



Optimización de la producción de elementos prefabricados en el marco de la construcción de redes secas y obras civiles en la plataforma de trabajo de Puerto Antioquia–Nueva Colonia (Antioquia)

Andrés Felipe Pérez Villa

Informe de práctica presentado para optar al título de Ingeniero Civil

Asesores

Ainhoa Rubio Clemente, Doctor (PhD) en Ingeniería Ambiental y Doctor (PhD) en Ciencias de la Salud, asesora interna.

Arturo González Restrepo, Ingeniero civil, asesor externo.

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Ingeniería Civil
Apartadó, Antioquia, Colombia
2024

Cita	(Pérez Villa, 2024)
Referencia	Pérez Villa, A. F. (2024). <i>Optimización de la producción de elementos prefabricados en el marco de la construcción de redes secas y obras civiles en la plataforma de trabajo de Puerto Antioquia–nueva colonia (Antioquia)</i> [Informe de práctica]. Universidad de Antioquia, Apartadó, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a la memoria de mis abuelos Jairo Alfonso Pérez Moreno y Rosalba Cardona Vega, todo se lo debo a ellos. El apoyo que me brindaron durante toda su vida se reflejado en la persona que soy. Hoy se ven los frutos de su lucha incansable por verme convertir en un profesional. Donde quiera que estén, gracias por criarme de la forma en la que lo hicieron, les agradezco por todo.

Este documento también va dedicado a mi otra abuela, Ana de Jesús Caro de Villa, gracias también por criarme de la manera en la que lo hiciste y haces, siempre sentí tu compañía y un apoyo incondicional a lo largo de mi proceso estudiantil.

Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento al Consorcio Terminal Marítimo Antioquia COTEMA, por la confianza depositada en mí y por la oportunidad de realizar mi práctica académica en un proyecto de tal magnitud. Mi más sincero agradecimiento al equipo del área de producción onshore por su invaluable colaboración. En especial, a Arturo González, Alejandro Diosa y Maria José Julio, quienes me brindaron su apoyo y conocimiento durante este proceso. Agradezco también al Team Planning por su disposición y paciencia al responder a cada una de mis consultas, contribuyendo a la solidez de este trabajo.

Agradezco a mis compañeros de la Universidad de Antioquia, especialmente a Aiber Durango, Didier Chantaca, Eliasib Peña, Miguel Vanegas, Yisselle Vargas y Valentina Giraldo. Su apoyo y amistad han hecho de este viaje una experiencia inolvidable.

Por último, pero no menos importante, agradezco a mi familia y amigos, en especial a mi madre Leyda Liliana Villa Caro, a mis hermanos Leyla Fernanda Pérez, Tatiana Villa y Jhojan Andrés Villa, a mis tías Diana Villa, Mónica Villa y Marina Castañeda, a mi prima Manuela Martínez Castañeda, a mi amigo Mateo Medina y a mi futura esposa Karen Espinosa Vega. Su amor incondicional y su constante apoyo han sido la fuerza que me ha impulsado a alcanzar esta meta.

A todos, mi más profundo agradecimiento.

Tabla de contenido

Resumen	8
Abstract	9
Introducción	10
1 Planteamiento del problema	13
1.1 Antecedentes	14
2 Justificación.....	17
3 Objetivos	19
3.1 Objetivo general	19
3.2 Objetivos específicos.....	19
4 Marco teórico	20
5 Metodología	24
6 Resultados y análisis	26
8 Conclusiones	48
Referencias	49
Anexos.....	52

Lista de tablas

Tabla 1. Cantidades de acero, concreto y costo de ambos diseños de bordillos.	35
--	----

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación de las plataformas de trabajo de Puerto Antioquia.....	11
Figura 2. Diseño inicial de bordillos prefabricados e in situ.....	28
Figura 3. Diseño inicial de bordillos prefabricados e in situ con hoyos de izaje.....	28
Figura 4. Diseño final de bordillos prefabricados e in situ.	28
Figura 5. Matriz de dosificaciones de concretos empleados en Puerto Antioquia.....	30
Figura 6. Canasta de acero y encofrado de bordillo con diseño inicial.....	32
Figura 7. Vaciado de concreto de bordillo de confinamiento con diseño inicial.....	32
Figura 8. Proceso de acabado del concreto de bordillos de diseño inicial.....	32
Figura 9. Proceso de endurecimiento del concreto de bordillos con diseño inicial.....	32
Figura 10. Bordillos terminados.....	33
Figura 11. Proceso de curado y desencofrado de bordillos.....	33
Figura 12. Izaje de bordillo para transporte.....	33
Figura 13. Acopio de bordillos.....	33
Figura 14. Encofrado de bordillos de diseño final.....	34
Figura 15. Proceso de fundida de bordillos de diseño final.....	34
Figura 16. Bordillos con nuevo diseño terminados.....	34
Figura 17. Acopio de bordillos de nuevo diseño.....	34
Figura 18. Canasta de acero de caja eléctrica tipo IV.....	36
Figura 19. Vista lateral de canasta de acero de caja eléctrica tipo IV.....	36
Figura 20. Sistema de encofrado para caja eléctrica tipo IV (1).....	37
Figura 21. Sistema de encofrado para caja eléctrica tipo IV (2).....	37
Figura 22. Vista lateral (1) de caja eléctrica tipo IV.....	37
Figura 23. Vista lateral (2) de caja eléctrica tipo IV.....	37

Figura 24. Encofrado de caja eléctrica tipo V.....	38
Figura 25. Encofrado interno de caja eléctrica tipo V.....	38
Figura 26. Instalación de banco de ductos de caja eléctrica tipo V.	38
Figura 27. Sistema de encofrado para caja eléctrica tipo V.....	39
Figura 28. Detalle de canasta de acero y panelas de concreto en encofrado de caja tipo V.	39
Figura 29. Vista lateral (1) de caja eléctrica tipo V.	39
Figura 30. Vista lateral (2) de caja eléctrica tipo V.	39
Figura 31. Vista frontal de caja tipo V.....	40
Figura 32. Curado de concreto de caja tipo V empleando antisol rojo.	40
Figura 33. Formato de informe diario de actividades.	41
Figura 34. Formato de gestión de desempeño (1).	42
Figura 35. Formato de gestión de desempeño (2).	43
Figura 36. Formato de gestión de desempeño (3).	44
Figura 37. Registro histórico de SPI.	45
Figura 38. Registro histórico de CPI.....	46

Resumen

Los elementos prefabricados son componentes de construcción fabricados fuera del sitio de construcción principal y ensamblados posteriormente en el lugar. Su importancia radica en su capacidad para acelerar el proceso de construcción, reducir costos, mejorar la calidad y ofrecer flexibilidad en el diseño y la implementación de proyectos de construcción.

La optimización de la producción de elementos prefabricados es esencial para proyectos de construcción de gran envergadura como el de Puerto Antioquia, ubicado en el corregimiento Nueva Colonia, departamento de Antioquia. Este proyecto demanda una gestión eficiente de recursos y procesos para garantizar la ejecución oportuna y rentable de las actividades de construcción. El presente estudio se centró en proponer estrategias para mejorar la eficiencia en la producción de elementos prefabricados, identificando las posibles limitaciones que pudieran producirse durante el proceso, aplicando principios de lean construction, evaluando el uso eficiente del concreto, estableciendo un sistema de planificación efectivo y contribuyendo, finalmente, a la optimización económica del proyecto. Adicionalmente, se creó un catálogo detallado con cada uno de los prefabricados construidos en el proyecto durante el tiempo de semestre de industria.

Palabras clave: Prefabricados, redes, concreto, producción, optimización, Puerto Antioquia.

Abstract

Prefabricated elements are construction components manufactured off-site and subsequently assembled at the main construction site. Their importance lies in their ability to accelerate the construction process, reduce costs, improve quality, and offer flexibility in the design and implementation of construction projects.

Optimizing the production of prefabricated elements is essential for large-scale construction projects such as Puerto Antioquia, located in the Nueva Colonia district of Antioquia. This project demands efficient resource and process management to ensure the timely and cost-effective execution of construction activities. This study focused on proposing strategies to improve efficiency in the production of prefabricated elements, identifying potential limitations during the process, applying lean construction principles, evaluating the efficient use of concrete, establishing an effective planning system, and ultimately contributing to the economic optimization of the project. Additionally, a detailed catalog was created with each of the prefabricated elements constructed during the semester of industry practice.

Keywords: Prefabricated, networks, concrete, production, optimization, Puerto Antioquia.

Introducción

La industria de la construcción desempeña un papel fundamental en el desarrollo económico de numerosos países, incluyendo Colombia, donde su contribución es notable. En particular, en la región de Urabá, se ha observado un crecimiento significativo en la actividad de construcción civil en los últimos tiempos.

Este aumento se ha visto impulsado por una serie de factores, entre los que destacan recursos enmarcados en el plan de desarrollo nacional y en las inversiones considerables realizadas por diversos sectores económicos en la zona, cada una de estas inyecciones económicas se erige a la región de Urabá como un sitio estratégico para el crecimiento del sector económico y de infraestructura del país y de la misma región (DNP, 2021; Zapata y Galvis, 2020).

Este fenómeno revela una tendencia prometedora en términos de desarrollo infraestructural y económico para la región. El aumento en la construcción de obras civiles no solo genera empleo y actividad económica directa en el sector de la construcción, sino que también tiene efectos multiplicadores en otros aspectos de la economía local (Aparicio, 2009). Por ejemplo, la demanda de materiales de construcción aumenta, lo que beneficia a los proveedores locales y a la cadena de suministro en general.

El Consorcio COTEMA, una asociación entre Eiffage GC Marine y TERMOTECNICA, fue seleccionado en noviembre de 2016 por la SOCIEDAD PORTUARIA PUERTO ANTIOQUIA DE URABA SA (CMA-CGM, PIO SAS, Productores de banano, Gobernación de Antioquia...) como Contratista Preferido para el Proyecto PUERTO ANTIOQUIA, en la Bahía de Urabá, Antioquia, Colombia. Desde noviembre de 2016, los equipos de Puerto Antioquia (con la asistencia de su ingeniero EGIS) y COTEMA trabajan en conjunto para optimizar el diseño y reducir la inversión de CAPEX del proyecto.

El proyecto "Puerto Antioquia" se erige como una inversión estratégica crucial para el desarrollo económico y social del departamento de Antioquia y Colombia. Su ubicación (Figura 1) al sur de la bahía colombiana en el golfo de Urabá, junto a la desembocadura del río León, presenta ventajas logísticas considerables para la conexión con el resto del país y el comercio internacional. Con una vía de acceso de 2.5 km, un patio de operaciones de 35 Ha, un viaducto de acceso de 3.8 km donde se incluye un puente sobre el río León y una plataforma marítima de 570 m x 91 m, el puerto impulsará las exportaciones e importaciones, generará empleo, y promoverá el desarrollo

de infraestructuras en la región. Este proyecto representa un paso significativo hacia la mejora de la competitividad de las empresas y la calidad de vida de la población, consolidando a Antioquia como un polo de desarrollo económico y logístico.



Figura 1. Ubicación de las plataformas de trabajo de Puerto Antioquia.

El término "prefabricación" se refiere al proceso de fabricación de componentes de construcción fuera del lugar de su instalación final, con el objetivo de reducir los Tiempos de construcción, minimizar los costos y mejorar la calidad del producto final (Rodríguez, 2006). En el contexto de la plataforma de trabajo de Puerto Antioquia, la prefabricación de elementos juega un papel esencial en la eficacia y la eficiencia del proyecto, permitiendo una ejecución más rápida y controlada de las redes secas y obras civiles.

La importancia estratégica del Puerto Antioquia para la región de Urabá y, por extensión, para el comercio exterior colombiano, se fundamenta en una serie de análisis exhaustivos sobre sus implicaciones logísticas y de infraestructura. El desarrollo planificado de este puerto multipropósito no solo promete una mejora significativa en los costos y tiempos de entrega para las empresas exportadoras antioqueñas y del interior del país, sino que también se erige como un factor crucial para la optimización de la cadena logística regional. La construcción del puerto trae

consigo mejoras viales que no solo facilitarán el acceso a los centros de producción y distribución, sino que también actuará como un catalizador para las exportaciones en general. La proyección de un incremento del 5 al 10% en el empleo regional, junto con mejoras en la calidad de vida, refuerzan aún más su importancia socioeconómica (Zapata y Galvis, 2020). Además, su desarrollo debe abordarse con un enfoque sostenible que garantice la protección del entorno natural y cultural, asegurando un futuro equitativo y próspero para las comunidades locales.

La optimización de la producción de elementos prefabricados representa un desafío crucial en el ámbito de la ejecución de redes secas y obras civiles (Li *et al.*; 2014), particularmente en proyectos de infraestructura como la plataforma de trabajo de Puerto Antioquia en el corregimiento de Nueva Colonia, Antioquia. Este proyecto, de envergadura significativa, demanda una gestión eficiente de recursos y procesos para garantizar la ejecución oportuna y rentable de las actividades de construcción.

La presente investigación se enfoca en explorar y proponer estrategias para optimizar la producción de elementos prefabricados en el marco de la ejecución de las redes secas y obras civiles en la plataforma de trabajo de Puerto Antioquia (Ver Figura 1). Para ello, se llevará a cabo un análisis exhaustivo de las metodologías y prácticas actuales en prefabricación, así como un estudio detallado de las características específicas del proyecto y sus requisitos de construcción.

La relevancia de esta investigación radica en su contribución al desarrollo de mejores prácticas y enfoques innovadores para la producción de elementos prefabricados en proyectos de infraestructura de gran escala como el de Puerto Antioquia. Al optimizar este proceso fundamental, se espera mejorar la eficiencia operativa, reducir los costos y tiempos de construcción, y garantizar la calidad y durabilidad de las obras civiles y redes secas en la plataforma de trabajo.

1 Planteamiento del problema

La construcción de infraestructuras de gran envergadura, como la plataforma de trabajo de Puerto Antioquia, demanda una gestión eficiente de recursos y procesos para garantizar el cumplimiento de los plazos y presupuestos establecidos. En este contexto, la producción de elementos prefabricados se erige como una estrategia clave para optimizar la ejecución de las redes secas y obras civiles, pero a su vez presenta desafíos significativos que requieren ser abordados.

El problema central radica en la necesidad de optimizar la producción de elementos prefabricados de concreto reforzado para la construcción de Puerto Antioquia, minimizando los tiempos de ejecución, los costos de producción y maximizando la calidad del producto final.

Esta problemática se fundamenta en diversos factores:

- **Complejidad logística:** La producción de prefabricados involucra un flujo de procesos complejo, desde el diseño y la planificación hasta la fabricación, el transporte y el montaje en obra. Cualquier ineficiencia en este flujo puede generar retrasos y sobrecostos.
- **Uso eficiente del concreto:** El concreto es el principal material en la prefabricación, por lo que su gestión eficiente es crucial. Esto incluye la optimización de las mezclas, la reducción de residuos y el control de calidad.
- **Planificación y control de la producción:** Una planificación inadecuada puede generar cuellos de botella, tiempos muertos y desabastecimiento de materiales. Es fundamental implementar sistemas de planificación y control que aseguren el cumplimiento del cronograma.
- **Gestión de la calidad:** La calidad de los prefabricados impacta directamente en la durabilidad y seguridad de la infraestructura. Se requiere un control de calidad riguroso en todas las etapas del proceso.

1.1 Antecedentes

La industria de la construcción ha experimentado una evolución significativa en las últimas décadas, impulsada por la búsqueda constante de eficiencia, calidad y sostenibilidad en los procesos constructivos (Cordoví y Quintana, 2017). En este contexto, la prefabricación ha emergido como una alternativa cada vez más relevante, especialmente en proyectos de gran envergadura como la construcción de puertos.

En Colombia, la industria de la construcción juega un papel fundamental en el desarrollo económico del país. En particular, la región de Urabá ha experimentado un crecimiento notable en la actividad constructiva, impulsado por la inversión en infraestructura y el desarrollo de proyectos estratégicos como el Puerto Antioquia (Zapata y Galvis, 2020). Este megaproyecto, ubicado en el corregimiento de Nueva Colonia del departamento de Antioquia, se erige como un motor para el comercio exterior colombiano, prometiendo mejoras significativas en los costos y tiempos de entrega para las empresas exportadoras (Zapata y Galvis, 2020).

Sin embargo, la construcción de una infraestructura portuaria de esta magnitud presenta desafíos importantes. La complejidad logística, la gestión eficiente de los recursos, la optimización de los procesos constructivos y el control de calidad son aspectos críticos que deben ser abordados con rigurosidad para garantizar el éxito del proyecto (Sánchez, 2018).

En este contexto, la optimización de la producción de elementos prefabricados de concreto reforzado se convierte en un factor crucial para el cumplimiento de los objetivos de tiempo, costo y calidad en la construcción de Puerto Antioquia (Muzzio, 2020).

Diversos estudios han demostrado que la eficiencia en la producción de prefabricados puede generar ahorros significativos en los costos de construcción. Por ejemplo, Mesía (2010) encontró que el uso de elementos prefabricados de concreto armado en la construcción de edificios de vivienda en Lima, Perú, permitió reducir los plazos de entrega y los costos en comparación con los métodos tradicionales.

En consecuencia, en Colombia los autores Hernández y Parra (2016) en un proyecto donde investigaban y evaluaban el uso de elementos prefabricados en GRC en la construcción de fachadas, llegaron a la conclusión de que al emplear paneles prefabricados de GRC se logran mayores rendimientos comparados con la mampostería tradicional. En este mismo estudio, los autores también concluyeron que el uso de estos elementos disminuye la cantidad de tiempo total

empelado en la limpieza y preparación de los materiales, aquí se nos dice que mediante métodos tradicionales se emplea alrededor de 36% del tiempo total en estas actividades, mientras que, usando paneles prefabricados se emplea solo un 27% del tiempo porque la calidad de los acabados y de los elementos se asegura desde el proceso de fabricación.

En la ciudad de Lima, los autores Puente-Nieto y Valladares-Arbieta (2021) concluyeron que el uso de elementos prefabricados en la ejecución de edificaciones multifamiliares influyó en la disminución de restricciones, puesto que se evidenciaron ahorros en costo, tiempo y control de calidad en la fabricación de estos elementos. Estos autores demostraron que al emplear prefabricados se redujo el tiempo entre encofrados, estimando una ganancia de 14 días entre los dos sistemas constructivos empleados en dicho estudio (prefabricados vs. convencional).

En Bogotá-Colombia en el 2017, Sanabria-Riaño (2017) menciona que a la hora de construir losas de entresijos en viviendas de hasta 4 pisos se pueden presentar grandes diferencias entre los procesos constructivos de un sistema tradicional y uno prefabricado, el autor menciona que los sistemas *in situ* se adaptan mejor a las condiciones arquitectónicas, mientras que, esta adaptación no resulta nada fácil con la construcción prefabricada. Por último, el autor con base en los resultados obtenidos de dicho estudio concluye que los sistemas de elementos prefabricados tienen un panorama positivo en la construcción colombiana debido a los mejoramientos en los diseños, la calidad de las construcciones, el aporte que genera en la disminución de los plazos y la contribución a la sustentabilidad.

Por otro lado, también en Colombia en el 2022, Soto (2022) concluyó que los sistemas prefabricados tienen muchas cualidades que le hacen frente a los sistemas de construcción tradicional, menciona que los sistemas de elementos prefabricados son sinónimo de eficiencia y calidad. En dicho estudio se demostró que los profesionales de la construcción poseen poco conocimiento de los sistemas prefabricados con respecto a los sistemas tradicionales, siendo este uno de los principales causantes de que el uso de prefabricados no sea más conocido y usado en la actualidad.

Asimismo, la prefabricación ofrece un mayor control sobre la calidad del producto final. Al fabricarse los elementos en un entorno industrial controlado, se minimiza la variabilidad en las condiciones climáticas, se facilita la supervisión técnica y se reducen los errores humanos, lo que se traduce en una mayor calidad y durabilidad de la construcción (Olmo, 2013).

En el caso específico de Puerto Antioquia, la optimización de la producción de prefabricados se presenta como una oportunidad para mejorar la eficiencia del proyecto, reducir costos, garantizar la calidad de las obras y minimizar el impacto ambiental.

2 Justificación

A lo largo de este trabajo se ofrece una visión exhaustiva sobre la utilización de elementos prefabricados de hormigón en el sector de la construcción, destacando sus numerosas ventajas y algunas de sus limitaciones. La optimización de la producción de elementos prefabricados en el proyecto de Puerto Antioquia se justifica por las siguientes razones:

- Reducción de los tiempos de construcción: La prefabricación permite la ejecución simultánea de actividades, lo que reduce el tiempo total de construcción en comparación con los métodos tradicionales. (Mesía, 2010). Adicionalmente, la prefabricación elimina los tiempos muertos entre tareas, agilizando el ritmo de la obra (Ávila, 2011).
- Disminución de los costos: La fabricación de elementos prefabricados en un entorno controlado minimiza la generación de residuos de materiales, como concreto, acero y otros insumos. Esto se debe a la precisión en el corte y dimensionamiento de los elementos, así como a la optimización del uso de materiales durante el proceso de producción. La reducción en la generación de estos residuos se traduce directamente en ahorros en costos de materiales y en la minimización del impacto ambiental de la obra (Paredes-Durán, 2023).
- Mejora de la calidad: La fabricación de elementos prefabricados en un entorno controlado permite implementar estrictos controles de calidad durante todo el proceso de producción. Esto garantiza que los elementos cumplan con las especificaciones técnicas y normativas, reduciendo la probabilidad de errores y defectos que podrían generar costos adicionales por retrabajos o reparaciones. Un mayor control de calidad se traduce en una obra con mayor vida útil y menores costos de mantenimiento a largo plazo (Olmo, 2013).
- Beneficios ambientales: La fabricación y el uso de elementos prefabricados en un entorno controlado minimiza el consumo de agua, energía y otros recursos naturales, reduciendo así el impacto ambiental de la obra. Además, la optimización del uso de

materiales y la menor generación de desperdicios contribuyen a la construcción de proyectos más sostenibles y amigables con el medio ambiente (Ávila, 2011).

- Impulso al desarrollo económico: La eficiencia en la construcción de Puerto Antioquia impactará positivamente en el comercio exterior y la economía de la región (Zapata y Galvis, 2020).

La prefabricación de elementos de hormigón se presenta como una solución constructiva eficiente, segura y sostenible, que ofrece numerosas ventajas frente a los sistemas tradicionales. Si bien, presenta algunas limitaciones. No obstante, la evolución de la tecnología, la estandarización de procesos y la flexibilidad del sistema abierto han consolidado su uso en el sector de la construcción. La prefabricación permite obtener obras de alta calidad, con plazos de ejecución reducidos y menor impacto ambiental, contribuyendo a un desarrollo urbano más sostenible (García, 1956; Mesía, 2010).

En conclusión, la optimización de la producción de prefabricados representa una necesidad crucial para el éxito del proyecto de Puerto Antioquia. La implementación de estrategias para mejorar la eficiencia, la planificación y la calidad contribuirá a la reducción de costos, tiempos y riesgos, al tiempo que se maximiza el impacto positivo en el desarrollo económico y social de la región.

3 Objetivos

3.1 Objetivo general

Aplicar conceptos técnicos de ingeniería con el fin de optimizar la producción de elementos prefabricados para la construcción del Puerto Antioquia, corregimiento de Nueva Colonia–Antioquia.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar un análisis exhaustivo del flujo de procesos en la producción de prefabricados, identificando las posibles limitantes que afectan la productividad.
- Aplicar los principios del lean construction para garantizar que el flujo de producción no se detenga y optimizar los inventarios.
- Evaluar y proponer mejoras en el uso eficiente del concreto en la construcción de elementos prefabricados, incluyendo la reducción de residuos, el ajuste de mezclas y optimización de la cantidad de material utilizado.
- Establecer el sistema last planner desde la etapa de planeación para asegurar el cumplimiento del cronograma y la secuencia de avance sistematizada, de modo que el proyecto de Puerto Antioquia logre mejores márgenes económicos con cada una de las ideas de optimización y planeación planteadas.
- Crear un catálogo de elementos prefabricados en el área onshore en la ejecución de Puerto Antioquia.

4 Marco teórico

El concreto es un material compuesto utilizado en ingeniería civil que consiste en una mezcla homogénea de cemento Portland, agregados finos y gruesos, agua y, en ocasiones, aditivos químicos (Gutiérrez, 2003). Esta amalgama se forma mediante un proceso de mezclado controlado, seguido de un fraguado y endurecimiento gradual, que resulta en una sustancia resistente y durable, adecuada para una amplia gama de aplicaciones estructurales y de construcción (Estupiñán y Caballero, 2020). Su formulación precisa y propiedades físicas y mecánicas específicas lo convierten en un material versátil y esencial en la ingeniería civil, utilizado en diversidad de elementos estructurales. Su resistencia a la compresión, durabilidad y capacidad de adaptación lo han convertido en un elemento fundamental en el diseño y la construcción de estructuras seguras y eficientes (Mehta y Monteiro, 2014).

La prefabricación en ingeniería implica la fabricación de componentes estructurales de manera individualizada en instalaciones separadas de su ubicación final en la obra, con el propósito de transportarlos posteriormente y ensamblarlos en el lugar de destino. Este método permite acelerar el proceso de construcción, especialmente cuando los elementos prefabricados son similares entre sí. Por lo tanto, la prefabricación resulta ventajosa en proyectos donde sea factible descomponer la estructura en elementos homogéneos (Mesía, 2010; Rodríguez, 2006).

- La prefabricación, como método constructivo, presenta tanto beneficios como inconvenientes. Según Paredes-Durán (2023) y Olmo (2013), las ventajas predominan sobre las desventajas, destacando los siguientes aspectos positivos:
- Reducción en el uso de encofrados debido a la repetición de estos. Por ejemplo, si se prefabrican paneles planos, solo se requiere encofrado perimetral.
- Disminución en el costo de la mano de obra al emplear más maquinaria y menos trabajadores, los cuales están altamente especializados y operan de manera más eficiente.
- Mejora en las condiciones laborales al alejar a los trabajadores de la intemperie y de peligros asociados a la altura, excepto durante el ensamblaje, lo que incrementa su productividad.

-
- Incremento en la eficiencia y rapidez de la construcción al optimizar el uso del tiempo, la mano de obra, las maquinarias y la financiación.
 - Ahorro en materiales al reducir los espesores de las secciones estructurales y utilizar una inercia mínima. Además, el uso de concreto premezclado, esencial en la prefabricación, minimiza los desperdicios.
 - Reducción en costos de transporte y movimiento de materiales, ya que solo se envían a obra los elementos prefabricados terminados
 - Posibilidad de construcciones desmontables y transportables, útiles para edificaciones temporales.
 - Calidad garantizada de los elementos debido al proceso de fabricación controlado y estandarizado, reduciendo los errores y defectos en la construcción.

Adicionalmente, se destaca la eficiencia temporal derivada de la producción en serie, la optimización del espacio de almacenamiento en la obra, así como la facilidad en la colocación del acero de refuerzo en los elementos, gracias a que la prefabricación se lleva a cabo a nivel del suelo. También se resalta la accesibilidad para vibrar los elementos (Vela y Díaz, 2023).

En contraposición, Montenegro *et al.* (2020) señalan ciertas desventajas y propone estrategias para contrarrestarlas. Entre ellas, destacan las que se recogen a continuación:

- Se menciona la posible pérdida de continuidad y monolitismo del concreto. No obstante, esto ha sido perfeccionado y confirmado mediante ensayos de laboratorio.

- Se requiere equipamiento especializado para el transporte horizontal y montaje de las piezas, aunque existe una variedad de prefabricados más convenientes para cada tipo de construcción.
- En casos en los que las piezas son demasiado grandes para transportarlas a la obra, se puede realizar la prefabricación en el sitio mismo.
- Se plantea el riesgo de roturas y rajaduras durante el transporte de los elementos. Si bien, la experiencia indica que este riesgo es mínimo.

Además, se destacan como desventajas la necesidad de mano de obra altamente especializada, la requerida precisión en las tolerancias para la unión de las piezas, y el mayor esfuerzo de planificación necesario.

Con base en lo mencionado, cada proyecto debe ser evaluado para encontrar la solución prefabricada óptima, considerando detenidamente sus ventajas y desventajas, y buscando minimizar los aspectos negativos en cada caso particular.

La planeación juega un rol fundamental en la fabricación de elementos prefabricados, ya que permite optimizar procesos, minimizar costos, reducir tiempos de ejecución y garantizar la calidad final de los productos. Una adecuada planeación abarca desde la etapa inicial del diseño hasta la entrega e instalación de los elementos prefabricados en el sitio de construcción.

Lean construction se basa en los principios del pensamiento Lean, originados en la industria manufacturera japonesa. Su objetivo central es eliminar el "desperdicio" en todas sus formas, definiendo este como cualquier actividad que no agrega valor al producto final desde la perspectiva del cliente. Para lograrlo, lean construction promueve una cultura de mejora continua, donde se identifican y eliminan sistemáticamente las ineficiencias en los procesos (Botero, 2021).

El last planner system (LPS) se consolida como una herramienta fundamental dentro del lean construction, proporcionando un marco estructurado para la planificación colaborativa y la

ejecución eficiente de proyectos. A diferencia de los métodos tradicionales de planificación descendente, el LPS involucra a todos los actores del proyecto en la creación del plan, desde los trabajadores de campo hasta los gerentes superiores. Esto fomenta la participación, el compromiso y la identificación de posibles riesgos o “cuellos de botella” desde las etapas tempranas del proyecto (Botero, 2021).

5 Metodología

Este proyecto se desarrolló en seis etapas que se pueden resumir en tres momentos, inicialmente el practicante llevará a cabo una investigación exhaustiva de la literatura relacionada con los procesos de producción de elementos prefabricados. Posteriormente, se realizará una planificación detallada y una búsqueda profunda de metodologías aplicables para optimizar la gestión de los procesos y los recursos involucrados en la fabricación de elementos prefabricados destinados a la construcción de redes secas en el contexto de la ejecución y construcción del proyecto Puerto Antioquia, ubicado en el corregimiento de Nueva Colonia del departamento de Antioquia. Finalmente, se elaborará un catálogo detallado que incluirá cada uno de los elementos prefabricados.

Etapas 1. Revisión bibliográfica sobre los procesos de producción de elementos prefabricados en concreto reforzado.

En esta etapa, se llevó a cabo una investigación exhaustiva de la literatura disponible sobre los métodos, técnicas y tecnologías empleadas en la producción de elementos prefabricados de concreto reforzado. Se analizaron los procesos de fabricación, las características del material y los estándares de calidad existentes en la industria.

Etapas 2. Reconocimiento y exploración de información, métodos y/o técnicas sobre el uso eficiente del concreto reforzado en la construcción de elementos prefabricados.

En esta segunda etapa se buscó identificar y estudiar información relevante relacionada con el uso eficiente del concreto reforzado en la construcción de elementos prefabricados. Se exploraron métodos y técnicas que permitieron maximizar el rendimiento del material y optimizar su aplicación en la producción de estos elementos.

Etapas 3. Implementación de métodos o sistemas de planeación enfocados en las actividades de producción de elementos prefabricados.

Esta etapa implicó el desarrollo e implementación de métodos o sistemas de planeación específicos para las actividades de producción de elementos prefabricados. Se establecieron procesos estructurados y eficientes que permitieron coordinar y controlar todas las fases del proceso de producción.

Etapa 4. Investigación de procesos de mejora continua en el sector de la construcción.

En esta etapa se realizó una investigación exhaustiva de los procesos de mejora continua aplicados en el sector de la construcción, con especial énfasis en la producción de elementos prefabricados. Además, se identificaron áreas de oportunidad para la optimización de procesos y se propusieron soluciones innovadoras para mejorar la eficiencia y la calidad del producto final.

Etapa 5. Exploración y ejecución de técnicas de optimización económica para la ejecución del proyecto.

En esta etapa, se exploraron y aplicaron técnicas de optimización económica para reducir los costos y maximizar la eficiencia en la ejecución del proyecto. Se analizaron diferentes alternativas y se seleccionaron aquellas, las cuales permitieron alcanzar los objetivos del proyecto dentro de los límites presupuestarios inicialmente establecidos.

Etapa 6. Elaboración de un catálogo de los elementos prefabricados de redes secas del proyecto de Puerto Antioquia.

Se elaboró un catálogo detallado que incluyó información técnica y comercial sobre los elementos prefabricados de redes secas del proyecto de Puerto Antioquia. Se describieron las características de cada elemento, se especificaron los materiales utilizados, se detallaron los procesos de fabricación y se proporcionó información sobre costos.

6 Resultados y análisis

Para alcanzar el cumplimiento de los objetivos propuestos se siguió la metodología establecida anteriormente, de manera que el primer acercamiento con los elementos prefabricados y sus métodos de fabricación fue mediante una revisión bibliográfica exhaustiva. En esta revisión se pudo profundizar en los conceptos del concreto hidráulico, elementos prefabricados de concreto, métodos de fabricación de dichos elementos, metodologías, formas o sistemas de planeación enfocados en el desarrollo de estas actividades, métodos enfocados en el uso eficiente del concreto, entre muchos otros conceptos que son importantes a la hora de prefabricar elementos de concreto hidráulico.

Mediante esta revisión bibliográfica exhaustiva se logró identificar varios métodos importantes para un uso eficiente del concreto hidráulico en elementos prefabricados.

1. Diseño optimizado
2. Selección eficiente de la mezcla de concreto
3. Reciclaje de agregados y materiales
4. Prefabricación en moldes controlados

Diseño optimizado: La optimización del diseño estructural de los elementos prefabricados es fundamental para minimizar la cantidad de concreto reforzado requerido, sin comprometer la resistencia y funcionalidad de la estructura. Esto se logra mediante el uso de software de análisis estructural avanzado, técnicas de diseño por desempeño y la selección adecuada de materiales.

Selección eficiente de la mezcla de concreto: La composición de la mezcla de concreto debe adaptarse a las necesidades específicas de cada elemento prefabricado, considerando factores como la resistencia deseada, la trabajabilidad, la durabilidad y el entorno de exposición. La selección eficiente de la mezcla de concreto permite optimizar el uso de cemento, agregados y aditivos, reduciendo costos y mejorando la sostenibilidad del proyecto.

Reciclaje de agregados y materiales: La incorporación de agregados reciclados y otros materiales de desecho en la mezcla de concreto para elementos prefabricados contribuye a la reducción del consumo de recursos naturales y disminuye el impacto ambiental de la construcción.

Prefabricación en moldes controlados: La fabricación de elementos prefabricados en moldes controlados o encofrados de calidad en un entorno de planta especializado permite optimizar el proceso de vaciado, vibrado y curado del concreto, asegurando una mayor homogeneidad, resistencia y durabilidad del material. Esto se traduce en un menor consumo de concreto y una reducción de desperdicios.

Cada uno de estos apartados se tuvieron en cuenta en el desarrollo de este trabajo. A continuación, se muestran los diseños estructurales, diseños de mezcla y diseño de encofrados que fueron implementados en el desarrollo de las actividades de prefabricación de elementos en el marco de la construcción de Puerto Antioquia.

Para llevar a cabo las actividades de redes secas del proyecto de manera efectiva, el equipo de ingeniería de COTEMA junto con el grupo Gómez Cajiao y asociados S.A.S desarrollaron mancomunadamente los diseños de varios elementos prefabricados, estos fueron: bordillos de confinamiento y cajas eléctricas tipo I, II, II, IV, V. VI y VII. Además, también realizaron diseños de mezcla de concreto en donde se especificó la dosificación a emplear de cada uno de los materiales convencionales, no convencionales y de los aditivos que se pueden llegar a emplear.

También se contó con diseños de encofrados para los elementos prefabricados enmarcados en las actividades de redes secas del proyecto, estos diseños fueron meticulosamente creados por la empresa PERI S.A.S donde se tuvo presente tener siempre la formaleta óptima de acuerdo con el tipo de elemento a construir.

Diseños de elementos:

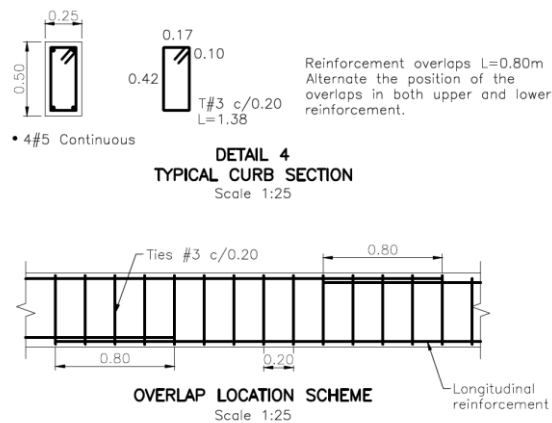


Figura 2. Diseño inicial de bordillos prefabricados e in situ.

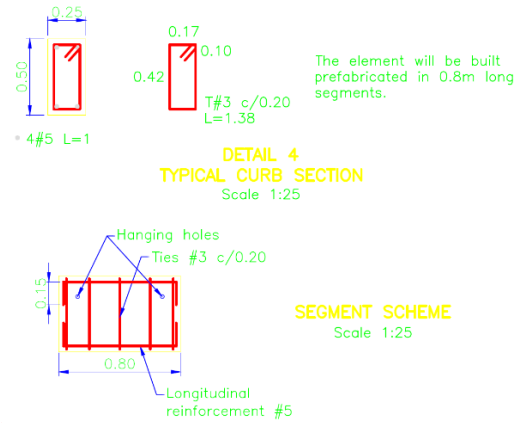


Figura 3. Diseño inicial de bordillos prefabricados e in situ con hoyos de izaje.

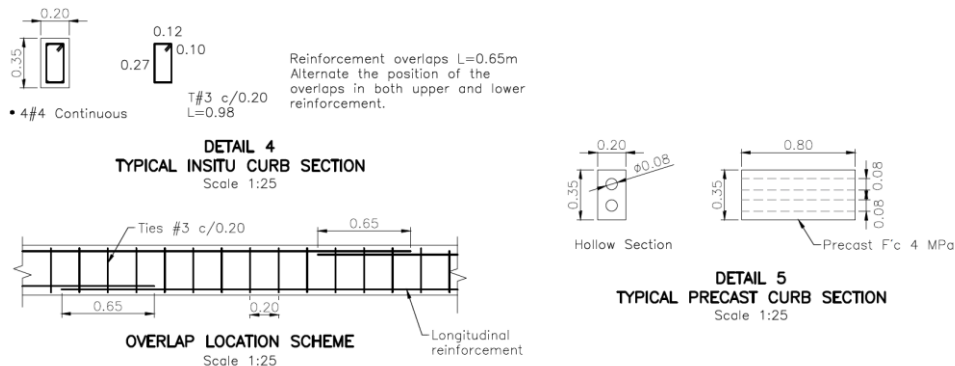


Figura 4. Diseño final de bordillos prefabricados e in situ.

En la Figura 2, se puede observar que inicialmente se tenía un diseño de bordillos el cual fue modificado a lo largo del tiempo de prácticas, siendo el diseño final el mostrado en la Figura 4.

Con el fin de optimizar este elemento se redujeron las medidas y las cuantías de acero, en estas disminuciones se aseguró que se mantuviera la resistencia estructural inicial. El hecho de disminuir la cantidad de acero se tradujo en un ahorro directo en el costo de materiales, uno de los rubros más importantes en la construcción de Puerto Antioquia. Además, elementos más ligeros facilitan la logística, se redujeron también los costos de transporte y la necesidad de maquinaria pesada para su manipulación y montaje. Esta reducción de peso y complejidad impactó positivamente en los tiempos de ejecución, ya que se agilizaron los procesos de fabricación,

transporte e instalación de los prefabricados, traduciéndose en una entrega más rápida y eficiente del proyecto.

Estos cambios fueron respaldados por la bibliografía disponible. Los autores Leonhardt y Van Amerongen (1964) mencionan que un diseño optimizado del acero permite una distribución eficiente de las cargas a lo largo del elemento estructural, maximizando su capacidad para soportar esfuerzos y deformaciones sin comprometer su integridad. Este enfoque resulta en estructuras más robustas y resistentes, capaces de sustentar cargas más elevadas y satisfacer los requisitos de seguridad estipulados por las normativas de construcción. En esta misma línea, MacGregor *et al*, (1997) indican que la implementación de un diseño optimizado permite reducir la cantidad de acero requerida para alcanzar el rendimiento estructural objetivo, lo que resulta en una notable disminución de los costos de los materiales y en una optimización de los recursos financieros del proyecto. Park y Paulay (1991) también abordan las bondades de tener un diseño optimizado de acero de nuestros elementos, nos menciona que un diseño adecuado del acero, en conjunto con la selección de materiales de alta calidad y la implementación de prácticas constructivas correctas, contribuye a prolongar la vida útil de la estructura, minimizando la necesidad de reparaciones o reemplazos prematuros.

Los diseños estructurales de los tipos de cajas eléctricas fabricadas y por fabricados se muestran en la sección de “anexos”. En dicha sección se encontrarán las medidas de cada elemento y las cantidades de acero de refuerzo a emplear en cada

Diseño de mezcla:

El consorcio COTEMA por medio de diversos ensayos y pruebas de laboratorio definió que para todas las dosificaciones de concreto se incluirá un 20% de ceniza volante con el fin de aportar beneficios a la mezcla (ver Figura 5). Su uso se reflejó en una mejora en la trabajabilidad del concreto fresco, aumentando la resistencia a largo plazo, reduciendo la permeabilidad y el calor de hidratación. Además, su uso implicó beneficios económicos, al ser más económica que el cemento Portland, y ambientales al reducir la demanda de este y aprovechar un residuo industrial. Sin embargo, es fundamental controlar la cantidad de ceniza volante utilizada para no afectar la resistencia inicial del concreto.

COTEMA		PUERTO ANTIOQUIA													Date : 9/11/2021					
CÓDIGO DISEÑO		MATRIZ DE DOSIFICACIONES MEZCLAS DE CONCRETO													Rev : A6					
CÓDIGO DISEÑO LABORATORIO		COTE 000 QUA MTX 50059													Page: 1 / 1					
CÓDIGO DISEÑO	CÓDIGO DISEÑO LABORATORIO	RESISTENCIA NOMINAL (MPa)	A/Che	Agua	Amenjamiento (in)	Cto. Cemento ARGOS Estructura Max	Adición Ceniza Class F	Agregados Arena AF	Grava AG25	Grava AG35	Grava AG38	Aditivo				Tipo de Aplicación	Detalle Sobre Resistencia [1]	Fuentes de Aplicación		
												Grava AG25	Grava AG38	Sika VMS15	Sika Plant 365				Visconete 50 HE	Sika Plant 367
		MPa	h/m ³	h/m ³	h/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	Kg/m ³	h/m ³	h/m ³	h/m ³	h/m ³	h/m ³	h/m ³			
CBO-35C-AG25-001	35-6-G-C-0.40	35	0,40	163	8 ± 1	326	82	926	-	855	-	1,23	1,89	-	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE [1]: 35 MPa a 28 días	U01 / U02
CBO-35C-AG19-002	35-6-F-C-0.40	35	0,40	166	8 ± 1	332	83	949	842	-	-	1,26	2,00	-	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE [1]: 35 MPa a 28 días	U01 / U02
CBO-35C-AG25-003	35-PR-B-G-C-0.40	35	0,39	150	8 ± 1	311	78	971	-	861	-	0,52	0,97	1,77	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 35 MPa a 28 días	U02
CBO-35C-AG19-004	35-PR-B-F-C-0.40	35	0,38	148	8 ± 1	311	78	934	828	-	-	-	1,08	1,96	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 21 MPa a 36 horas	U02
CBO-50C-AG25-005	38-A3-B-G-C-0.40	50	0,35	150	8 ± 1	343	86	950	-	843	-	0,58	1,07	1,95	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 50 MPa a 28 días Curado V [2]: 37,5 MPa a 3 días	U02 / U04
CBO-50C-AG19-006	38-A3-B-F-C-0.40	50	0,35	151	8 ± 1	343	86	922	818	-	-	-	0,93	0,92	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado V [2]: 37,5 MPa a 14 horas	U02 / U04
CMR-4.2F-AG38-007	3.4-A3-MR-C-0.40	4,2	0,40	145	5 ± 1	290	73	775	-	-	1029	1,28	1,51	-	-	-	-	Pavimento Rígido MR	Curado TE: 4,5 MPa a 28 días	U05
CAU-35C-AG19-008	35-AUT-F-C	35	0,28	147	FL [3] 25±4	473	53	1025	627	-	-	-	2,68	1,80	1,70	-	-	Autonivelante	Curado TE: 35 MPa a 28 días	U01
CTR-35C-AG19-009	28-TRE-F-C	35	0,36	160	8 ± 1	396	54	1041	694	-	-	1,13	2,17	0,63	-	-	-	Tremie	Curado TE: 35 MPa a 28 días	U06
CBO-60C-AG25-010	SIKA-060	60	0,31	152	8 ± 1	394	99	897	-	829	-	1,05	1,23	2,47	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 60 MPa a 28 días Curado TE: 30 MPa a 24 h Curado TE: 42 MPa a 36 h	U03 / U04
MOR-35C-AF-011	SIKA-050	35	0,35	210	FL 25±4	600	0	1478	-	-	-	-	4,17	2,78	-	-	-	Mortero / Grout	Curado TE: 35 MPa a 3 días	U07
CBO-21C-AG25-012	SIKA-057	21	0,48	163	8 ± 1	270	68	960	-	886	-	1,28	1,83	-	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 21 MPa a 28 días	U08
CBO-14C-AG25-013	SIKA-056	14	0,60	163	8 ± 1	218	55	992	-	916	-	1,04	1,47	-	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 14 MPa a 28 días	U08
CBO-35C-AG25-014	COTEMA-001	35	0,40	155	8 ± 1	310	78	828	-	933	-	1,43	1,94	-	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 35 MPa a 28 días	U01
CBO-35C-AG25-015	COTEMA-002	35	0,45	166	8 ± 1	295	74	823	-	928	-	1,24	1,78	-	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 35 MPa a 28 días	U01
MOR-35C-AF-016	TXT-GROUT	35	0,32	218	FL 25±4	680	0	1321	-	-	-	-	-	-	7,60	4,41	1,87	Mortero / Grout Elaboración en Mezcladora (Campo)	Curado TE: 35 MPa a 3 días	U07
CBO-35C-AG25-017	COTEMA-003	35	0,40	163	8 ± 1	306	102	926	-	855	-	1,37	1,89	-	-	-	-	Convencional - Bombeable	Curado TE: 35 MPa a 28 días	U01

NOTAS Y DETALLE DE ABBREVIATURAS	
[1]	El campo de la resistencia nominal hace referencia, por lo general, a la resistencia a 28 días de Curado estándar, sin embargo algunas mezclas se desarrollaron, además de para alcanzar su resistencia nominal, alcanzar diferentes resistencias a edades tempranas de acuerdo a las condiciones de curado específicas, por ello se agrega la columna aclaratoria
[2]	Para mezclas Autonivelantes se evalúa el parámetro de Flujo Libre NTC 5222
[3]	Curado TE: Curado a Temperatura Estándar
[4]	Curado V: Curado en cámara de Vapor

USO CONCRETOS CONVENCIONALES	
U01	Puente On-Shore: Zapatas, Pilas, Tapón de Pilas, Columnas, Diafragmas, Vigas Cabezales, Separador New Jersey
U02	Prefabricados: Sleeves, Cap-Beams
U03	Puente On-Shore: Doweles / Tablero
U04	Prefabricados: T Beams / Prestressed
U05	On-Shore Pavimentos Rígidos
U06	Puente On-Shore: Pilotes
U07	Lleno de Contacto / Pilotes - Sleeves
U08	Solados / Concretos de Limpieza

Figura 5. Matriz de dosificaciones de concretos empleados en Puerto Antioquia.

El reemplazo de cenizas volantes por cemento Portland en mezclas de concreto está ampliamente registrado y respaldado en la bibliografía existente. Huaquisto y Belizario (2018) exponen que, a largo plazo, el hormigón con cenizas volantes puede alcanzar resistencias a la compresión comparables o incluso superiores al hormigón convencional, especialmente en edades tardías. Concordando con lo ya expuesto, los autores Kosmatka *et al.*, (2002) adicionan que el uso de cenizas volantes densifica la matriz del hormigón, reduciendo la porosidad y permeabilidad, lo que se traduce en una mayor resistencia al ataque químico por sulfatos, cloruros y agua de mar, aumentando su durabilidad.

En Colombia hay muchos estudios donde se ha empleado el uso de cenizas en la dosificación de mezclas de concreto, en algunos casos se emplean para reemplazar el volumen de cemento Portland y en otros casos se han empleado para reducir el volumen de agregados finos.

Fonseca en el 2016 estudió el efecto del uso de cenizas volantes como material suplementario del cemento. En este estudio el autor encontró diferentes resultados de la resistencia a la compresión de cilindros de mortero con base en el porcentaje de uso de las cenizas, el autor expuso que reemplazar entre un 5% y 10% del material cementante por cenizas volantes aumentaba la resistencia a la compresión en al menos 5% comparando con una dosificación estándar de concretos. Morales *et al.* (2011) usaron ceniza volante como adición mineral y reemplazo del cemento Portland en la fabricación de concreto hidráulico, en este estudio concluyeron que el uso de estas cenizas se ve reflejado en un aumento de la resistencia a la compresión para concretos de edades superiores a los 28 días, mencionan este incremento fue superior en concretos donde hubo mayor adición de ceniza. Adicional a esto, los autores mencionan que la adición de cenizas puede representar reducciones de costos considerables a que si se estuviesen trabajando concretos sin ningún tipo de adición.

Todos estos autores coinciden en algo, mencionan la incorporación de cenizas volantes en el diseño de mezclas de hormigón para grandes obras de ingeniería ofrece ventajas tanto técnicas, como económicas y ambientales significativas. Exponen que su uso responsable, siguiendo las recomendaciones técnicas y normativas, contribuye a la construcción de infraestructuras más sostenibles y duraderas.

Diseños de encofrados: Los diseños de los sistemas de encofrado metálico usados en la fabricación de estos elementos prefabricados se encuentran en el apartado de “anexos” al final de este documento.

A lo largo de los seis meses de duración del semestre de industria, con los diversos diseños y el inventario de materiales presentes en obra se logró implementar todo para fabricar lo siguiente:



Figura 6. Canasta de acero y encofrado de bordillo con diseño inicial.



Figura 7. Vaciado de concreto de bordillo de confinamiento con diseño inicial.



Figura 8. Proceso de acabado del concreto de bordillos de diseño inicial.



Figura 9. Proceso de endurecimiento del concreto de bordillos con diseño inicial.



Figura 10. Bordillos terminados.



Figura 11. Proceso de curado y desencofrado de bordillos.



Figura 12. Izaje de bordillo para transporte.



Figura 13. Acopio de bordillos.



Figura 14. Encofrado de bordillos de diseño final.



Figura 15. Proceso de fundida de bordillos de diseño final



Figura 16. Bordillos con nuevo diseño terminados.



Figura 17. Acopio de bordillos de nuevo diseño.

En las figuras que van desde la Figura 6 hasta la Figura 17, se logra apreciar el desarrollo de las actividades enmarcadas en la realización del semestre de industria. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, por su parte, se observan canastas de acero de bordillos junto a un encofrado realizado de manera artesanal, el cual fue realizado con cerchas metálicas, madera caracolí y láminas de madera fenólica.

La Figura 7 muestra las canastas de acero ya encofradas y con sus respectivas panelas de concreto que permiten que se cumpla con el recubrimiento establecido en los diseños, también se aprecia que se iniciaron labores de fundida de concreto.

Por otro lado, en las Figura 8 y Figura 9 se aprecia la parte final del vaciado del concreto, en esta etapa se le estaba dando el acabado final al concreto para que este quedara completamente uniforme y una vez terminado el proceso de curado, esta cara tenga un acabado estético y sin ninguna rugosidad superficial.

En la Figura 10 y la Figura 11 se visualiza el acabado del primer lote de bordillos, estos contaron con un acabado uniforme y estético debido a los cuidados que se tuvieron a la hora del proceso de vaciado y curado del concreto.

En la Figura 12 se logra ver el proceso de izaje de los bordillos mediante dos hoyos cuya funcionalidad fue la de disminuir la sección transversal del elemento y servir como puntos de izaje, la Figura 13 muestra uno de los acopios de estos elementos.

Por último, en la Figura 14 se logran apreciar varios juegos de formaleta artesanal en madera fenólica, en los cuales se realizó la fundida de otros lotes de bordillos, pero en este caso, el vaciado se implementó para bordillos con el nuevo diseño optimizado tanto en cuantía de acero como en dimensiones.

La implementación del nuevo diseño de bordillos significó una reducción en las cantidades de acero, concreto y horas trabajadas por la mano de obra, todo esto se ve reflejado en una significativa reducción de costos.

Tabla 1. Cantidades de acero, concreto y costo de ambos diseños de bordillos.

	Bordillos (primer diseño)	Bordillos (nuevo diseño)	Diferencia
Peso acero (ton)	365,36	74,05	291,31
Volumen concreto (m³)	1200	672	528
Costo (COP)	\$ 1.624.428.090,62	\$ 484.038.965,76	\$ 1.140.389.124,86

Unidades de bordillos	12000
------------------------------	-------

Fuente: Elaboración propia.

La Tabla 1 evidencia una reducción significativa en los aspectos clave abordados a lo largo del documento: tiempo y costo. Aunque el rendimiento o metas de fabricación no se detallan

explícitamente, la eficiencia en la fabricación del nuevo diseño se vió incrementada al disminuir la cantidad de acero y concreto, en comparación con el diseño inicial.

En términos de materiales, el nuevo diseño de bordillos optimizó el uso de recursos, reduciendo 291 toneladas de acero de refuerzo y 528 m³ de concreto. Esta reducción se traduce en un ahorro aproximado de 1140 millones de pesos colombianos (COP) en los costos directos de la actividad.

Estos resultados se alinean con la literatura especializada. Estudios de Mora *et al.* (2018) y Verduzco *et al.* (2020) coinciden en que la optimización del acero de refuerzo y el concreto generan una disminución considerable en los costos de construcción y en los tiempos de ejecución de las actividades.



Figura 18. Canasta de acero de caja eléctrica tipo IV.



Figura 19. Vista lateral de canasta de acero de caja eléctrica tipo IV.



Figura 20. Sistema de encofrado para caja eléctrica tipo IV (1).



Figura 21. Sistema de encofrado para caja eléctrica tipo IV (2).



Figura 22. Vista lateral (1) de caja eléctrica tipo IV.



Figura 23. Vista lateral (2) de caja eléctrica tipo IV.



Figura 24. Encofrado de caja eléctrica tipo V.



Figura 25. Encofrado interno de caja eléctrica tipo V.



Figura 26. Instalación de banco de ductos de caja eléctrica tipo V.

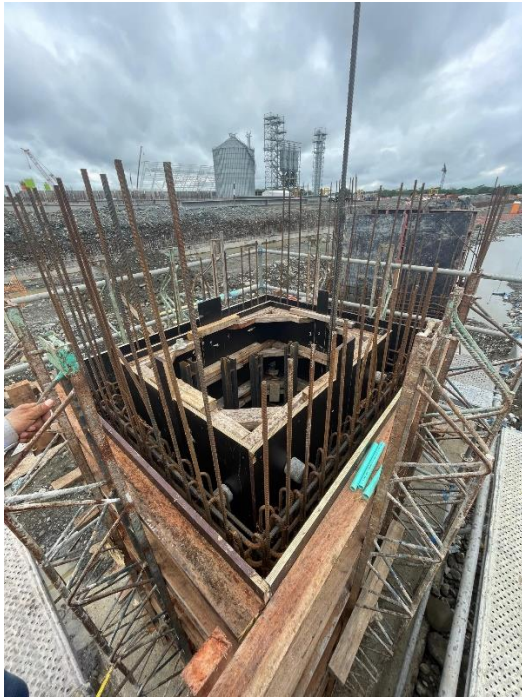


Figura 27. Sistema de encofrado para caja eléctrica tipo V.

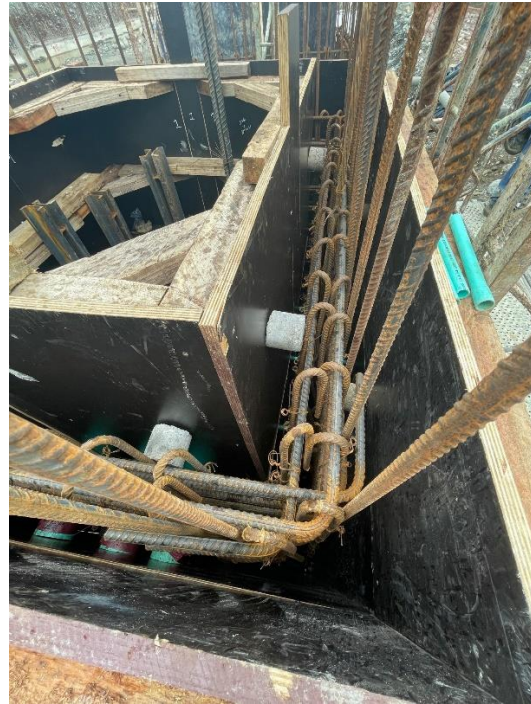


Figura 28. Detalle de canasta de acero y panelas de concreto en encofrado de caja tipo V.



Figura 29. Vista lateral (1) de caja eléctrica tipo V.



Figura 30. Vista lateral (2) de caja eléctrica tipo V.



Figura 31. Vista frontal de caja tipo V.



Figura 32. Curado de concreto de caja tipo V empleando antisol rojo.

La premura en la ejecución de las actividades de proyecto Puerto Antioquia durante el tiempo de mi semestre de industria impidió la implementación de formaletas especiales metálicas en los elementos prefabricados iniciales. Este retraso se debió a los extensos protocolos y trámites administrativos necesarios para la compra de dichas formaletas. Para optimizar la fabricación en futuros proyectos, se recomienda iniciar el proceso de compra con mayor anticipación.

Por el motivo mencionado anteriormente, por las prioridades de fundidas de cajas y por problemas administrativos con el área de diseño e ingeniería, en el tiempo del semestre de industria solo fue posible realizar el vaciado de cajas eléctricas tipo IV, V y bordillos de confinamiento con ambos diseños (inicial y final). Los diferentes tipos de elementos prefabricados se construirán una

vez se tenga la formaleta especial metálica y las prioridades de fundida cambien, de lo contrario quedan en stand by.

COTEMA		Project:	PUERTO ANTIOQUIA / TERMINAL
		Ref. of report	Daily report / Reporte diario
		Date of Report	2024-06-13
Project :		Puerto Antioquia Uraba - Terminal	
Activities:		Obra Civil en patio de prefabricados onshore	
Ref. of Report :		Daily report/ Reporte diario	
Date of Report :		2024-06-13	
Location :		Golfo de Uraba	
Written by :		ANDRÉS PÉREZ	Turno Dia 7:00 am - 5:00 pm
ID DETAIL/ACTION			
Start/Inicio	End/Fin		
7:00	7:15	Llegada a obra y verificación de equipos y materiales	
7:15	7:35	Diligenciamiento de permisos de trabajo, preoperacionales y ATS - Safety meeting/Reunión de seguridad.	
Start/Inicio	End/Fin	COTEMA - Today Activities/Actividades del día	ELEMENT
7:35	17:00	2 personas armando canastas de bordillos (30 unidades)	
7:35	17:00	Corte y figuración de acero para cajas eléctricas tipo IV y tipo V	
7:35	17:00	Realce de canastas de acero de caja tipo IV (se terminó una y media)	
7:35	17:00	Encofrado de caja tipo V en la zona del edificio 708	TS-PB-251 - MV-461
10:00	12:00	Traslado de materiales para encofrado entre el frente de las cajas del edificio y el frente de patio de prefabricados onshore	
12:00	13:00	Hora de almuerzo	
13:00	15:00	Encofrado de 12 unidades de bordillos	
13:00	17:00	Terminación de encofrado de caja eléctrica tipo IV ubicada en patio de prefabricados	T4-PB-206 - PB-0145
13:00	17:00	Fabricación de formaleta interna de caja tipo IV	
16:45	17:00	Orden y aseo en las instalaciones empleadas	
Start/Inicio	End/Fin	Fin de actividades	
7:00	17:00	Finalización de actividades	
Next 24/Despues 24 Horas			
Corte y figuración de acero para cajas prioritarias de elaboración (cajas tipo 4 y 5 para las zonas D)			
Fundida de 35 bordillos			
Fundida de caja tipo V (TS-PB-251 - MV-461) y caja tipo IV (T4-PB-206 - PB-0145)			
Corte y figuración de acero de bordillos			
News / Novedades del Turno			
3 -Se invirtió mucho tiempo transportando materiales entre los dos frentes de trabajo de las cajas, durante todo el día se estuvo haciendo movimientos entre estos dos lugares			
ID			
4			

Figura 33. Formato de informe diario de actividades.

Numero de actividades:	78
No de Actividades finalizadas:	5
Cumplimiento:	6%
PORCENTAJE ACTIVIDADES COMPLETADAS(PAC)	23%

CONVENCIONES PLANEAS DE ACCIÓN

Actividades cumplidas
 Actividades al día o actividades nuevas
 Actividades atrasadas o reprogramadas

Figura 36. Formato de gestión de desempeño (3).

En la Figura 33 se puede observar un formato de informe diario de actividades diligenciado en marco de las actividades del semestre de industria. En este formato se ingresó información detallada del frente de trabajo como: actividades realizadas, hora de inicio y fin de ejecución de las actividades, elementos y materiales usados, novedades presentadas durante el turno de trabajo, aquí se ingresaron también las actividades que estuvieran planeadas para las siguientes 24 horas del turno, además de un registro fotográfico de las actividades más relevantes del día.

El correcto diligenciamiento de este informe diario nos permitió obtener información transparente sobre el progreso de las actividades, los recursos utilizados y los desafíos encontrados, facilitando la identificación temprana de problemas y la toma de decisiones oportunas. Al identificar oportunamente estos inconvenientes pude generar planes de acción o contingencia con el fin de continuar y cumplir con el cronograma según lo estipulado en la planeación general del proyecto. Un ejemplo de plan de acción fue modificación de la cuantía de acero, las dimensiones del elemento y el diámetro de las aberturas de los bordillos del diseño inicial al final, con estas pequeñas modificaciones se logró tener mejor manejo de los bordillos a la hora del izaje y se logró disminuir un total de 792 m³ de concreto comparando ambos diseños por el total de bordillos requeridos en obra. Por otro lado, con toda esta información obtenida del informe diario pudimos optimizar las profundidades máximas a las cuales van ubicadas los bancos de ductos de las cajas eléctricas, al disminuir esta profundidad el proyecto se ahorró como mínimo 5000 m³ de excavación de crudo de río adicional.

Las tres figuras anteriores, Figura 34, Figura 35 y Figura 36 muestran el formato de gestión de desempeño que se tuvo a lo largo de las actividades en el periodo de práctica académica. En este

formato se lograron apreciar diversos campos con diferente información, de aquí se destacan las actividades y los rendimientos. La meta del mes es cantidad de dicha actividad que se requirió desarrollar en ese lapso según el cronograma general, el ejecutado es la cantidad de dicha actividad que fue realizada a la hora del corte, las actividades pendientes y el rendimiento esperado van de la mano y muestran la cantidad necesaria de dichas actividades para lograr cumplir con las metas propuestas al inicio.

En este formato también se diligenciaron las causantes más relevantes del no cumplimiento o correcto desarrollo de las actividades, se pudo haber tenido diversas opciones que pudieron haber afectado las actividades. Con estas causas de no cumplimiento se diligenció también un análisis de posibles causas y se diseñó un plan de acción que vaya acorde con las actividades y vaya en pro del cumplimiento del cronograma.

Todas esas correcciones y planificaciones diarias se debieron ejecutar por la importancia de no alejarnos de la meta propuesta desde un inicio y así poder desempeñar los métodos de last planner al pie de la letra.

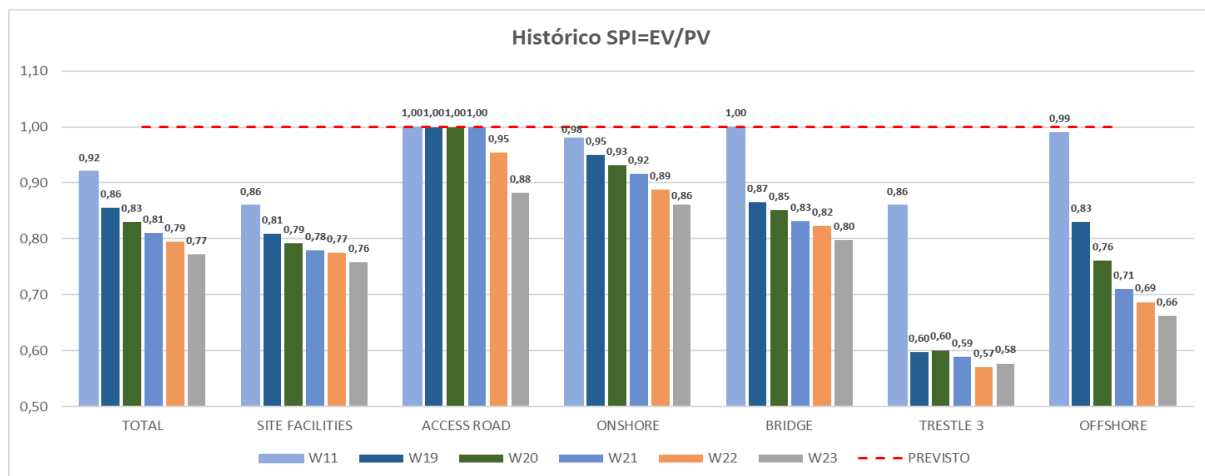


Figura 37. Registro histórico de SPI.

Adicionalmente se llevó el control semanal de SPI y un control mensual de CPI, como se muestra en la Figura 37 y en la Figura 38 respectivamente.

La Figura 37 muestra el índice de desempeño del cronograma SPI (Schedule Performance Index). El SPI mide la relación entre el trabajo real completado (Valor ganado) y el trabajo

planificado para completarse en un período determinado. Indica si el proyecto está avanzando según lo programado, antes de lo programado o con retraso.

$$SPI = \frac{EV}{PV}$$

Donde: EV significa valor ganado o Earn value por su significado en inglés y PV significa valor planeado o Planned value por su significado en inglés.

SPI > 1: El proyecto está avanzando más rápido de lo planificado.

SPI = 1: El proyecto está avanzando exactamente según lo planificado.

SPI < 1: El proyecto está avanzando más lento de lo planificado.

La línea roja nos muestra que a lo largo del tiempo de prácticas académicas ningún frente de obras avanzó según lo planeado semanalmente, por el contrario, todos los frentes se encuentran con un retraso general en sus actividades.

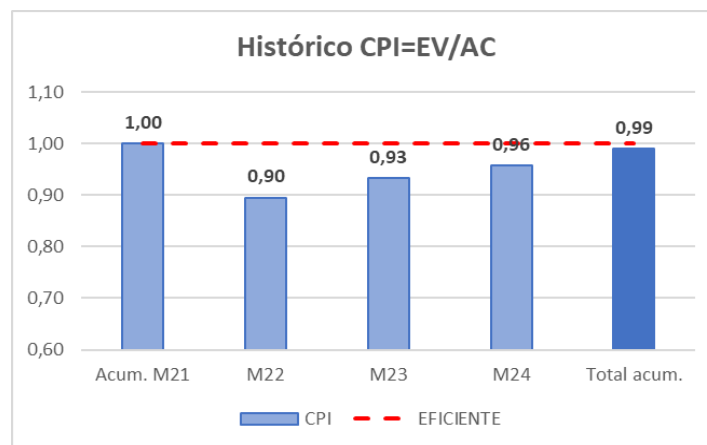


Figura 38. Registro histórico de CPI.

La Figura 38 es muy similar con la Figura 37. Aquí se puede apreciar el Índice de desempeño del costo CPI (Cost Performance Index). El CPI mide la relación entre el valor del trabajo completado (Valor ganado) y el costo real incurrido en ese trabajo. Indica si el proyecto está utilizando los recursos de manera eficiente, es decir, si se está obteniendo más valor por cada peso gastado.

$$CPI = \frac{EV}{AC}$$

Donde: EV significa valor ganado o Earn value por su significado en inglés y AC significa costo real o Actual cost por su significado en inglés.

CPI > 1: El proyecto está utilizando los recursos de manera más eficiente de lo planificado. Se está obteniendo más valor por cada peso gastado.

CPI = 1: El proyecto está utilizando los recursos exactamente según lo planificado. Se está obteniendo el valor planificado por cada peso gastado.

CPI < 1: El proyecto está utilizando los recursos de manera menos eficiente de lo planificado. Se está obteniendo menos valor por cada peso gastado.

En concordancia con el gráfico semanal del SPI, el gráfico mensual del CPI también se encontró por debajo de la línea roja, indicando así un uso ineficiente general de los recursos del proyecto.

8 Conclusiones

Crear y diligenciar un informe diario de actividades en el marco del sistema lean construction es una práctica esencial para lograr una gestión de la construcción más transparente, eficiente, colaborativa y orientada a la mejora continua. La implementación de esta herramienta permite identificar problemas de manera temprana, tomar decisiones oportunas, optimizar el flujo de trabajo, fortalecer el control del proyecto y, en última instancia, entregar proyectos de mayor calidad y valor al cliente.

Se puede concluir que la elaboración de un catálogo detallado de elementos prefabricados para Puerto Antioquia se convierte en una herramienta valiosa para futuras etapas del proyecto e incluso para otras obras de infraestructura similares. Este catálogo, al contener información técnica precisa sobre las características, especificaciones y procesos de fabricación de cada elemento, facilita la toma de decisiones, agiliza la gestión de recursos y promueve la estandarización de procesos en la producción de prefabricados, lo que a su vez impacta positivamente en la eficiencia y calidad de la construcción.

La implementación de estrategias como la planificación detallada, el uso eficiente del concreto y la inversión en encofrados especializados se traduce en una mayor productividad, reducción de desperdicios y mejora en los acabados de los elementos prefabricados de concreto.

Finalmente se concluye que el desarrollo de este trabajo optimizó sustancialmente el proceso de fabricación y construcción de elementos prefabricados como bordillos de confinamiento y cajas eléctricas tipo IV y V mediante la aplicación de conceptos del lean construction, last planner y de la información obtenida día a día de cada una de las actividades ejecutadas en el marco de elaboración de los elementos prefabricados.

En definitiva, este proyecto busca sentar un precedente en la aplicación de mejores prácticas para la producción de prefabricados en Colombia, demostrando que la inversión en planificación, tecnología y control de calidad se traduce en beneficios económicos tangibles y en la entrega de una infraestructura de alta calidad que impulse el desarrollo regional y nacional.

Referencias

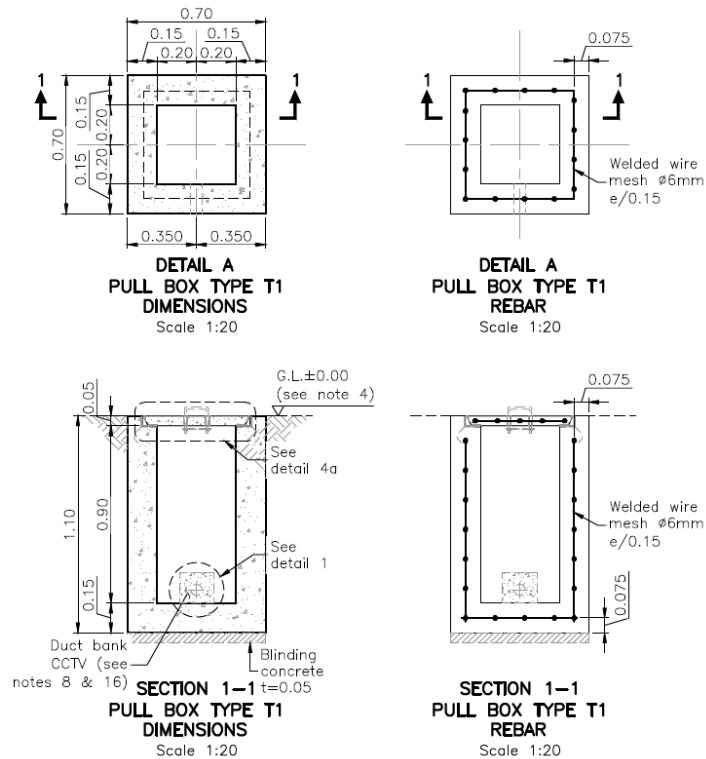
- Aparicio, J. R. (2009). La 'mejor esquina de Sur América': aproximaciones etnográficas a la protección de la vida en Urabá. *Antípoda. Revista de Antropología y Arqueología*, (8), 87-115.
- Ávila Caballero, F. (2011). Utilización de elementos prefabricados en la construcción (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Botero, L. F. B. (2021). Principios, herramientas e implementación de Lean Construction. Universidad EAFIT.
- Cordoví, Y. S., & Quintana, I. N. V. (2017). Desde la tecnología del prefabricado actual hasta la prefabricación contra pedido. *Ciencia en su PC*, (1), 104-115.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2021). Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia potencia mundial de la vida [Documento PDF]. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Prensa/Publicaciones/plan-nacional-de-desarrollo-2022-2026-colombia-potencia-mundial-de-la-vida.pdf>
- Estupiñan, D. F. J., & Caballero, J. J. G. (2020). Importancia del concreto en el campo de la construcción. *Formación Estratégica*, 2(1), 1-13.
- Fonseca Barrera, L. (2016). Empleo de ceniza volante colombiana como material cementicio suplementario y sus efectos sobre la fijación de cloruros en concretos
- García Balado, J. F. (1956). La prefabricación con hormigón: ventajas, métodos y desarrollo. Buenos Aires: Instituto del Cemento Pórtland Argentino (ICPA).
- Gutiérrez de López, L. (2003). El concreto y otros materiales para la construcción. Universidad Nacional de Colombia.
- Hernández Báez, J. C., & Parra Blandón, A. M. (2016). Evaluación del uso de elementos prefabricados de GRC en la construcción de fachadas.
- Huaquisto, C. S., & Belizario, Q. G. (2018). Utilización de la ceniza volante en la dosificación del concreto como sustituto del cemento. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 20(2), 225-234. <https://dx.doi.org/10.18271/ria.2018.366>
- Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2002). Fly ash, slag, silica fume, and natural pozzolans. *Design and control of concrete mixtures*, 13, 57-72.
- Leonhardt, F., & Van Amerongen, C. (1964). *Prestressed concrete: Design and construction*. (No Title).
- Li, Z., Shen, G. Q., & Xue, X. (2014). Critical review of the research on the management of prefabricated construction. *Habitat international*, 43, 240-249.
- MacGregor, J. G., Wight, J. K., Teng, S., & Irawan, P. (1997). *Reinforced concrete: Mechanics and design* (Vol. 3). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. (2014). *Concreto. Microestructura, propiedades e materiais*, 2.

- Mesía, R. (2010). Análisis comparativo del uso de elementos prefabricados de concreto armado vs. concreto vaciado in situ en edificios de vivienda de mediana altura en la ciudad de Lima.
- Montenegro Carrillo, R. A., López Chaupijulca, G. L., García Arriola, M. A., Vílchez Moreno, S. E., & Muñoz Blanco, J. C. (2020). Consideraciones de diseño para el uso de elementos prefabricados de concreto armado para estructuras de edificios.
- Mora, E. B., Madrigal, H. L., Salazar, A. R., González, E. F., Mora, J. B., Graciano, J. L., & Corona, J. S. (2018). Diseño óptimo multi-objetivo de edificios de concreto reforzado usando algoritmos genéticos. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/618/61858695006/html/>
- Morales, M., García, J. M., Calderón, J. A., Echeverría, F., & Córdoba, C. (2011). Uso de ceniza volante como adición mineral y reemplazo del cemento Portland en la fabricación del concreto hidráulico. *Infraestructura y sostenibilidad en transporte*, 215.
- Muzzio Cantos, S. O. (2020). *¿Cómo optimizar el proceso constructivo?* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Cuyo. Facultad de Ciencias Económicas).
- Olmo Valle, I. A. (2013). *Guías Comparativas para Seleccionar Método de Construcción Tradicional vs. Prefabricado*. Civil Engineering.
- Paredes-Durán, M. (2023). *Uso de prefabricados de concreto y su aplicación en el espacio público urbano*.
- Park, R., & Paulay, T. (1991). *Reinforced concrete structures*. John Wiley & Sons.
- Puente Nieto, J. L., & Valladares Arbieta, D. G. (2021). Análisis del uso de losas prefabricadas de concreto en la construcción de un edificio multifamiliar.
- Rodríguez, R. J. S. (2006). *Paneles prefabricados para fachada con hormigón de altas prestaciones* (Doctoral dissertation, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (Spain)).
- Sanabria-Riaño, B. S. (2017). Análisis comparativo entre procesos de diseño y construcción de los sistemas tradicional y prefabricado de losas de entrepiso para edificaciones de hasta 4 niveles.
- Sánchez Nítola, M. L. (2018). *Revisión de los factores de éxito de nuevos proyectos portuarios con inversión privada en Colombia*.
- Soto Ardila, C. C. (2022). *Sistema constructivo prefabricado (off site), análisis técnico para desarrollar su uso en la construcción de edificaciones en Colombia. "Estudio de caso un proyecto diseñado y construido en la ciudad de Bogotá"* (Doctoral dissertation, Universidad Nacional de Colombia).
- Vela Ortiz, J. L., & Díaz Zumaeta, J. H. (2023). Análisis Comparativo de tiempos y costos entre Sistema Constructivo en concreto celular autoclave y Sistema Constructivo con paneles muros prefabricados de concreto en una vivienda en el distrito de Julcán, Provincia de Julcán, Departamento de la Libertad.
- Verduzco, L. F., Horta, J. M., Pérez, L., Hernández, M. A., & Arroyo, G. M. (2020). Optimización de acero de refuerzo con el Algoritmo Genético para el diseño de columnas de concreto. 14vo coloquio de investigación. Universidad Autónoma de Querétaro.

Zapata Carmona, A., & Galvis Jaramillo, S. (2020). Puerto Antioquia: desarrollo, competitividad y comercio exterior.

Anexos

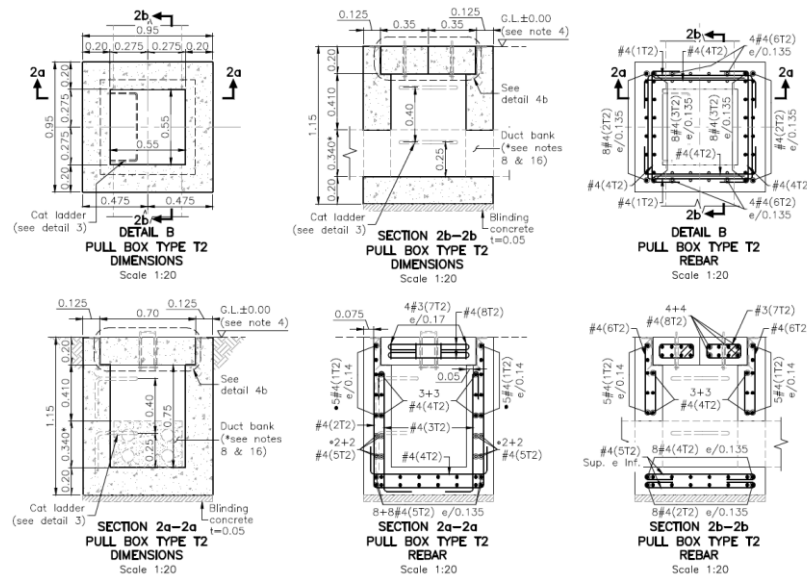
Anexo 1. Diseño estructural para la caja eléctrica tipo I.



Anexo 2. Cantidades de materiales necesarios para una caja eléctrica prefabricada tipo I.

QUANTITY SCHEDULE PULL BOX TYPE T1 (TOTAL QTY.: 30)			
DESCRIPTION	UNIT	UNIT. QUANT.	TOTAL QUANT.
STRUCTURAL CONCRETE $f'c= 35$ MPa (5000 psi)	m^3	0.39	11.70
DRY MANUAL EXCAVATION	m^3	0.56	16.80
BLINDING CONCRETE $f'c= 14$ MPa (2000 psi)	m^3	0.02	0.60
WELDED WIRE MESH	kg	8.29	248.70
ASTM A36 METALLIC EMBEDDED	kg	24.42	732.60
#4 SMOOTH STEEL BARS $f_y= 420$ MPa (60000 psi)	kg	0.54	16.20

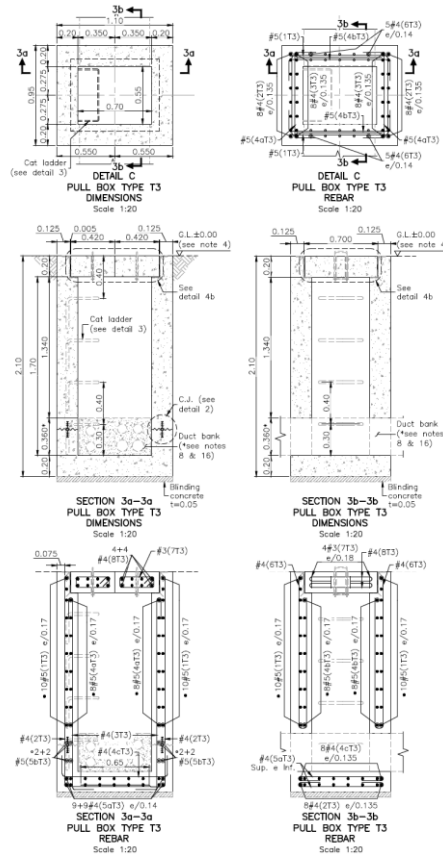
Anexo 3. Diseño estructural para la caja eléctrica tipo II.



Anexo 4. Cantidades de materiales necesarios para una caja eléctrica prefabricada tipo II.

REBAR SCHEDULE PULL BOX TYPE 2 (1 STRUCTURE)										QUANTITIES					
LOC.	ID	FIG.	No. REB.	QUANT.	DIMENSIONS (m)					REBAR LENGTH (m)	TOTAL LENGTH (m)	TOTAL WEIGHT (kg)			
					A	B	C	D	E						
PULL BOX T2	(1T2)	3	#4	10	0.80	0.73	0.73	-	-	2.25	22.50	22.28			
	(2T2)	3	#4	8	0.80	1.05	1.05	-	-	2.90	23.20	22.97			
	(3T2)	22	#4	16	0.85	0.20	0.20	-	-	1.25	20.00	19.80			
	(4T2)	3	#4	12	0.80	0.20	0.20	-	-	1.20	14.40	14.26			
	(5T2)	41	#4	24	0.80	0.20	0.20	-	-	1.20	28.80	28.51			
	(6T2)	24	#4	8	0.51	0.31	0.08	-	-	0.90	7.20	7.13			
	(7T2)	9	#3	8	0.25	0.25	0.10	0.10	0.10	0.90	7.20	4.03			
	(8T2)	41	#4	16	0.59	0.20	0.20	-	-	0.99	15.84	15.68			
Total Weight of Rebar (kg)											134.65				

Anexo 5. Diseño estructural para la caja eléctrica tipo III.

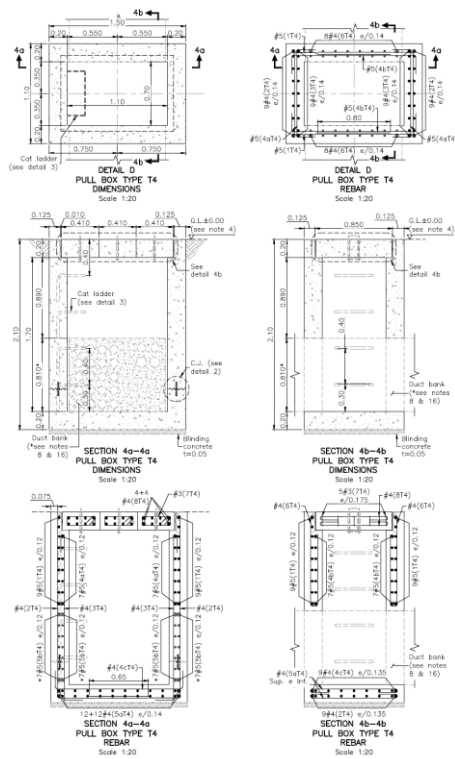


Anexo 6. Cantidades de materiales necesarios para una caja eléctrica prefabricada tipo III.

REBAR SHAPES				QUANTITIES									
2		3		9		22		N*	∅	kg/m	N*	∅	kg/m
24		41						#2	1/4	0.25	#7	7/8	3.04
								#3	3/8	0.56	#8	1	3.97
								#4	1/2	0.99	#9	1-1/8	5.06
								#5	5/8	1.55	#10	1-1/4	6.40
								#6	3/4	2.24	#11	1-3/8	7.91

REBAR SCHEDULE PULL BOX TYPE 3 (1 STRUCTURE)												
LOC.	ID	FIG.	No. REB.	QUANT.	DIMENSIONS (m)					REBAR LENGTH (m)	TOTAL LENGTH (m)	TOTAL WEIGHT (kg)
					A	B	C	D	E			
PULL BOX T3	(1T3)	3	#5	20	0.80	0.88	0.88	-	-	2.55	51.00	79.05
	(2T3)	2	#4	16	2.00	0.80	-	-	-	2.80	44.80	44.35
	(3T3)	22	#4	16	1.80	0.20	0.20	-	-	2.20	35.20	34.85
	(4aT3)	3	#5	16	0.80	0.25	0.25	-	-	1.30	20.80	32.24
	(4bT3)	3	#5	16	0.95	0.25	0.25	-	-	1.45	23.20	35.96
	(4cT3)	3	#4	8	0.95	0.20	0.20	-	-	1.35	10.80	10.69
	(5aT3)	41	#4	18	0.80	0.20	0.20	-	-	1.20	21.60	21.38
	(5bT3)	41	#5	8	0.80	0.25	0.25	-	-	1.30	10.40	16.12
	(6T3)	24	#4	10	1.44	1.24	0.08	-	-	2.76	27.60	27.32
	(7T3)	9	#3	8	0.32	0.32	0.10	0.10	0.10	1.04	8.32	4.66
	(8T3)	41	#4	16	0.59	0.20	0.20	-	-	0.99	15.84	15.68
	Total Weight of Rebar (kg)											322.31

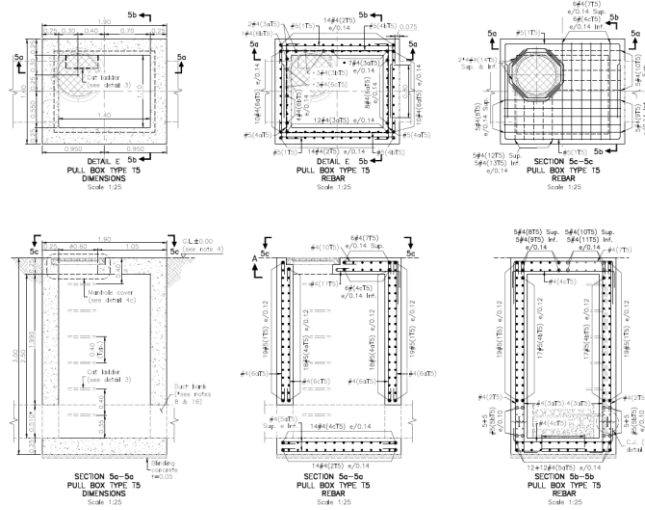
Anexo 7. Diseño estructural para la caja eléctrica tipo IV.



Anexo 8. Cantidades de materiales necesarios para una caja eléctrica prefabricada tipo IV.

REBAR SCHEDULE PULL BOX TYPE 4 (1 STRUCTURE)												
LOC.	ID	FIG.	No. REB.	QUANT.	DIMENSIONS (m)					REBAR LENGTH (m)	TOTAL LENGTH (m)	TOTAL WEIGHT (kg)
					A	B	C	D	E			
PULL BOX T4	(1T4)	3	#5	18	0.95	1.08	1.08	—	—	3.10	55.80	86.49
	(2T4)	2	#4	18	2.00	1.00	—	—	—	3.00	54.00	53.46
	(3T4)	22	#4	18	1.80	0.20	0.20	—	—	2.20	39.60	39.20
	(4cT4)	3	#5	14	0.95	0.25	0.25	—	—	1.45	20.30	31.47
	(4bT4)	3	#5	14	1.35	0.25	0.25	—	—	1.85	25.90	40.15
	(4cT4)	3	#4	9	1.35	0.20	0.20	—	—	1.75	15.75	15.59
	(5aT4)	41	#4	24	0.95	0.20	0.20	—	—	1.35	32.40	32.08
	(5bT4)	41	#5	28	0.95	0.25	0.25	—	—	1.45	40.60	62.93
	(6T4)	24	#4	16	0.99	0.79	0.08	—	—	1.86	29.76	29.46
	(7T4)	9	#3	15	0.31	0.31	0.10	0.10	0.10	1.02	15.30	8.57
(8T4)	41	#4	24	0.74	0.20	0.20	—	—	1.14	27.36	27.09	
Total Weight of Rebar (kg)											426.48	

Anexo 9. Diseño estructural para la caja eléctrica tipo V.

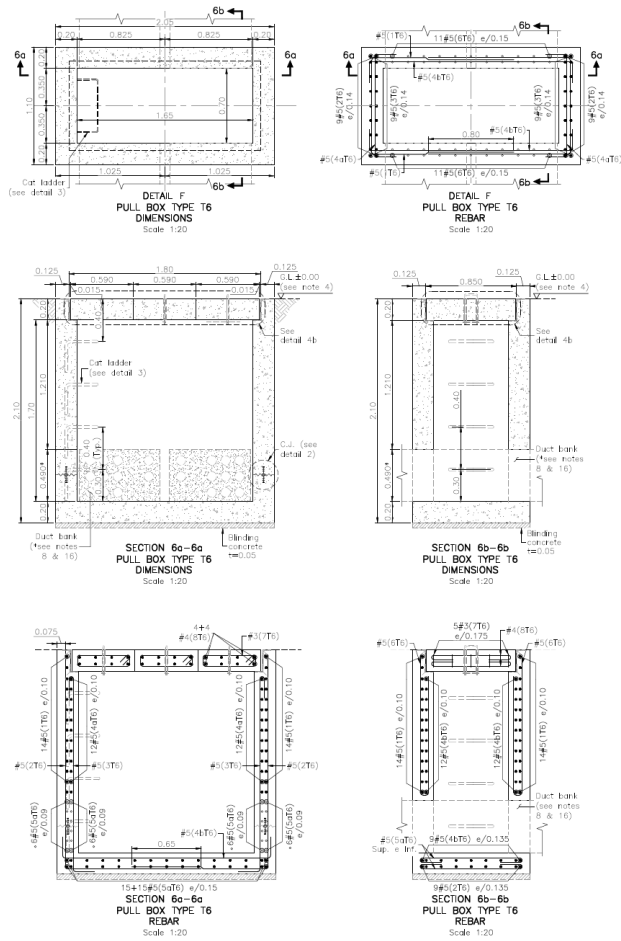


Anexo 10. Cantidades de materiales necesarios para una caja eléctrica prefabricada tipo V.

REBAR SCHEDULE PULL BOX TYPE 5 (1 STRUCTURE)									QUANTITIES						
LOC.	ID	FIG.	No. REB.	QTY.	DIMENSIONS (m)					REBAR			TOTAL		
					A	B	C	D	E	LENGTH (m)	TOTAL LENGTH (m)	WEIGHT (kg)			
PULL BOX T5	(1T5)	3	#5	38	1.75	1.13	1.13	—	—	4.00	152.00	235.60			
	(2T5)	16	#4	28	2.90	0.20	1.05	—	—	4.15	116.20	115.04			
	(3aT5)	22	#4	22	2.90	0.20	0.20	—	—	3.30	72.60	71.87			
	(3bT5)	22	#4	3	2.80	0.20	0.20	—	—	3.20	9.60	9.50			
	(4aT5)	3	#5	36	1.45	0.25	0.25	—	—	1.95	70.20	108.81			
	(4bT5)	3	#5	34	1.75	0.25	0.25	—	—	2.25	76.50	118.58			
	(4cT5)	3	#4	20	1.45	0.20	0.20	—	—	1.85	37.00	36.63			
	(5aT5)	41	#4	24	1.75	0.20	0.20	—	—	2.15	51.60	51.08			
	(5bT5)	41	#5	20	1.75	0.25	0.25	—	—	2.25	45.00	69.75			
	(6aT5)	41	#4	28	2.14	0.20	0.20	—	—	2.54	71.12	70.41			
	(6bT5)	41	#4	5	2.04	0.20	0.20	—	—	2.44	12.20	12.08			
	(7T5)	3	#4	6	1.45	0.65	0.65	—	—	2.75	16.50	16.34			
	(8T5)	3	#4	5	1.75	0.65	0.65	—	—	3.05	15.25	15.10			
	(9T5)	3	#4	5	1.75	0.20	0.20	—	—	2.15	10.75	10.64			
	(10T5)	16	#4	5	VAR (0.85–1.10)	0.20	0.20	—	—	1.38*	6.90	6.83			
	(11T5)	22	#4	5	VAR (0.96–1.21)	0.20	0.20	—	—	1.49*	7.45	7.38			
(12T5)	16	#4	5	VAR (0.56–0.73)	0.20	0.20	—	—	1.05*	5.25	5.20				
(13T5)	22	#4	5	VAR (0.67–0.84)	0.20	0.20	—	—	1.16*	5.80	5.74				
(14T5)	5	#4	16	0.30	0.30	0.30	—	—	0.90	14.40	14.26				
										Total Weight of Rebar (kg)		980.83			

* Indicates variable length

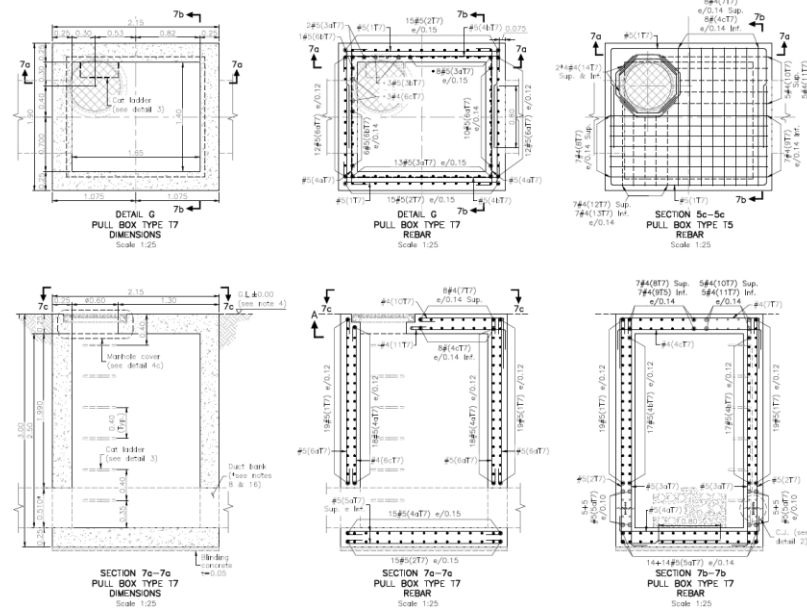
Anexo11. Diseño estructural para la caja eléctrica tipo VI.



Anexo 12. Cantidades de materiales necesarios para una caja eléctrica prefabricada tipo VI.

REBAR SCHEDULE PULL BOX TYPE 6 (1 STRUCTURE)					QUANTITIES							
2	3	9	22		N°	∅	kg/m	N°	∅	kg/m		
A	B	C	D	E	#2	1/4	0.25	#7	7/8	3.04		
					#3	3/8	0.56	#8	1	3.97		
24	41				#4	1/2	0.99	#9	1-1/8	5.06		
					#5	5/8	1.55	#10	1-1/4	6.40		
					#6	3/4	2.24	#11	1-3/8	7.91		
LOC.	ID	FIG.	No. REB.	QUANT.	DIMENSIONS (m)					REBAR LENGTH (m)	TOTAL LENGTH (m)	TOTAL WEIGHT (kg)
PULL BOX T6	(1T6)	3	#5	28	0.95	1.35	1.35	-	-	3.65	102.20	10.00
	(2T6)	2	#5	18	2.00	1.28	-	-	-	3.28	59.04	91.51
	(3T6)	22	#5	18	1.80	0.25	0.25	-	-	2.30	41.40	64.17
	(4aT6)	3	#5	24	0.95	0.25	0.25	-	-	1.45	34.80	53.94
	(4bT6)	3	#5	33	1.90	0.25	0.25	-	-	2.40	79.20	122.76
	(5aT6)	41	#5	54	0.95	0.25	0.25	-	-	1.45	78.30	121.37
	(6T6)	24	#5	22	1.31	1.11	0.08	-	-	2.50	55.00	85.25
	(7T6)	9	#3	15	0.49	0.49	0.10	0.10	0.10	1.38	20.70	11.59
(8T6)	41	#4	24	0.74	0.20	0.20	-	-	1.14	27.36	27.09	
Total Weight of Rebar (kg)										736.09		

Anexo 13. Diseño estructural para la caja eléctrica tipo VII.

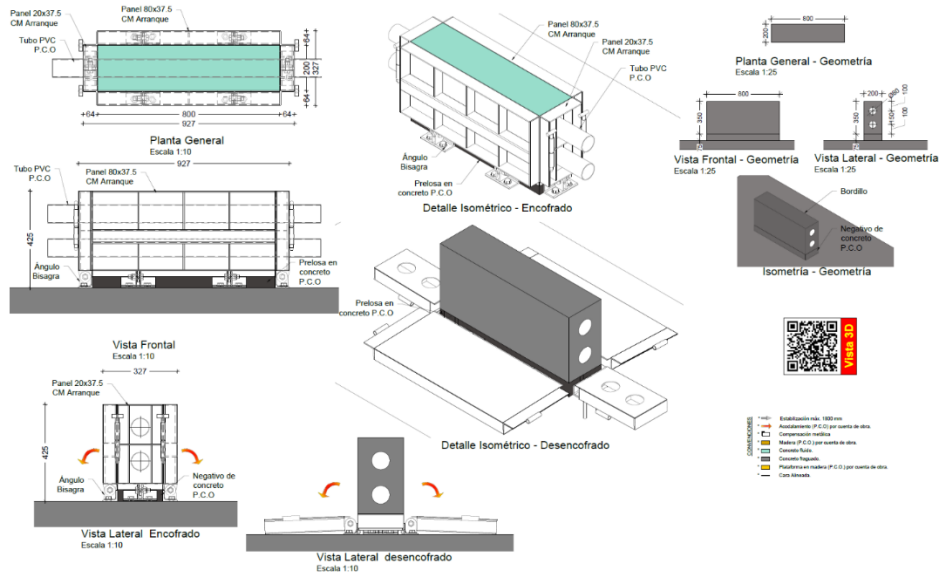


Anexo 14. Cantidades de materiales necesarios para una caja eléctrica prefabricada tipo VII.

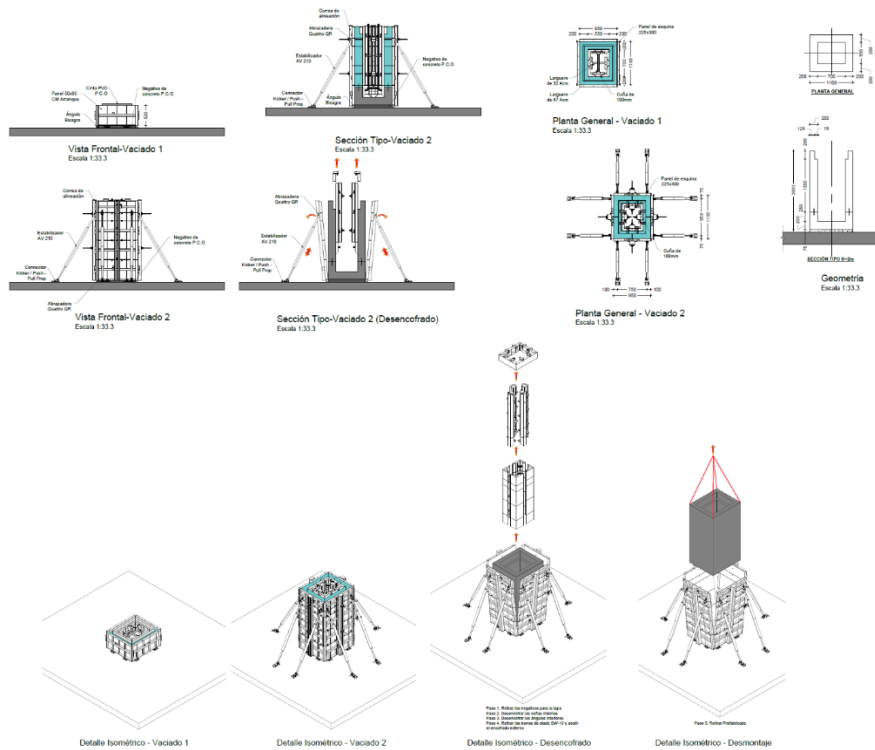
REBAR SCHEDULE PULL BOX TYPE 7 (1 STRUCTURE)						QUANTITIES										
2	B		3	C		5	D		9	N*	∅	kg/m	N*	∅	kg/m	
	A		A		A		A		A		#2	1/4	0.25	#7	7/8	3.04
16	B		C		C		C		C		#3	3/8	0.56	#8	1	3.97
	A		A		A		A		A		#4	1/2	0.99	#9	1-1/8	5.06
	A		A		A		A		A		#5	5/8	1.55	#10	1-1/4	6.40
	A		A		A		A		A		#6	3/4	2.24	#11	1-3/8	7.91
LOC.	ID	FIG.	No. REB.	QTY.	DIMENSIONS (m)					REBAR	TOTAL	TOTAL				
					A	B	C	D	E	LENGTH (m)	LENGTH (m)	WEIGHT (kg)				
PULL BOX T7	(1T7)	3	#5	38	2.00	1.28	1.28	-	-	4.55	172.90	268.00				
	(2T7)	16	#5	30	2.90	0.25	1.28	-	-	4.43	132.90	206.00				
	(3aT7)	22	#5	23	2.90	0.25	0.25	-	-	3.40	78.20	121.21				
	(3bT7)	22	#5	3	2.80	0.25	0.25	-	-	3.30	9.90	15.35				
	(4aT7)	3	#5	51	1.75	0.25	0.25	-	-	2.25	114.75	177.86				
	(4bT7)	3	#5	34	2.00	0.25	0.25	-	-	2.50	85.00	131.75				
	(4cT7)	3	#4	8	1.75	0.20	0.20	-	-	2.15	17.20	17.03				
	(5aT7)	41	#5	48	2.00	0.25	0.25	-	-	2.50	120.00	186.00				
	(6aT7)	41	#5	34	2.14	0.25	0.25	-	-	2.64	89.76	139.13				
	(6bT7)	41	#5	6	2.04	0.25	0.25	-	-	2.54	15.24	23.62				
	(7T7)	3	#4	8	1.75	0.65	0.65	-	-	3.05	24.40	24.16				
	(8T7)	3	#4	7	2.00	0.65	0.65	-	-	3.30	23.10	22.87				
	(9T7)	3	#4	7	2.00	0.20	0.20	-	-	2.40	16.80	16.63				
	(10T7)	16	#4	5	VAR (1.10-1.35)	0.20	0.20	-	-	1.63*	8.15	8.07				
(11T7)	22	#4	5	VAR (1.21-1.46)	0.20	0.20	-	-	1.74*	8.70	8.61					
(12T7)	16	#4	5	VAR (0.86-1.03)	0.20	0.20	-	-	1.35*	6.75	6.68					
(13T7)	22	#4	5	VAR (0.97-1.14)	0.20	0.20	-	-	1.46*	7.30	7.23					
(14T7)	5	#4	16	0.30	0.30	0.30	-	-	0.90	14.40	14.26					
										Total Weight of Rebar (kg)		1394.44				

* Indicates variable length

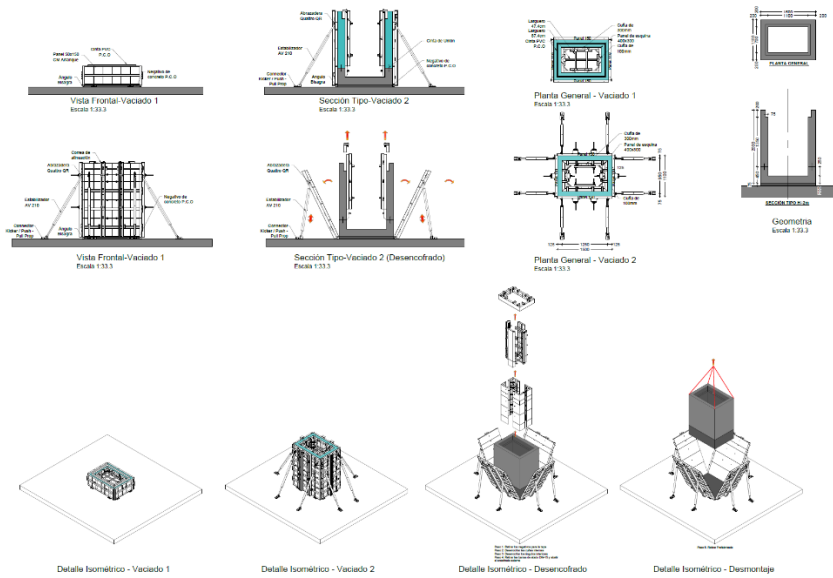
Anexo 15. Sistema de encofrado de bordillo prefabricado.



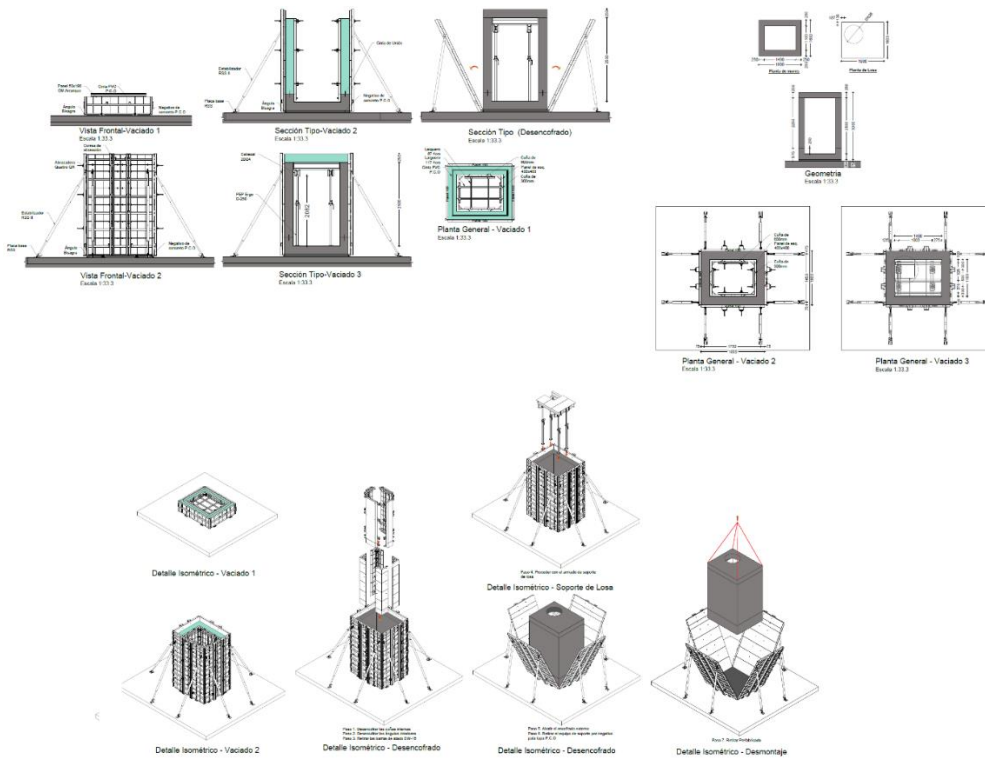
Anexo 16. Sistema de encofrado para caja eléctrica prefabricada tipo III.



Anexo 17. Sistema de encofrado para caja eléctrica prefabricada tipo IV.



Anexo 18. Sistema de encofrado para caja eléctrica prefabricada tipo V.



Anexo 19. Catálogo de elementos prefabricados onshore, imagen 1.



Andrés Felipe Pérez Villa

INGENIERO CIVIL

Catálogo de elementos prefabricados

ÁREA DE PRODUCCIÓN ON SHORE



PUERTO ANTIOQUIA, NUEVA COLONIA



Anexo 20. Catálogo de elementos prefabricados onshore, imagen 2.

**CAJA ELECTRICA TIPO IV**

Componente fundamental en las instalaciones eléctricas. Elemento esencial para garantizar la seguridad, el mantenimiento y la eficiencia de las instalaciones eléctricas. Estas cajas permiten un acceso fácil y seguro a las conexiones, facilitando las tareas de inspección, reparación y mantenimiento.

Características:

- ✓ Medidas externas (m): 1.1 x 1.5
 - ✓ Medidas internas (m): 0.7 x 1.1
 - ✓ Altura (m): 2.3
 - ✓ Resistencia concreto (MPa): 35
 - ✓ Cantidad concreto (m³): 2.2
 - ✓ Cantidad acero (kg): 427
 - ✓ Costo materiales (COP): \$2.176.000
- NOTA:** La cantidad de acero, concreto y costos es por unidad

Anexo 21. Catálogo de elementos prefabricados onshore, imagen 3.

**CAJA ELECTRICA TIPO V**

Componente fundamental en las instalaciones eléctricas. Elemento esencial para garantizar la seguridad, el mantenimiento y la eficiencia de las instalaciones eléctricas. Estas cajas permiten un acceso fácil y seguro a las conexiones, facilitando las tareas de inspección, reparación y mantenimiento.

Características:

- ✓ Medidas externas (m): 1.6 x 1.9
 - ✓ Medidas internas (m): 1.1 x 1.4
 - ✓ Altura (m): 2.4
 - ✓ Resistencia concreto (MPa): 35
 - ✓ Cantidad concreto (m³): 4.4
 - ✓ Cantidad acero (kg): 654
 - ✓ Costo materiales (COP): \$3.710.000
- NOTA:** La cantidad de acero, concreto y costos es por unidad

Anexo 22. Catálogo de elementos prefabricados onshore, imagen 4.



BORDILLO DE CONFINAMIENTO

Elementos de concreto versátiles que se utilizan en diferentes tipos de proyectos para delimitar, confinar, proteger y mejorar la estética de las áreas delimitadas. Su función es crucial para la seguridad, la organización y la funcionalidad de proyecto de construcción.

Características:

- ✓ Largo (m): 0.8
 - ✓ Ancho (m): 0.2
 - ✓ Altura (m): 0.35
 - ✓ Resistencia concreto (MPa): 35
 - ✓ Cantidad concreto (m³): 0.056
 - ✓ Cantidad acero (kg): 6.17
 - ✓ Costo materiales (COP): \$40.400
- NOTA:** La cantidad de acero, concreto y costos es por unidad