



**Protocolo Integral para la optimización de Diseños Estructurales y procesos de Planificación en
Earthgreen Colombia: Estandarización de procesos para la mejora de la Planificación y
Ejecución de proyectos**

Manuela Benjumea Avalos

Seleccione tipo de documento para optar al título de Ingeniera Civil

Modalidad de Práctica

Semestre de Industria o Práctica Empresarial

Asesores

Lina María Ramírez Hoyos, Magister en Planificación y Gestión del Territorio

Luis Aníbal Sepúlveda Villada, Ingeniero Sanitario y Magister en Ingeniería Ambiental

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Civil

Medellín, Antioquia, Colombia

2025

| | |
|----------------------------|--|
| Cita | (Benjumea Avalos, 2025) |
| Referencia | Benjumea, M. (2025). <i>Protocolo Integral para la optimización de Diseños Estructurales y procesos de Planificación en Earthgreen Colombia de</i> [Trabajo de grado profesional]. Universidad de Antioquia, Medellín, 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

Para mis padres, María Victoria Avalos y Víctor Augusto Benjumea; y mi abuela, Beatriz Sepúlveda que siempre han estado presentes en todo mi proceso de aprendizaje a lo largo de estos años.

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi familia, por su amor, apoyo incondicional y por ser mi principal fuente de motivación desde el inicio hasta el final de mi carrera.

A la empresa Earthgreen Colombia, gracias por abrirme las puertas y permitirme aplicar los conocimientos adquiridos durante mi formación. Su confianza y disposición han sido fundamentales para mi crecimiento profesional.

De manera especial, agradezco a mi tío Luis Aníbal Sepúlveda y a mi madrina Piedad Gómez por creer en mí, por su confianza constante y por ser un pilar esencial en mi vida y carrera.

A mi alma máter, la Universidad de Antioquia y a la Facultad de Ingeniería, mi sincero reconocimiento por brindarme las herramientas, el conocimiento y el ambiente propicio para desarrollarme como profesional. A todos los profesores que dejaron una huella imborrable en mi formación, gracias por compartir su sabiduría y su pasión por enseñar.

Finalmente, extiendo mi agradecimiento a mi asesora de prácticas, Lina María Ramírez, por su guía, paciencia y valiosos aportes durante este proceso. Su acompañamiento ha sido clave para culminar esta etapa con éxito.

Gracias a todos los que, de una u otra manera, hicieron parte de este camino y contribuyeron a que este sueño se hiciera realidad.

Tabla de contenido

| | |
|-----------------------------------|----|
| Resumen | 8 |
| Abstract | 9 |
| 1. Introducción | 10 |
| 2. Objetivos | 12 |
| 2.1 Objetivo general | 12 |
| 2.2 Objetivos específicos | 12 |
| 3. Marco teórico | 13 |
| 4. Metodología | 22 |
| 5. Análisis de resultados | 26 |
| 6. Conclusiones y recomendaciones | 39 |
| Referencias | 41 |
| Anexos | 43 |

Lista de tablas

Tabla 1 Conglomerado y análisis de las encuestas realizadas al equipo de trabajo Earthgreen Colombia (2024)

26

Lista de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Formato de estandarización de diseños estructurales - Altura de nervios y vigas (2024) | 29 |
| Figura 2 Formato de estandarización de diseños estructurales - Vigas (2024) | 30 |
| Figura 3 Formato de estandarización de diseños estructurales - Columnas (2024) | 30 |
| Figura 4 Formato de estandarización de diseños estructurales – ENE Verticales (2024) | 31 |
| Figura 5 Formato de estandarización de diseños estructurales - Espectro (2024) | 31 |
| Figura 6 Formato de estandarización de diseños estructurales – Fuerzas estructurales equivalentes (2024) | 32 |
| Figura 7 Formato de estandarización de diseños estructurales – Chequeo de Derivas (2024) | 32 |
| Figura 8 Formato de estandarización de presupuesto y cantidades (2024) | 33 |
| Figura 9 Formato de estandarización de precios unitarios – APU's (2024) | 33 |
| Figura 10 Formato de estandarización para la programación, control y gestión de obras (2024) | 34 |
| Figura 11 Diseño e interfaz del software ETABS | 36 |

Siglas, acrónimos y abreviaturas

| | |
|---------------|----------------------------------|
| NSR-10 | Norma Sismoresistente Colombiana |
| APU. | Análisis de Precios Unitarios |

Resumen

Earthgreen Colombia es una empresa especializada en el diseño y construcción de soluciones de compostaje para el aprovechamiento de residuos orgánicos. Parte de su labor implica el desarrollo de sistemas constructivos y estructurales necesarios para el correcto establecimiento de la infraestructura.

En ese sentido, surge la necesidad de atender los desafíos encontrados durante el chequeo de documentos existentes para realización de la ampliación de su planta de producción, donde se ha evidenciado la falta de un sistema unificado que permita una organización eficiente de la información y el seguimiento preciso de las actividades.

En este trabajo se aborda el planteamiento de un protocolo integral para optimizar y estandarizar los procesos de diseño estructural y la gestión de obras. Dicho protocolo se plantea desarrollar a través de la implementación de herramientas tecnológicas como el software ETABS, para el análisis estructural, y la creación de plantillas en Excel, las cuales facilitarán el cálculo y la revisión de los elementos estructurales conforme a la Norma Sismoresistente Colombiana (NSR-10).

Con esta solución, se busca estandarizar el flujo de trabajo, mejorar la organización documental y optimizar el control de los avances de la obra. Se espera que este protocolo contribuya a una mejor gestión de proyectos futuros, garantizando la trazabilidad y el cumplimiento de las obligaciones técnicas y administrativas.

Palabras clave: Protocolo integral de optimización, diseño estructural para plantas de compostaje, estandarización de procesos de diseño estructural, base de datos, comportamiento estructural.

Abstract

Earthgreen Colombia is a company specialized in the design and construction of composting solutions for the utilization of organic waste. Part of its work involves the development of construction and structural systems required for the proper establishment of infrastructure.

In this context, the need arises to address the challenges identified during the review of existing documents for the expansion of its production plant, where a lack of a unified system has been noted. This deficiency hampers efficient organization of information and precise tracking of activities.

This work proposes the development of a comprehensive protocol to optimize and standardize structural design processes and project management. The protocol is planned to be developed through the implementation of technological tools, such as ETABS software for structural analysis, and the creation of Excel templates to facilitate the calculation and review of structural elements in compliance with the Colombian Seismic-Resistant Code (NSR-10).

This solution aims to standardize workflows, improve document organization, and optimize the monitoring of project progress. It is expected that this protocol will contribute to better management of future projects, ensuring traceability and compliance with technical and administrative requirements.

Keywords: Comprehensive optimization protocol, Structural design for composting plants, Standardization of structural design processes, Database, Structural behavior.

1. Introducción

El diseño estructural es una disciplina fundamental dentro de la ingeniería civil, ya que asegura la seguridad, funcionalidad y eficiencia de las edificaciones. Este proceso incluye el análisis de cargas, el diseño de elementos estructurales acorde al uso, los materiales y las normativas, permitiendo que las estructuras soporten las condiciones operativas y ambientales a las que serán sometidas.

En la empresa Earthgreen Colombia, los diseños estructurales desempeñan un papel crucial en el desarrollo de proyectos de construcción, particularmente en plantas de compostaje. Sin embargo, la empresa enfrenta desafíos significativos en la planificación y ejecución de estos proyectos, debido a la carencia de herramientas tecnológicas avanzadas y protocolos estandarizados que faciliten el análisis estructural, la toma de decisiones y el control eficiente de los procesos.

Entre los principales problemas identificados se encuentran la dependencia de memorias de cálculo físicas, la falta de plantillas para cálculos estructurales, presupuestos y análisis de precios unitarios (APU), así como la ausencia de software especializado que permita evaluar el comportamiento estructural frente a fenómenos naturales. Estas deficiencias generan limitaciones en la precisión, eficiencia y cumplimiento normativo de los proyectos, afectando la capacidad de la empresa para optimizar recursos y garantizar resultados de calidad.

Ante esta problemática, durante el desarrollo de las prácticas profesionales se propone la creación de un protocolo integral para estandarizar y optimizar los procesos de diseño estructural, cálculo de cantidades, presupuestos y planificación. Este protocolo incluirá la implementación de herramientas tecnológicas avanzadas, como el software ETABS para análisis estructural, y plantillas electrónicas en Excel que automatizarán cálculos y facilitarán el control de los proyectos.

Se espera que esta propuesta reduzca significativamente los tiempos de ejecución, minimice errores de planificación y garantice un uso más eficiente de los recursos. Además, organizará la información técnica para que sea accesible y actualizable, promoviendo una gestión más eficiente y alineada con las necesidades de los ingenieros y colaboradores de Earthgreen Colombia.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Proponer unos lineamientos básicos para un protocolo de estandarización y optimización de los diferentes procesos de diseño estructural dentro de la empresa Earthgreen Colombia, garantizando mejoras en la eficiencia y precisión de los proyectos.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar las problemáticas y necesidades actuales en los procesos de diseño estructural y planificación de proyectos dentro de Earthgreen Colombia, con el fin de detectar oportunidades de mejora.
- Definir los criterios necesarios para optimizar la eficiencia y precisión en la ejecución de proyectos, conforme a la normativa vigente y a los requerimientos específicos de la empresa.
- Diseñar e implementar los lineamientos para un protocolo que permita la consulta de información actualizada y mejore la planificación y control de los procesos, mediante la creación de herramientas estandarizadas que respondan a las necesidades detectadas.

3. Marco teórico

Earthgreen Colombia es una empresa dedicada a la fabricación de sistemas de compostaje y diseño y construcción de plantas para el manejo de residuos orgánicos a gran escala. Recientemente, la empresa ha comenzado a incorporar líneas de arquitectura y diseño estructural en sus proyectos, especialmente para la ampliación y mejora de su planta productiva. En este proyecto, la empresa busca, no solo cumplir con las necesidades operativas de crecimiento, sino también optimizar los materiales y procesos de construcción, siguiendo normativas vigentes que aseguren la durabilidad y eficiencia de las estructuras.

Luego de revisar trabajos previos o desarrollos relacionados con la temática propuesta, se ha identificado que, en el proyecto “Desarrollo de una metodología para la estandarización de procesos en el diseño y construcción de Minigranjas solares en la empresa SOLENIUM: Caso de estudio Minigranja El Roble, Departamento de Sucre” (Martinez, 2024), diseñó una ruta metodológica para optimizar los tiempos de ejecución de obras donde se buscaba estandarizar todas las etapas dentro de esta.

La estandarización de los procesos constructivos es fundamental para garantizar la eficiencia y el cumplimiento de las normativas, como lo demuestra (Martinez, 2024), el cual realiza la comparación entre sus procesos actuales y estándares internacionales, lo que permitió optimizar tiempos y mejorar la gestión de recursos. Siguiendo este enfoque, en el presente proyecto se busca desarrollar un protocolo integral que no solo cumpla con la normativa sismorresistente NSR-10, sino que también optimice las etapas de diseño estructural, cálculo de cantidades y presupuestos en la ampliación de la planta de Earthgreen. Al igual que Martinez, en Earthgreen se llevará a cabo un análisis comparativo entre sus procesos actuales y los optimizados, identificando rutas críticas y actividades que se puedan ejecutar de manera simultánea para mejorar la programación y reducir tiempos de ejecución. Para ello, se hará uso de herramientas tecnológicas como ETABS y Excel, lo que permitirá realizar un modelado preciso de la estructura y gestionar de manera eficiente los

recursos, alineando el proyecto con las mejores prácticas internacionales y garantizando la calidad y estabilidad estructural en todas sus etapas.

Así mismo, Isaza Vera (2023) creó un protocolo para procesar los datos recolectados en campo sobre los daños y fisuras de las vías, es fundamental describir adecuadamente los equipos utilizados, además de establecer un protocolo claro que abarque desde las actividades de campo hasta el correcto uso del software. Este procedimiento debe alinearse con las guías y normativas pertinentes al proyecto para asegurar que se cumplan todos los estándares técnicos, (Isaza, 2023). Este protocolo permitió capturar y procesar información sobre daños y fisuras en pavimentos rígidos y flexibles, optimizando el diagnóstico de los deterioros y facilitando el mantenimiento preventivo de las vías. De manera similar, en Earthgreen Colombia busca implementar un protocolo integral para optimizar los procesos de diseño estructural y la planificación de la ampliación de su planta. Al igual que Isaza, el uso de herramientas tecnológicas como ETABS y Excel permitirá a Earthgreen realizar cálculos precisos y gestionar los datos de manera eficiente, minimizando errores y asegurando que las normativas vigentes se cumplan a lo largo del proyecto.

Por su parte, Hoyos (2023) desarrolló un mecanismo para el mejoramiento de procesos como cálculo de cantidades y presupuesto de obra mediante una herramienta ofimática para la construcción de pavimentos rígidos y flexibles. En este se optimizó el proceso de cálculo de cantidades y presupuestos mediante el uso de herramientas ofimáticas como Microsoft Excel, lo que permitió automatizar los cálculos y análisis de precios unitarios (APU) para pavimentos rígidos y flexibles. Este enfoque redujo el tiempo y los errores humanos en la elaboración de presupuestos, proporcionando una mayor precisión y eficiencia en la planificación de las obras. En Earthgreen, se busca aplicar un enfoque similar, utilizando Excel para automatizar los procesos de cálculo de cantidades y presupuesto en la ampliación de su planta productiva y que sirvan para futuros proyectos de construcción de plantas de compostaje. Al incorporar estas herramientas, se espera optimizar los recursos y garantizar que los costos directos e indirectos sean calculados con mayor exactitud, minimizando el riesgo de errores en la fase de planificación y ejecución del proyecto.

Los anteriores antecedentes, dan cuenta de trabajos previos, en línea de optimizar y mejorar los procesos de diseño estructural para casos puntuales. Sin embargo, para el presente trabajo, se desarrollará un protocolo integral adaptado específicamente a las necesidades y características de la empresa Earthgreen, ajustando los procedimientos y herramientas a sus particularidades operativas y requerimientos técnicos de la actividad que se realizará como es el diseño estructural, cálculo de cantidades y presupuestos y todo lo necesario en la obra de ampliación de la planta de producción.

En función de lo anterior, se hace necesario mencionar y relacionar los conceptos básicos que darán soporte al trabajo realizado, es así como se inicia con la descripción teórica de cada uno de ellos para contextualizar al respecto.

Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-10)

La Norma Colombiana de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es el conjunto de regulaciones que establece los requisitos técnicos para garantizar la seguridad y estabilidad de las edificaciones frente a eventos sísmicos en Colombia. Esta norma es de vital importancia en la ingeniería estructural, ya que define las metodologías de diseño, construcción y mantenimiento que deben seguirse para asegurar que las edificaciones puedan resistir tanto cargas estáticas (como el peso propio de los materiales y equipos) como dinámicas (como las generadas por efectos naturales). (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

La NSR-10 se utiliza en proyectos de ingeniería estructural para guiar desde la planificación hasta la ejecución de obras, asegurando que los diseños cumplan con las exigencias locales de resistencia sísmica. En el caso de proyectos de plantas de compostaje, como los que se ejecutan en Earthgreen Colombia, la aplicación de la norma es crucial debido a las características estructurales y operativas de estas plantas, que pueden incluir grandes techos, estructuras metálicas y almacenamiento de equipos pesados, los cuales deben ser diseñados para soportar las cargas

sísmicas previstas para la zona geográfica donde se encuentren ubicadas, en este caso se tienen en cuenta para la ampliación de la planta de producción de la empresa ubicada en Rionegro, Antioquia.

En el presente proyecto, se aplicarán especialmente los Títulos A y B de la NSR-10. El **Título A** establece los requisitos generales y criterios básicos de diseño para todo tipo de edificaciones. Entre los aspectos más importantes de este título se encuentran la clasificación de las edificaciones según su importancia, la asignación de zonas de amenaza sísmica y las condiciones de diseño para resistir las fuerzas de sismos. Para el caso de la planta de producción se debe tener en cuenta que está ubicada en zona de amenaza sísmica Intermedia (pág 60) y es una estructura de Ocupación Normal, es decir, Grupo I (pág 69).

Por otro lado, el **Título B** se enfoca en la determinación de cargas estructurales, incluyendo tanto las permanentes (peso propio) como las variables (viento, nieve, y sobre todo sismos). Para la ampliación de la planta de producción y para los proyectos de plantas de compostaje, estos requisitos aseguran que las estructuras podrán soportar no solo el peso de los materiales y maquinarias, sino también las fuerzas que puedan generarse por movimientos telúricos.

Algunos de los requisitos mínimos clave de la NSR-10 que deben cumplirse en este proyecto incluyen:

- **Clasificación sísmica de la zona:** El área de Rionegro se encuentra en una zona de amenaza sísmica intermedia, lo que implica que las estructuras deben diseñarse con refuerzos específicos.
- **Capacidad de deformación:** Las estructuras deben tener la capacidad de deformarse de manera controlada para disipar la energía sísmica sin comprometer su estabilidad.
- **Resistencia de materiales:** Se debe seleccionar y verificar que los materiales utilizados, como acero y hormigón, cumplan con las exigencias de resistencia impuestas por la norma.

El cumplimiento de estos requisitos garantizará que las ampliaciones de la planta de producción no solo sean seguras y conformes a las normativas vigentes, sino que también aseguren la durabilidad y estabilidad de las estructuras ante las cargas y fenómenos sísmicos. Esto es particularmente relevante en un país como Colombia, que se encuentra en una zona sísmica activa. (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

Diseño Estructural

El diseño estructural es crucial en este tipo de proyectos, ya que garantiza que las edificaciones cumplan con los requisitos técnicos y normativos. En la ampliación de Earthgreen, se diseñarán y construirán elementos clave como zapatas, vigas y columnas de concreto reforzado, que forman la estructura principal del proyecto la cual será aporricada. Las zapatas sirven como base para distribuir las cargas de las columnas sobre el suelo, asegurando la estabilidad de la edificación. Las vigas, por su parte, conectan columnas y soportan cargas verticales, mientras que las columnas transfieren las cargas de la estructura hacia las fundaciones. También se incluyen elementos no estructurales como las losas de piso, que proporcionan superficies planas y resistentes para el uso funcional de la planta productiva.

En proyectos específicos como las plantas de compostaje, el diseño incluye además fundaciones adaptadas según el requerimiento del suelo y las cargas que se esperan. Las pilas en mampostería, utilizadas para almacenar y manejar el compost, requieren el refuerzo de columnas para garantizar su estabilidad, para el correcto funcionamiento de la planta es necesario que tenga una cubierta y las columnas que la sostenga, las cuales pueden ser en estructura metálica, adicional, requiere un cerramiento mínimo a media altura que se recomienda en mampostería para evitar la entrada de agua dentro de la planta. Este tipo de estructuras demanda un diseño preciso para soportar las cargas que generan tanto los materiales almacenados como los operativos.

. El diseño estructural implica determinar cada componente de la estructura a partir de especificaciones y cálculos precisos, los cuales aseguran que las cargas y fuerzas a las que estará sometida la edificación sean adecuadamente soportadas, este proceso es fundamental para asegurar la estabilidad y seguridad de la planta productiva. (Cárceles, 1990). Este proceso es fundamental para garantizar la estabilidad y seguridad de la planta productiva. En este proyecto, el diseño estructural no solo se centrará en la creación de una estructura que cumpla con las exigencias de la NSR-10, sino que también sea funcional para las necesidades operativas de las plantas de compostaje, asegurando su durabilidad y rendimiento a largo plazo.

ETABS

Para optimizar el diseño estructural, Earthgreen utilizará herramientas tecnológicas como ETABS, un software avanzado que facilita el análisis y dimensionamiento de estructuras complejas, como las que se usarán en la planta de producción. ETABS permite modelar estructuras en 3D y realizar análisis tanto lineales como no lineales, lo que es esencial para diseñar elementos de concreto y metal de manera eficiente. Además, su capacidad para generar informes y gráficos detallados ayuda a los ingenieros a tomar decisiones informadas y a cumplir con las normativas vigentes, optimizando el tiempo y los recursos del proyecto. (CSI Spain, s.f). Este será fundamental para modelar y analizar el comportamiento de la estructura, facilitando una planificación más precisa.

En el contexto del diseño estructural, los ingenieros evalúan parámetros críticos como las deformaciones, esfuerzos, momentos flectores, y cortantes que experimentarán los elementos estructurales (como vigas, columnas y losas). Estos valores son fundamentales para verificar que la estructura no solo cumpla con los requisitos normativos de la NSR-10, sino que también garantice su estabilidad y seguridad frente a fenómenos naturales como sismos. Además, se evalúan factores como el modo de vibración y las frecuencias naturales de la estructura, que son esenciales para determinar cómo responderá el edificio ante movimientos sísmicos.

Entre los valores críticos que se observan en ETABS se incluyen los desplazamientos máximos permitidos para las estructuras, los coeficientes de pandeo para los elementos sometidos a compresión, y las tensiones máximas en los materiales de concreto y acero. El software genera informes detallados con diagramas de momentos y cortantes, que ayudan a visualizar las áreas de mayor esfuerzo en la estructura, permitiendo ajustes en el diseño para asegurar su resistencia. ETABS también facilita la verificación del cumplimiento de normativas mediante sus herramientas de análisis que permiten comparar los resultados obtenidos con los criterios establecidos en los códigos de diseño, como la NSR-10. Gracias a su capacidad para generar gráficos detallados y simulaciones, los ingenieros pueden tomar decisiones informadas sobre la modificación de elementos estructurales, optimizando así tanto el tiempo como los recursos en cada fase del proyecto. En este sentido, ETABS no solo es una herramienta para el cálculo, sino un aliado estratégico en la planificación y ejecución de la ampliación de la planta de producción.

Análisis de Precios Unitarios

En el año 2021, el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) en su Glosario de Términos señaló que el Análisis de Precios Unitarios (APU) “Es el costo de una actividad por unidad de medida determinada, para la elaboración de un presupuesto, donde se relacionan los insumos requeridos, así como los rendimientos de estos.” (p. 2). Esta es una técnica fundamental en la planificación y gestión financiera de proyectos de ingeniería y construcción, ya que permite estimar los costos de cada componente de la construcción, como los rubros de materiales, mano de obra y equipos. (Vivar, 2021). Este análisis detalla el costo unitario de cada rubro, desglosando elementos clave como materiales, mano de obra, equipos y herramientas, así como otros factores indirectos como el AIU (Administración, Imprevistos y Utilidades). Su utilidad radica en que facilita la previsión y control de los costos totales de un proyecto, asegurando que se mantenga dentro del presupuesto asignado y minimizando el riesgo de sobre costos.

Históricamente, los APU se realizaban de manera manual, basándose en listas de precios obtenidas de proveedores locales y la experiencia acumulada de los profesionales. Sin embargo, en

la actualidad, se emplean herramientas digitales o softwares para la automatización de procesos de forma eficiente como Microsoft Excel, Open Office Calc, Project, entre otros (Vidal, 2023, como se citó en Hoyos, 2023), y bases de datos actualizadas como el "Generador de precios de la construcción Colombia", que provee costos ajustados a las condiciones del mercado local. (CYPE Ingenieros, S.A., 2023). Estas herramientas permiten que los ingenieros accedan a información precisa y actualizada sobre los precios de materiales, equipos y mano de obra, optimizando así el proceso de planificación financiera. El APU sigue siendo una metodología esencial en proyectos de ingeniería debido a su capacidad para desglosar y estandarizar los costos, lo que permite un mayor control y transparencia en la ejecución del proyecto. Los parámetros evaluados incluyen no solo los costos directos de materiales, mano de obra y equipos, sino también otros elementos como el tiempo de ejecución, el rendimiento de los trabajadores y el desgaste de maquinaria. Adicionalmente, se tienen en cuenta componentes como los costos de transportes y disposición final de residuos en proyectos que involucren movimientos de tierras u obras similares.

En el caso del presente proyecto de ampliación de la planta de producción de Earthgreen, el APU será más complejo debido a la diversidad de elementos estructurales que deben ser considerados, como zapatas, vigas y columnas de concreto, además de las losas de piso. A diferencia del caso de pavimentos, como el aplicado por Hoyos (2023), aquí se incorporarán distintos rubros asociados tanto a la estructura como a los acabados de la planta.

Finalmente, el APU permitirá optimizar el uso de los recursos financieros y asegurar la viabilidad económica del proyecto, brindando una herramienta clave para la toma de decisiones durante todas las fases de la obra. El uso de este tipo de análisis es indispensable para garantizar que los costos sean sostenibles y que se mantenga un control eficiente sobre el presupuesto, asegurando así el éxito financiero del proyecto.

Bases de datos

Las bases de datos son sistemas de almacenamiento y organización de información, que permiten gestionar grandes volúmenes de datos de manera eficiente y accesible. Una base de datos

puede definirse como un conjunto organizado de datos que se estructura de manera que sea fácilmente recuperable, modificable y gestionable. En el ámbito de la ingeniería estructural, las bases de datos juegan un rol crucial al permitir almacenar y organizar información técnica clave como cálculos, diseños, costos y avances de obra. Estas herramientas permiten acceder rápidamente a información actualizada sobre los proyectos, facilitando la toma de decisiones informadas y mejorando la eficiencia en la planificación y ejecución, (OCI, 2020) (Admisión UTM, 2020). Además, en proyectos de ingeniería estructural, las bases de datos permiten integrar diferentes herramientas de software para análisis y diseño, como ETABS o Excel, facilitando la estandarización de procesos y la automatización de cálculos.

Para el proyecto de ampliación de la planta de producción de Earthgreen Colombia, se utilizarán bases de datos relacionales, estas bases de datos son “un tipo de base de datos que almacena y proporciona acceso a puntos de datos relacionados entre sí. Las bases de datos relacionales se basan en el modelo relacional, una forma intuitiva y directa de representar datos en tablas” (OCI, 2020), estas son diseñadas para almacenar los registros de costos, avances de obra y diseños estructurales. Estas bases de datos no solo permitirán gestionar de manera eficiente la información del proyecto, sino que también se integrarán con el software ETABS y plantillas en Excel, optimizando el proceso de diseño estructural y la planificación de los recursos. A través de esta integración, será posible monitorear y evaluar el comportamiento de los elementos estructurales en función de los requerimientos de la NSR-10, y llevar un control preciso de los costos y cantidades de obra mediante análisis detallados de precios unitarios (APU).

La propuesta de un protocolo integral en Earthgreen es innovadora por su enfoque en la gestión eficiente de datos y la integración tecnológica. Mientras otros proyectos utilizan bases de datos para tareas específicas, en este proyecto se dará un enfoque más amplio, conectando la gestión de la información técnica con herramientas avanzadas para la optimización del diseño y la planificación estructural. Este enfoque asegura no solo un mejor control del proyecto, sino también la replicabilidad y escalabilidad de la solución en futuras obras dentro de la empresa.

4. Metodología

La presente sección describe el enfoque metodológico que fue utilizado en el proyecto, el cual tuvo como propósito estructurar de forma clara y sistemática los procesos de recolección y análisis de datos necesarios para la ampliación de la planta de producción de Earthgreen Colombia. Dado que este proyecto implicaba la evaluación de información cuantitativa y cualitativa, se seleccionó una metodología de enfoque mixto, la cual permitió combinar ambos tipos de datos para una comprensión más profunda y completa de los resultados, mejorando la precisión en el diseño y la implementación del protocolo de optimización.

En términos generales, el diseño de metodologías mixtas es un diseño de investigación que involucra datos cuantitativos y cualitativos, ya sea en un estudio particular o en varios estudios dentro de un programa de investigación (Tashakkori y Teddlie, 2003, como se citó en Pole, 2009), así las metodologías mixtas posibilitan una visión integral de los fenómenos al permitir la recolección de datos variados que, al ser procesados en conjunto, ofrecen resultados más robustos y aplicables.

La metodología se desarrolló en tres fases, utilizando instrumentos específicos para la recolección y tratamiento de datos que, en conjunto, permitieron consolidar un protocolo integral aplicable en Earthgreen Colombia.

1. Fase Diagnóstica

Esta primera fase tuvo como objetivo identificar y analizar la calidad de la documentación y los recursos técnicos existentes en Earthgreen. Se realizó un análisis documental exhaustivo de planos, memorias de cálculo, informes de avance y criterios estructurales, además de entrevistas semi-estructuradas con 5 miembros clave del equipo de ingeniería, seleccionados por su conocimiento en los procesos de diseño estructural que se encontraban en la empresa. Las entrevistas aportaron información cualitativa sobre los métodos y herramientas empleadas en el diseño estructural hasta el momento.

Complementariamente, se aplicaron encuestas estructuradas de carácter cerrado a 5 personas del equipo, orientadas a obtener datos cuantitativos sobre la precisión, consistencia y áreas de mejora en la documentación actual. Los resultados fueron consolidados en un informe diagnóstico que detallaba los criterios vigentes y los puntos críticos de mejora, como base para definir los criterios y acciones en la siguiente fase.

2. Fase de Establecimiento de Criterios y Acciones de Mejora

Durante esta fase fueron definidos criterios técnicos, para esto se realizó un análisis documental de la NSR-10 que permitió definir cuáles eran los procesos de diseño estructural para asegurar la seguridad de la aplicación de la normativa en la planta de producción, así se establecieron los indicadores clave de desempeño a partir de la normativa vigente.

Así mismo, para establecer los indicadores clave de desempeño se realizaron entrevistas al personal encargado y a partir de los resultados obtenidos se definieron indicadores como tiempos de entrega, cumplimiento normativo, reducción de errores y calidad de la documentación. Y se fijaron metas de desempeño basadas en estadísticas descriptivas derivadas de los datos recolectados en la fase anterior. Los resultados fueron documentados en un informe técnico que detallaba los indicadores seleccionados, las metas de cumplimiento y los ajustes recomendados para la mejora de los procesos internos.

3. Fase de Diseño del Protocolo Integral

En esta fase se estableció la metodología para desarrollar un protocolo integral que estandarizaba los procesos de diseño estructural, cálculo de cantidades, análisis de precios unitarios (APU) y presupuestos. El proceso incluyó:

- Investigación de Normativas y Estándares: Revisión de metodologías de diseño de protocolos en ingeniería y normativas internacionales.
- Definición de Parámetros y Estándares: Basados en criterios técnicos, indicadores clave y mejores prácticas reconocidas.

- Desarrollo de Métricas de Calidad: Aplicación de métricas como precisión de cálculos, eficiencia operativa y cumplimiento de plazos, estas con el fin de definir cuáles eran los procesos con falencias y así desarrollar los procesos correctos para mejorar todas las actividades en las diferentes obras. Para establecer un protocolo integral en el diseño estructural dentro del proyecto de Earthgreen Colombia, se consideraron principios clave adaptados de métricas de diseño usadas en ingeniería de software. Estos principios fueron aplicados al desarrollo de procedimientos estandarizados y a la estructuración de procesos críticos en cálculos estructurales, presupuestos y planificación de obra.

Principios de Diseño Aplicados:

Acoplamiento: Se definieron conexiones claras entre las diferentes etapas del proceso de diseño estructural (cálculo, revisión, presupuesto y ejecución). Se minimizó el acoplamiento mediante la asignación de roles y responsabilidades específicas en cada etapa, reduciendo errores derivados de dependencias excesivas.

Cohesión: Las funciones relacionadas con el diseño estructural fueron agrupadas en módulos específicos, como la elaboración de memorias de cálculo, generación de planos y análisis estructural en ETABS. La agrupación por funciones especializadas permitió mejorar la precisión y reducir errores.

Complejidad: Se buscó minimizar la complejidad del protocolo mediante la implementación de procedimientos sencillos y estandarizados para cada actividad. Se usaron plantillas y formatos predefinidos para cálculos y presupuestos, simplificando el flujo de trabajo.

Modularidad: El protocolo se organizó en módulos independientes: diseño estructural, presupuesto y gestión de obra. Cada módulo se desarrolló con procedimientos bien definidos y métricas específicas para evaluar su eficacia.

Tamaño: Se definieron límites en la cantidad de actividades incluidas en cada módulo, asegurando que cada uno sea manejable y fácil de actualizar. Los cálculos y procedimientos fueron segmentados en bloques definidos para evitar errores relacionados con procesos extensos.

Estas métricas fueron adaptadas considerando estándares técnicos establecidos en la NSR-10 y recomendaciones prácticas del sector de la construcción. El objetivo era mejorar la calidad del diseño estructural, minimizar errores y facilitar el mantenimiento y la mejora continua del protocolo. (Ingeniería de Software, Apuntes Digitales., s.f.)

- **Implementación de Software Especializado:** Se usó el software ETABS para el modelado y análisis estructural, y Excel para la automatización de cálculos y gestión de presupuestos.
- **Estandarización de Formatos:** Se crearon de formatos para registro de cálculos estructurales, APUs, presupuestos y programaciones.

4. Análisis de resultados

Se desarrolló una metodología que permitió reconocer las problemáticas y necesidades latentes de la empresa Earthgreen Colombia en su proceso de diseño estructural. Bajo esta premisa, el primer paso se enfocó en la identificación y análisis documental de la información con la que cuenta la empresa hasta el momento, además de realizar una encuesta semiestructurada al personal ingenieril de la empresa. De este modo, se identificó la necesidad de aplicar una estandarización de los cálculos estructurales, de las programaciones de obra y los APU existentes; buscando mejorar significativamente la precisión y el cumplimiento normativo en las programaciones de obra y los protocolos efectivos en los cálculos estructurales. Las principales limitaciones identificadas fueron la falta de precisión, información desactualizada y la complejidad en la interpretación de los datos, reporte que surgió del análisis documental y de los encuestados.

Tabla 1

Conglomerado y análisis de las encuestas realizadas al equipo de trabajo Earthgreen Colombia

| Preguntas área ingeniería | Resumen encuestados (5) |
|---|---|
| ¿ En cuáles de los siguientes procesos en la empresa existen protocolos y/o plantillas? (Seleccione todas las que apliquen) | 100% Presupuesto 80% APU 20% Programaciones de obra |
| Considera que la eficiencia de los protocolos existentes para cada proceso es: (APU) | 40% Baja 40% Media 20% Inexistente |
| Considera que la eficiencia de los protocolos existentes para cada proceso es: (Cálculos estructurales) | 40% Inexistente 40% Baja 20% Media |
| Considera que la eficiencia de los protocolos existentes para cada proceso es: (Presupuestos) | 40% Baja 60% Media |
| Considera que la eficiencia de los protocolos existentes para cada proceso es: (Programaciones de obra) | 60% Baja 20% Media 20% Inexistente |

| | |
|--|---|
| ¿Cuáles considera que son las principales limitaciones de los documentos técnicos actuales? (Seleccione todas las que apliquen) | 80% Falta de precisión e información desactualizada 100% Inconsistencia en el formato 20% Complejidad en la interpretación 20% Información contradictoria |
| ¿Cuál es el nivel de actualización de los protocolos y plantillas en uso? | 60% Algo desactualizado 40% Algo actualizado |
| ¿Considera que los planos actuales cumplen con los criterios de precisión necesarios para el diseño estructural? | 80% Poco preciso 20% Preciso |
| ¿Cómo se interpreta la documentación técnica actual? (planos, informes, memorias de cálculo) | 80% Medianamente difícil 20% Muy difícil |
| ¿Qué tan eficiente es el proceso actual de elaboración de informes y documentos para la ejecución de una obra? | 80% Moderadamente eficiente 20% Poco eficiente |
| ¿Con qué frecuencia se presentan errores o inconsistencias en los informes y documentos para la ejecución de una obra? | 40% Frecuentemente 60% A veces |
| ¿En qué áreas considera que la documentación actual necesita mayor precisión o consistencia? (Seleccione todas las que apliquen) | 100% Diseño de estructuras 40% Análisis de cargas 20% Normas estructurales 20% Estudio de materiales |
| ¿Qué mejoras sugeriría implementar para optimizar la calidad de la documentación en los siguientes procesos? | Diseño estructural: Uso y actualización de software Cálculos: Planillas estandarizadas excel APU: Base de datos actualizada (formato planilla) Presupuesto: Planillas actualizadas y control de insumos Programación de obra: Software de seguimiento y control |
| ¿Con qué frecuencia considera necesario revisar y actualizar los criterios de diseño en la empresa? | 40% Trimestral 60% Semestral |
| ¿Qué consideras necesario implementar en la empresa para mejorar los procesos necesarios para diferentes obras? | 20% Manual de procedimiento técnico 20% Equipo técnico especializado 60% Planillas actualizadas e implementación de software |

Nota. Elaboración propia

De acuerdo con lo identificado en la encuesta y durante la estancia en la empresa Earthgreen Colombia, los procesos que se requieren mejorar para el diseño estructural son la estandarización de cálculos estructurales, programaciones de obra, APU's y presupuestos; teniendo en cuenta que los dos últimos son los que tienen una mejor documentación, revelando que hay una clara deficiencia en los procesos de desarrollo de diferentes obras. Se evidenció que la eficiencia de los protocolos es, en general, media o baja. Destaca la ausencia total de protocolos efectivos en Cálculos Estructurales y la baja eficiencia en Programaciones de Obra. Esto sugiere la necesidad de desarrollar procedimientos estandarizados para asegurar la precisión y el cumplimiento normativo.

Las principales limitaciones identificadas son la falta de precisión, información desactualizada y complejidad en la interpretación. Además, se mencionó la inconsistencia en la estructura de los documentos y la presencia de información contradictoria en diferentes plantillas. Así mismo, se evidencia que los documentos utilizados actualmente se encuentran desactualizados, lo que no permite un proceso eficiente y que afecta negativamente la ejecución de estos proyectos.

Las áreas de mejora identificadas son el Diseño de Estructuras y el Análisis de Cargas, seguidas del Estudio de Materiales y el Cumplimiento de Normas Estructurales. Esto muestra una necesidad urgente de precisión técnica y cumplimiento normativo. Se propusieron diversas acciones específicas, como el uso de software especializado para diseño estructural, automatización de cálculos, actualización de bases de datos de precios y creación de plantillas estandarizadas para presupuestos y programaciones de obra, también se evidencia la necesidad de una revisión periódica para mantener la precisión y adaptarse a cambios normativos.

Los resultados de la encuesta demuestran una necesidad urgente de estandarización, actualización y automatización en los procesos de diseño estructural y planificación de proyectos en Earthgreen Colombia. La implementación de protocolos técnicos, plantillas específicas y

software especializado contribuirá significativamente a mejorar la precisión, eficiencia y cumplimiento normativo en la ejecución de proyectos estructurales.

Con el fin de ir hilando los criterios que se consideraron a partir del análisis anterior y en aras de una solución óptima para la empresa que, además responda a las demandas de los colaboradores que van a utilizar diariamente las propuestas acá plasmadas. Se planteó una división por procesos, buscando discernir por completo la información y aplicar los criterios que darán una solución óptima a las evidentes necesidades dentro de Earthgreen Colombia.

El primer proceso es el Diseño estructural, en el cual se busca garantizar la precisión técnica y la seguridad estructural mediante procesos estandarizados, tales como:

- El cumplimiento normativo, donde cada etapa cumpla con la norma NSR-10.
- La estandarización de cálculos por medio del uso obligatorio de plantillas predeterminadas en excel para los cálculos ya existentes.
- La verificación técnica por medio de la revisión interna con lista de chequeo estructural.
- El modelado estructural con el apoyo del simulador ETABS, el cual permite el diseño, evaluación y análisis de cargas.

Se anexan los formatos realizados con parte de la información obtenida de la empresa, buscando estandarizar los procesos de diseño estructural y minimizando el tiempo de desarrollo en la propuesta.

Imagen 1

Formato de estandarización de diseños estructurales - Altura de nervios y vigas

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | Versión | 1 |
|--|----------------------|---------|------------|
| FORMATO DISEÑOS ESTRUCTURALES | | Fecha | 27/12/2024 |
| ALTURA DE NERVIOS-VIGAS | | | |
| Particiones no susceptibles de daño nervios | | | |
| l (m) | Condiciones de apoyo | h min | |
| 6 | 18.5 | 0.32 | |
| 6 | 18.5 | 0.32 | |
| | | 0.32 | m |
| Particiones susceptibles de dañarse nervios | | | |
| l (m) | Condiciones de apoyo | h min | |
| 6 | 12 | 0.50 | |
| 6 | 12 | 0.50 | |
| | | 0.50 | m |
| | h aproximado (m) | 0.5 | |

| Elementos | Espesor mínimo, h | | | |
|---|----------------------|-------------------------|--------------------------|-------------|
| | Simplemente apoyados | Con un Extremo continuo | Ambos Extremos continuos | En voladizo |
| Elementos que NO soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes. | | | | |
| Losas macizas en una dirección | ℓ | ℓ | ℓ | ℓ |
| | 20 | 24 | 28 | 10 |
| Vigas o losas nervadas en una dirección | ℓ | ℓ | ℓ | ℓ |
| | 16 | 18.5 | 21 | 8 |

Nota. Elaboración propia

Imagen 2

Formato de estandarización de diseños estructurales - Vigas

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | Versión | 1 |
|---|---------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| FORMATO DISEÑOS ESTRUCTURALES | | Fecha | 27/12/2024 |
| VIGAS | | | |
| Avaluo de cargas - vigas asumiendo losa Unidireccional o Bidireccional | | | |
| DISEÑO DE LOSA | | | |
| h(m) | | 0.5 | |
| bw (m) | | 0.1 | |
| A (m) | | 1 | |
| hn (m) | | 0.45 | |
| t (m) | | 0.05 | |
| losa Unidireccional | L(m) | 1.5 | |
| losa Bidireccional | L(m) | 1.5 | |
| Cargas por peso propio sistema de losa | | | |
| Item | Dimension (m ó m ²) | Separación (m) | Peso (kN/m ³) Total |
| Loseta | 0.05 | N/A | 24 1.20 kN/m ² |
| Nervios (10x50) | 0.045 | 1 | 24 1.08 kN/m ² |
| | | | 2.28 kN/m ² |
| Cargas superimpuestas | | | |
| Cargas acabados | 1.60 | kN/m ² | Peso losa 109.44 kN |
| Cielo raso | 0.15 | kN/m ² | ETABS 122.400 |
| Divisorios | 3.00 | kN/m ² | Área losa 48 |
| Iluminación | 0.20 | kN/m ² | A MANO 109.44 109.44 |

Nota. Elaboración propia

Imagen 3

Formato de estandarización de diseños estructurales - Columnas

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | Versión | 1 |
|----------------------------------|--------------|---------|------------|
| FORMATO DISEÑOS ESTRUCTURALES | | Fecha | 27/12/2024 |
| COLUMNAS | | | |
| Avaluo de cargas columna | | | |
| Area aferente de la columna | 48 | m2 | |
| Cargas muertas de losa | 7.23 | kN/m2 | |
| Puntual | 347 | kN | |
| Cargas vivas de losa | 10 | kN/m2 | |
| Puntual | 480 | kN | |
| Peso propio de la columna | | | |
| b | 0.4 | m | |
| b | 0.4 | m | |
| Area | 0.16 | m2 | |
| Altura | 4.5 | m | |
| Puntual | 17.28 | kN | |

Nota. Elaboración propia

Imagen 4

Formato de estandarización de diseños estructurales – Elementos no Estructurales Verticales

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | Versión | 1 |
|--|--------|---------|------------|
| FORMATO DISEÑOS ESTRUCTURALES | | Fecha | 27/12/2024 |
| ENE VERTICALES | | | |
| Avaluo de cargas Elementos Verticales | | | |
| Carga Mapostería | 2.5 | | |
| Muros de Vigas de fundación | | | |
| Muros Fachada | 12.125 | kN/m | |
| Muros de pisos aéreos (N+4,55) | | | |
| Muros Fachada | 11.25 | kN/m | |
| Muros sobre vigas de balcones y ventanas | 5.625 | kN/m | |
| Muros cerramiento vacío con ventana | 5.625 | kN/m | |

Nota. Elaboración propia

Imagen 5

Formato de estandarización de diseños estructurales – Espectro

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | Versión | 1 |
|-------------------------------|--------------|---------------------------------|------------|
| FORMATO DISEÑOS ESTRUCTURALES | | Fecha | 27/12/2024 |
| ESPECTRO | | | |
| Municipio | Buenos Aires | Interpolación Lineal Fv | |
| Coefficientes | | 0.0 | 1.0 |
| Aa | 0.15 | 0.25 | 1.55 |
| Av | 0.25 | 0.25 | 1.55 |
| Tipo de suelo | C | 0.0 | 1.5 |
| Fa | 1.2 | | |
| Fv | 1.55 | | |
| I | 1 | Estructuras de ocupación normal | |
| Tc | 10333333 | | |
| Tl | 3.72 | | |
| Ti(a) | 0 | 0.45 | |
| | 0.5 | 0.45 | |
| | 1 | 0.45 | |
| | 1.03 | 0.45 | |
| | 3.53 | 0.30 | |
| | 2.03 | 0.23 | |
| | 2.53 | 0.30 | |
| | 3.03 | 0.25 | |
| | 3.53 | 0.13 | |
| | 3.72 | 0.13 | |
| | 4.22 | 0.10 | |
| | 4.72 | 0.08 | |
| | 5.22 | 0.06 | |
| | 5.72 | 0.05 | |

| Tipo de Perfil | A1 ≤ 0.1 | A1 = 0.2 | A1 = 0.3 | A1 = 0.4 | A1 ≥ 0.5 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| A | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| F | valor nota | valor nota | valor nota | valor nota | valor nota |

| Tipo de Perfil | A1 ≤ 0.1 | A1 = 0.2 | A1 = 0.3 | A1 = 0.4 | A1 ≥ 0.5 |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| A | 0.5 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.2 |
| B | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| C | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| D | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| E | 2.5 | 1.0 | 1.0 | 0.9 | 0.9 |
| F | valor nota | valor nota | valor nota | valor nota | valor nota |

Nota: Este espectro está definido para un coeficiente de amortiguamiento del 5 por ciento del crítico.

Nota. Elaboración propia.

Imagen 6

Formato de estandarización de diseños estructurales – Fuerzas estructurales Equivalentes

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | Versión | 1 |
|-----------------------------------|---------|---------|---|
| FORMATO DISEÑOS ESTRUCTURALES | | Fecha | 27/12/2024 |
| FUERZAS HORIZONTALES EQUIVALENTES | | | |
| (1) opción | T din x | 0.779 | |
| | T din y | 0.797 | |
| | Ct | 0.047 | |
| | Alfa | 0.9 | |
| | h | 4.9 | |
| | Cu | 1.285 | $C_u = 1.1^{1.5-1.25 \cdot K}$ |
| | Ta | 0.20 | $T_a = C_t h^k$ |
| | CaTa | 0.25 | |
| | Tx | 0.25 | $T \leq 0.5 \text{ segundos} \rightarrow K = 1.0$ |
| | Ty | 0.25 | $0.5 < T \leq 2.5 \text{ segundos} \rightarrow K = 0.75 + 0.5T$ |
| | | | $T > 2.5 \text{ segundos} \rightarrow K = 2.0$ |
| | Sax | 0.45 | |
| | Say | 0.45 | |
| | M | 437615 | |
| | g | 9.81 | |
| | Vox | 1932 | kN |
| | Vsy | 1932 | kN |


| Nombre | Altura piso (m) | Altura acumulada (m) | Masa (kg) | Peso (kN) | W ² /h ³ | Cvx | Lateral loads (kN) | Cortantes (kN) |
|--------|-----------------|----------------------|-----------|-----------|--------------------------------|------|--------------------|----------------|
| N=4.55 | 4.9 | 4.9 | 437614.87 | 4293 | 22523 | 1.00 | 1932 | 1932 |
| | | | 192979.17 | 1902 | 22523 | 1.00 | 1932 | |
| | | | 7596.93 | 749 | 22523 | | | |

| Story | Output Case | Case Type | Location | P | VX | VY | T | MIX | MY |
|-------|-------------|-----------|----------|---|----|----|---|-----|----|
| | | | | | | | | | |

Nota. Elaboración propia.

Imagen 7

Formato de estandarización de diseños estructurales – Chequeo de Derivas

|  | | EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | | | | | Versión | 1 |
|---|-----------|-------------------------------|----------|------------|------------|----------|------------|---------|------------|
| | | FORMATO DISEÑOS ESTRUCTURALES | | | | | | Fecha | 27/12/2024 |
| Chequeo de derivas | | | | | | | | | |
| Para FHEX+ | | 4.9 | | | | | | | |
| Story | Elevation | d x | d y | Δx | Δy | Δ | Δp | Cumple | |
| | m | mm | mm | | | % | % | | |
| N+4,55 | 4,55 | 0.013599 | 0.000226 | 0.000002 | 0.000000 | 0.00025 | 1.43 | Cumple | |
| N-0,05 | -0,35 | 0.001389 | 0.000025 | | | | | | |
| Para FHE - | | | | | | | | | |
| Story | Elevation | d x | d y | Δx | Δy | Δ | Δp | Cumple | |
| | m | mm | mm | | | % | % | | |
| N+4,55 | 4,55 | 0.014114 | 0.001573 | 0.000003 | 0.000000 | 0.00026 | 1.43 | Cumple | |
| N-0,05 | -0,35 | 0.00139 | 0.000149 | | | | | | |
| Para FHY + | | | | | | | | | |
| Story | Elevation | d x | d y | Δx | Δy | Δ | Δp | Cumple | |
| | m | mm | mm | | | % | % | | |

Nota. Elaboración propia.

El segundo proceso es el cálculo de cantidades y presupuestos, el cual busca mejorar significativamente la precisión y determinación de las cantidades y el presupuesto de las mismas y el proyecto, esté bajo los siguientes criterios:

- Determinar cantidades por medio de la aplicación de metodologías estándar de medición enfocadas en cada material.
- Presupuestos detallados bajo la creación de análisis de precios unitarios (APUs) precisos.
- Control de costos establecidos con márgenes de error aceptables por la empresa, además de realizar revisiones periódicas.

Imagen 8

Formato de estandarización de presupuesto y cantidades

PROTOCOLO INTEGRAL PARA LA OPTIMIZACIÓN DE DISEÑOS ESTRUCTURALES Y PROCESOS DE PLANIFICACIÓN EN EARTHGREEN COLOMBIA

ESTANDARIZACIÓN DE PROCESOS PARA LA MEJORA DE LA PLANIFICACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | | | | |
|---|--|------|----------|----------------|------------------|
| AMPLIACIÓN PLANTA DE PRODUCCIÓN UBICADA EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA | | | | | |
| FORMULARIO No. 1 CANTIDADES DE OBRA Y PRECIOS UNITARIOS | | | | | |
| ITEM DE PAGO | DESCRIPCION | UNID | CANTIDAD | VALOR UNITARIO | VALOR TOTAL |
| 1 | LIMPIEZA TERRENO MANUAL | DÍA | 1 | \$ 2.593,10 | \$ 2.593,10 |
| 2 | LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO | M2 | 384 | \$ 9.498,78 | \$ 3.647.531,33 |
| 3 | EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN | M3 | 13,5 | \$ 2.211,26 | \$ 29.852,07 |
| 4 | RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL EN SITIO | M3 | 13,5 | \$ 15.426,32 | \$ 208.255,34 |
| 5 | CONCRETO PARA SOLADO | M3 | 13,5 | \$ 46.113,85 | \$ 622.534,24 |
| 6 | ZAPATA EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 4,5 | \$ 663.795,09 | \$ 2.987.077,91 |
| 7 | VIGAS DE FUNDACIÓN EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 29,5 | \$ 643.959,47 | \$ 18.996.804,40 |
| 8 | COLUMNAS 4.5M EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 6,48 | \$ 663.963,51 | \$ 4.302.483,55 |
| 9 | VIGA AÉREA EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 23,6 | \$ 680.773,28 | \$ 16.358.249,29 |
| 10 | LOSA NERVADA EN DOS DIRECCIONES E±0.15M EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 40,8 | \$ 283.143,26 | \$ 11.552.244,85 |
| 11 | LOSA DE CONTRAPIEDO E±0.10M EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 38,4 | \$ 188.641,29 | \$ 7.243.825,49 |
| 12 | MALLA ELECTROSOLDADA DE 6 MM 15X15 (2.35X6M) | KG | 104,54 | \$ 15.887,32 | \$ 1.660.860,59 |
| 13 | ACERO DE REFUERZO 4200 PSI | KG | 0 | \$ 6.870,60 | \$ - |
| 14 | PISO POLIMÉRICO CON BASE EN RESINA EPOXICA SIKAFLOOR-264 O SIMILAR | M2 | 384 | \$ 19.394,82 | \$ 7.447.611,46 |
| 15 | MURO PERIMETRAL EN BLOQUE No. 5 h=1,0m | M2 | 44 | \$ 49.194,44 | \$ 2.184.555,23 |
| 16 | MALLA CORTAVIENTOS EN POLIETILENO | M2 | 154 | \$ 7.828,58 | \$ 1.205.601,10 |
| 17 | PINTURA PARA EXTERIORES KORAZA | M2 | 14,4 | \$ 13.276,73 | \$ 191.184,89 |

Nota. Elaboración propia.

Imagen 9

Formato de estandarización de análisis de precios unitarios- APU's

| ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS EARTHGREEN COLOMBIA | | | | | |
|---|---|-----------------------|----------------------|----------------------|--|
| FECHA: | | | | | |
| PROYECTO: | AMPLIACIÓN PLANTA DE PRODUCCIÓN EARTHGREEN COLOMBIA | | | | |
| MUNICIPIO: | RIONEGRO, ANTIOQUIA | | | | |
| ITEM: | 1 | | | | |
| DESCRIPCIÓN: | LIMPIEZA DEL TERRENO MANUAL | | | | |
| I. LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL | | | | | |
| UNIDAD: | DÍA | | CANTIDAD: | 1 | |
| I. EQUIPO | | | | | |
| Descripción | Tipo | Tarifa/Hor. (\$/hora) | Rendimier (horas/m3) | Vr. Unitario (\$/m3) | |
| Guadañadora cilindraje 38-58 cm3 | | \$ 5,000 | 9.66 | \$ 517.60 | |
| Herramienta menor | | | 0.05 | \$ 103.78 | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| Subtotal | | | | \$ 517.60 | |
| II. MATERIALES EN OBRA | | | | | |
| Descripción | Unidad | Precio unit | Cantidad | Vr. Unitario (\$/ha) | |
| | | | | \$ - | |
| | | | | \$ - | |
| | | | | \$ - | |
| | | | | \$ - | |
| | | | | \$ - | |
| Subtotal | | | | \$ - | |

Nota. Elaboración propia.

El tercer proceso se basa en la planificación y control de obras, buscando gestionar de manera eficiente el tiempo, los recursos y el costo de las mismas y de sus colaboradores bajo los siguientes criterios:

- Desarrollar y gestionar cronogramas detallados con la aplicación de herramientas ofimáticas como Microsoft Project y Excel
- Realizar seguimiento de avances y controles periódicos, buscando garantizar las fechas propuestas y el correcto registro del proceso en los formatos establecidos y estandarizados.
- Ejecutar periódicamente evaluaciones de desempeño de los colaboradores en base a los indicadores clave como tiempo de ejecución, cumplimiento del presupuesto y la calidad obtenida.

Dentro de la empresa no se manejan software avanzados para el seguimiento de los proyectos, disminuyendo considerablemente la oportunidad de incrementar estrategias de mejora automatizadas en base al seguimiento y al control de desempeño de los colaboradores. Se propone dentro de la empresa adquirir una licencia de programas de gestión de proyectos, tales como Microsoft Project. Sin embargo, se dejó dentro del servidor de la empresa una carpeta con las planillas realizadas en Excel para la programación, control y gestión de gastos en la obra.

Imagen 10

Formato de estandarización para la programación, control y gestión en obra

| EARTHGREEN COLOMBIA S.A.S | | | | | | | |
|---|--|------|----------|---------|-------------|-----------------|-----------------|
| AMPLIACIÓN PLANTA DE PRODUCCIÓN UBICADA EN EL MUNICIPIO DE RIONEGRO DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA | | | | | | | |
| FORMULARIO No. 2 PROGRAMACIÓN DE OBRA | | | | | | | |
| ITEM DE PAGO | DESCRIPCIÓN | UNID | CANTIDAD | RECURSO | RENDIMIENTO | DURACIÓN (días) | DURACION(projec |
| 1 | LIMPIEZA TERRENO MANUAL | DÍA | | 1 MDEO | | 1.00 | 1 |
| 2 | LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO | M2 | 384 | MDEO | 100 | 3.84 | 4 |
| 3 | EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN | M3 | 13.5 | MDEO | 10.00 | 1.35 | 2 |
| 4 | RELLENO Y COMPACTACIÓN CON MATERIAL EN SITIO | M3 | 13.5 | MDEO | 5.00 | 2.70 | 3 |
| 5 | CONCRETO PARA SOLADO | M3 | 13.5 | MDEO | 5.00 | 2.70 | 3 |
| 6 | ZAPATA EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 4.5 | MDEO | 2.00 | 2.25 | 3 |
| 7 | VIGAS DE FUNDACIÓN EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 29.5 | MDEO | 5.00 | 5.90 | 6 |
| 8 | COLUMNAS 4.5M EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 6.48 | MDEO | 1.00 | 6.48 | 7 |
| 9 | VIGA AÉREA EN CONCRETO DE 21MPa | M3 | 23.6 | MDEO | 2.50 | 9.44 | 10 |

Nota. Elaboración propia.

El cuarto proceso busca gestionar la calidad de las obras, esto permitirá mantener un correcto control en la ejecución y en las diferentes etapas de la obra, esto con la ayuda de los siguientes criterios:

- La supervisión e inspección técnica del trabajo realizado en obra por los colaboradores, buscando que usen correctamente las herramientas diseñadas para la optimización del trabajo en campo.
- Utilizar listas de chequeo con el fin de revisar cada actividad crítica, identificando los puntos de mejora en cada acción realizada.
- Realizar pruebas y ensayos en materiales y elementos estructurales según la normativa, buscando siempre la mejora del proceso y un correcto control de calidad en la obra.

Dado que la obra apenas está en sus inicios, no hay forma de implementar hasta el momento de las prácticas esta estrategia dentro de la empresa, pero con las planillas dispuestas en el servidor, se puede hacer un seguimiento inicial de la obra. En este caso, es importante dejar estos estatutos de control de calidad y gestión para las obras venideras, promoviendo una cultura organizativa basada en la gestión, la calidad y el buen desarrollo de los proyectos.

El quinto y último proceso se basa en la documentación técnica y los entregables, con lo que se busca asegurar que la documentación sea clara, precisa y completa, esto se ejecutará bajo los siguientes criterios:

- La implementación de formatos estandarizados y uniformes de las memorias de cálculos, planos y especificaciones técnicas.
- Realizar control de versiones en un sistema ofimático con el fin de mantener los registros actualizados.
- Realizar la revisión y aprobación de los documentos de la obra antes de ser entregados, buscando disminuir los errores de cálculo y presupuesto.

Al igual que el punto anterior y entendiendo que apenas se van dar inicio a la obra, estas propuestas no se lograron desarrollar durante la etapa de prácticas, sin embargo se dejarán estas propuestas como estatutos iniciales con el fin de promover una clara y concisa documentación de los proyectos a realizar, salvaguardando el correcto registro de archivo y facilitando una búsqueda documental a futuro.

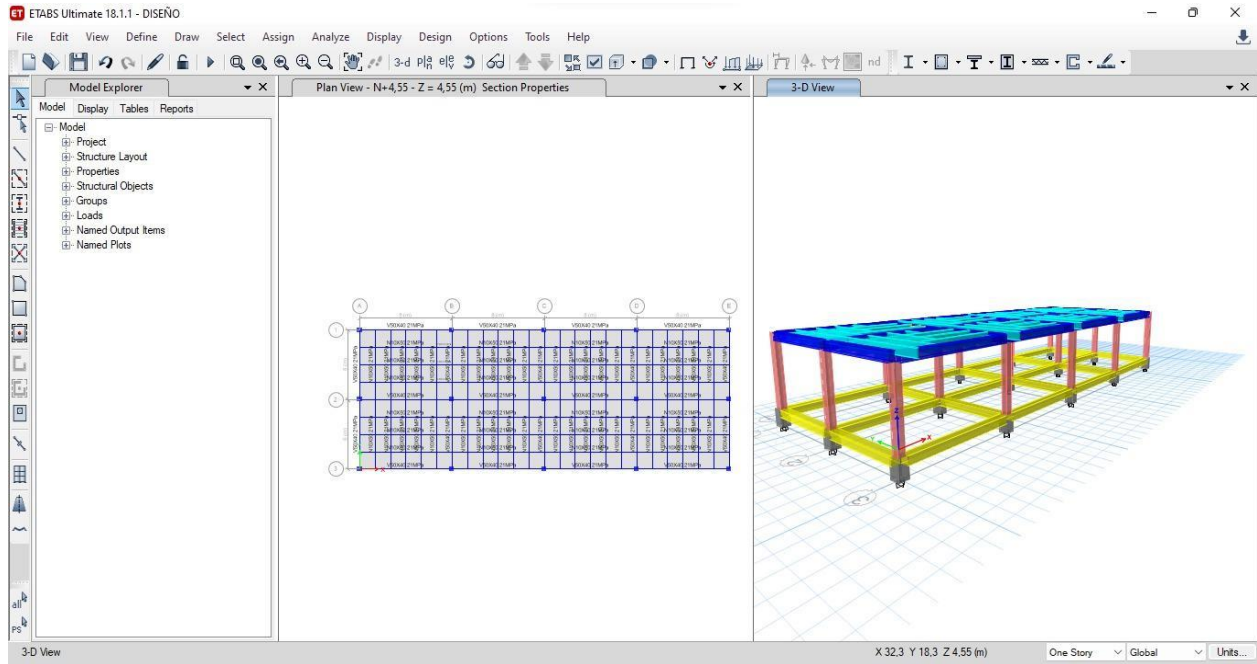
Se busca entonces con la aplicación de estos criterios en cada proceso, reducir significativamente los errores críticos en diseño y presupuesto en un 90%. Además, de optimizar el tiempo de la entrega de documentos en un 20%. A su vez, esto mejorará el control de costos, aumentando la precisión presupuestal en un 95%, y se buscará asegurar el 100% del cumplimiento de la norma NSR-10 y demás normas que apliquen a cada proyecto.

Dentro de las directrices propuestas inicialmente, se planteó diseñar un protocolo que permita la consulta, actualización, planificación y el control de procesos mediante herramientas estandarizadas. Para ello, se propuso la implementación de diferentes herramientas tecnológicas como el Software ETABS para el análisis estructural y Excel para la creación de planillas de cálculo automatizadas, optimizando la creación de diseños y la planificación de las obras.

En este caso, se dispone el diseño realizado en el Software de análisis estructural ETABS, además de incluir la planilla realizada en Excel con datos implementados de una obra ejecutada en la empresa Earthgreen Colombia, esto con fines de ejemplificar la solución en materia.

Imagen 11

Diseño e Interfaz del software ETABS



Nota. Elaboración propia.

6. Conclusiones y recomendaciones

El trabajo realizado en la empresa Earthgreen Colombia, permitió proponer una solución a una problemática que se identificó en la etapa de prácticas. Dentro de los acuerdos con la empresa, se estableció el mejorar por medio de un diseño de protocolo la calidad y la estandarización de los procesos de diseño estructural, eficiencia y precisión en los proyectos. Es así, que la identificación y análisis documental permite ampliar la mirada de las necesidades que más están afectando a la empresa actualmente, por lo que siempre es recomendable empaparse de la documentación actual y a partir de allí buscar las soluciones más acordes sin generar un caos en el proceso de trabajo. Además, el utilizar diferentes herramientas metodológicas como en este caso fueron las entrevistas, el análisis documental y la observación durante la estancia de prácticas, permite presentar soluciones acordes a las necesidades de la empresa y de sus colaboradores.

Dentro de los criterios necesarios para la optimización de la eficacia y la precisión durante la ejecución de los proyectos, es necesario contar con el apoyo y la guía de los profesionales que durante años y que en continuación de este trabajo, seguirán manejando la información dentro de la empresa. Esto, buscando disminuir los retrocesos en pro a las nuevas adaptaciones y dejando que las voces de los profesionales sean escuchadas. Estos procesos y sus criterios, fueron realizados con el apoyo del área de proceso de Earthgreen Colombia y significaron una nueva, pero no disruptiva adaptación por parte de sus colaboradores en pro a mejorar las obras y la ejecución de los proyectos. Es necesario entonces, realizar un correcto y profundo análisis de las respuestas en búsqueda de los factores comunes entre las mismas y desde allí abordar la solución óptima para cada uno, la cual en este caso fue la identificación de 5 procesos y sus respectivos criterios de intervención para el área de ejecución de proyectos y obras.

Es importante mencionar que el diseño de protocolo creado en el programa ETABS y las planillas estandarizadas para la ejecución permitirán optimizar el tiempo de trabajo reduciendo el error de cálculo en un 90% y mejorando el presupuesto de obra en un 95%. Este logro significa

una mejora para la ejecución de proyectos de obra dentro de la empresa y un paso para que nuevas interpretaciones se adapten a otras empresas con problemáticas similares.

Como recomendación para futuros acercamientos, es importante escuchar las voces y las necesidades del equipo de trabajo, ya que son los que día a día utilizan las herramientas en la ejecución de sus labores, para ellos las adaptaciones drásticas podrían interpretarse como una disminución en sus funciones cotidianas. Por eso, es mejor adaptar las actuales herramientas de la empresa y promover nuevas si es necesario.

Es importante recomendar a las empresas la adquisición de software especializados para el diseño estructural, la ejecución y el desarrollo de proyectos, dado que esto facilita y el trabajo manual, disminuyendo el tiempo invertido en la creación de plantillas para cada proyecto de obra, ya que se contaría con un estándar para la ejecución de los diferentes proyectos.

El desarrollo de esta práctica profesional me permitió desarrollar competencias en la gestión de información técnica, la estructuración de soluciones viables y el trabajo colaborativo con diferentes áreas de la empresa, habilidades esenciales para mi desarrollo profesional. Con este trabajo, considero que he contribuido al fortalecimiento de los procesos internos de Earthgreen, dejando herramientas útiles que podrán ser empleadas y mejoradas en el futuro, y al mismo tiempo, he reafirmado mi compromiso como ingeniera civil con la mejora continua y la búsqueda de soluciones prácticas y sostenibles en el campo de la construcción.

Referencias

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sísmica Resistente* (NSR-10). <https://www.unisdr.org/campaign/resilientcities/uploads/city/attachments/3871-10684.pdf>

Cárceles, J. (1990). Análisis del proceso de diseño de estructuras porticadas. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. https://oa.upm.es/2282/2/JUAN_GONZALEZ_CARCELES.pdf

Etabs. (s.f.). CSI Spain. <https://www.csiespana.com/software/5/etabs#>

Hoyos Fernandez, L. F. (2023). *Optimización del proceso de cálculo de cantidades y presupuesto de obras de pavimento rígido y flexible en la empresa Grupo Tecmedic S.A.S.* Semestre de Industria. Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia.

INVIAS, 2021. *Glosario de Términos*. <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/analisis-precios-unitarios/12099-glosario-analisis-de-precios-unitarios-de-referencia-2021/file>

Isaza Vera, J. D. (2023). *Protocolo para el procesamiento de datos de campo en auscultación de pavimentos para daños y fisuras por medio de cámaras de alto rendimiento y procesamiento de datos en el software LDis 2.7.9 para AIM Ingenieros S.A.S.* Semestre de Industria. Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia.

La importancia de la Ingeniería Civil en Ciencia de Datos. (2020, 13 de enero). Admisión UTM. <https://admisión.utem.cl/2020/01/13/la-importancia-de-la-ingenieria-civil-en-ciencia-de-datos/>

Martínez, D. (2024). *Desarrollo de una metodología para la estandarización de procesos en el diseño y construcción de Minigranjas solares en la empresa SOLENIUM: Caso de estudio El Roble Departamento de Sucre*. Trabajo de grado profesional. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.

Muñoz, Avilio. (2024). Investigaciones mixtas: Los desafíos de combinar lo cuantitativo y lo cualitativo en la investigación. Medium. <https://medium.com/@ajmv2000/investigaciones-mixtas-los-desaf%C3%ADos-de-combinar-lo-cuantitativo-y-lo-cualitativo-en-la-38b775a839cd#:~:text=Los%20m%C3%A9todos%20cualitativos%20permiten%20una,completa%20de%20la%20realidad%20investigada>

Pole, K. (2009) "Diseño de metodologías mixtas. Una revisión de las estrategias para combinar metodologías cuantitativas y cualitativas". En Renglones, revista arbitrada en ciencias sociales y humanidades, núm.60. Tlaquepaque, Jalisco: ITESO.

¿Qué es una base de datos?. (2020, 24 de noviembre). OCI. <https://www.oracle.com/co/database/what-is-database/>

¿Qué es una base de datos relacional (sistema de gestión de bases de datos relacionales)?. (2020). OCI. <https://www.oracle.com/co/database/what-is-database/>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo (s.f.) "Ingeniería de Software, Apuntes Digitales". <http://cidecame.uaeh.edu.mx/lcc/mapa/proyecto/libro17/index.html>

Vivar, M. (2021). Análisis de Precios Unitarios como Técnica de Estimación en Proyectos de Construcción. INTERPRO. <https://www.interpro.ec/analisis-de-precios-unitarios/>

Anexos

Escuela Ambiental

Protocolo Integral para la optimización de Diseños Estructurales y procesos de Planificación en Earthgreen Colombia

UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA
Facultad de Ingeniería

ESTUDIANTE: Manuela Benjumea Avalos

ASESORES: Lina María Ramírez Hoyos (Interno)
Luis Anibal Sepúlveda Villada (Externo)

PROGRAMA: Ingeniería civil

SEMESTRE: 2024-2

Introducción

Earthgreen Colombia es una empresa dedicada al diseño, construcción, fabricación y venta de soluciones en compostaje. La ingeniería civil es clave en el desarrollo de plantas de compostaje.

A lo largo de la práctica se propuso un protocolo que optimiza los procesos de diseño estructural, cálculo de cantidades, presupuestos y planificación con el uso de herramientas como ETABS y plantillas en Excel.

Conclusiones

- ✓ Las herramientas aplicadas permitieron proponer soluciones alineadas con las necesidades de la empresa.
- ✓ El protocolo y las plantillas estandarizadas optimizan tiempos, reducen errores y mejoran significativamente los presupuestos.
- ✓ Esta experiencia fortaleció mis habilidades y permitió aportar mejoras útiles a los procesos internos de Earthgreen.

Metodología

- 1 Fase Diagnóstica: Análisis documental y encuestas al personal.
- 2 Fase de Establecimiento de Criterios y Acciones de Mejora: Definición de criterios técnicos e indicadores.
- 3 Fase de diseño de lineamientos para el Protocolo Integral: Estandarización de procesos de diseño estructural, cálculo de cantidades, AFU's y presupuestos.

Objetivo general

Proponer lineamientos para un protocolo que estandarice y optimice los procesos de diseño estructural en Earthgreen, mejorando la eficiencia y precisión.

Encuestas realizadas al personal

Objetivos específicos

- ✓ Identificar necesidades y problemáticas actuales en los procesos de diseño y planificación para detectar oportunidades de mejora.
- ✓ Definir criterios para optimizar la ejecución de proyectos según la normativa vigente y las exigencias de la empresa.
- ✓ Diseñar los lineamientos para un protocolo con herramientas estandarizadas que faciliten la planificación, el control y el acceso a información actualizada.

Resultados

Lineamientos básicos para un protocolo con ETABS y plantillas en Excel, dejando herramientas para automatizar cálculos, estandarizar procesos y fomentar eficiencia y cumplimiento normativo.

Resultados

Formatos de estandarización de presupuesto y cantidades, con este se buscaba mejorar la precisión mediante metodologías estándar de medición, presupuestos detallados con APUs precisos y control de costos.

Resultados

Formatos de estandarización de diseños estructurales, con estos se garantiza precisión y seguridad mediante el cumplimiento de la NSR-10

Resultados

Formatos de estandarización de AFU's para las diferentes actividades a realizar

Fuente Imágenes: Elaboración Propia.

DATOS DE CONTACTO DEL AUTOR

Manuela.benjumea@udea.edu.co

Escanea este QR para conocer más sobre el proyecto