistencia y rigidez a la estructura a través del pandeo y fluencia de sus diagonales, y así disminuir sus secciones de viga y columna. Lo interesante de estos marcos es que no presentan un diafragma rígido entre al menos dos o más paneles de la estructura.

Se decidió en el presente trabajo realizar los análisis dinámicos no lineales a modelos de marcos multi-panel para obtener las gráficas de las curvas IDA (Análisis Dinámico Incremental) y valores que permitan evaluar el desempeño sísmico de las estructuras como la intensidad media de colapso y la razón del margen de colapso, utilizando la normativa FEMA P695. Se compara los resultados obtenidos de las metodologías de diseño AISC 341-16 y la NCh 2369 aplicadas para finalmente concluir acerca de que el desempeño observado del sistema de marcos multi-panel arriostrados concéntricamente (MTBF) no difiere significativamente.

Palabras claves: Análisis dinámico incremental, desempeño sísmico, marcos multi-panel, no linealidad.

ABSTRACT

Industrial civil works projects are commonly used in all countries, including those with high seismicity, multi-panel frames, whose structural system is made up of bracing, which are responsible for providing sufficient resistance and rigidity to the structure through of the buckling and yielding of its diagonals, and thus reduce its beam and column sections. The interesting thing about these frames is that they do not have a rigid diaphragm between at least two or more panels of the structure.

It was decided in the present work to carry out the non-linear dynamic analyzes of multi-panel frame models to obtain the graphs of the IDA curves (Incremental Dynamic Analysis) and values that allow evaluating the seismic performance of the structures such as the average intensity of collapse and the reason for the margin of collapse, using the FEMA P695 standard. The results obtained from the AISC 341-16 and NCh 2369 design methodologies applied are compared to finally conclude that the observed performance of the concentrically braced multi-panel frame system (MTBF) does not differ significantly.

Keywords: Incremental dynamic analysis, seismic performance, multi-panel frames, nonlinearity.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Diciembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

Los proyectos industriales tales como estructuras de un único piso, de gran altura, silos, hangares de aviones, entre otros, son comúnmente utilizados en países de alta sismicidad, cuyo sistema estructural está conformado por arriostramientos, los cuales son los encargados de proporcionar la suficiente resistencia y rigidez a la estructura [1], disipando la energía mediante la incursión inelástica de estos elementos. Al ser estructuras de un único nivel, si se siguiera la normativa para marcos arriostrados concéntricos, se obtendrían diagonales de dimensiones mayores debido a la altura del proyecto, lo que conllevaría a utilizar conexiones robustas, lo cual aumentaría el costo del proyecto [2]. La gran diferencia entre los marcos arriostrados concéntricos presentes en la norma chilena y los marcos multi-panel que se evaluarán en el presente trabajo es que éstos últimos presentan un diafragma rígido entre más de dos paneles de la estructura, tal como se ve en la figura 1 ejemplos de marcos multi-panel, en donde la línea negra de mayor espesor representa el diafragma rígido ortogonal de la estructura [3].

Por tal motivo se ingeniaron los marcos multi-panel arriostrados concénricamente, que permiten mantener la altura libre del proyecto, con la diferencia que ahora se tendrá un conjunto de arriostramientos ubicados en paneles a lo largo de la altura de la estructura, paneles que estarán divididos por riostras horizontales para que puedan resistir el desbalance en la carga horizontal en las columnas y evitar el comportamiento en K de la estructura [4]. El uso de los multi-panel conlleva en una disminución en las longitudes en las diagonales a utilizar, y, por ende, diagonales con secciones menores [5].

Se decide realizar el estudio de los marcos multi-panel arriostrados concénricamente mediante el análisis del desempeño sísmico de proyectos industriales chilenos reales a través de análisis dinámico no lineal, proyectos que estarán bajo la normativa AISC 341-16 [6] y la norma sísmica chilena NCh2369 [7]. Recalcando que en la edición del año 2016 de la AISC 341 se añadió criterios de diseño para los marcos multi-panel arriostrados concénricamente [8], mientras que en la norma chilena aún no se encuentra contemplado este sistema estructural como tal. Lo cual permitirá concluir acerca de que tan acertada se encuentra cada metodología y escoger la más conveniente para ser utilizada en Chile.

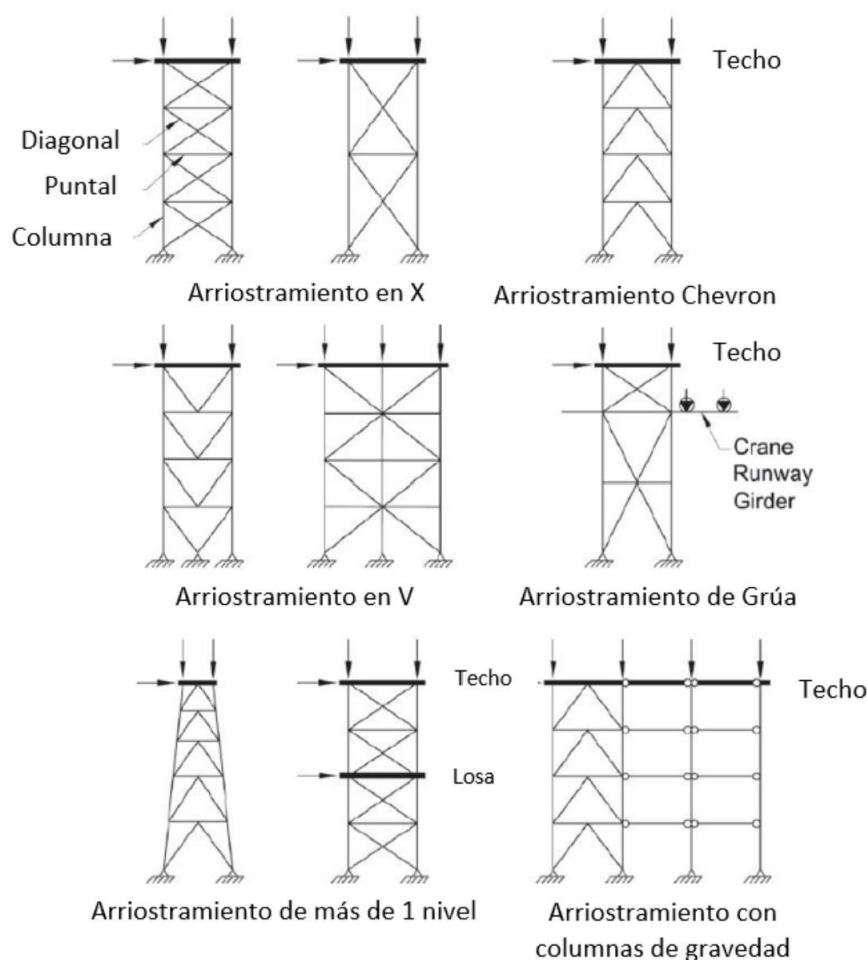
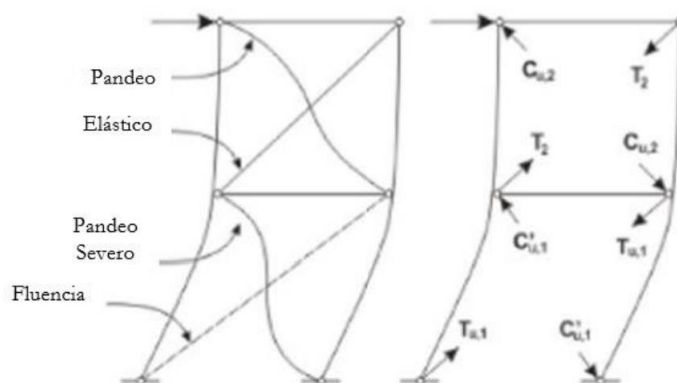


Figura 1: Tipos de marcos multi-panel [6]

Además, siendo Chile un país sísmico en donde las estructuras se ven sometidas a movimientos horizontales, es importante destacar la diferencia de los marcos arriostrados concéntricos (MAC) y los marcos multi-panel (MTBF) que se evaluarán en el presente trabajo. Los marcos arriostrados concéntricos al ser cargados lateralmente al poseer un diafragma rígido en cada piso, los niveles de la estructura entran en un rango inelástico de manera prácticamente uniforme [9]. En cambio, un marco multi-panel al ser cargado lateralmente y no poseer un diafragma rígido en cada nivel, las deformaciones inelásticas se van a acumular en un panel denominado como crítico, el aumento en la demanda puede incluso desencadenar el pandeo fuera del plano del marco multi-panel [10] (ver figura 2).



Post-pandeo de las diagonales

Figura 2: Post-pandeo de las diagonales en los marcos multi-panel [6]

Partiendo de estudios previos [11] en donde se evalúa el desempeño sísmico de marcos multi-panel (MTBF) mediante análisis estáticos no lineales se decide en el presente trabajo realizar los análisis dinámicos no lineales (análisis tiempo-historia) a cada modelo estructural para obtener valores que permitan evaluar el desempeño sísmico de las estructuras y poder comparar los resultados obtenidos de cada metodología de diseño aplicada para finalmente concluir acerca del comportamiento observado del sistema de marcos multi-panel arriostrados concéntricamente (MTBF).

2. METODOLOGÍA

En la presente sección se realiza una descripción de la metodología utilizada para llevar a cabo esta investigación, iniciando por una ardua revisión bibliográfica del sistema estructural en cuestión, posteriormente una descripción del diseño estructural, explicación del modelamiento matemático, los registros sísmicos seleccionados, así como su escalamiento en base a la metodología FEMA P695 [12] para el análisis dinámico incremental.

2.1. Diseño Estructural

El diseño de arriostramientos y columnas a tracción se encuentra en el capítulo D de la norma AISC 360-16, la resistencia de perfiles sometidos a tracción viene dado por la ecuación (1):

$$P_n = \min \left\{ \begin{matrix} F_y * A_g \\ F_u * A_e \end{matrix} \right\} \quad (1)$$

En donde:

F_y = Esfuerzo de fluencia del acero

A_g = Área gruesa de la sección

F_u = Esfuerzo último del acero

A_e = Área neta efectiva de la sección

El diseño de arriostramientos a compresión se encuentra en el capítulo E de la norma AISC 360-16, la resistencia de perfiles sometidos a compresión para elementos no esbeltos viene dado por la ecuación (2) basada en el estado límite del pandeo a flexión:

$$P_n = F_{cr} * A_g \quad (2)$$

En donde:

F_{cr} = Esfuerzo crítico

A_g = Área gruesa de la sección

El esfuerzo crítico F_{cr} se determina como en las ecuaciones (3) y (4):

- Cuando $\frac{L_c}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$:

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) * F_y \quad (3)$$

- Cuando $\frac{L_c}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$:

$$F_{cr} = 0.877 * F_e \quad (4)$$

En donde:

L_c = Longitud efectiva del elemento

E = Módulo de elasticidad del acero

F_e = Esfuerzo elástico al pandeo

r = Radio de giro

La norma AISC 341-16 divide a los marcos arriostrados concéntricamente en dos grupos: “Marcos Ordinarios Arriostrados Concéntricamente” (OCBF) y “Marcos Especiales Arriostrados Concéntricamente” (SCBF), ubicando a los marcos multi-panel arriostrados concéntricamente (MTBF) como un caso particular, al estar expuesto ante algún evento sísmico, que será el enfoque de estudio del presente trabajo.

Su diseño se lo puede realizar ya sea por capacidad (LRFD: Load and Resistance Factor Design) o por esfuerzos admisibles (ASD: Allowable Strength Design) [6]. En la figura 3 se presentan algunos ejemplos de arriostramientos que entran en la categoría SCBF, donde está prohibido el uso de diagonales que trabajen únicamente a tracción, y se espera que los marcos especiales arriostrados concéntricamente proporcionen una significativa deformación inelástica. La fuerza sísmica requerida para las columnas, vigas, puntales y conexiones deben ser determinados usando la capacidad límite de la carga sísmica, la cual es la mayor de:

1. Análisis donde las diagonales llegan a sus resistencias esperadas a tracción y compresión respectivamente (T_{exp} y C_{exp}).
2. Análisis donde las diagonales en tracción llegan a su resistencia esperada (T_{exp}), mientras que las diagonales en compresión llegan a su resistencia residual post-pandeo (C'_{exp}).
3. Análisis representando la fluencia y el pandeo progresivo, desde el panel más débil hasta el más fuerte.

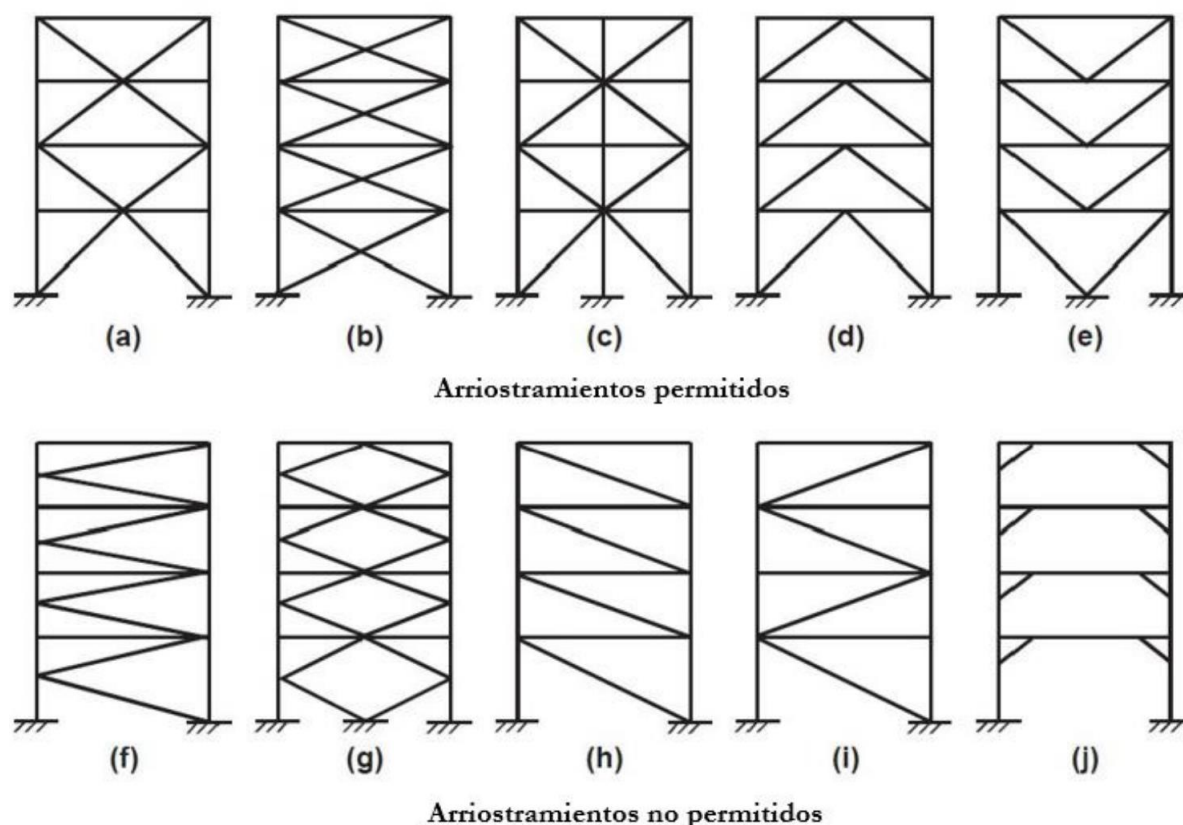


Figura 3: Arriostramientos permitidos para SCBF [13]

2.2. Modelo Matemático

Para este paso se deben tener definidos los diseños de los edificios prototipo, el modelo matemático debe aprehender las no linealidades de la estructura, para una correcta simulación de la misma. El presente trabajo de investigación utiliza modelos no lineales realizados a través del software Opensees (ver figura 4), en donde se incluye tanto la no linealidad del material (comportamiento no lineal del acero) como la no linealidad geométrica (efecto de imperfecciones y efecto $P-\Delta$) [14].

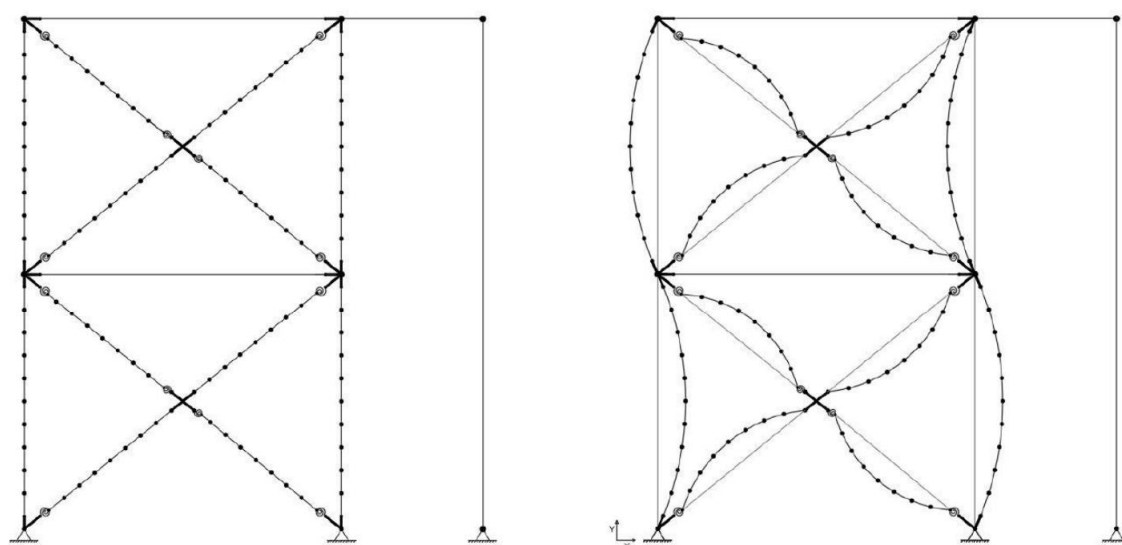


Figura 4: Modelo matemático del marco multi-panel de 2 niveles

2.3. Sismo Máximo Considerado

Para la definición del sismo máximo considerado, o como sus siglas en inglés MCE “Maximum Considered Earthquake” se utilizó la norma NCh 2745 “Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica” [7], donde se lo define como la sismicidad cuya intensidad presenta una probabilidad de excedencia del PGA igual a 10% en 100 años, como se lo puede apreciar en la figura 5:

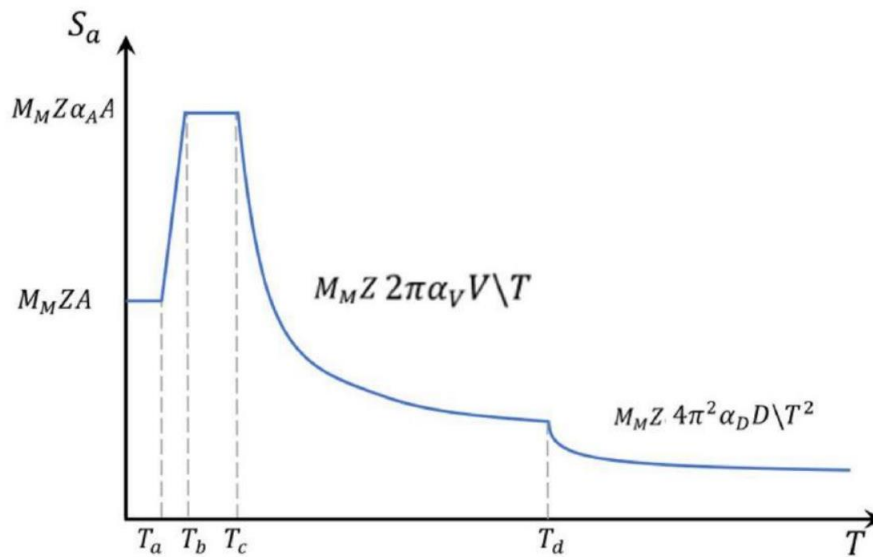


Figura 5: Espectro máximo considerado [7]

En donde:

M_M = Coeficiente relacionado con la respuesta al sismo máximo posible

Z = Factor que depende de la zonificación sísmica, definida en NCh433

PGA = Aceleración máxima del suelo

α_A = Máxima aceleración del espectro

α_V = Parámetro de velocidad

α_D = Parámetro de desplazamiento

T_a, T_b, T_c, T_d = Períodos característicos del espectro

2.4. Escalamiento de Registros Sísmicos

La mediana de los espectros de aceleración de todos los registros sísmicos a utilizar para el análisis es escalada con respecto a la intensidad del espectro del sismo máximo considerado en el período fundamental de la estructura, factor calculado con la ecuación (5):

$$F.E. = \frac{Sa_{MCE}}{Sa_{Median}} \quad (5)$$

Dicho factor se usa para multiplicar la amplitud de cada registro sísmico a utilizar, quedando de esta manera listos para iniciar el análisis dinámico incremental. Seguidamente, la amplitud de cada registro se aumenta progresivamente hasta alcanzar el colapso; para finalizar, cuando el 50% de los registros de aceleración, escogidos aleatoriamente, provoquen el colapso del modelo se obtiene la intensidad media de colapso ($\widehat{S}_{CT}$) y la razón del margen de colapso (CMR), en donde:

- $\widehat{S}_{CT}$: Intensidad media de colapso
- CMR : Razón del margen de colapso

2.5. Análisis Dinámico Incremental

El análisis incremental no lineal dinámico, o como sus siglas en inglés IDA “Incremental Dynamic Analysis”, implica someter a los modelos matemáticos a una combinación entre la carga gravitacional y una aceleración sísmica de los registros cuya amplitud es incrementada progresivamente. Además, se debe seleccionar la capacidad de deriva de entrepiso promedio que provoca el colapso. De cada análisis se debe tomar nota de una medida de daño (eje X), en el presente estudio fue la deriva máxima de entrepiso y una medida de intensidad (eje Y), escogiendo la aceleración espectral del registro utilizado para el período de la estructura, tal como se ve en la figura 6:

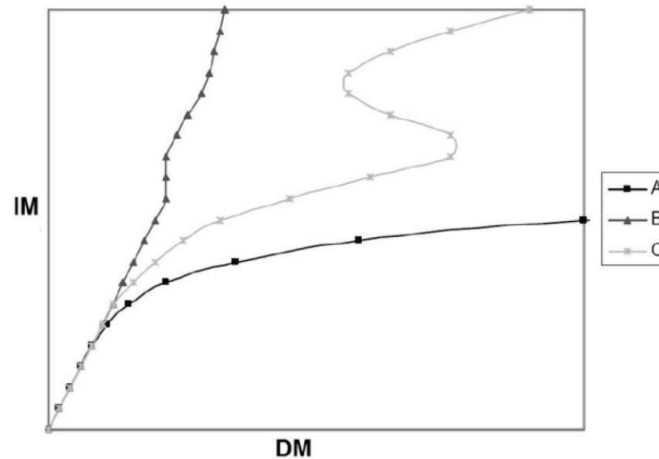


Figura 6: Ejemplo de curvas del análisis incremental dinámico [12]

2.6. Evaluación del Desempeño Sísmico

Del análisis dinámico no lineal (tiempo-historia) realizado se deben obtener los siguientes resultados:

- Aceleración espectral S_{MT} para el sismo máximo considerado con el respectivo período fundamental T utilizado para calcularlo.
- Intensidad media de colapso $\widehat{S}_{CT}$
- Razón del margen de colapso CMR
- La data utilizada para calcular la intensidad media de colapso.
- Parámetros utilizados para la definición de la condición del colapso, como por ejemplo la deriva máxima de entrepiso. Acompañado con gráficas y texto.
- Histéresis de los elementos estructurales.

Para posteriormente calcular valores que permitirán complementar la evaluación del desempeño sísmico de la estructura, los cuales son:

- Razón del margen de colapso ajustado: $ACMR = SSF * CMR$
- Incertidumbre total del sistema: β_{TOT}
- Valores admisibles del margen del colapso: $ACMR_{10\%}$ y $ACMR_{20\%}$

3. RESULTADOS

El trabajo contempla el estudio analítico de los marcos multi-panel arriostrados concéntricamente (MTBF), para dar respuesta a los objetivos planteados se trabajó inicialmente con dos prototipos: uno con alturas iguales de paneles, y el otro con el primer panel de mayor altura equivalente al 55% de la altura total, se indujo la fluencia en el escenario cuando el panel base (panel 1) es crítico, así como también cuando el panel superior (panel 2) es

crítico, obteniendo un total de 8 modelos iniciales. Posteriormente, se decidió estudiar la influencia del tipo de suelo en la respuesta estructural, duplicando el número de modelos a 16.

La investigación se centró en el análisis de dos marcos individuales de proyectos industriales chilenos. Partiendo del estudio previo de Rodríguez [11] donde se evalúa el desempeño sísmico de marcos multi-panel mediante análisis estáticos, se realizan a través de Opensees análisis dinámicos incrementales (IDA), diferenciando el tipo de suelo con registros en roca (tipo A y B) y en suelo (tipo C, D y E), a fin de estudiar la influencia del suelo en la respuesta estructural y poder comparar los resultados obtenidos de cada metodología de diseño aplicada.

El diseño bajo la norma AISC genera un peso estructural 15% mayor, debido al aumento en las secciones de puntales y columnas, tal como se observa en la tabla 1

Tabla 1: Secciones obtenidas para cada metodología de diseño

Prototipo 1: Paneles de igual altura		Prototipo 2: Paneles de diferente altura	
Prototipo 1 – NCh 2369		Prototipo 2 – NCh 2369	
Diagonal	XL25x36.6	Diagonal	XL25x36.6
Columna	HN30x159	Columna	HN30x156
Puntal	HN25x46	Puntal	HN20x46
Viga de techo	IN35x106	Viga de techo	IN35x106
Panel crítico por verificar		Panel crítico por verificar	
Prototipo 1 – AISC 341-16		Prototipo 2 – AISC 341-16	
Diagonal	XL25x36.6	Diagonal	XL25x36.6
Columna	HN30x180	Columna	HN30x180
Puntal	IN30x102	Puntal	HN25x106
Viga de techo	IN35x106	Viga de techo	IN35x106
Panel 1 crítico		Panel 2 crítico	

En la figura 7 se muestran los resultados de las gráficas IDA para el primer modelo, bajo la metodología chilena de la norma NCh2369, tanto para roca como para suelo, las gráficas tienen una misma escala para efectos comparativos. A primera instancia se observa una clara diferencia en los valores de la razón de margen de colapso según el tiempo de suelo, siendo este mayor para los análisis realizados en suelo. También se observa congruencia con los resultados de los análisis estáticos no lineales, evidenciando un desempeño elástico y llegando a derivas máximas entre 0.4% y 0.5%.

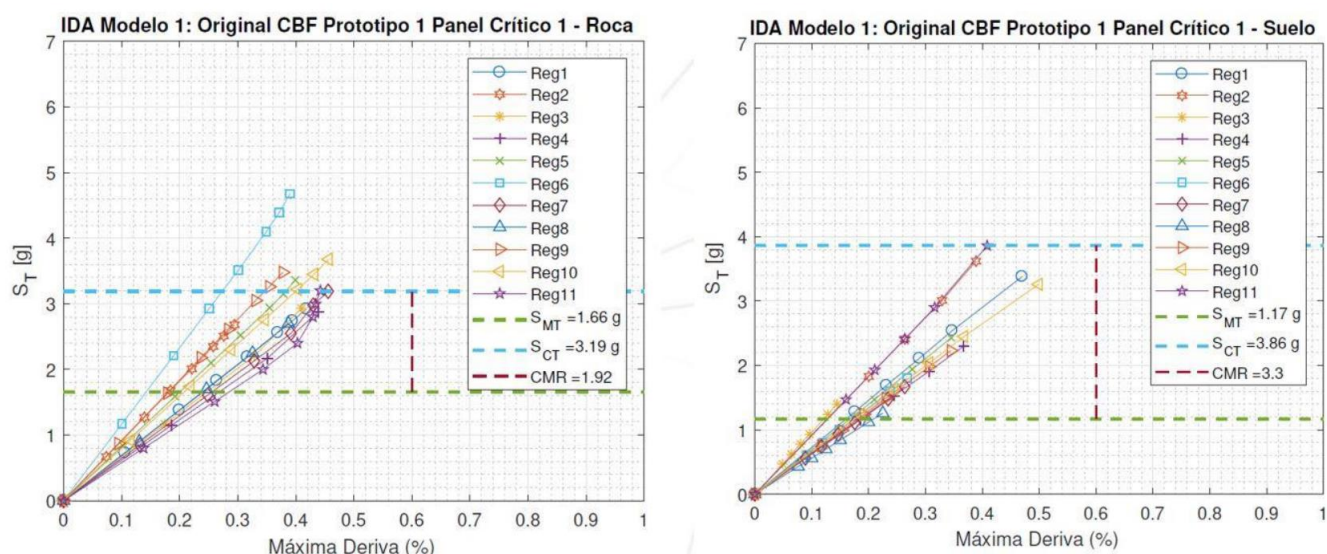


Figura 7: Curvas IDA para modelo chileno, prototipo 1, panel crítico 1, en roca y suelo

En la figura 8 se observan los resultados para el modelo 5, que es el modelo bajo la metodología de diseño AISC, prototipo 1, panel crítico 1. Se evidencia la misma relación de la influencia del tipo de suelo en la respuesta estructural obteniendo valores mayores de razones de margen de colapso (CMR) para los modelos en suelo, pero presentando valores ligeramente mayores de CMR en ambos casos. El resumen de resultados de todos los modelos se encuentra en la tabla 2 y 3.

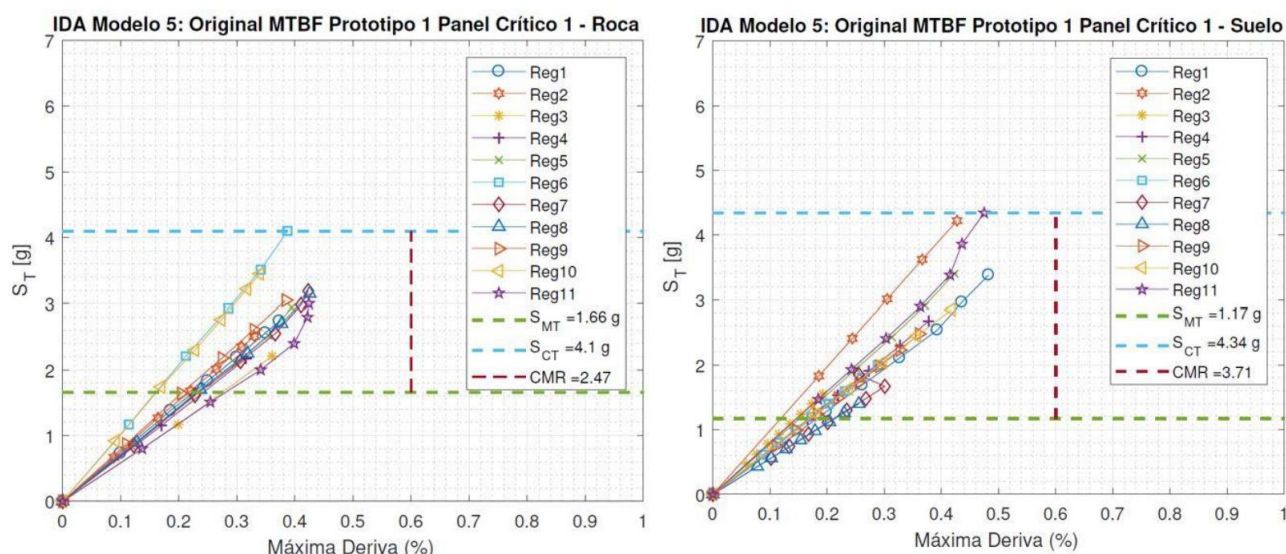


Figura 8: Curvas IDA para modelo AISC, prototipo 1, panel crítico 1, en roca y suelo

Se evaluó el desempeño sísmico individual de cada marco multi-panel según lo estipulado en la norma FEMA P695 comparando los valores de la razón de margen de colapso ajustada con los valores admisibles, basado en la ecuación (6), y se verificó que todos cumplen con un desempeño satisfactorio tanto para roca como para suelo, tal como se muestra en la tabla 2.

$$ACMR_i \geq ACMR_{20\%} \quad (6)$$

Tabla 2: Verificación del criterio de aceptación para modelos en roca

ROCA							
#	Modelo	CMR	SSF	β_{Total}	ACMR	ACMR _{20%}	Criterio
1	CBF P1 PC1	1.92	1	0.525	1.92	1.56	Cumple
2	CBF P1 PC2	2.82	1	0.525	2.82	1.56	Cumple
3	CBF P2 PC1	1.92	1	0.525	1.92	1.56	Cumple
4	CBF P2 PC2	2.22	1	0.525	2.22	1.56	Cumple
5	MTBF P1 PC1	2.47	1	0.525	2.47	1.56	Cumple
6	MTBF P1 PC2	2.64	1	0.525	2.64	1.56	Cumple
7	MTBF P2 PC1	1.96	1	0.525	1.96	1.56	Cumple
8	MTBF P2 PC2	2.10	1	0.525	2.10	1.56	Cumple

Tabla 3: Verificación del criterio de aceptación para modelos en suelo

SUELO							
#	Modelo	CMR	SSF	β_{Total}	ACMR	ACMR _{20%}	Criterio
1	CBF P1 PC1	3.30	1	0.525	3.30	1.56	Cumple
2	CBF P1 PC2	4.12	1	0.525	4.12	1.56	Cumple
3	CBF P2 PC1	3.61	1	0.525	3.61	1.56	Cumple
4	CBF P2 PC2	3.61	1	0.525	3.61	1.56	Cumple
5	MTBF P1 PC1	3.71	1	0.525	3.71	1.56	Cumple
6	MTBF P1 PC2	3.61	1	0.525	3.61	1.56	Cumple
7	MTBF P2 PC1	4.12	1	0.525	4.12	1.56	Cumple
8	MTBF P2 PC2	3.71	1	0.525	3.71	1.56	Cumple

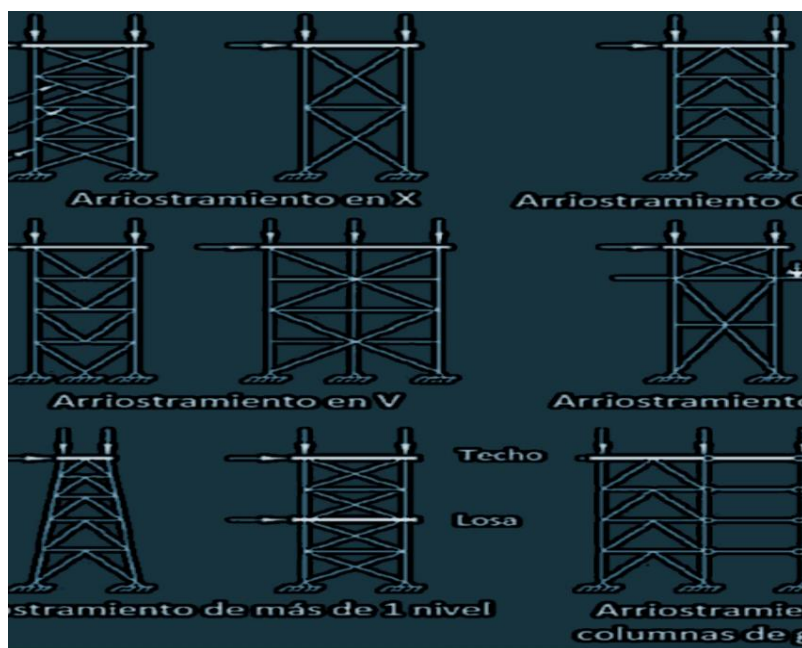
Sobre la base de los cálculos y los análisis se puede inferir que los marcos están sobredimensionados en resistencia, al tener un desempeño prácticamente elástico, una buena solución podría ser disminuir las secciones de los perfiles utilizados, pero por norma se debe cumplir requerimientos de rigidez y estabilidad lateral y torsional, que son los que controlan en el diseño en este tipo de marcos.

4. CONCLUSIONES

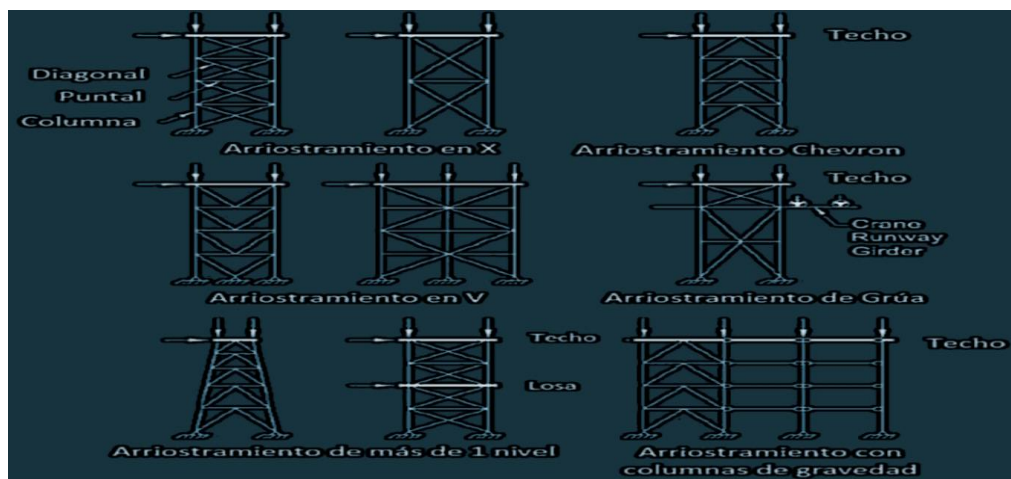
Se observó una clara influencia del suelo en la respuesta estructural de los marcos multi-panel arriostrados concéntricamente, al ser un sistema estructural poco dúctil comparado con otros sistemas estructurales como los marcos especiales a momento, los convierte en estructuras más rígidas, lo cual influye en la obtención de valores de CMR menores comparados con los análisis en roca.

Los MTBF estudiados cumplen los requisitos del FEMA P695, su desempeño fue elástico y poco dúctil, lo cual se ve reflejado en la forma de las curvas IDA al tener una tendencia lineal de las gráficas generadas, en la que también se observa poca incursión inelástica de los modelos debido a la presencia de inestabilidades ante elevadas intensidades sísmicas. Resultados fueron congruentes con los análisis estáticos no lineales.

Al comparar los desempeños sísmicos bajo ambas metodologías, se observa que cumplen los requerimientos de la norma FEMA P695 para un desempeño satisfactorio, pero se evidencia poca incursión inelástica en los marcos, finalmente se concluye que los requerimientos de la norma AISC 341 para los marcos multi-panel no son efectivos en el desempeño sísmico de las estructuras estudiadas.



1. Egger, J. E., Rojas, F. R., & Massone, L. M., "High-Strength Reinforcing Steel Bars: Low Cycle Fatigue Behavior Using RGB Methodology". International Journal of Concrete Structures and Materials, vol. 15(1), pp. 1-13, 2021
2. Imanpour, A., Auger, K., and Tremblay, R., "Seismic Design and Performance of Multi-Tiered Steel Braced Frames Including the Contribution from Gravity Columns under In-plane Seismic Demand.", Advances in Engineering Software, pages 106–122, 2016
3. Auger, K., "Conception Parasismique Des Contreventements Concentriques En Treillis À Segments Multiples Combinés Aux Poteaux Gravitaires." Mémoire de maîtrise. École Polytechnique de Montreal, 2017.
4. Comeau, C., Cano, P., Tremblay, R., Imanpour, A., "Seismic Response of Two-Bay Steel Multi-Tiered Concentrically Braced Frames." Proceedings of the 10th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas. STESSA 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 262. Springer, Cham., 2022
5. Imanpour, A. and Tremblay, R., "Seismic Design and Response of Steel Multi-Tiered Concentrically Braced Frames in Canada.", Canadian Journal of Civil Engineering, 2016
6. American Institute of Steel Construction, "ANSI/AISC 341-16 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings." Chicago, IL, 2016.
7. INN-Chile Instituto Nacional de Normalización, "NCh2369.Of2003, Diseño Sísmico de Estructuras e Instalaciones Industriales." Santiago, Chile, 2013
8. Comeau, C., Cano, P., Imanpour, A., Tremblay, R., "Seismic Behaviour and Design of Chevron Multi-tiered Concentrically Braced Frames." Proceedings of the 10th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas. STESSA 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 262. Springer, Cham., 2022.
9. Cano, P., Imanpour, A., "Evaluation of Seismic Desing Methos for Steel Multi-Tiered Special Concentrically Braced Frames." Proceedings of the Annual Stability Conference Structural Stability Research Council. Baltimore, Maryland, April 10-13, 2018
10. Imanpour, A. and Tremblay, R., "Seismic Design Procedure For Steel Multi-Tiered Concentrically Braced Frames Beyond CSA S16 Limit.", Resilient Infrastructure London, 2016.
11. Rodríguez, M., "Desempeño Sísmico de Estructuras Industriales de Marcos Multi-Panel Arriostrados Concéntricamente, MTBF.", Tesis para Optar al Título de Magíster en Ciencias de la Ingeniería, mención Ingeniería Estructural, Sísmica y Geotécnica. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile, 2020.
12. Federal Emergency Management Agency, "FEMA P695 - Quantification of Building Seismic Performance Factors.", Washington, D.C., 2009
13. Bani, M., Imanpour, A., "Seismic Performance of Steel Multi-tiered Buckling-Restrained Braced Frames in Canada". Proceedings of the 10th International Conference on Behaviour of Steel Structures in Seismic Areas. STESSA 2022. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 262. Springer, Cham., 2022.
14. American Society of Civil Engineers, "ASCE/SEI 41-13 Seismic Evaluation of Existing Buildings.", Reston VA, 2013.



Artículos de Estudio de Casos

Diseño Y Trazado Geométrico De La Calle Benalcázar En La Ciudad De Huaquillas

Design And Geometric Layout Of Benalcázar Street In The City Of Huaquillas

Autores

Peter Leonard Reyes Estrella¹, Erwin Javier Oyola Estrada², Leyden Oswaldo Carrión Romero³, Elsi América Romero Valdiviezo⁴

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Km.5 1/2 Vía Machala Pasaje, e-mail: plreyes_est@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Km.5 1/2 Vía Machala Pasaje, e-mail: eoyola@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Km.5 1/2 Vía Machala Pasaje, e-mail: locarrion@utmachala.edu.ec

⁴Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Km.5 1/2 Vía Machala Pasaje, e-mail: eromero@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El crecimiento, desarrollo urbano y comercial de la ciudad de Huaquillas, provincia de El Oro, se ha visto en auge durante los últimos años, y más allá de los factores positivos ha arrastrado consigo una problemática de movilidad vial debido a que las calles y avenidas principales se han visto colapsadas por el alto flujo vehicular presente en estas zonas.

Por esta razón y respondiendo a la problemática existente dentro del casco central, se ha desarrollado el proyecto técnico que corresponde al "Diseño y trazado geométrico de la calle Benalcázar desde la calle Juan Montalvo hasta la calle Martha Bucaram".

Este proyecto consiste en presentar una propuesta de diseño y trazado geométrico utilizando softwares especializados en diseño de carreteras con la finalidad de reducir el congestionamiento vehicular en el casco central de la ciudad.

Palabras claves: *asfalto, diseño, pavimento, trazado geométrico*

ABSTRACT

The growth, urban and commercial development of the city of Huaquillas, province of El Oro, has been booming in recent years, and beyond the positive factors, it has brought with it a problem of road mobility due to the fact that the streets and avenues The main roads have been collapsed due to the high traffic flow present in these areas.

For this reason and responding to the existing problems within the central area, the technical project corresponding to the "Design and geometric layout of Benalcázar street from Juan Montalvo street to Martha Bucaram street" has been developed.

This project consists of presenting a design proposal and geometric layout using specialized highway design software in order to reduce vehicular congestion in the central area of the city.

Keywords: asphalt, design, pavement, geometric layout.

1. INTRODUCCIÓN

Las redes viales son consideradas componentes de desarrollo y son fiel reflejo de evolución de los territorios. Estas estructuras pueden ser potencialmente estratégicos al ser articuladores del espacio urbano rural y regional [1].

Cuando una vía llega al límite de su capacidad o nivel de servicio es importante modificar sus especificaciones técnicas para adaptarlas a las nuevas condiciones de demanda de tráfico. Por esta razón, es importante mejorar y mantener la calidad de las vías de un país, puesto que cumplen un rol que va más allá del desplazamiento y movilidad, sino que influyen en el crecimiento urbano e impulso económico [2].

En este sentido el presente proyecto técnico se justifica en base al aporte social, económico y productivo que representa brindar una alternativa vial que descongestione, mantenga y conserve la regeneración urbana del casco central, que actualmente se encuentra sometida al paso de buses, cooperativas medianas y transporte de carga pesada que se movilizan hasta el Mercado Multifuncional en el sector Playita Sur – Huaquillas, ver figura 1.

Huaquillas es una ciudad fronteriza de la provincia de El Oro que se encuentra al sur del territorio ecuatoriano, contando con una extensión de 72 km², situado en la región costa a 11msnm. Dentro de la urbana se encuentra la calle Benalcázar [584539E, 961493N], una calle de segundo orden, que es la propuesta de vía alterna para descongestionar el tráfico vehicular del casco central y especialmente la Av. De la República (que actualmente es el ingreso y salida de la ciudad).



Fig. 1: Tramo actual de la calle Benalcázar.

2. DESARROLLO

El proyecto propuesto es la extensión de la calle Benalcázar y comprende el tramo que une el casco comercial del cantón, con el de la entrada de la urbe. Para que cumpla con su objetivo debe conectarse con la calle Martha Bucaram por lo que es necesaria la extensión de la vía. En la figura 2 se presenta la proyección del delineado de la extensión de la calle.



Fig. 2: Delineado de la extensión de la calle Benalcázar.

Para el desarrollo de la propuesta de este proyecto técnico se realizaron actividades específicas para el reconocimiento del lugar, toma de muestra del suelo, levantamiento de información y procesamiento de datos que se han clasificado en etapas en la figura 3.

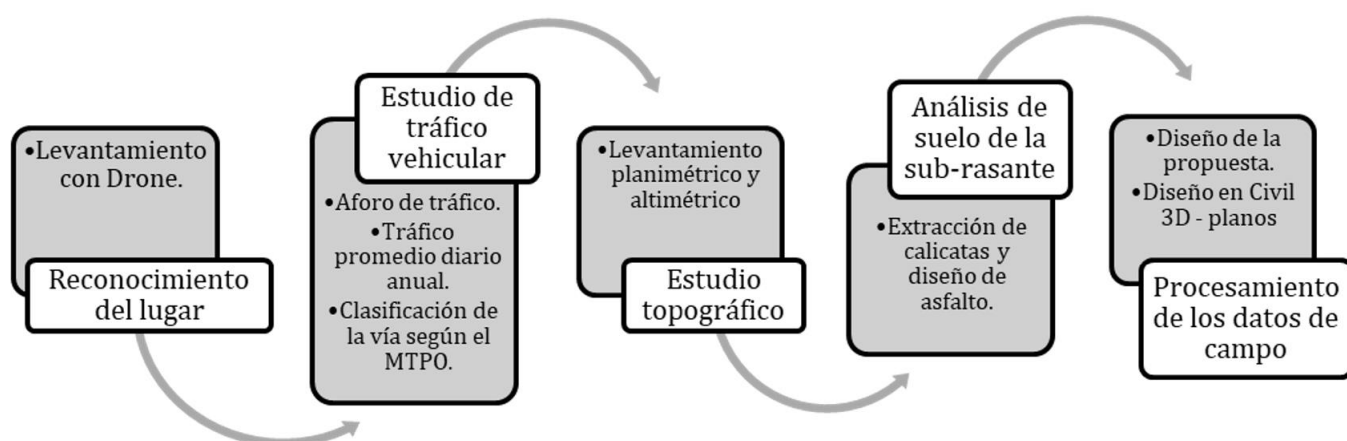


Fig. 3: Clasificación del desarrollo del proyecto por etapas.

Etapa 1: Reconocimiento del lugar

El levantamiento se realizó con un Dron DJI Mavic Air 2, para tener una vista aérea de la zona de intervención y definir el eje que tendrá la vía, en la fig. 4 se muestra el resultado de las tomas aéreas. Posteriormente, con estas imágenes en una reunión con los ingenieros del departamento de obras públicas del municipio definió el eje de la vía ya que se encuentra el estudio ante la propuesta de una extensión de la calle en áreas verdes.



Fig. 4: Toma aérea con Dron.

Así mismo se realizó el levantamiento altimétrico con una estación RTK de marca UniStrong GNSS RTK receptor G970 con el que se tomaron puntos cada 20 metros.

Etapa 2: Estudio de tráfico vehicular proyectado – aforo de tráfico

Generalmente en Ecuador se utiliza el método de Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA) para realizar la medición de aforo vehicular. Con los resultados del TPDA proyectado se clasifica la vía y esos mismos datos sirven para el posterior Diseño Geométrico de la calle en proyecto, así mismo se utilizan para el cálculo de los beneficios socioeconómicos de la implementación del proyecto.

En este proyecto técnico se toma en cuenta la clasificación de acuerdo a la capacidad (Función del TPDA) ya que el aforo vehicular realizado permitió contar con los datos volumétricos del tráfico que procesa o se estima que procesará el diseño de la obra. La tabla 1 indica los resultados del aforo vehicular y la clasificación de la vía según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

Tabla 1: Análisis de tráfico proyectado

Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA)	1381 vehículos
Clasificación NEVI-12	Carretera de 2 carriles C1
Clasificación MTOP	Carretera de II Orden
Velocidad de diseño	80 km/h
Velocidad de circulación	65 km/h
Distancia de frenado	50.60 m
Distancia de visibilidad de parada	96.10 m
Distancia de rebasamiento	407.4 m
Radio mínimo en curvas horizontales	275 m

Dentro de este proyecto para determinar el promedio diario de tráfico vehicular existente por la zona de intervención fue necesario realizar un aforo vehicular durante 5 días. Los días de estudio corresponden a los días laborables -lunes a viernes- por un tiempo prolongado de 12 horas en horario de 6 am a 6 pm tomado a lo largo del tramo existente de la calle Benalcázar. Según el tráfico presentado y proyectado a futuro (20 años), la vía a realizar dio como resultado 1381 vehículos por día, por lo que se ubica en una clasificación de categoría C1 en carretera de 2 carriles.

Etapa 3: Estudio topográfico

El concepto de la topografía no ha variado con los años, lo que si se ha visto plenamente modificado son las técnicas, los instrumentos de medida y los métodos a aplicar [3]. En este trabajo se realizó el levantamiento con Dron para aprovechar el alcance aéreo de estos dispositivos con mayor margen de precisión y obtener imágenes de calidad. El levantamiento planimétrico y altimétrico, se realizaron mediante GPS diferencial (RTK).

El levantamiento planimétrico y altimétrico por su lado aportan con los datos métricos – estructurales representados a escala con los puntos y detalles del terreno; para el ingreso de estos datos se utiliza un software especializado para digitalizar la información y calcular los volúmenes de corte y terraplén. Los softwares permiten una inspección visual para lograr identificar conocimientos actuales o de una futura condición de las vías y visualizar prioridades para actuar [4].

En este proyecto para tener una mayor precisión se hizo una fusión entre los datos tomados con Dron y RTK, los mismos que luego se procesaron en softwares especializados para el diseño definitivo de la vía.

Etapa 4: Análisis de suelo de la subrasante natural

En esta etapa se determinaron los estratos existentes en el suelo con la intención de conocer el tratamiento que debe aplicarse previo a la construcción de la carretera. Con el objetivo de evitar anomalías o fallas geológicas que puedan afectar la estructura física de la obra a largo plazo. Los puntos principales de esta etapa fue la extracción de calicatas y diseño de asfalto.

Se extrajeron 5 calicatas de 0,50 m, 1,00 m y 1,50 m de profundidad con el objetivo de establecer las propiedades físico-mecánicas del suelo de la subrasante. Dichas calicatas fueron extraídas a lo largo de la vía proyectada, a un intervalo de aproximadamente 500 metros.

Las calicatas por su lado corresponden a la toma de muestras del suelo del sector, para este proyecto se realizó toma de muestra en 5 puntos a lo largo de la zona de intervención. En la tabla 2 se presenta el resumen de los datos extraídos de las calicatas.

Tabla 2: Resumen de los ensayos realizados a la subrasante.

# Calicata	ABS. SONDEO	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CLASIFICACIÓN AASHTO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	PASANTE TAMIZ #4	PASANTE TAMIZ #40	PASANTE TAMIZ #200	DENSIDAD SECA MÁXIMA DEL SUELO (kg/cm ³)	CBR (%)
1	0 + 050	Material color gris, con el 15.12% de humedad natural.	A-2-7	15.12	39.7	25.9	13.9	98.7	28.2	4.34	1883	7.17
2	0 + 500	Material color gris, con el 15.31% de humedad natural.	A-2-7	15.31	43.52	29.02	14.50	98.15	29.93	4.95	1790	7.20
3	1 + 000	Material color gris, con el 15.43% de humedad natural.	A-2-6	15.43	35.45	19.15	16.30	98.31	29.37	4.64	1840	5.44
4	1 + 500	Material color gris, con el 15.30% de humedad natural.	A-2-6	15.30	37.39	22.54	14.85	98.73	28.43	4.31	1855	7.18
5	2 + 100	Material color gris, con el 14.90% de humedad natural.	A-2-7	14.90	41.23	24.47	16.76	99.66	25.97	3.79	1819	4.18

Se procedió a realizar cada uno de los ensayos correspondientes a las muestras conseguidas de cada uno de los estratos, de esta manera se realizaron todas las pruebas indicadas de laboratorio y posteriormente se clasificaron estas muestras del suelo de acuerdo con la AASHTO A-2-6 y A-2-7, tabla 3. Cabe destacar que se ha utilizado las normas INEN y ASTM al momento de realizar los ensayos de laboratorio. Así mismo, se describe cada uno de los estratos encontrados, proporcionando valores numéricos de los resultados obtenidos a través de los ensayos.

Tabla 3: Resumen de los ensayos realizados al material de mejoramiento.

	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	CLASIFICACIÓN AASHTO	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE PLÁSTICO (%)	PASANTE TAMIZ #4	PASANTE TAMIZ #40	PASANTE TAMIZ #200	DENSIDAD SECA MÁXIMA DEL SUELO (kg/cm ³)	CBR (%)
BASE	Material color café, con el 8.69% de humedad natural.	A-2-4	8.69	18.60	15.73	2.87	41.25	22.97	5.97	2210	81.60
SUB-BASE	Material color café, con el 7.25% de humedad natural.	A-2-4	7.25	23.70	19.21	4.49	48.13	22.63	10.57	2131	67.58

De acuerdo con la inspección realizada en el campo y los resultados de los ensayos, se puede diagnosticar un suelo o capa superficial variable, el cual está estructurado por una capa de tierra vegetal cuyo espesor es variable y las capas subsiguientes son uniformes, las cuales están compuestas por arcillas arenosas y arcillas limosas, hasta la profundidad investigada.

Etapa 5: Procesamiento de datos de campo y diseño de la propuesta

En esta etapa se utilizaron los programas especializados AutoCAD y Civil 3D para procesar los datos del levantamiento altimétrico. Se utilizan estos programas porque brindan la facilidad de trabajar con herramientas básicas de dibujo digitalizado como: curvas, líneas, polilíneas, entre otras. Que con el procesamiento adecuado de los puntos pasan a ser polilíneas para luego ser exportados como el eje definitivo del diseño de la vía o carretera, lo que busca en este proceso.

Para esto lo primero que se realiza es importar los puntos, estos se ingresan con su número correspondiente, coordenada, cota y código. Posteriormente con los puntos ingresados se genera el Modelo Digital del Terreno, que corresponde a la superficie del proyecto, con la superficie creada se selecciona el grupo de puntos que van a generar las curvas de nivel para el proyecto vial.

El plano en planta que se muestra en las fig. 5 y 6 es el resultado de los alineamientos creados anteriormente, con una escala horizontal de 1:1000 y vertical de 1:100 que generalmente viene por defecto.

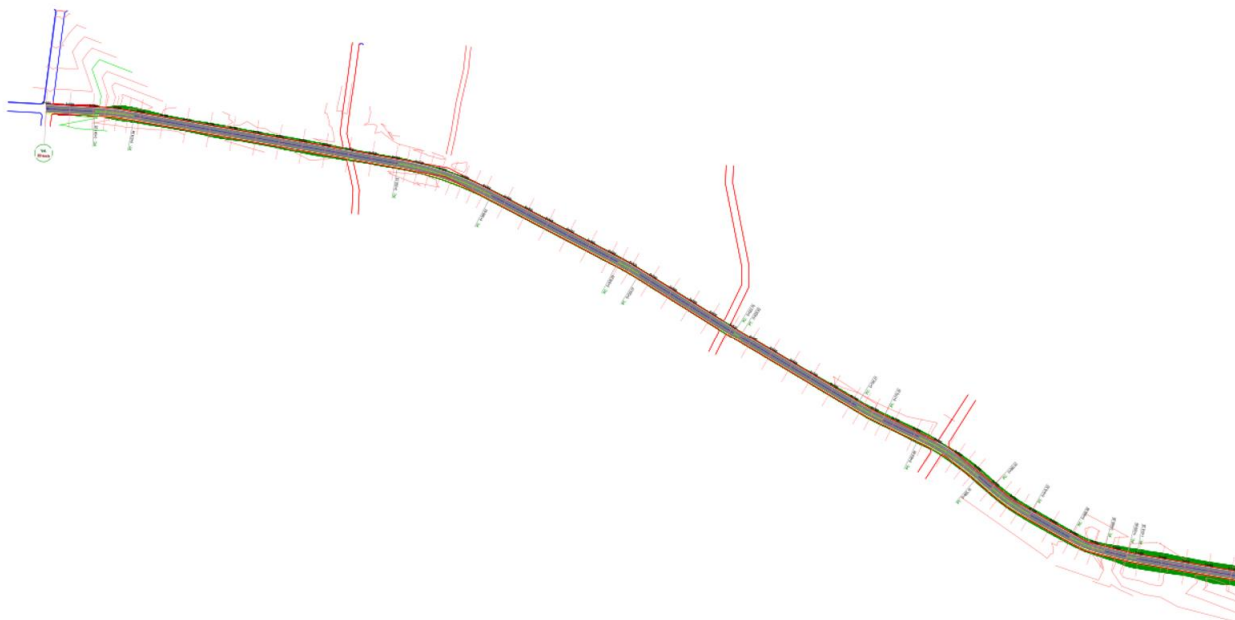


Fig.5: Diseño y trazado proyectado de la vía en software Civil 3D.

Una vez que se tienen los perfiles transversales se realiza la definición de la rasante para la que se trazan las polilíneas respectivas y se las transforma a alineamientos verticales los cuales posteriormente servirán para diseñar las curvas verticales con sus respectivas pendientes.

La fig. 6 representa la rasante y curvas verticales del proyecto, cabe mencionar que la longitud de la curva o radio deseado se aplica de acuerdo a la normativa utilizada y el programa se encarga de calcular automáticamente el resto.

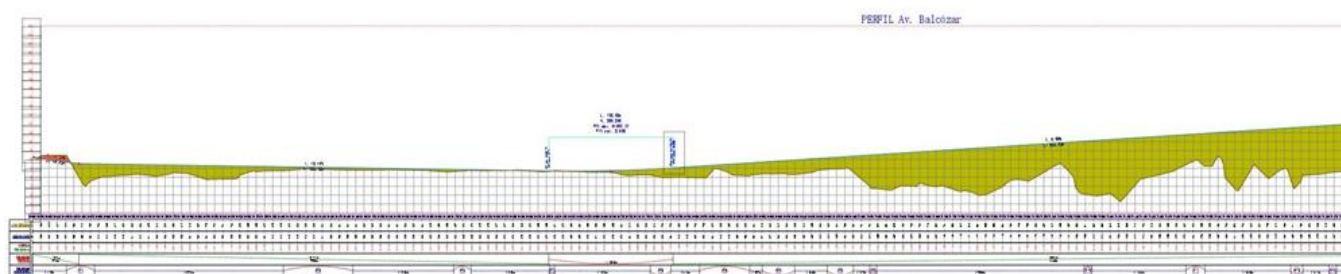


Fig. 6: Rasante y acuerdos de curvas verticales.

Una de las ventajas de utilizar el software Civil 3D es que permite modelar las secciones típicas del diseño que se realiza y luego presenta el ensamblaje, conjuntamente con una Alineación y el Perfil, esto se conoce como Obra Lineal, el cual permite un modelo tridimensional del proyecto "Calle Benalcázar" que combina la definición planimétrica de la alineación, la altimetría del perfil y la configuración transversal del ensamblaje.

Asimismo, estas secciones transversales están compuestas por varios elementos como: bordillos con cunetas, pavimento, base, sub-base, mejoramiento que se realizaron de acuerdo a la extracción de calicatas del sector y los ensayos que determinaron la estructura de la vía. Las fig. 7 y 8 muestran el diseño de la sección realizada en este proyecto vial.

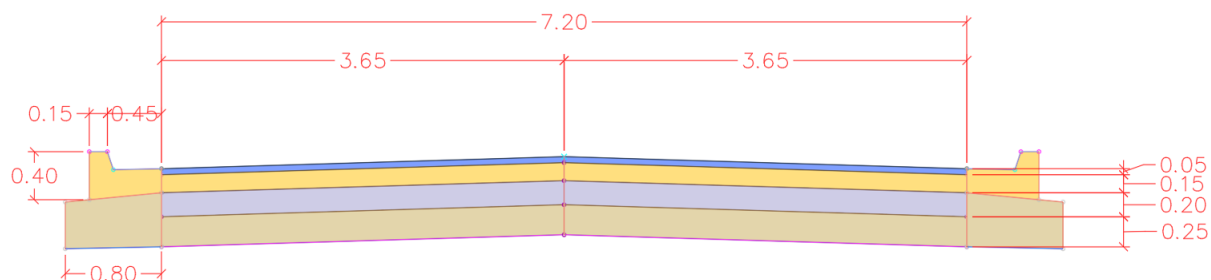


Fig. 7: Sección tipo.

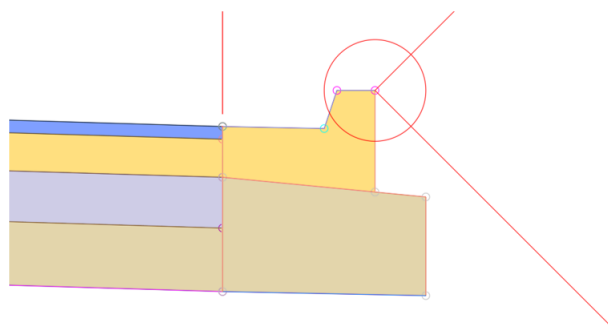


Fig. 8: Sub-ensamblajes.

En este sentido, una vez que se concluyó el diseño digitalizado de calle, respetando las necesidades físicas del terreno y la normativa vial vigente en Ecuador se presentan los planos de diseño definitivo los mismos que son una propuesta para resolver una problemática de movilidad en el ingreso de la ciudad de Huaquillas.

Presentación de la propuesta

La presentación se realizó en láminas tamaño A1 en escala 1:1000 que contienen planos tanto en planta como cortes longitudinales y transversales. Por lo tanto, la fig. 9 muestra el detalle y etiquetado de las curvas horizontales en vista en planta.

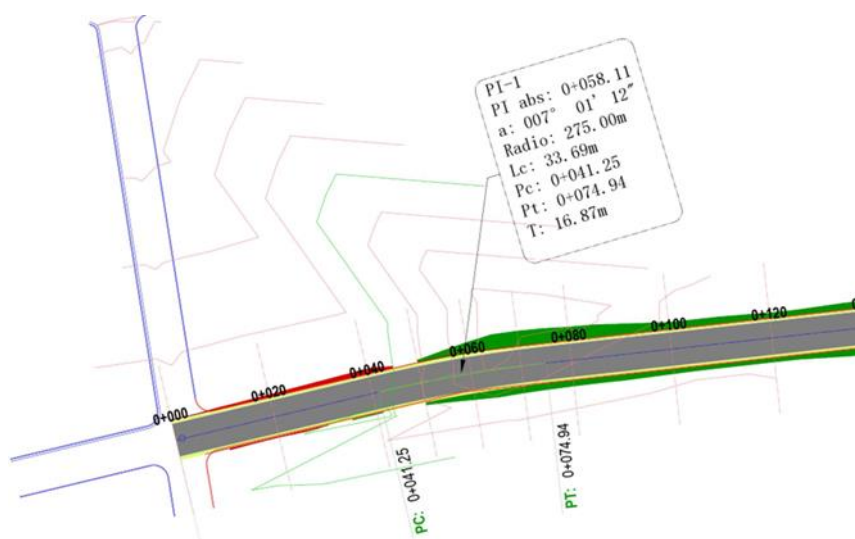


Fig. 9: Detalles de plano de vista en planta.

La fig. 10 es la presentación de los detalles y etiquetado de las curvas verticales en el corte longitudinal. Así mismo, se detallan las abscisas con sus respectivas cotas de terreno y subrasante y las cantidades de corte y relleno.

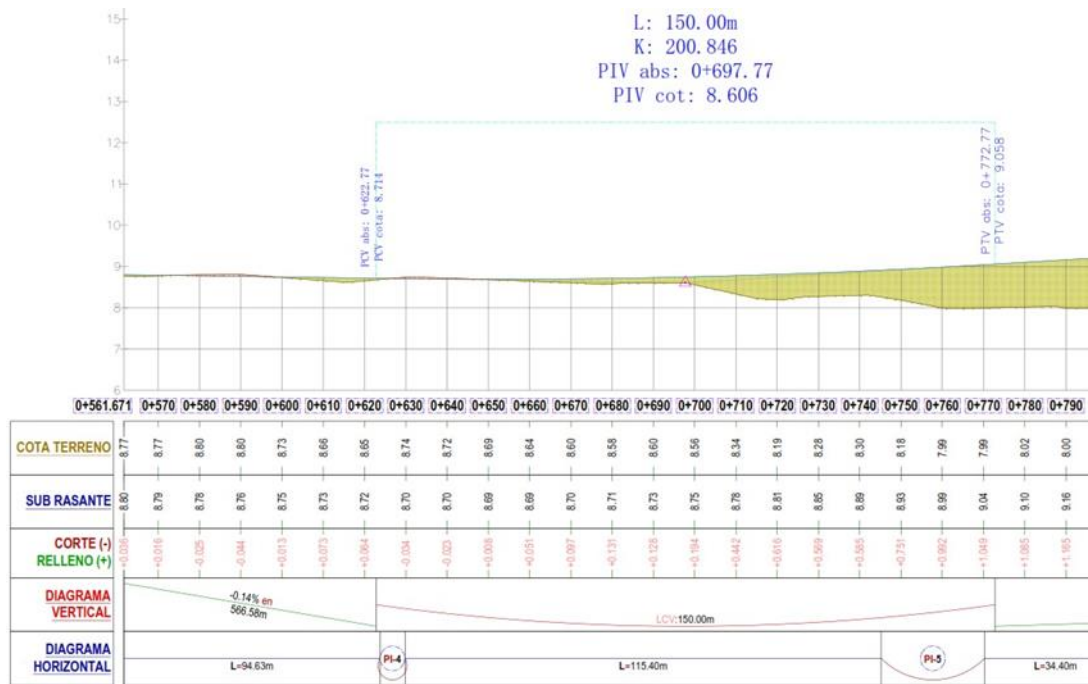


Fig. 10: Detalles en corte longitudinal.

La fig. 11 representa la coordinación planta – perfil de uno de los tramos de la vía, en el se puede ver alineado tanto el plano en planta con su respectivo corte longitudinal.

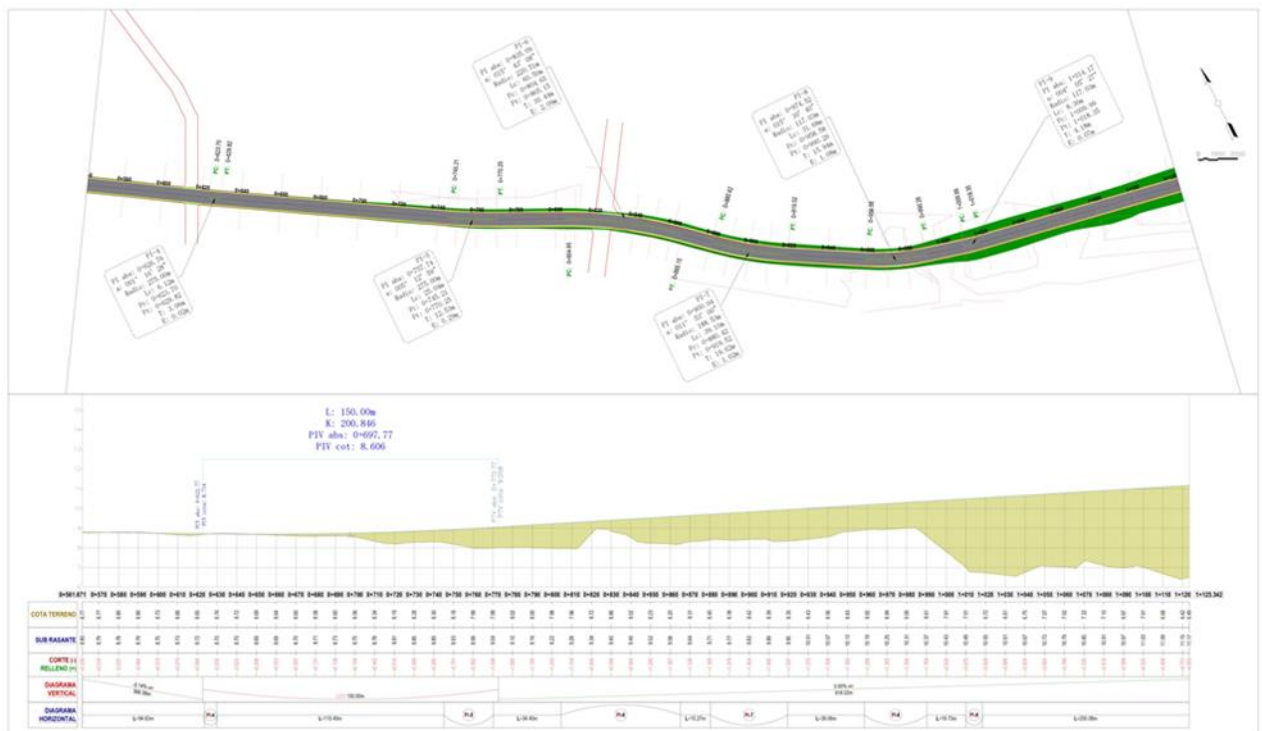


Fig. 11: Coordinación planta - perfil.

La fig. 12 detalla los cortes transversales en cada abscisa a lo largo del eje de la vía, en ellos se especifican las áreas de corte y relleno correspondientes.

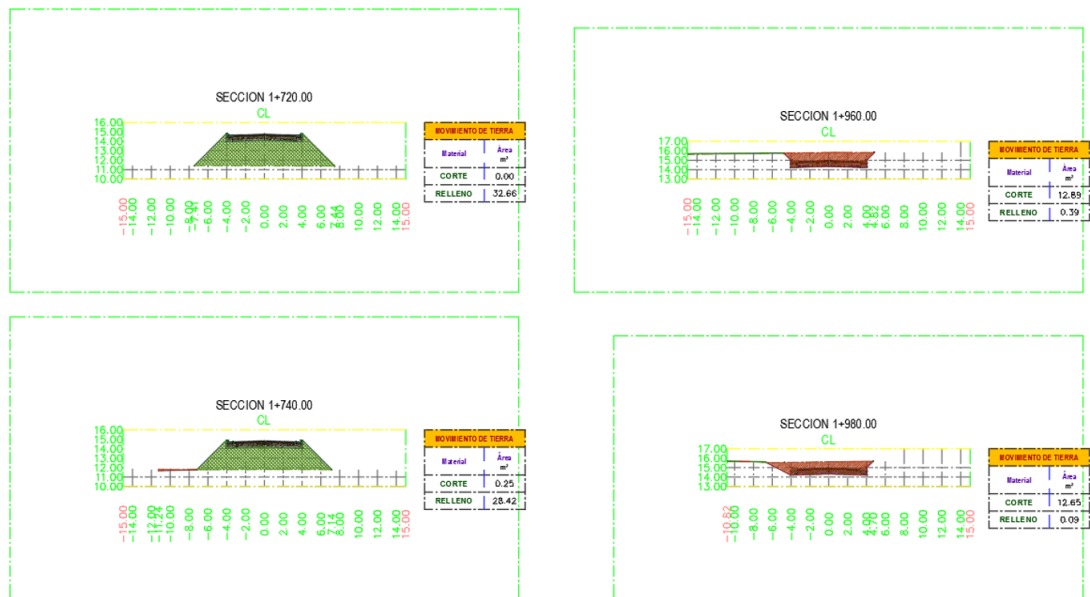


Fig. 12: Detalles en cortes transversales.

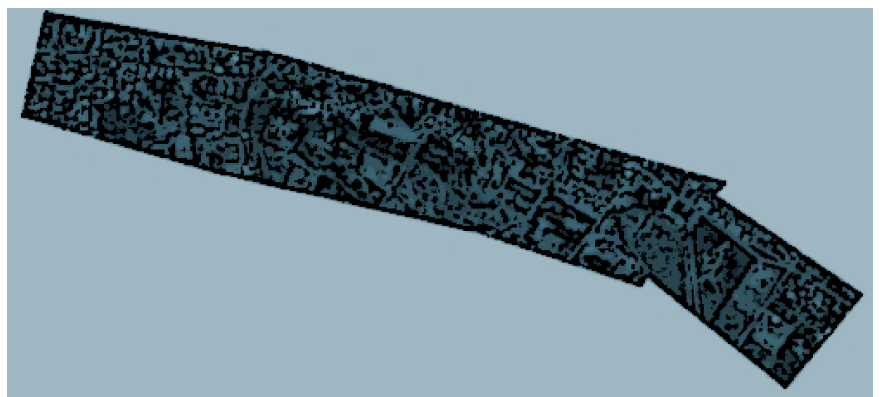
3. CONCLUSIONES

El diseño vial propuesto es importante para el desarrollo económico y productivo de la ciudad, no solo por el descongestionamiento vehicular sino porque se está considerando cuidar y preservar espacios regenerados.

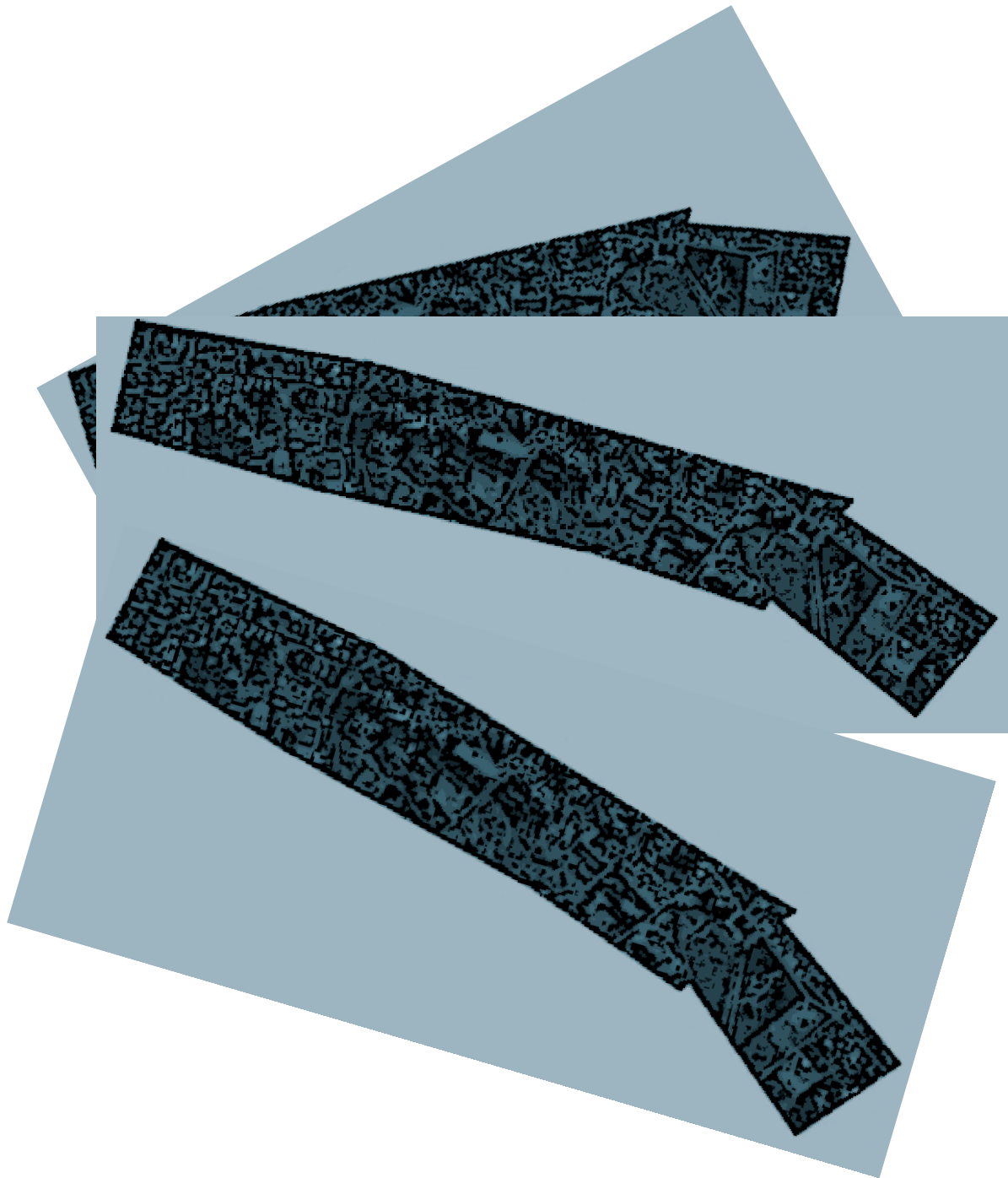
La propuesta de diseño de este proyecto es de 2.121 km de extensión, aplicando el método AASHTO 93 para el que se determinó el paquete estructural de: capa de rodadura 5cm, capa base de 15 cm, capa sub-base de 20 cm y capa de mejoramiento de 25cm.

4. AGRADECIMIENTOS

Destaco mis sinceros agradecimientos al Departamento de Obras Públicas del GADM de Huaquillas, especialmente al Ing. Juan Arias por facilitar datos e información técnica para que este proyecto se lleve a cabo.



1. C. González, M. Rincón y W. Vargas, Ingeniería De Vías: Diseño, trazado y localización de carreteras, Bogotá: Alphaeditorial, 2019.
2. S. Caro y B. Caicedo, «Tecnologías para vías terciarias: Perspectivas y experiencias desde la academia,» Revista de Ingeniería, nº 45, pp. 12-21, 2017.
3. O. d. R. Santana, F. d. J. Gómez, N. V. López, J. A. S. Esqueda y A. T. Espinoza, «Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones,» Revista de Arquitectura e Ingeniería, vol. 14, nº 2, pp. 1-10, 2020.
4. E. Pellicer, R. Paredes, J. Sanjuán y J. Sánchez, «Sistema integral para el mantenimiento eficiente de pavimentos urbanos,» Carreteras: Revista técnica de la Asociación Española de la Carretera, vol. 235, pp. 8-18, 2021.



Análisis De La Capacidad Vial Y Nivel De Servicio De Las Vías De Ingreso De La Ciudad De Machala

Analysis Of The Road Capacity And Service Level Of The Entry Roads Of The City Of Machala

Autores

José Miguel Peñafiel Pavón¹, Carlos Eugenio Sánchez Mendieta², Yudy Patricia Medina Sánchez³

¹Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, jpenafiel2@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Machala, csanchez@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil, Universidad Técnica de Machala, Pasaje, ymedina@utmachala.edu.ec

RESUMEN

El objetivo principal de la investigación surge de la necesidad de analizar los niveles de servicio y la relación volumen y capacidad vial de tramos viales de ingreso a la ciudad de Machala mediante el cálculo del manual HCM 2010 y la comprobación de los datos mediante el software de simulación Aimsun. El proceso a realizar inicia con un aforo vehicular, el cual obtiene datos como velocidades y clasificación vehicular, luego se procesan los datos elaborando tablas de variación de máxima demanda para la obtención del volumen horario de máxima demanda y el factor horario de máxima demanda para el posterior uso del ábaco de Curva Velocidad-Flujo para los niveles de servicio. Cumpliendo este proceso los resultados se detallan a continuación, La Vía Pajonal obtuvo un nivel de servicio A, la Avenida Bolívar Madero Vargas un nivel de servicio C, en la Avenida Colon Tinoco, Ferroviaria, Vía la Primavera y 25 de junio se generaron niveles de servicio B, estos resultados fueron comprobados con las simulaciones realizadas en Aimsun. Se obtuvo la relación entre Volumen-capacidad de las vías donde la Av. 25 de junio, Av. Bolívar Madero Vargas y Vía la Primavera obtuvieron valores de v/c iguales a 23%, mientras que el resto de ingresos se mantienen en valores por debajo del 20% de su capacidad.

Palabras claves: aforos vehiculares, capacidad vial, congestión vehicular, densidad, nivel de servicio.

ABSTRACT

The main objective of the research arises from the need to analyze the levels of service and the relationship between volume and road capacity of road sections entering the city of Machala by calculating the HCM 2010 manual and checking the data using the software aimun simulation. The process to be carried out begins with a vehicle capacity, which obtains data such as speeds and vehicle classification, then the data is processed, preparing maximum demand variation tables to obtain the hourly volume of maximum demand and the hourly factor of maximum demand for the subsequent use of the Velocity-Flow Curve chart for service levels. Complying with this process, the results are detailed below: La Vía Pajonal obtained a level of service A, Avenida Bolívar Madero Vargas a level of service C, in Avenida Colon Tinoco, Ferroviaria, Vía la Primavera and June 25, levels of service B, these results were verified with the simulations carried out in Aimsun. The relationship between Volume-capacity of the roads was obtained where Av. 25 de Junio, Av. Bolívar Madero Vargas and Vía la Primavera obtained values of v/c equal to 23%, while the rest of the revenues remain at values per less than 20% of its capacity.

Keywords: vehicle capacity, road capacity, vehicle congestion, density, level of service.

Nota Editorial: Recibido: Noviembre 2022 Aceptado: Diciembre 2022

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad no existe información publicada por el municipio o alguna entidad pública que hable sobre la demanda vehicular, la capacidad vial y el nivel de servicio de las vías de la ciudad. En futuras décadas el 90% de la población de Latinoamérica llegará a ocupar las zonas urbanas, afectando la movilidad urbana aumentando los volúmenes vehiculares y el congestionamiento en la ciudad. Sin embargo, si existen trabajos investigativos como el ejemplo realizado por docentes de la Universidad Técnica de Machala donde exponen el nivel de servicio de uno de los ingresos a la ciudad donde obtienen un nivel F en el año 2016 [1]. Con la presente investigación se pretende mostrar el análisis de la capacidad vial y los niveles de servicio para establecer soluciones a futuro mediante el proceso de cálculo del HCM 2010.

Los niveles de servicio permiten medir congestionamientos vehiculares existentes en las vías, esto debido a muchos factores como falta de carriles, mala señalización, estacionamientos no permitidos, y demás características que afectan la movilidad, sumado al principal que es el gran flujo de vehículos en las entradas de la ciudad. En Machala existen muchos puntos en los que se logra observar congestionamientos vehicular, por eso es de interés el estudio de las vías para proponer soluciones que competen como Ingenieros civiles, además se ha indicado que mediante las simulaciones se pueden optimizar los flujos vehiculares al tener un debido control [2].

El congestionamiento se define como el excedente de la demanda de tráfico respecto a la capacidad de la carretera en un tiempo determinado [3]. En cuanto a la densidad se identifica como el número de vehículos que pasan por una sección de vía en cierto tiempo, ya sea que estén detenidos o en movimiento. Su unidad es vehículos por kilómetro *veh/km*. Esta sirve para identificar el nivel de servicio de la vía ya que establece rangos en ábacos del manual HCM 2010 [4].

Existen antecedentes investigativos que han analizado la congestión en los cruces urbanos siendo uno de los principales problemas de movilidad en el mundo. Como ejemplo está la investigación realizada en el cruce señalado de Avenida América y Manabí en la ciudad de Portoviejo-Ecuador, donde parte del estudio fue evaluar los niveles de servicio de la intersección. Este método tuvo en cuenta el análisis de las secciones y señaléticas en la vía, se realizaron aforos vehiculares y peatonales varios días de la semana sin verse afectada por la ocurrencia de eventos inusuales que pudieran arrojar datos inexactos para el estudio [5].

1.1. OBJETIVOS Y ALCANCES

La presente investigación tuvo como objetivo el análisis de los niveles de servicio y la relación volumen-capacidad mediante métodos técnicos y experimentales de tránsito en las vías de acceso de la ciudad de Machala. Como alcance del trabajo se obtuvieron los resultados de los niveles de servicio y la relación volumen-capacidad con el uso del ábaco del HCM 2010 de las vías de ingreso de la ciudad. Se detallan los cálculos realizados para sintetizarlos y representarlos mediante tablas y gráficos para su respectivo análisis, comparándolos así con los resultados obtenidos en las simulaciones y proceder a sus debidas conclusiones.

2. METODOLOGÍA

En la figura 1 se muestra la representación del cantón Machala y se identifican con líneas en color rojo a las vías de ingreso de la ciudad, las cuales fueron utilizadas como objeto de estudio. En ellas se observa a la Av. 25 de junio que cuenta con cuatro carriles de ingreso y cuatro carriles de salida a la ciudad, la Av. Ferroviaria cuenta con tres carriles tanto al ingreso como en su salida, la calle Colon Tinoco cuenta con dos carriles de ingreso y dos de salida, la Av. Bolívar Madero Vargas cuenta con una vía bidireccional de 4 carriles, la Vía la Primavera y Pajonal son bidireccionales con dos carriles cada una. Estas vías se consideran de flujo rápido y no mantienen intersecciones semafóricas hasta cierto punto de las zonas urbanas.

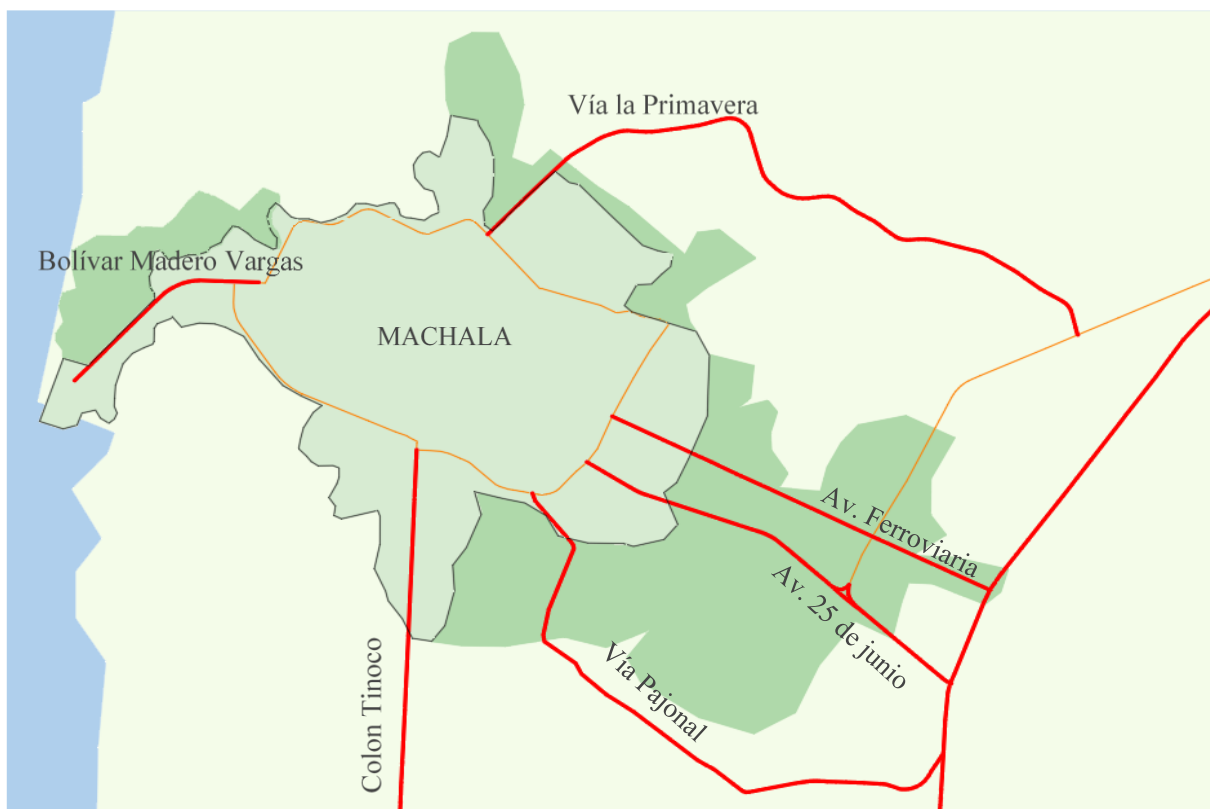


Figura 1: Ingresos de la ciudad de Machala

En el primer paso se obtuvieron los datos de las vías estudiadas, para ello se realizó un aforo vehicular donde se toman datos importantes como los flujos vehiculares con el manejo de información de los contadores vehiculares automáticos, herramienta útil que evita tener el rango de error que se pueden obtener realizando conteos manuales. Estos aforos se realizaron en cada vía durante 7 días consecutivos. Los datos de salida que se necesitan de estos aforos serán el registro de velocidades, longitudes, tipos de vehículos, separación entre vehículos, densidades, volúmenes hasta informes donde se combinan varios datos [6]. Los cuales se obtienen con el uso del software de Metrocount en los informes de velocidades, tipos de vehículos, aforos vehiculares, porcentajes de vehículos de acuerdo a su dirección. Luego se procesan los datos mediante las fórmulas y cálculos que se establecen en el manual HCM 2010, además del uso del ábaco velocidad-flujo. Se utiliza el software de simulación vehicular AIMSUN, que da una mejor apreciación y entendimiento de la zona estudiada. Todas estas herramientas ayudan a llegar al correcto análisis por ser muy detallados y manejables. La simulación necesita de datos tales como velocidades, flujo vehicular y detalles geométricos que servirán para la comparación con los datos obtenidos mediante los cálculos [7].

Los valores obtenidos son aceptables en base a la investigación, sin embargo, los valores predeterminados en los ábacos del HCM 2010 como se representan para este método tienen un grado de sensibilidad y fueron obtenidos con parámetros que provienen de EE.UU, por ello se requiere una consideración especial y de ser posible, realizar la calibración con los datos de la vía a estudiar [8, 9].

Los niveles de servicio actualmente se definen como la capacidad de una sección midiendo la calidad operacional que ofrece al usuario. También se define como la relación de las capacidades viales y los flujos vehiculares, proponiendo así una escala desde A hasta F, siendo A una intensidad moderada y F la máxima intensidad antes del colapso [10, 11]. Para ello se verifica mediante los cálculos respectivos, ya que intervienen datos como la infraestructura vial, los semáforos, las velocidades, los diseños de las intersecciones, etc.

Para el análisis de los resultados se obtendrán los niveles de servicio de cada ingreso, lo cual se ilustrará de manera gráfica como se establece en el simulador, con el código de colores observado en la figura 2.

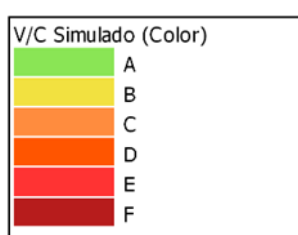


Figura 2: Niveles de servicio en simulaciones

3. RESULTADOS

A continuación se presenta en la tabla 1 el resumen de los cálculos obtenidos tanto de la relación volumen-capacidad y niveles de servicio de las vías de ingreso a la ciudad de Machala realizados con el proceso del manual HCM 2010.

Tabla 1: Cuadro de resumen de Niveles de servicio de ingreso

DATOS	COLON TINOCO		FERROVIARIA		VIA LA PRIMAVERA	BOLIVAR MADERO VARGAS	25 DE JUNIO		VIA PAJONAL
	ENTRADA MACHALA	SALIDA MACHALA	ENTRADA MACHALA	SALIDA MACHALA	ENTRADA Y SALIDA	ENTRADA Y SALIDA	ENTRADA MACHALA	SALIDA MACHALA	ENTRADA Y SALIDA
Tasa de flujo equivalente en 15 minutos	351 veh/h/carril	326 veh/h/carril	233 veh/h/carril	203 veh/h/carril	507 veh/h/carril	512 veh/h/carril	499 veh/h/carril	423 veh/h/carril	337 veh/h/carril
Volumen horario por sentido	640 veh/h	592 veh/h	627 veh/h	507 veh/h	862 veh/h	1965 veh/h	1794 veh/h	1572 veh/h	605 veh/h
Factor de hora de máxima demanda	0,93	0,93	0,93	0,87	0,89	0,98	0,94	0,97	0,92
Número de carriles por sentido	2	2	3	3	2	4	4	4	2
Factor ajuste por presencia de vehículos pesados	0,980	0,977	0,965	0,957	0,955	0,978	0,956	0,958	0,977
Porcentaje de camiones en la corriente vehicular	4%	4,7%	7,2%	8,9%	9,4%	4,4%	9,1%	8,8%	4,8%
Automóviles equivalentes a un camión	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Densidad	10 veh/km/carril	9 veh/km/carril	4 veh/km/carril	4 veh/km/carril	8 veh/km/carril	11 veh/km/carril	7 veh/km/carril	7 veh/km/carril	6 veh/km/carril
Velocidad de flujo libre estimada	36 km/h	38 km/h	55 km/h	56,7 km/h	64 km/h	45 km/h	74 km/h	60 km/h	57,4 km/h
Nivel de servicio	B	B	A	A	B	C	B	A	A
Relación Volumen-Capacidad V/c	0,16	0,15	0,11	0,09	0,23	0,23	0,23	0,19	0,15

CURVA VELOCIDAD-FLUJO COLON TINOCO

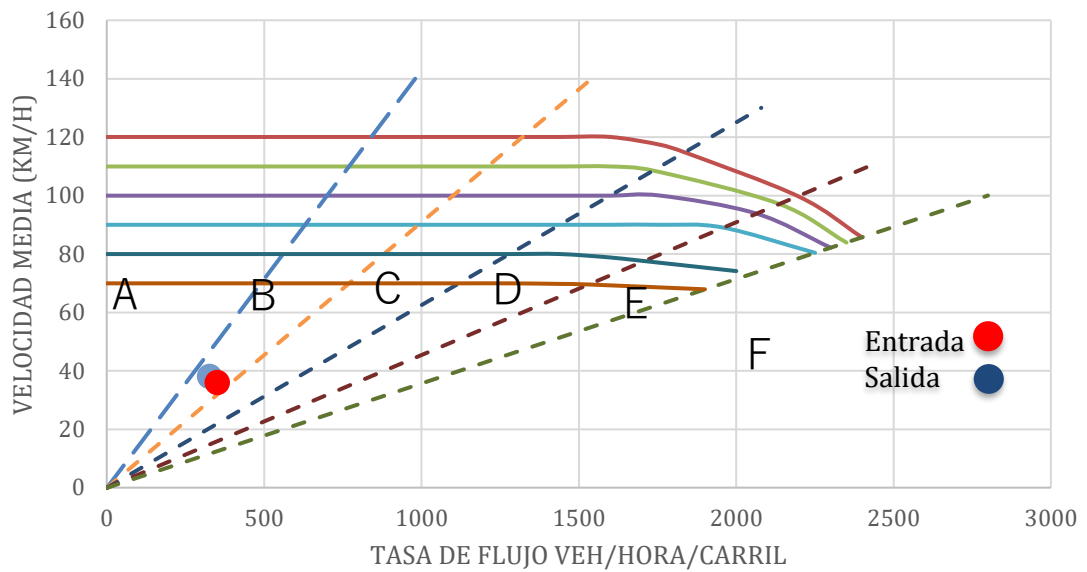


Figura 3: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

En la tabla 1 y en el ábaco realizado observado en la figura 3, se indica un nivel de servicio B tanto al ingreso como en la salida de la ciudad, el cual indica que se encuentra en un flujo vehicular estable, sin embargo en campo en ocasiones se pueden observar dobleces en la movilidad como reducciones de velocidades, o congestionamientos en pequeños lapsos de tiempo.

Además se corrobora en la simulación, pues se obtienen resultados similares. En la figura 4 se observa la vía en un color amarillo lo cual significa un nivel de servicio B, igual al nivel de servicio calculado.

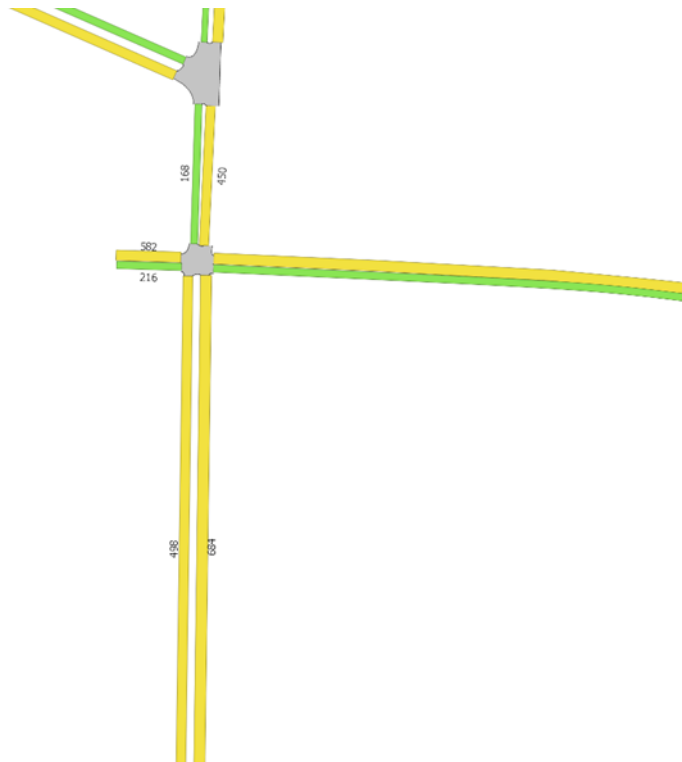


Figura 4: Simulación nivel de servicio Av. Colon Tinoco

CURVA VELOCIDAD-FLUJO FERROVIARIA

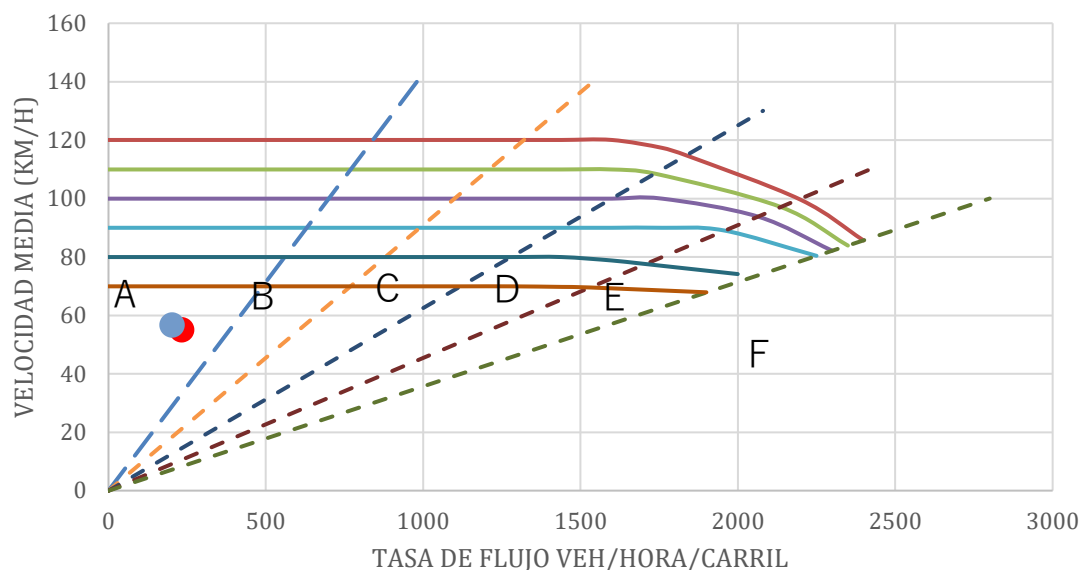


Figura 5: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

En la Av. Ferroviaria se obtuvo un nivel de servicio A, el cual quiere decir que se encuentra en un flujo vehicular libre, y por lo general no se observan problemas con la circulación vehicular y las velocidades se mantienen estables, sin congestionamientos.

En la simulación se obtienen resultados similares, como se observa en la imagen de la figura 6, representado en color amarillo, lo cual significa un nivel de servicio B. En este caso existe una variación del valor obtenido en el ábaco respecto a la simulación debido a que en campo y en simulación existe un semáforo ubicado frente al Terminal Terrestre de Machala que genera que se detengan los vehículos en ese punto, por lo tanto, se tomará un servicio nivel B según se observa en la figura 6.

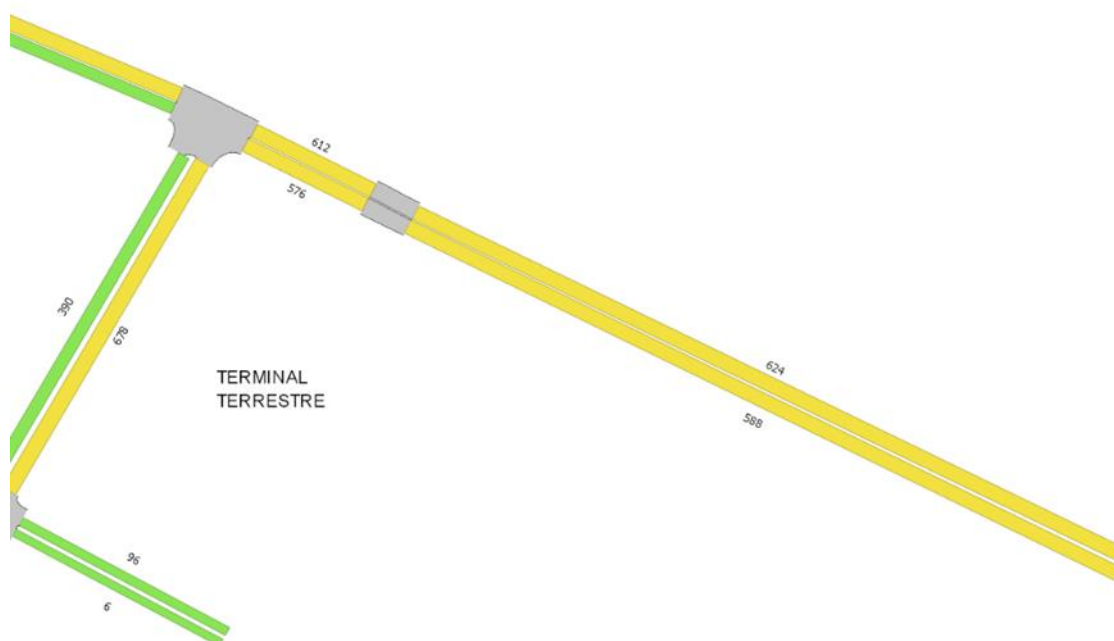


Figura 6: Simulación nivel de servicio Av. Ferroviaria

CURVA VELOCIDAD-FLUJO VIA LA PRIMAVERA

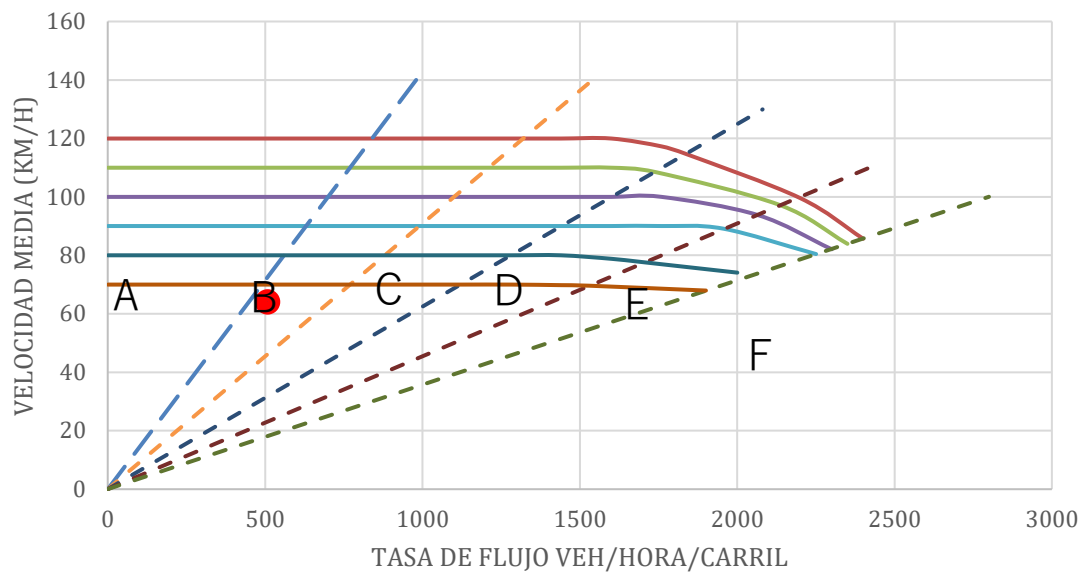


Figura 7: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

En la Vía la Primavera se obtuvo un nivel de servicio B, considerando que el flujo vehicular es estable y puede presentar pequeños conflictos. En la simulación se alcanzaron iguales resultados, como se observa en la figura 8, donde el color amarillo significa un nivel de servicio B que coincide con los cálculos realizados.

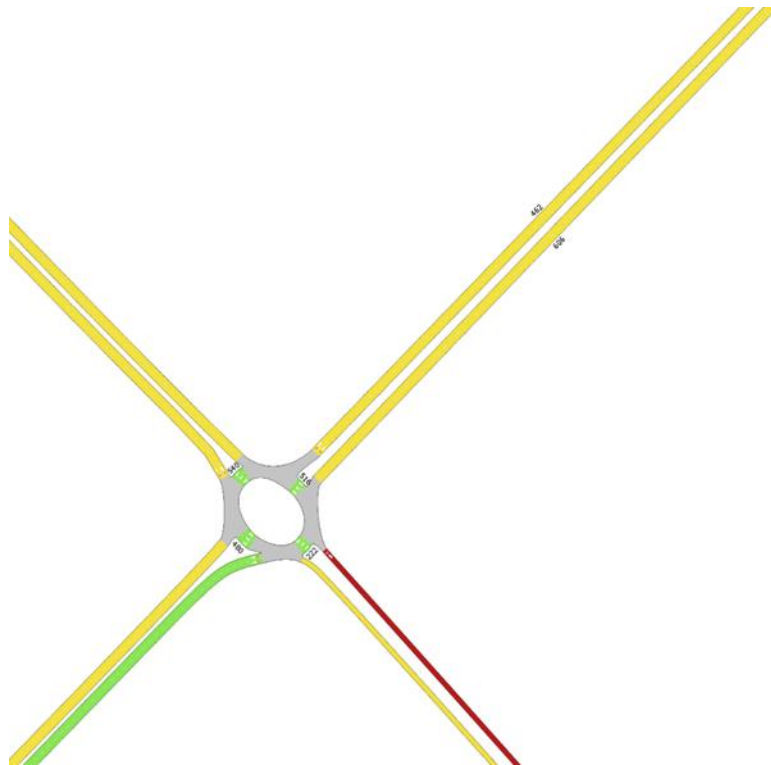


Figura 8: Simulación nivel de servicio Vía La Primavera

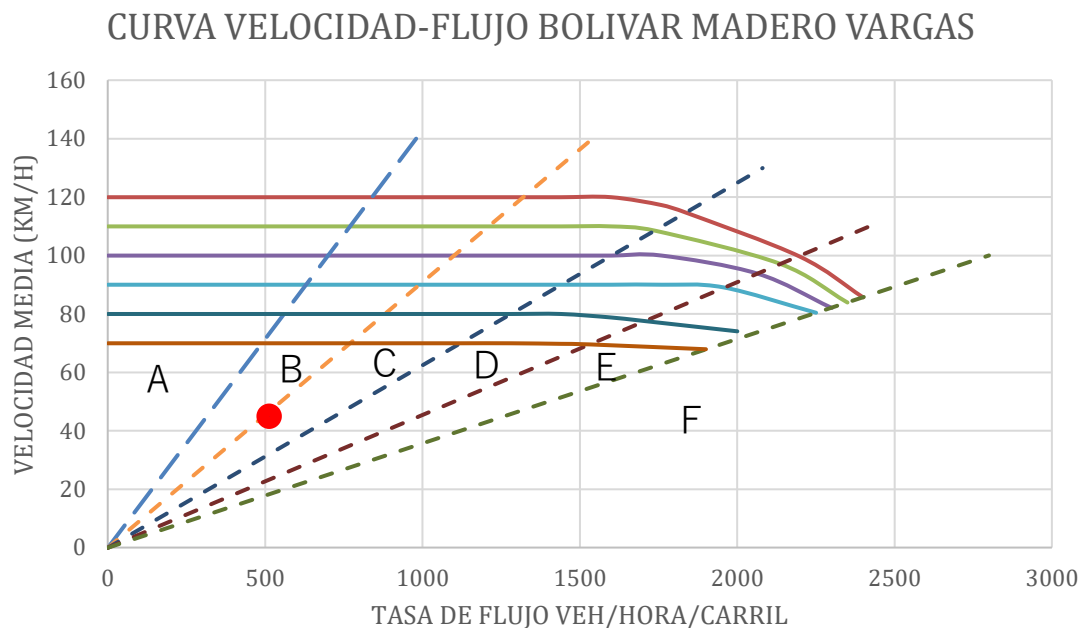


Figura 9: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

De acuerdo a los resultados que aparecen en el cuadro resumen (tabla 1) y en el ábaco de la figura 9, se obtuvo un nivel de servicio C, considerándose el flujo vehicular estable, pero se observa menos libertad de movimiento, y velocidades más bajas. Esta vía, al ser la única que conecta al segundo puerto marítimo más importante del país alberga un tráfico de gran cantidad de camiones de carga, esto se relaciona con el nivel de servicio observado debido a las velocidades con las que tienen que circular y menor libertad de movimiento de los vehículos livianos. Se observa que en la simulación tiene color naranja indicando un nivel de servicio C que coincide con los cálculos realizados, incluso se observa que luego del ingreso de Autoridad portuaria el nivel de servicio mejora a B debido a que los vehículos de carga no avanzan por esa dirección.

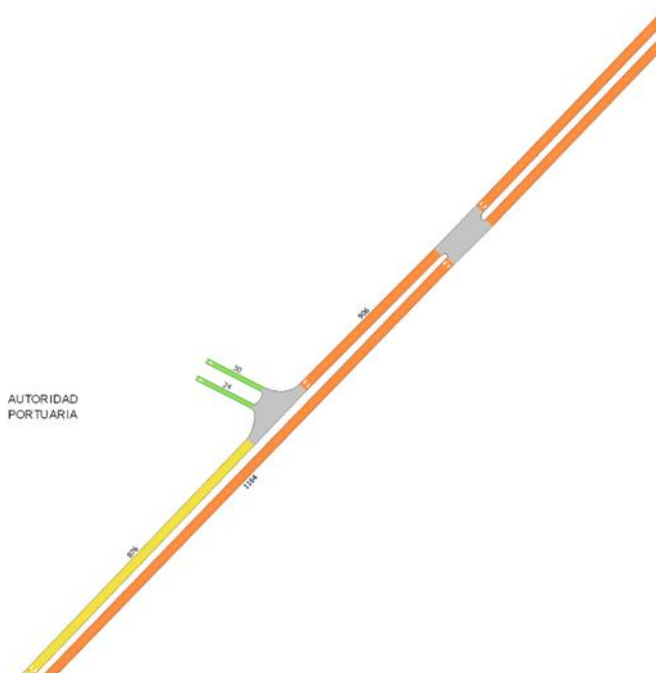


Figura 10: Simulación nivel de servicio Av. Bolívar Madero Vargas

CURVA VELOCIDAD-FLUJO 25 DE JUNIO

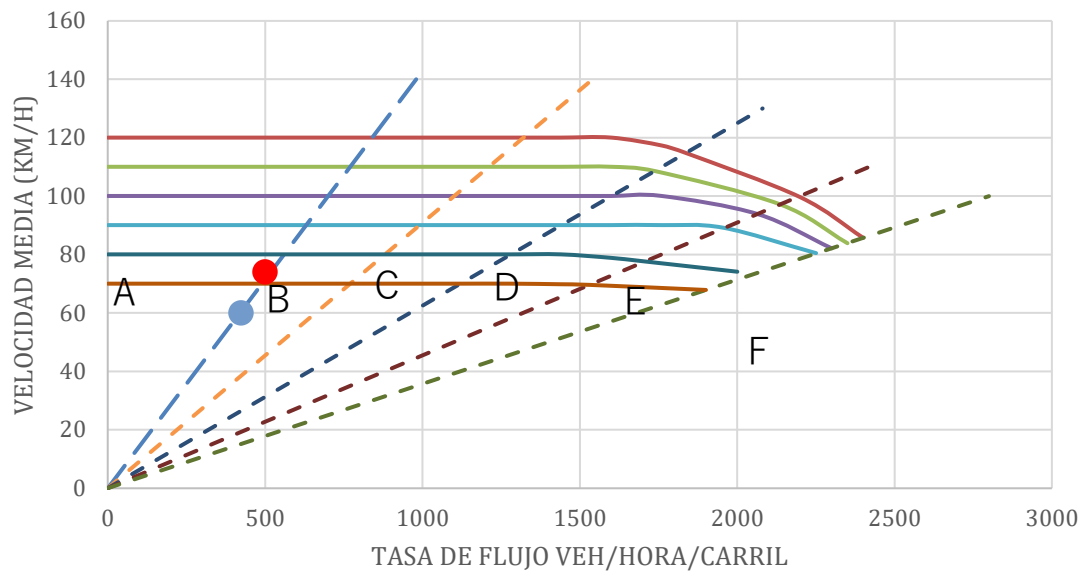


Figura 11: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

El nivel de servicio en la Av. 25 de Junio es B, el cual corresponde a un flujo vehicular estable que puede presentar pequeños conflictos. Con la simulación se confirmaron los resultados, según se muestra en la imagen de la figura 12, estando con color amarillo la vía lo cual significa un nivel de servicio B.

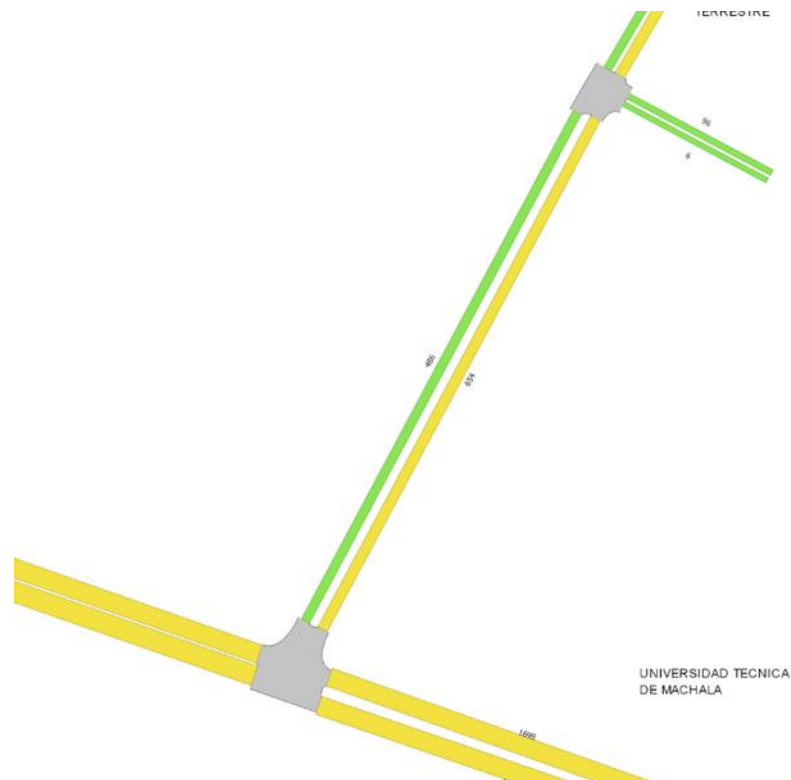


Figura 12: Simulación nivel de servicio Av. 25 de junio

CURVA VELOCIDAD-FLUJO VIA PAJONAL

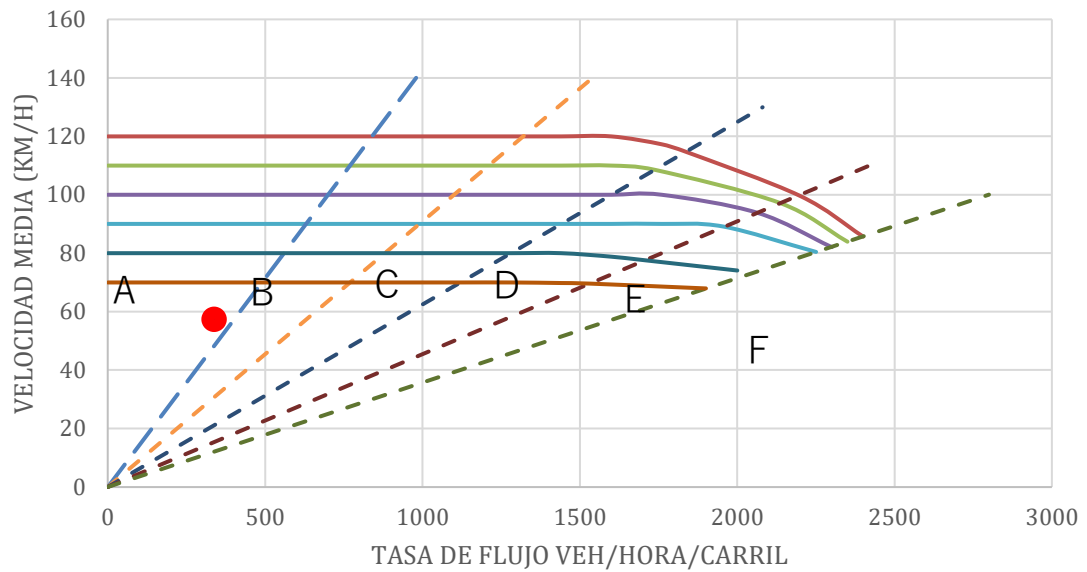


Figura 13: Curva Velocidad-Flujo según HCM 2010

En la vía Pajonal, como se observa en el cuadro de resumen (figura 1) y en el ábaco realizado, se obtuvo un nivel de servicio entre A, indicando un flujo vehicular libre. Se comprobó en la simulación resultados similares, como muestra la siguiente imagen en un color verde lo cual significa un nivel de servicio A que coincide con los cálculos realizados.



Figura 14: Simulación nivel de servicio Vía Pajonal

4. CONCLUSIONES

Se verifica que la relación entre el volumen de tráfico y la capacidad vial actual de los ingresos a la ciudad de Machala no sobrepasan el 25%; siendo las calles de mayor uso respecto a su capacidad la Av. Bolívar Madero Vargas, Av. 25 de junio y Vía la Primavera, donde en todos estos ingresos se obtuvieron relaciones $V/c = 0.23$. Sabiendo que los valores de V/c varían entre 0 y 1, donde 1 es el máximo al que puede llegar una calzada, se comprueba que estas avenidas mantienen un régimen de trabajo aceptable.

Los niveles de servicio obtenidos con la aplicación del Highway Capacity Manual (HCM 2010) variaron entre A y C, donde la Av. Ferroviaria, Vía Pajonal y la Av. 25 de junio en sentido Oeste-Este saliendo de Machala obtuvieron un nivel de servicio A, mientras que la Av. Colon Tinoco, Vía la Primavera y la Av. 25 de junio en sentido Este-Oeste entrando a Machala obtuvieron un nivel de servicio B, finalizando con la Av. Bolívar Madero Vargas que posee un nivel de servicio C, siendo la más afectada tanto en la velocidad como en el flujo vehicular.

Aunque la Av. Bolívar Madero Vargas tiene valores V/c iguales a otros ingresos a la ciudad, su nivel de servicio es diferente debido a factores como la densidad vehicular, velocidades de circulación y tasas de flujo.

En las simulaciones vehiculares realizadas con el programa AIMSUN se obtuvieron resultados similares a los obtenidos al aplicar el procedimiento del HCM 2010, con excepción de la simulación de la Av. Ferroviaria donde mediante el cálculo se obtuvo un nivel de servicio A y en la simulación un nivel de servicio B pues posee condiciones físicas que no se toman en consideración en el cálculo realizado tales como cruces semafóricos.



1. E. J. Oyola Estrada, J. C. Berrú Cabrera, E. A. Romero Valdiviezo, L. O. Carrión Romero, F. A. Aguirre Morales, and M. A. Tacuri Rivas, "Evaluación de la congestión vehicular: Av. Castro Benítez y Vía Pajonal, Machala-Ecuador, año 2016," *Cumbres*, ISSN-e 1390-3365, vol. 3, no. 1, pp. 135–142, 2017.
2. C.-Y. Wu, M. Li, R. Jiang, Q.-Y. Hao, and M.-B. Hu, "Perimeter control for urban traffic system based on macroscopic fundamental diagram," *PHYSICA A-STATISTICAL MECHANICS AND ITS APPLICATIONS*, vol. 503, pp. 231–242, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.physa.2018.02.172.
3. W. Brilon and A. Estel, "Differentiated Analysis of Level of Service F Within the German Highway Capacity Manual," *Transportation Research Board of the National Academies.*, 2010, doi: 10.3141/2173-05.
4. D. Naranjo-Torres, "Análisis de la relación velocidad-densidad vehicular de la avenida calle 26 en Bogotá," *Ingenio Magno*, vol. 6, no. 1, pp. 76–88, Jan. 2015.
5. J. Vera, J. Loor, E. O. Hernández, and D. Delgado, "Análisis del nivel de servicio en la intersección de las avenidas Manabí y América, Portoviejo, Ecuador," *Revista de Investigaciones en Energía, Medio Ambiente y Tecnología: RIEMAT* ISSN: 2588-0721, vol. 6, no. 2, pp. 29–42, Dec. 2021, doi: 10.33936/RIEMAT.V6I2.4287.
6. V. T. Arasan and P. Vedagiri, "Study of the impact of exclusive bus lane under highly heterogeneous traffic condition," *Public Transport*, vol. 2, no. 1, pp. 135–155, May 2010, doi: 10.1007/S12469-010-0021-X.
7. M. Y. Madi, "Investigating and Calibrating the Dynamics of Vehicles in Traffic Microsimulations Models," *Transportation Research Procedia*, vol. 14, pp. 1782–1791, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.TRPRO.2016.05.144.
8. J. D. Zegeer, M. Blogg, K. Nguyen, and M. Vandehey, "Default Values for Highway Capacity and Level of Service Analyses," *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2071, no. 2071, pp. 35–43, Jan. 2008, doi: 10.3141/2071-05.
9. G. Thenoux and S. Lastra, "Aplicación y calibración del Highway Capacity Manual versión 2000 (HCM 2000) en una autopista chilena," 2004.
10. A. Louise, "Análisis de capacidad y nivel de servicio en la red de itinerarios peatonales por distritos: Aplicación a la calle Colón, Valencia," 2018.
11. P. K. Bhuyan and M. S. Nayak, "A Review on Level of Service Analysis of Urban Streets," *Transp Rev*, vol. 33, no. 2, pp. 219–238, Mar. 2013, doi: 10.1080/01441647.2013.779617.



Evaluación Del Diseño Geométrico Del Drenaje Transversal En La Vía Tíllales Y El Sitio La Palestina

Evaluation of the Geometric Design of the Transversal Drainage on the Tíllales Road and the La Palestina Site

Autores

Washington Eduardo Barahona Velez¹, Erwin Javier Oyola Estrada², Leyden Oswaldo Carrión Romero³, Elsi América Romero Valdiviezo⁴

¹Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
email: wbarahona_est@utmachala.edu.ec

²Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
email: eyolat@utmachala.edu.ec

³Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
email: locarrion@utmachala.edu.ec

⁴Ingeniero Civil. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala, Ecuador
email: eromero@utmachala.edu.ec

RESUMEN

La carrera de ingeniería civil está enfocada a mejorar la calidad de vida y cubrir las necesidades de las poblaciones humanas, mediante obras que ayuden a esto, que sean seguras, confiables y duren el tiempo correspondiente; estas van a tener un valor que corresponde a su implementación y que vayan cumpliendo con las normativas correspondientes.

El agua es el recurso ambiental mayormente usado, ya que sirve para la vida en sí de los seres vivos y su implementación es indispensable en toda actividad realizada.

En esta investigación se va a realizar un diseño óptimo del drenaje transversal dado por una alcantarilla tipo cajón en la vía Tíllales a la Palestina con las coordenadas N626257 E964117. Para analizar y complementar si la alcantarilla existente cumple con las restricciones técnicas que favorezcan a su correcto uso, se procedió a la toma de medidas geométricas, mediante el uso de la topografía en campo y programas computacionales como el Hydraflow que permiten la determinación de la escorrentía y el caudal máximo, para verificar o tomar apuntes si la alcantarilla mencionada está cumpliendo con los resultados esperados.

En la parte de los resultados, se puso a prueba la extensión de civil cad llamada Hydraflow, en la cual se introdujeron los datos que se obtuvieron en campo, por lo tanto este arrojó los resultados deseados para el estudio, los cuales se van a encontrar en esta parte del trabajo.

Palabras claves: Alcantarilla tipo cajón, Civil Cad, Hydraflow extensión, Topografía en campo.

ABSTRACT

The civil engineering career is focused on improving the quality of life and meeting the needs of human populations, through works that help this, that are safe, reliable and last the corresponding time; these will have a value that corresponds to their implementation and that they comply with the corresponding regulations.

Water is the most widely used environmental resource, since it serves for the life itself of living beings and its implementation is essential in any activity carried out.

In this investigation, an optimal design of the transverse drainage will be carried out given by a box-type culvert on the Tíllales a la Palestina road with the coordinates N626257 E964117. To analyze and complement whether the existing sewer complies with the technical restrictions that favor its correct use, geometric measurements were taken, using field topography and computer programs such as Hydraflow that allow the determination of runoff. and the maximum flow, to verify or take notes if the mentioned sewer is complying with the expected results.

In the part of the results, the extension of civil cad called Hydraflow was put to the test, in which the data obtained in the field were entered, therefore this yielded the desired results for the study, which will be found in this part of the job.

Keywords: Box culvert, Civil Cad, Hydraflow extension, Field surveying.

1. INTRODUCCIÓN

Para el desarrollo de las poblaciones es de suma importancia las obras civiles, ya que son usadas diariamente, entre las cuales se encuentran: carreteras, hospitales, escuelas, redes de alcantarillado; todas ellas deberán estar en constante progreso y mantenimiento, ya que están limitadas a un buen manejo para su correcto funcionamiento [1].

Los drenajes transversales son de suma importancia en toda obra vial, en la actualidad su cuidado y mantenimientos llegan a estar en segundo plano. Debido a esto, están en mayor riesgo de sufrir un fallo, si llegara a ocurrir habrá una aglomeración vehicular en la vía por su colapso o un mal cálculo hidráulico de la misma. Para que no ocurra, en todo estudio del diseño estructural de un sistema de drenaje transversal se realiza tomando un nivel de riesgo el cual es llamado como mecanismo de fallo [2].

En las nuevas obras la calidad del drenaje transversal en vías se torna de suma importancia, ya que va a permitir que las carreteras se mantengan en un buen estado a pesar del clima de la zona, por lo tanto, ayuda tanto al proceso económico como estético del sitio [3].

En las obras de drenaje transversal se encuentran las alcantarillas y los puentes. En el diseño de alcantarillas siempre se va a buscar que estas sean lo más pequeñas posibles y que cumplan a cabalidad para que el gasto del diseño pueda pasar sin problema alguno.

En la vía Tíllales y La Palestina se encuentra la alcantarilla de estudio de la cual se obtuvo su topografía y medidas; en este trabajo se analiza y complementa si dicha alcantarilla cumple con lo que se requiere para que el agua no desborde a la carretera a su máximo caudal.

En la actualidad en países como Nicaragua es permitido usar softwares computacionales para los levantamientos topográficos, y así poder combinarlos entre sí, entre estos programas podemos tener los siguientes: Global Mapper, Google Earth Pro, AutoCAD y CivilCAD [4].

Un buen estudio y diseño para la realización de alcantarillas en la vías permite evitar problemas a futuro, dado que estos estudios deben constar en el tiempo de su máximo caudal lo cual quiere decir en un mayor periodo de retorno, como también saber el recorrido del agua ya que para estos estudios del diseño de la alcantarilla se debe saber por dónde va a dar ingreso el agua, dado que esta sería la parte inicial de la alcantarilla y en la cual se centraría el estudio.

La mala práctica en la realización de estas obras civiles da como resultado un deterioro a corto plazo de la carretera por donde esté ubicado el drenaje transversal en sí, por lo tanto es de suma importancia una evaluación constante de estas alcantarillas para constatar que su diseño geométrico pueda soportar su caudal máximo sin afectar su correcto funcionamiento. Por lo tanto, el objetivo de esta investigación es realizar un análisis del diseño geométrico de la alcantarilla tipo cajón de la vía Tíllales a La Palestina con las coordenadas E626257 N9641171, de la provincia de El Oro. Se realizó el trabajo mediante la toma de puntos por topografía en el sitio y con el empleo de diferentes software como Excel e Hydraflow como una extensión de civil cad. Se evaluó además el diseño actual de la alcantarilla tipo cajón para verificar el cumplimiento de los requerimientos con la toma de datos en el sitio y un software llamado Hydraflow.

2. DESARROLLO

2.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El drenaje transversal de estudio, en nuestro caso la alcantarilla tipo cajón que se va a estudiar, se encuentra en la vía Tíllales a La Palestina, en la figura 1 se aprecia la carretera georreferenciada mediante Google Earth Pro; la cual, es una herramienta tecnológica para la enseñanza y aprendizaje interdisciplinar en algunos espacios de la formación del profesorado [5].

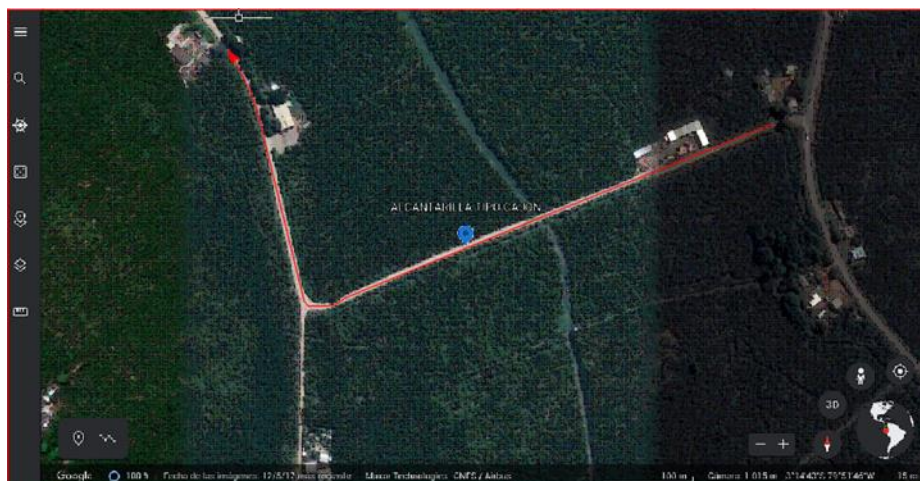


Figura 1: Ubicación Georreferenciada por Google Earth Pro

A continuación, en la tabla 1 se muestran las coordenadas de la alcantarilla a analizar, las cuales fueron tomadas con la ayuda de un GPS al momento de la visita en el sitio de estudio:

Tabla 1: Coordenadas del GPS

VÍA TÍLLES A LA PALESTINA	
COORDENADAS TOMADAS MEDIANTE GPS	
Norte	Este
9641171	626257

La figura 2 muestra el trazado de la carretera por Medio de AutoCAD

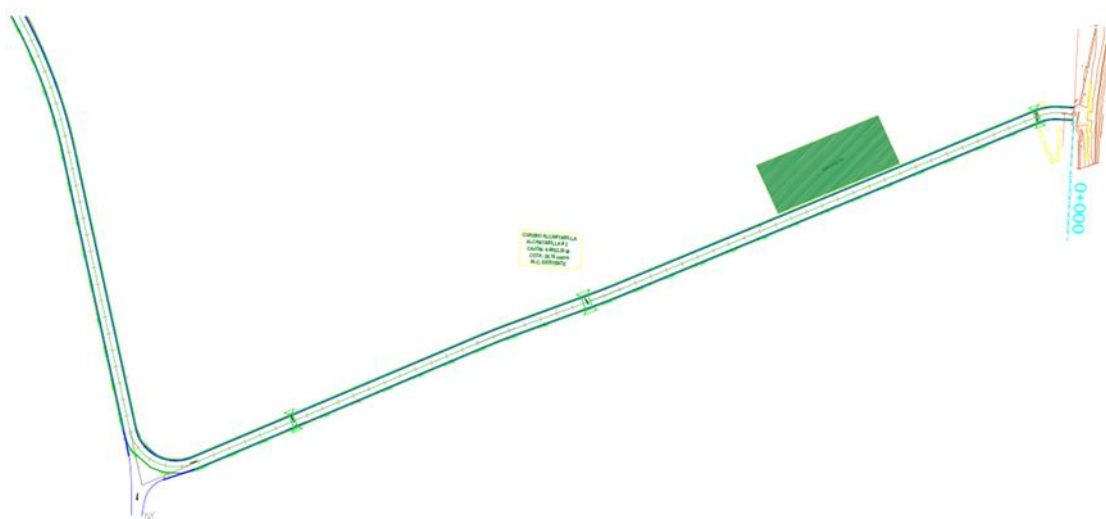


Figura 2: Dibujo vía TÍLLES - LA PALESTINA

2.2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Canales Hidráulicos

Es una obra civil destinada a transportar fluidos, principalmente agua, estos pueden ser naturales o artificiales. Existen dos tipos de canales, abiertos o cerrados, y su diferencia es que en los abiertos su superficie tiene contacto con la atmósfera y en los cerrados pueden estar llenos o parcialmente llenos [6].

Drenaje Transversal en vías

Para el drenaje superficial se debe garantizar la existencia de una pendiente longitudinal en la vía, para su funcionamiento, aprovechando las condiciones dadas naturalmente, esto va dado también con la excavación de la cuneta en lugares donde el agua no pueda fluir naturalmente, siempre si fuera necesario, también se va a tomar en cuenta la pendiente transversal mediante el factor de bombeo [7]. El problema que tienen las redes de drenaje se da cuando las aguas de lluvias aumentan su volumen, provocando un exceso de demanda en estas [8]. Siempre se debe tener en cuenta a la hora de construir carreteras el correcto flujo del agua y en el menor tiempo posible fuera de la superficie de rodamiento, para que no tenga riesgo la obra [9].

Tipos de drenaje transversal

El drenaje es fundamental para asegurar la vida útil de las carreteras [10].

- *Alcantarilla:* Son obras de drenaje menor ya que estas son las encargadas de dar paso a las aguas producidas por las lluvias o de pequeñas cuencas, arroyos. Las alcantarillas de sección cuadrada o rectangular se fabrican de concreto armado, las de forma circular se hacen con tubos de concreto o de acero corrugado. El ancho del ducto del drenaje que pasa transversalmente bajo una vía, debe ser menor a seis metros para poder ser considerado y diseñado como alcantarilla [11].
- *Puente:* Se define como puente a las estructuras que tienen una abertura o luz mayor a seis metros y que estén sobre o debajo de una vía formando parte de ella. Son llamadas obras de arte mayor, ya que estas van a hacer las encargadas de dar paso a grandes cuencas hidrológicas, como los ríos, lagos y valles.

Estudio de campo

Estos se van a dar para obtener y poder evaluar toda la información requerida para el estudio, como son el estado actual de la alcantarilla, su topografía e hidrología del sitio.

En la figura 3 se observa el estado actual de la alcantarilla de estudio:



Figura 3: Estado actual de la alcantarilla

2.3. METODOLOGÍA

El siguiente trabajo consiste en realizar un estudio técnico – práctico de una alcantarilla tipo cajón en la vía Tíllales a La Palestina, mediante un levantamiento topográfico para sacar los datos en el sitio y así poder trabajar con exactitud, también se utiliza un software llamado Hydraflow que es una extensión de Civil Cad la cual permite ingresar nuestros datos y así poder calcular si la alcantarilla in situ cumple con las normativas y exigencia por la cual fue construida. Este programa posibilita además calcular el caudal máximo en un periodo de tiempo y así analizar si el agua no rebasará la alcantarilla lo cual haría que esta sobrepase la carretera.

En la figura 4 se observan las dimensiones que cuenta la alcantarilla de estudio.

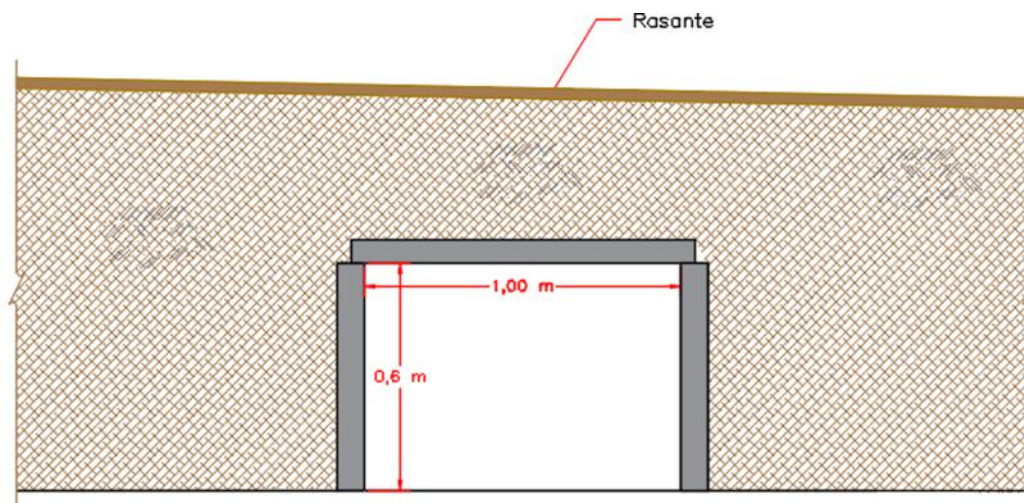


Figura 4: Dimensión actual de la alcantarilla

La figura 5 muestra el ancho y berma que cuenta la carretera por donde pasara el drenaje transversal:

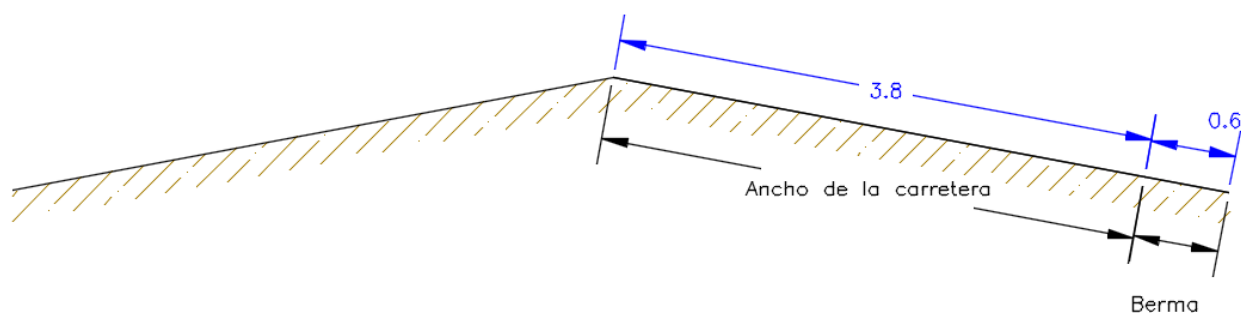


Figura 5: Dimensiones de la carretera

2.3.1. TOPOGRAFÍA

Es la ciencia encargada de estudiar los objetivos con sus detalles y formas, ya sean naturales o artificiales que existen en la superficie de la tierra [12], esto quiere decir que es donde comienza el estudio descriptivo y técnico de una superficie geográfica [13].

➤ Nivelación Geométrica

Esta técnica no es considerada moderna, pero sin embargo es la más factible, rentable y con una buena precisión aunque con incertidumbres pero con resultados aceptables [14].

Para trabajar con el nivel y lograr hacer un levantamiento topográfico, se lo debe colocar en un punto de referencia A y luego otra persona se coloca en otro punto B con el estado topográfico, se deberán leer las estadías superior e inferior para poder determinar el número generador [15].

En la figura 6 se muestra el trabajo en campo por medio de la Nivelación Geométrica:



Figura 6: Nivelación Geométrica

2. RESULTADOS DE LA TOPOGRAFÍA

Con el levantamiento topográfico, se realiza el perfil transversal y longitudinal de la alcantarilla, el cual arrojó los siguientes datos:

• PERFIL TRANSVERSAL

El perfil transversal se calcula mediante un BM (Punto de referencia dado) obtenido de acuerdo al terreno y el nivel que se esté trabajando. Estos datos son tomados aguas arriba y aguas abajo del drenaje transversal [16]. Con los datos obtenidos, en el programa AutoCAD se procede a sacar las dimensiones que faltan, arrojando como resultado la alcantarilla de estudio, como se observa en la figura 7:

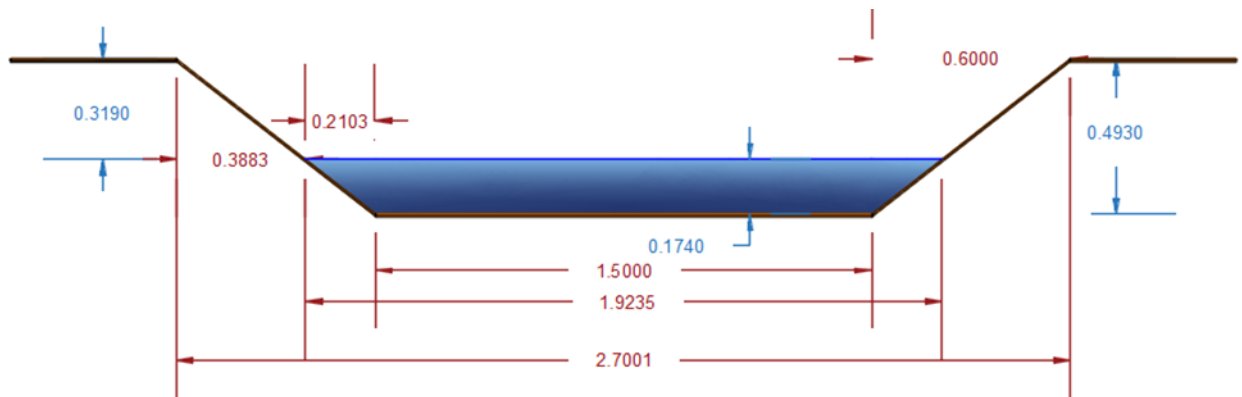


Figura 7: Perfil Transversal

H = Profundidad total del canal = 0,493 m

H-y = Borde libre = 0,319 m

Y = Tirante de agua = 0,174 m

b = base del canal = 1,5 m

T = espejo de agua = 1,9235 m

Mediante el uso del programa excel se calcula el perfil transversal, como se muestra en la figura 8:

NIVELACIÓN PERFIL TRANSVERSAL CANAL								
PUNTO EST.	PUNTO OBS.	LECTURAS			H + I	COTA	OBSERVACIONES	DISTANCIAS
		ATRÁS	INTERMEDIA	ADELANTE				
E1	A	1.713			22.413	20.70		
	1	1.713				20.700	BM (GPS)	0.000
	2		2.032			20.381	espejo agua	0.387
	3		2.206			20.207	rasante canal	0.600
	4		2.206			20.207	rasante canal	2.100
	5		2.032			20.381	espejo agua	2.312
	6							
	B			1.713	COTA FINAL	20.700	borde canal	2.700
		1.713		1.713				

Figura 8: Nivelación - Perfil Transversal

En la figura 9 se muestra el perfil actual de la alcantarilla mediante el programa Excel:

DESNIVEL A-B				
$\Sigma \text{ Lect. Atrás}$	-	$\Sigma \text{ Lect. Adel.}$	=	1.713 - 1.713 = 0.000
$H + I = \text{COTA partida} + \text{lect. Atrás}$		20.70	+	1.713 = 22.413
$\text{COTA siguiente} = H + I - (\text{Lecturas intermedias ó lect. Adel.})$				= 20.381
COMPROBACIÓN				
$\Sigma \text{ Lect. Adel.}$	-	$\Sigma \text{ Lect. Atrás}$	=	$\text{COTA inic.} - \text{COTA final}$
1.713	-	1.713	=	20.70 - 20.700
0.000				= 0.000 OK

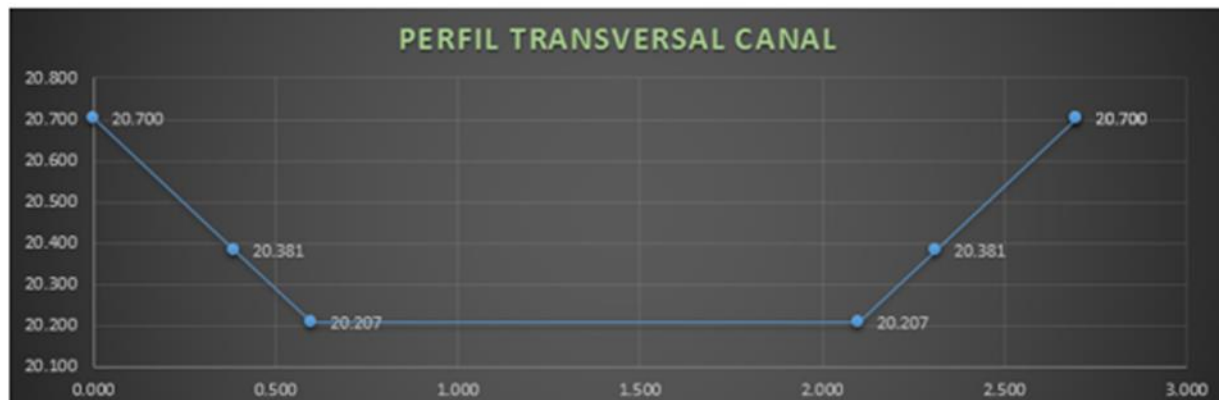


Figura 9: Perfil transversal

• PERFIL LONGITUDINAL

“Son las variaciones de altitud respecto a la distancia horizontal a lo largo del cauce” [17].

Con los datos de la topografía, se procede a sacar el perfil longitudinal:

BM = 20,7 msnm ; D = 20 m ; $t_{\text{prom}} = 57,27$ seg

Lectura inicial = 1,713 m ; Lectura espejo de agua = 1,923 m

Lectura rasante del canal = 2,523 m ; lectura rasante = 2,363 m

Lectura de vía = 1,564 m

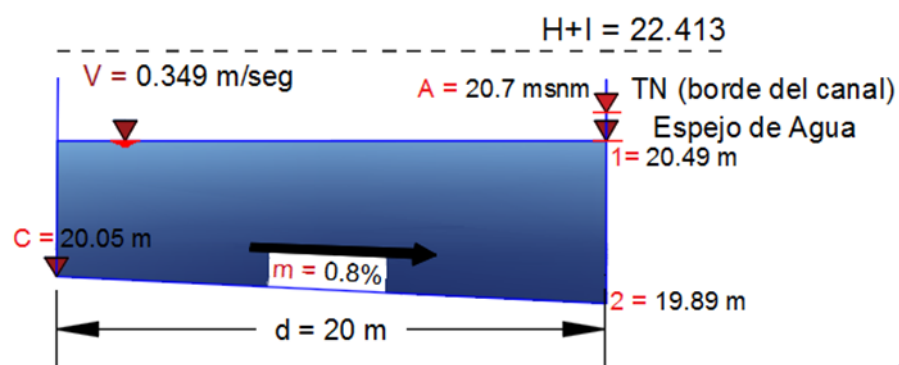


Figura 10: Perfil longitudinal

En la figura 11 se observa la nivelación perfil longitudinal del canal mediante Excel:

NIVELACIÓN PERFIL LONGITUDINAL CANAL								
PUNTO	PUNTO	LECTURAS			H + I	COTA	OBSERVACIONES	DISTANCIAS
EST.	OBS.	ATRÁS	INTERMEDIA	ADELANTE				
E1	2	2.523			22.413	19.890	rasante canal	0.000
	C			2.363	COTA FINAL	20.050	rasante canal	20.000
		2.523		2.363				

Figura 11: Nivelación perfil Longitudinal

En la figura 12 se muestra el perfil longitudinal actual del canal mediante el programa Excel:

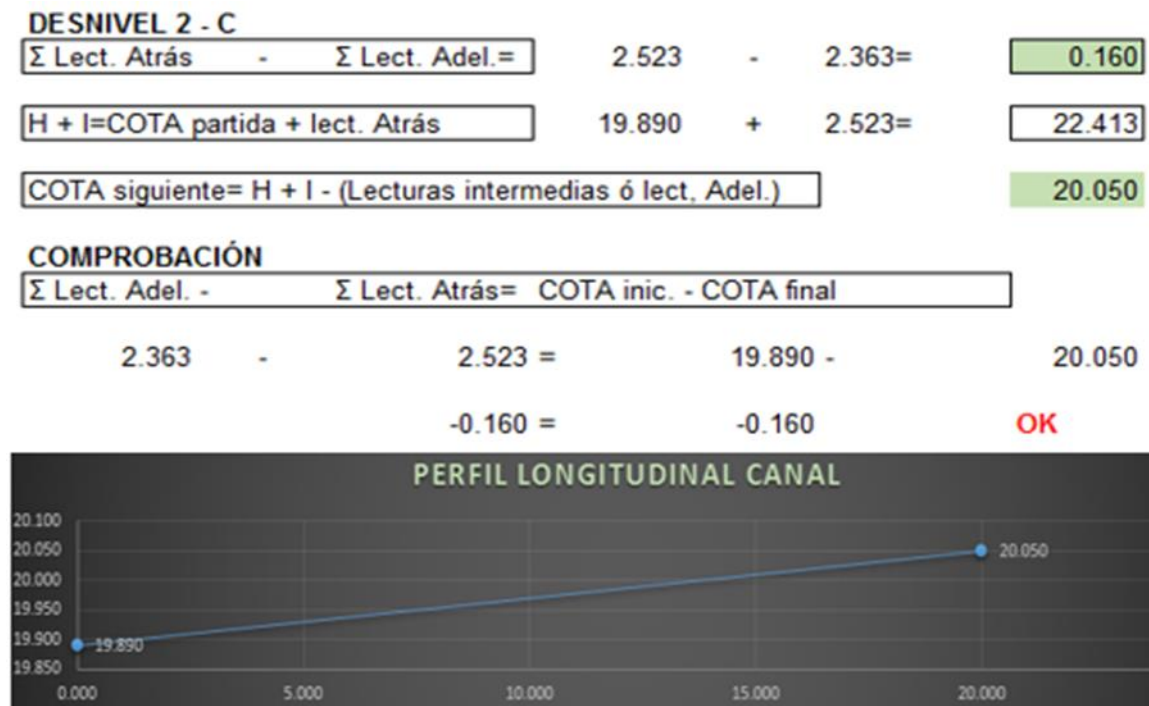


Figura 12: Nivel - perfil longitudinal del canal

3.1. PROCEDIMIENTO DE LOS CÁLCULOS

➤ Velocidad del agua

Para el cálculo de la velocidad del agua, se debe conocer el tiempo que demora el flujo en recorrer toda la distancia, por lo cual se calcula el tiempo mediante una prueba sencilla de colocar un balón de pluma fon con un contrapeso, este procedimiento se realiza diez veces, al final arrojó un tiempo promedio que será el dato a tomar y este fue de 57,27 seg. Ya con el tiempo se procederá a calcular la velocidad:

$$V = \frac{\text{Distancia}}{\text{tiempo}} = \frac{20 \text{ m}}{57,27 \text{ seg}} = 0,349 \text{ m/seg} \quad (1)$$

En el trabajo en campo se hizo el procedimiento del cálculo de la velocidad como se observa en la figura 13 y figura 14:



Figura 13: Toma de la distancia de estudio



Figura 14: Cálculo del Tiempo promedio

➤ Cálculo de la pendiente

“El conocimiento de la pendiente del cauce principal de una cuenca, es un parámetro importante, en el estudio del comportamiento del recurso hídrico” [18]. Para el cálculo de la pendiente (Ecuación de Taylor y Schwartz) [19] vamos a necesitar los siguientes datos:

$$m = \frac{\text{rasante} - \text{rasante del canal}}{\text{Distancia}} = \frac{C - 2}{d} = \frac{20,05 - 19,89}{20} = 0,008 = \mathbf{0,8\%} \quad (2)$$

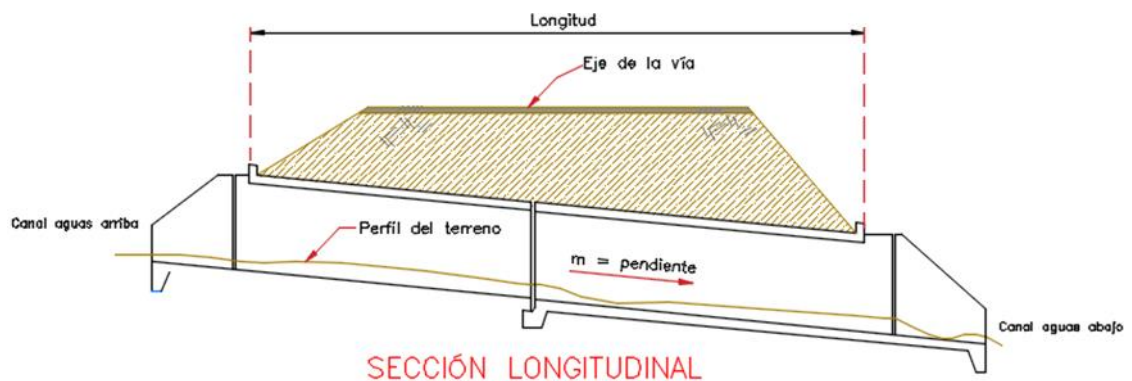


Figura 15: Pendiente - PERFIL LONGITUDINAL

➤ **Cálculo de las áreas**

✓ **Área mayor**

Aquí se calcula el área total de la alcantarilla estudiada, mediante la siguiente formula:

$$A_2 = (b + Z_2 Y_2) * Y_2 = [1,5 + (0,6 * 0,493)] * 0,493 = 0,885 m^2 \quad (3)$$

✓ **Área menor**

El área menor es toda el área mojada, esto quiere decir que es por dónde pasa normalmente el agua, viene dada con la fórmula:

$$A_1 = (b + Z_1 Y_1) * Y_1 = [1,5 + (0,212 * 0,174)] * 0,174 = 0,267 m^2 \quad (4)$$

➤ **Cálculos de los caudales**

✓ **Caudal máximo**

Este es calculado para el área total de la alcantarilla:

$$Q_2 = A_2 * V = 0,885 * 0,349 = 0,309 m^3/seg \quad (5)$$

✓ **Caudal mínimo**

El caudal mínimo es el cual pasa por el área mojada de la alcantarilla:

$$Q_2 = A_2 * V = 0,267 * 0,349 = 0,093 m^3/seg \quad (6)$$

3.2. PROGRAMACIÓN EN HYDRAFLOW EXPRESS EXTENSIÓN FOR CIVIL 3D

Hydraflow Express Extensión se utiliza para controlar el drenaje y la salida de agua en cualquier modo de flujo: parcial o a toda profundidad, con sobrecargas y desbordamientos hasta perfiles de flujo supercríticos con impulso hidráulico [20]. Para la modelación con todos los datos obtenidos se procede a colocarlos en el programa, para visualizar los resultados calculados por este.

Para acceder a la extensión Hydraflow en el programa Civil 3D, se coloca en la pestaña ANALYZE, y luego se dirige a DESIGN, la cual dará varias opciones y escogemos la opción LAUNCH EXPRESS y esta nos abrirá la aplicación HYDRAFLOW EXPRESS, en donde procederemos a ingresar los datos en la opción CULVERT.

➤ **En la sección de la TUBERÍA**

En la Tabla 2 se muestran los datos que se requieren para poder hacer uso del programa:

Tabla 2 Sección TUBERÍA

Cota final longitudinal C- Inv Elv Dn	20,05
Longitud (m) - Length (m)	20
Pendiente (%) – Slope (%)	0,8
Extremo aguas arriba alcantarilla – Inv Elev Up	20,21
Altura (mm) - Rise (mm)	600
Forma – Shape	Box
No. Tubos - No Barrels	1
Coeficiente de Manning – n-value	0,013
Forma geométrica de la alcantarilla–CulvertType	Rectangular Concrete
Entrada a la alcantarilla – Culvert Entrance	Slope tapered, less favorable edges

“La n de Manning es una de las formas de expresar la cantidad de resistencia al movimiento del agua en cauces, naturales o artificiales” [21]

➤ **En la sección del TERRAPLÉN**

En la tabla 3 se introducen los datos del terraplén:

Tabla 3 Sección TERRAPLÉN

Cota superior terraplén (rasante) – Top Elv	20,849
Ancho carriles (3.8)*2 + Berna (0.5)*2 - Top Width (m)	8,8
Longitud de la cresta vertedero – Crest Len	2,7

➤ **En la sección de CAUDALES**

En la tabla 4 se muestran los datos de los caudales

Tabla 4 Sección CAUDALES

Caudal mínimo (m3) – Qmin (cms)	0,0930
Caudal máximo (m3) -Qmax (cms)	0,3090
Incremento del caudal – Qincr(cms)	0,050
Nivel hidráulico – Taiwater (m)	Critical

El programa calcula automáticamente el Extremo aguas arriba de la alcantarilla arrojando el valor de 20,21 msnm, el RISE o altura del tubo (diámetro nominal) es de 600 mm, para un solo tubo, que tiene la alcantarilla tipo cajón. El coeficiente de rugosidad de Manning para hormigón es de 0,013. En la parte del TERRAPLÉN se tiene la cota superior del terraplén que se la calcula mediante la operación de H+I – Lect. de la vía que es igual a 20,849, para el Top width se suma el ancho de la carretera por dos y las bermas por dos, con valor de 8,8m, en los siguientes incisos se colocan los datos ya calculados, el incremento se calcula de 0,05 y el nivel hidráulico será el más crítico.

3.3. RESULTADOS OBTENIDOS CON EL PROGRAMA HYDRAFLOW

Una vez colocados todos los datos se da clic en RUN para que el programa corra y podemos observar los siguientes resultados. Para el caudal mínimo se obtuvo el gráfico de la figura 16:

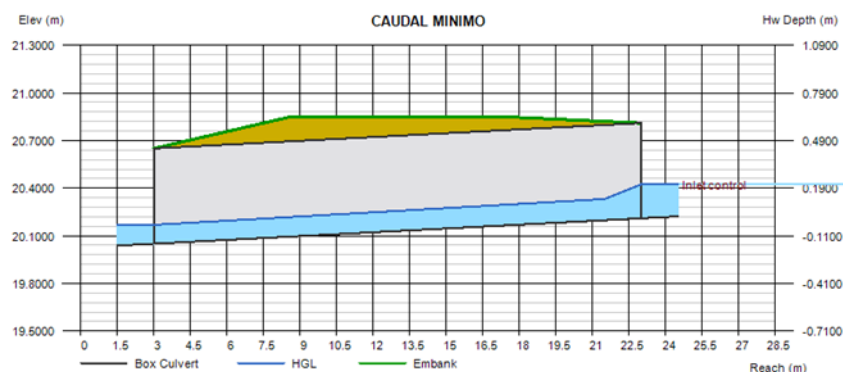


Figura 16: Caudal mínimo

Como se observa, las dimensiones de la alcantarilla para un caudal mínimo son las adecuadas.

Para el caudal máximo se obtuvo el gráfico de la figura 17:

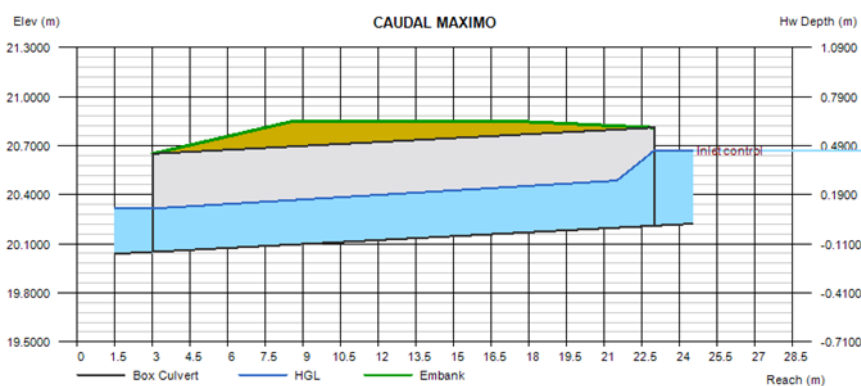


Figura 17: Con caudal máximo

Como se observa en el máximo caudal calculado la alcantarilla cumplirá correctamente para lo cual fue diseñada.

En la figura 18 se exponen los resultados lanzados por el programa Hydraflow Express:

Culvert Report

Hydraflow Express Extension for Autodesk® AutoCAD® Civil 3D® by Autodesk, Inc.

jueves, ago 4 2022

Box Culvert

Invert Elev Dn (m)	= 20.0500	Calculations	
Pipe Length (m)	= 20.0000	Qmin (cms)	= 0.0930
Slope (%)	= 0.8000	Qmax (cms)	= 0.3090
Invert Elev Up (m)	= 20.2100	Tailwater Elev (m)	= Critical
Rise (mm)	= 600.0		
Shape	= Box	Highlighted	
Span (mm)	= 1000.0	Qtotal (cms)	= 0.0930
No. Barrels	= 1	Qpipe (cms)	= 0.0930
n-Value	= 0.013	Qovertop (cms)	= 0.0000
Culvert Type	= Rectangular Concrete	Veloc Dn (m/s)	= 1.1301
Culvert Entrance	= Slope tapered, less favorable edges	Veloc Up (m/s)	= 0.9685
Coeff. K,M,c,Y,k	= 0.5, 0.667, 0.0446, 0.65, 0.5	HGL Dn (m)	= 20.1323
		HGL Up (m)	= 20.3060
Embankment		Hw Elev (m)	= 20.3625
Top Elevation (m)	= 20.8490	Hw/D (m)	= 0.2541
Top Width (m)	= 8.8000	Flow Regime	= Inlet Control
Crest Width (m)	= 2.7000		

Figura 18: Resultados de Hydraflow Express

4. CONCLUSIONES

- Se evaluó el diseño geométrico de la alcantarilla tipo cajón, lo cual permitió obtener como resultado que sus dimensiones son las correctas para los caudales que se pueden dar en la zona.
- Mediante este estudio se considerara el uso de los conocimientos de topografía, en la nivelación geométrica de la alcantarilla en el sitio como también de los programas computacionales de ubicación.
- El programa Hydraflow Express ayudó de una manera más rápida y sencilla, arrojando los datos para calcular los caudales de crecida y así verificar que la alcantarilla estudiada cumpliera sus objetivos de construcción.
- No es necesario volver a hacer el diseño geométrico de la alcantarilla, ya que esta cumple el objetivo para el cual fue construida.

1. J. I. Sánchez Altamirano, «Influencia de la intensidad pluvial para el diseño de un sistema de drenaje del caserío de,» de Diseño de obras hidráulicas y saneamiento, TARAPOTO – PERÚ, 2018.
2. J. Campos, J. González, S. Díaz y Á. Galán, «Metodología para la evaluación del riesgo y la priorización de inversiones en,» V Jornadas de Ingeniería del Agua, pp. 25 - 26, 2017.
3. D. A. CORREA CARVAJAL y T. D. SUAREZ RODRIGUEZ, «FORMULACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO Y USO DE PLACA-HUELLA PARA LA VÍA ALTERNA ENTRE LOS MUNICIPIOS DE LA MESA Y TENA (CUNDINAMARCA),» de título de Maestría, U. S. Tomás, Ed., Bogota, 2019.
4. L. M. López López, E. D. Irigoyen Barrios y E. A. Zeledón Rivera, «Anteproyecto para el sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento para el casco urbano del Municipio de Nandaime, Departamento de Granada para el año 2017,» Managua, Nicaragua, 2017.
5. M. Nelly Polanco, V. Gutierrez y M. Matilde Moglia, «Una propuesta interdisciplinar, a través de la aplicación de Google Earth, para la formación del Profesorado en Biología,» ADBIA - Revista de Educación en Biología, vol. 3, nº Extraordinario, 2021.
6. H. E. Castellano, C. A. Collazos, J. C. Farfan y F. Meléndez Pertuz, «Diseño y Construcción de un Canal Hidráulico de Pendiente Variable,» Información tecnológica, vol. 28, nº 6, 2017.
7. R. A. García Depestre, A. Águila Fleites y L. E. Gálvez Herrera, «Aplicación de la gestión en terraplén de Villa Clara,» Revista de Arquitectura e Ingeniería 2022, vol. 1, p. 16, 2022.
8. E. Cárdenas Gutiérrez, Á. Albitzer Rodríguez y J. Jaimes Jaramillo, «Pavimentos permeables. Una aproximación convergente en la construcción de vialidades urbanas y en la preservación del recurso agua,» Ciencia Ergo Sum, vol. 24, nº 2, 2017.
9. A. Duharte González, E. O. Yero Ramírez y I. N. Vidaud Quintana, «CONSIDERACIONES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS EN UNA ZONA SÍSMICA,» Centro de Información y Gestión Tecnológica de Santiago de Cuba, vol. 1, nº 14, pp. 86-96, 2019.
10. E. Briceño Briceño, . F. Oñate Valdivieso y A. Oñate Paladines, «Evaluación de la capacidad de transporte de caudales y sedimentos del drenaje transversal en una carretera montañosa en los Andes del Ecuador,» Avances Investigación en Ingeniería, vol. 18, nº 1, 2020.
11. AASHTO, «AASHTO LRFD Bridge Design Specifications,» American Association of State Highway and Transportation Officials, 2010.
12. J. C. Castro Moreira y M. A. Vélez Gilces, «La importancia de la topografía en las ingenierías y arquitectura,» Polo del Conocimiento, vol. 2, nº 17, p. 1071, 2017.
13. R. Alfante Hualpa, Artist, COMPARACIÓN DE MEDICIONES CON EQUIPOS TOPOGRÁFICOS: ESTACIÓN TOTAL, TEODOLITO ELECTRÓNICO Y ODÓMETRO DIGITAL, EN UNA LONGITUD DE 1000 m.l. EN EL DISTRITO DE PLATERÍA, PUNO. [Art]. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO, 2021.
14. M. Françoso, L. Pizarro, L. de Almeida y M. da Silva, «Nivelación geométrica de precisión para el control de desplazamientos verticales en la recuperación y refuerzo de viga de concreto, un caso de estudio,» revista ingeniería de construcción, vol. 34, nº 2, 2019.
15. O. d. R. Santana , F. d. J. Gómez Córdova , N. V. López Carrillo y J. A. Saenz Esqueda, «Análisis comparativo de levantamiento topográfico tradicional y tecnología de Drones,» EMPAI Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería Matanzas, vol. 1, nº 01, pp. 2-3, 2020.
16. M. F. Villazón y G. T. F., «Modelación Numérica de la Calidad del Agua en el Rio Rocha en la Sección Compreendida entre el Puente Siles y Puente Killman,» Acta Nova, vol. 9, nº 4, 2020.
17. C. Calvo, M. Salazar, D. Alfaro, S. Fregni y G. E. Alvarado, «El altiplano de Grano de Oro (Moravia, Chirripó): una cuenca reciente de represamiento tectónico en Alta Talamanca, Costa Rica,» Revista Geológica de América Central, nº 65, pp. 321-346, 2021.
18. M. Villón Béjar, «Cálculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas,» Centro Agronomico Tropical de Investigacion y Enseñanza, p. 15, 2017.
19. L. B. VARJE ESTEBAN, «DETERMINACIÓN DE LA PENDIENTE ÓPTIMA PARA EL DISEÑO HIDRÁULICO DE ALCANTARILLAS DE PROYECTOS VIALES EN LA REGIÓN HUANCVELICA,» Huancavelica, 2019.
20. A. A. Batmazova, E. V. Gaidukova y I. O. Vinokurov, «Sobre el tema del uso de AutoCAD para evaluar caudales (sobre el ejemplo del embalse de Kama),» Serie de conferencias IOP: Earth and Environmental Science , vol. 834, 2021.
21. M. C. J. Fernández de Córdova Webster, D. A. J. F. León Méndez, D. Y. Rodríguez López, P. G. Martínez Ramírez y D. M. Meneses Meneses, «Influencia del método de estimación en el coeficiente de Manning para cauces naturales,» Ingeniería Hidráulica y Ambiental, vol. 39, nº 1, pp. 17-31, 2018.