

**COMPARACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA Y LOS MUROS EN DURAPANEL CON LOS SISTEMAS
CONSTRUCTIVOS CONVENCIONALES EN FUNCIÓN DEL COSTO, EL ALCANCE Y EL TIEMPO DE
PROYECTOS DE LA CONSTRUCTORA APRIX.**

Nestor Yesid Farfán Lancheros

Miguel Antonio Caro Pallares



UNIVERSIDAD
La Gran Colombia

Vigilada MINEDUCACIÓN

Ingeniería Civil, Facultad de Ingenierías

Universidad la Gran Colombia

Bogotá

2024

La construcción de unidades residenciales es una tarea que la constructora Aprix viene desarrollando desde hace más de 20 años, logrando éxitos en términos de diseño, tecnología, funcionalidad y cumplimiento en la vivienda de la zona norte de Bogotá. Sin duda, los elementos estructurales y la mampostería interior son una de las fases constructivas que más tiempo consume, lo que provoca que las fechas fijadas para la entrega al usuario final se retrasen más de lo habitual, generando incumplimientos por parte de los propietarios. De igual forma, los sistemas arquitectónicos utilizados en proyectos ya realizados por la constructora Aprix incorporan mampostería en bloques de arcilla con perforación horizontal, así como elementos estructurales conformados por vigas, columnas y pantallas que integran parte del sistema tradicional. En el contexto colombiano, las obras que se licitan con el estado y en especial las de carácter privado están muy involucradas con aquellos eventos que generan una extensión del tiempo requerido para la culminación del proyecto, ya que existen muchas causas y circunstancias que no se prevén en la consultoría de cualquier proyecto, y que al momento de la ejecución surgen fortuitamente y hacen que se tengan que tomar decisiones inmediatas, las cuales en muchos de los casos no suelen ser las más adecuadas para el buen desarrollo de la programación de obra (Potes, et al. 2017). De otro lado, se encuentran los sistemas estructurales, los cuales aportan un papel muy importante en la elaboración del cronograma de la obra, ya que allí se define el “armazón” más adecuado en función de factores sísmicos, geográficos, uso de materiales, presupuesto, costo-beneficio, tiempo, alcance, funcionalidad, entre otros (Taha., 2016). Esta determinación la debe tomar el diseñador estructural en conjunto con el gerente, los distintos socios, el constructor, los inversionistas y las demás personas que vayan a participar de manera directa en el proyecto. Puesto que la decisión final que se tome irá en pro de la comunidad que ha adquirido las unidades residenciales; enfocado en el pleno cumplimiento de los tiempos establecidos, en saber administrar el alcance para priorizar tareas y permitiendo asignar recursos de manera efectiva (Allegue, A. 2018).

Asimismo, la industria de la construcción y en cierta medida la ciencia es responsables de la existencia de nuevas tecnologías de materiales como estructuras metálicas y muros prefabricados (durapanel), que reducen los tiempos de construcción y otras variables importantes. Por ello, el estudio presta especial atención a los elementos estructurales y tabiques tanto de los proyectos realizados por la constructora Aprix como de los realizados con estructuras metálicas y muros de Durapanel, centrándose en ellos en las características muy específicas de los sistemas constructivos tradicionales.

Los materiales de construcción se encuentran en constante evolución, buscando métodos y materias primas que optimicen la eficiencia y la rentabilidad de los proyectos. En este contexto, la Constructora Aprix se enfrenta a la tarea de seleccionar el sistema constructivo más adecuado para sus proyectos, considerando aspectos fundamentales como el costo, el alcance y el tiempo de ejecución, ya que la toma de decisiones en muchos de los casos no resulta ser la más adecuada, todo ello no es imputable al cliente, ya que los sistemas de diseño y construcción utilizados son sugeridos por los socios, inversionistas, ingenieros estructurales, arquitectos, etc. Sin embargo, comparando los aspectos anteriores, es posible que las empresas constructoras elijan la mejor alternativa entre estructuras metálicas o de hormigón armado para aquellos elementos que soportarán las solicitaciones de la estructura y de igual manera el sistema Durapanel para los tabiques que separarán las estancias del edificio.

Trayendo en contexto toda esta información, es necesario mencionar que esta investigación se realiza a raíz de un periodo de pasantía en la cual pude experimentar por primera la construcción de un par de obras, en las cuales conviví con diferentes personas, de las cuales aprendí muchísimo, desde el empleado con menor jerarquía hasta con el gerente de la constructora, cada experiencia fue muy fructífera y beneficiosa para mí. La constructora Aprix me abrió las puertas a sus obras, incluso cuando no tenía experiencia en obra, me dieron la oportunidad de apoyar la ejecución de dos obras con el cargo

de auxiliar de ingeniería, donde cada día que pasaba iba aprendiendo cosas que en la universidad se habían tratado, pero no con la materialización que merece una carrera como la ingeniería civil. En el transcurrir de los días hubo un tema que me fue inquietando cada día más y es el que compete con el tiempo de entrega de las unidades residenciales a los propietarios y es allí donde mi espíritu por profundizar en la raíz del problema se va forjando y mi primera impresión fue plantear la construcción del mismo edificio, pero en acero. Sin embargo, que podría pasar si el material empleado para los tabiques y muros divisorios también fuese otro material con características diferentes y pensando en pro de los compradores de las unidades residenciales. Existe una situación que es bastante incómoda para el director de obra como para todo el operador técnico de la obra y es que, al momento de realizar una entrega, para el propietario le es muy frustrante saber que su apartamento se le esta siendo entregado no en la fecha acordada sino al transcurrir de un año o un poco más. De primera impresión, podría decirse que esto compete a un tema administrativo y de planeación del cronograma de actividades de la obra, aunque es importante preguntarse si los sistemas constructivos empleados por la constructora Aprix son los mejores en términos de tiempo, costo y alcance. Si bien es cierto que el hormigón y el acero son dos materiales ampliamente utilizados en la construcción de edificios y estructuras, la elección del material de construcción es crucial, ya que influirá en aspectos como la resistencia, la durabilidad, la flexibilidad de diseño y los costos. En esta comparativa, se analizarán las ventajas y desventajas de cada material en base a diferentes factores y en el caso del hormigón armado, se hace de acuerdo a lo que se ha evidenciado en los proyectos de la constructora en mención.

La resiliente fortaleza del concreto en ambientes de alto estrés: El concreto, un material venerado en el mundo de la construcción por su robustez y versatilidad, demuestra una capacidad excepcional para soportar ambientes de alto estrés. Desde estructuras de puentes que resisten las fuerzas del tráfico vehicular hasta cimientos de edificios que desafían la compresión del suelo, el concreto se constituye como un pilar de resistencia en los entornos más exigentes. Una de las características sobresalientes del concreto es su alta resistencia a la compresión. Esta propiedad permite que el concreto soporte grandes cargas verticales sin perder su integridad estructural. En ambientes de alto estrés, como los cimientos de edificios de gran altura o las bases de infraestructuras pesadas, el concreto demuestra su capacidad para resistir las fuerzas de compresión que actúan sobre este, manteniendo la estabilidad y la seguridad de las estructuras. Por ejemplo, para los edificios de la constructora Aprix, los cuales tienen cierta similitud en materia de altura y distribución de espacios, los concretos variaban su resistencia a la compresión de acuerdo al elemento estructural que se esté fundiendo, por lo que es de resaltar

Figura 1 Elementos estructurales del edificio Oruga 94



Nota: Creación propia

la rigurosidad que se tiene en obra cuando llegan pedidos de hormigón, al cual se le toman muestras para ser ensayadas y de esta manera corroborar la resistencia a la compresión. La capacidad del concreto para soportar ambientes de alto estrés se debe a su impresionante combinación de resistencia a la compresión, durabilidad y adaptabilidad. En aplicaciones donde se requiere una resistencia excepcional y una larga vida útil, el concreto emerge como una elección confiable y duradera. Desde puentes y represas hasta cimientos y pavimentos, el concreto continúa demostrando su valor como un material de construcción fundamental en la ingeniería moderna (Poyatos, 2023).

Figura 2 Toma de testigos de concreto



Nota: Creación propia

La inquebrantable resistencia del hormigón armado ante el fuego y

la intemperie: La resistencia al fuego del hormigón armado es uno de sus atributos más elogiados, gracias a la naturaleza incombustible del hormigón y a la protección que ofrecen las barras de acero en su interior; las estructuras de hormigón armado pueden mantener su integridad estructural durante períodos prolongados de exposición al calor intenso. En caso de incendio, el hormigón armado actúa como un escudo protector, proporcionando un tiempo invaluable para evacuar el área y para que los servicios de emergencia intervengan, minimizando así el riesgo de colapso

estructural y salvaguardando la vida humana. El hormigón armado exhibe una excepcional resistencia a la intemperie, ya que pueden soportar la exposición prolongada a la lluvia, el viento y otros elementos climáticos sin perder su integridad o su capacidad de carga. La durabilidad del hormigón armado se debe en parte a la protección que brindan las barras de acero contra la corrosión, lo que evita el debilitamiento de la estructura con el paso del tiempo. Esta resistencia a la intemperie hace que el hormigón armado sea especialmente adecuado para aplicaciones en ambientes marinos, industriales y costeros, donde las condiciones ambientales son particularmente adversas (Harmsen, 2002).

Múltiples formas del hormigón armado: El hormigón armado, con su versatilidad y resistencia, ofrece una amplia gama de aplicaciones en la construcción moderna. Desde imponentes rascacielos hasta puentes majestuosos y estructuras submarinas, el hormigón armado se adapta a múltiples formas y desafíos arquitectónicos con maestría. Además, este permite la creación de formas y estructuras innovadoras, desde líneas fluidas y curvas hasta ángulos audaces y geométricos, el hormigón armado se moldea con facilidad para materializar la visión de los diseñadores, en especial aquellos que decidieron que parte de la estructura de edificios como Oruga 94, Oruga 93 y Porta 87 resalten sus pantallas, vigas,

columnas riostras y demás elementos estructurales de una manera rústica, elegante, industrial y atemporal. Su capacidad para adaptarse a una amplia variedad de formas y diseños lo convierte en un lienzo versátil para la creatividad arquitectónica.

Durabilidad: De acuerdo a lo que contempla Toirac (2009), esta propiedad la define como su capacidad para soportar las condiciones físicas, mecánicas y químicas a las que está expuesta tanto la masa de concreto como el acero de refuerzo, sin mostrar signos de deterioro durante su vida útil diseñada. La definición de la vida útil de una estructura es actualmente un tanto compleja y controvertida, lo ideal es definirlo como el período durante el cual una estructura mantiene su condición de funcionamiento con un mantenimiento ligero y planificado como la aplicación de pintura u otras formas de protección.

Acción que no se tuvo en cuenta en los entrepaños que quedaron expuestos a la intemperie del edificio Porta 87 (Ver **Figura 3**), en donde por acciones climáticas se empezaron a empeorar, tomando un color oscuro por donde el agua en su momento resbalaba; entonces la durabilidad de las estructuras en concreto no necesariamente va a depender directamente de sus propiedades sino que por el contrario va a perdurar hasta cien años o más, siempre y cuando se le hagan los tratamientos pertinentes y apropiados especialmente en ambientes críticos.

No requiere de mano de obra muy calificada: La preparación y colocación del concreto involucran procesos relativamente simples que pueden ser llevados a cabo por trabajadores con un nivel básico de capacitación y experiencia en la construcción, situación que experimente con todo el personal

Figura 3 Afectación del agua en los bordes de placa frontales del edificio Porta 87



Nota: Creación propia

de la obra, en donde en medio de conversaciones me di de cuenta que su nivel académico no era profesional, sino que sus habilidades se habían forjado a raíz del empirismo. La mezcla de los componentes del concreto, como cemento, agregados y agua, puede ser realizada mediante equipos y herramientas comunes de construcción, como mezcladoras y baldes, para actividades menores como lo son los remates. Sin embargo, en la edificación de grandes proyectos como los de la constructora Aprix (Porta 87, Oruga 94, Oruga 93), por lo general se usa concreto premezclado y como ya se mencionó, de acuerdo al elemento estructural a fundir, la resistencia a la compresión va a cambiar. Una vez preparada la mezcla, su colocación en los encofrados o moldes requiere habilidades básicas de vertido y nivelación, que pueden ser aprendidas con relativa facilidad (Harmsen, 2002).

Mayor resistencia a fuerzas laterales: El carácter monolítico que el concreto confiere a sus estructuras es uno de sus atributos más destacados en términos de resistencia a las cargas laterales, como las generadas por el viento o los movimientos sísmicos. Este aspecto fundamental del concreto se refiere a la capacidad del material para formar una masa continua y uniforme, sin juntas ni puntos débiles significativos a lo largo de la estructura. Cuando una estructura de concreto se diseña y construye de manera adecuada, esta continuidad monolítica proporciona una resistencia inherente a las fuerzas

Figura 4 Fundición monolítica de sobrecubierta



Nota: Creación propia

laterales que pueden actuar sobre ella. En el caso de cargas de viento, por ejemplo, una estructura de concreto monolítica puede distribuir uniformemente las fuerzas del viento a lo largo de toda su masa, reduciendo así los puntos de concentración de esfuerzos y minimizando el riesgo de deformaciones o fallas estructurales (Harmsen, 2002).

Por otra parte, a lo largo tanto de la carrera de ingeniería civil, como la experiencia en las obras de la constructora Aprix, fueron apareciendo aquellas desventajas que hace que otros materiales del mercado lo superen y lo pongan en segundo plano; algunas de estas son:

Baja Resistencia a los esfuerzos de tracción: El hormigón, por sí solo, es relativamente débil en tracción, lo que significa que es propenso a agrietarse o incluso romperse cuando se somete a cargas de tensión significativas. Para mitigar este problema, se incorporan barras de acero de refuerzo en la matriz de hormigón, lo que aumenta considerablemente su capacidad para resistir fuerzas de tracción. Sin embargo, a pesar del refuerzo de acero, el hormigón armado sigue siendo menos resistente a la tracción que a la compresión. Esta limitación en la resistencia a la tracción del hormigón armado puede tener varias implicaciones en el diseño y la construcción de estructuras. Por ejemplo, en elementos estructurales sometidos a cargas de flexión, como vigas y losas, pueden producirse grietas en la parte inferior de la viga o losa, donde se experimentan las mayores fuerzas de tracción. Estas grietas pueden afectar la integridad estructural y requerir medidas adicionales, como el diseño de refuerzos adicionales o la instalación de elementos de pre y post-tensado, para garantizar la seguridad y la estabilidad de la estructura (Harmsen, 2002).

Tiempo de fraguado y curado: El concreto armado requiere un tiempo de fraguado y curado prolongado antes de que alcance su resistencia y durabilidad óptimas. Este tiempo puede retrasar el progreso de la construcción y aumentar los costos asociados con el proyecto, especialmente si se requieren encofrados temporales o sistemas de curado especializados.

Peso: El hormigón tiende a ser más pesado que otros materiales de construcción, como el acero o el aluminio. Esto puede limitar su uso en estructuras donde se requiere una carga liviana o donde la capacidad de carga del suelo es limitada. El peso adicional del concreto armado también puede requerir cimentaciones más profundas y costosas.

Reparación y mantenimiento: Aunque el concreto armado es duradero, puede requerir reparaciones y mantenimiento periódicos para prevenir el deterioro debido a la exposición a condiciones ambientales adversas, como la corrosión o la abrasión. Estos trabajos de mantenimiento pueden ser costosos y laboriosos, especialmente en estructuras grandes o de difícil acceso.

Limitaciones en las secciones: El concreto armado es menos eficiente que el acero en términos de relación resistencia-peso. Esto significa que para lograr la misma resistencia estructural que el acero, se necesitan secciones de concreto más grandes y, por lo tanto, más peso. Este peso adicional del concreto puede convertirse en una carga significativa en el diseño de estructuras, especialmente en edificaciones donde se requiere cubrir grandes luces, como puentes o techos de grandes edificios.

De la misma manera, una vez reconocidos los defectos y cualidades del concreto armado, es importante ahondar en las habilidades y desperfectos de la estructura metálica cuando se somete a cargas en cualquier edificación; esto con el fin de poder recomendar o no la estructura metálica como nuevo sistema estructural para los proyectos venideros de la constructora Aprix principalmente considerando aspectos de alcance, costo y tiempo. Las siguientes ventajas se realizaron en base a información de otros proyectos en los cuales se realizaron los elementos estructurales en acero. Algunas de las superioridades que tiene la estructura metálica se mencionan a continuación.

Uniformidad: La uniformidad del acero estructural es la consistencia en las propiedades físicas y químicas del material a lo largo de toda su longitud y entre diferentes lotes de producción. Esta uniformidad es crucial para garantizar la integridad y la seguridad de las estructuras construidas con acero, ya que cualquier variación significativa en las propiedades del material puede afectar su capacidad de carga y su comportamiento

Figura 5 Armazón en estructura metálica



Nota: Tomado de “ventajas del acero como material estructural”, por JH Soluciones Integrales, 2024. (<https://www.sioingenieria.com/portal/novedades/ventajas-del-acero-como-material-estructural>)

estructural. En resumen, las propiedades del acero no cambian considerablemente en el tiempo como es el caso de las estructuras en concreto reforzado.

Resistencia sísmica: Las estructuras metálicas tienen una excelente capacidad para resistir las fuerzas sísmicas debido a su alta resistencia y ductilidad. El acero puede deformarse plásticamente bajo cargas sísmicas, absorbiendo así la energía del terremoto y minimizando el daño estructural. Esto hace que las estructuras metálicas sean una opción popular en áreas propensas a terremotos (Aguirre Sosapanta & Figueroa Bernal, 2008). Además, la alta resistencia por unidad de peso implica que las estructuras sean livianas; esto es un factor muy importante en materia de construcción de puentes con amplias luces, en edificios grandes y en estructuras con malas condiciones en la cimentación.

Durabilidad: El acero es inherentemente resistente a la corrosión y al deterioro, lo que lo hace duradero y de bajo mantenimiento en comparación con otros materiales de construcción. Las estructuras metálicas pueden protegerse adicionalmente mediante la aplicación de recubrimientos anticorrosivos, lo que prolonga aún más su vida útil y reduce los costos de mantenimiento a largo plazo.

Flexibilidad de diseño: El acero es un material altamente maleable que puede ser moldeado en una variedad de formas y tamaños para adaptarse a los requisitos de diseño específicos del proyecto. Esto permite una mayor libertad creativa para los arquitectos y diseñadores en la creación de estructuras innovadoras y distintivas. Además, que es un material capaz de soportar grandes deformaciones sin llegar al fallo y de acuerdo con Cormac & Csernak (2013)

“En comparación con la mayoría de materiales el acero se acerca más a las hipótesis de diseño, debido a que sigue la Ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos, por tanto, los momentos de inercia de una estructura de acero, pueden determinarse en forma exacta, contrario a los valores obtenidos para una estructura de concreto en donde son relativamente imprecisos.”

Rapidez en su construcción: Los elementos estructurales forjados en acero, ya vienen previamente dimensionados a las obras, por lo que es muy versátil y rápido su conformación; lo

complicado radica en el izaje de vigas, columnas o riostras para la estructura. Es de mencionar que las estructuras metálicas son prefabricadas en fábrica y luego ensambladas en el sitio de construcción, lo que permite un proceso de construcción más rápido y eficiente en comparación con otros materiales como el concreto. Esto puede reducir los tiempos de construcción y acelerar la finalización del proyecto, lo que a su vez puede generar ahorros en costos laborales y financieros.

Sostenibilidad: El acero es un material reciclable y reutilizable, lo que lo convierte en una opción ambientalmente responsable para la construcción. La capacidad de reciclaje del acero reduce la necesidad de extraer y procesar nuevos materiales, lo que puede ayudar a reducir el impacto ambiental de la construcción y promover prácticas de construcción sostenibles.

El siguiente aspecto tiene como objetivo traer a colación las desventajas que implica usar la estructura metálica en posteriores proyectos de la constructora Aprix, pues en su avance constructivo es importante que se conozcan los detrimentos de este sistema constructivo.

Costo inicial: El acero estructural tiende a ser más costoso que otros materiales de construcción, como el concreto. Esto se debe a los costos de fabricación, transporte e instalación del acero, así como a los requisitos adicionales de mano de obra y equipo especializado. El costo inicial más alto puede ser un factor limitante en proyectos con presupuestos ajustados (Aguirre & Figueroa, 2008).

Sensibilidad a la corrosión: El acero es susceptible a la corrosión cuando se expone a la humedad y otros elementos ambientales corrosivos. Esto puede requerir la aplicación de recubrimientos protectores, como pinturas o galvanización, para proteger el material contra la oxidación. La corrosión puede reducir la vida útil del acero y comprometer su integridad estructural si no se aborda adecuadamente.

Conductividad térmica y eléctrica: El acero tiene una alta conductividad térmica y eléctrica, lo que puede ser una desventaja en ciertas aplicaciones. Por ejemplo, en climas fríos, las estructuras de acero pueden perder calor rápidamente, lo que aumenta los costos de calefacción. Además, la

conductividad eléctrica del acero puede plantear riesgos de seguridad en entornos donde se requiere aislamiento eléctrico.

Delicadeza al pandeo: Los elementos estructurales como vigas y columnas demasiado largos y esbeltos, tienden a tener mayor peligro de pandeo, sin embargo, al seguir siendo un material con una muy buena relación entre su resistencia y su peso, lo que se opta es adicionar elementos adicionales que permitan rigidizar mejor la estructura.

Sismicidad: Colombia se encuentra ubicado en una zona de alta sismicidad, debido a la convergencia de placas tectónicas. Las estructuras metálicas, si bien presentan un buen comportamiento frente a cargas estáticas, pueden ser más vulnerables a los movimientos sísmicos, especialmente en estructuras con alturas considerables o diseños inadecuados. Para garantizar la seguridad en zonas sísmicas, las estructuras metálicas en Colombia requieren de un diseño sismorresistente cuidadoso, que considere el análisis del sitio, la selección de materiales apropiados y la implementación de sistemas de disipación de energía. Estos aspectos generan costos adicionales de diseño, análisis y construcción, lo que debe ser tenido en cuenta al evaluar la viabilidad de este tipo de estructuras en zonas de alto riesgo sísmico (Cormac & Csernak. 2013).

Transporte de grandes elementos: El transporte de vigas, columnas y otros elementos metálicos de gran tamaño puede ser un desafío logístico en Colombia, especialmente en zonas con infraestructura vial deficiente o limitada. Los costos de transporte pueden aumentar considerablemente, especialmente en proyectos que requieren el traslado de piezas voluminosas o pesadas a lugares remotos. La planificación cuidadosa del transporte, la selección de rutas adecuadas y el uso de vehículos y equipos especializados son esenciales para optimizar los costos y minimizar los riesgos durante el traslado de elementos metálicos. Sin embargo, estas medidas no siempre eliminan por completo las dificultades logísticas que pueden presentarse en la infraestructura vial colombiana.

Obra de mano especializada: La construcción de estructuras metálicas exige mano de obra especializada en soldadura, montaje y manejo de maquinaria pesada. En Colombia, si bien existe mano de obra calificada para este tipo de proyectos, la demanda puede superar la oferta, especialmente en regiones alejadas o con alta actividad constructiva. Esta escasez de mano de obra especializada puede generar retrasos en los cronogramas de ejecución, incrementos en los costos de la mano de obra y dificultades para encontrar personal con la experiencia y las certificaciones necesarias. La capacitación y el desarrollo de mano de obra local son claves para mitigar este problema, pero requieren tiempo y recursos adicionales.

A modo de resumen, y sin ahondar en un tema numérico, al definir el material que conformará el armazón de un edificio implica consideraciones diferentes; en cuanto al costo, en la estructura de hormigón armado, los materiales pueden tener un precio más bajo debido a su gran demanda local. A su vez el acero suele ser más costoso por kilogramo y su precio es muy volátil debido a factores del mercado global. Asimismo, en términos de mano de obra, para la estructura en concreto tiende a ser ligeramente más costosa debido a la necesidad de encofrados, cimbras y tiempos de curado; mientras que, en la estructura metálica, la situación es más rápida, se facilita el proceso de montaje, aunque se requiere de personal idóneo para la soldadura y el ensamble de los elementos. Se debe agregar que los costos a largo plazo pueden aumentar en la estructura metálica, pues como ya se ha mencionado es muy sensible a la corrosión, por lo que se debe de aplicar un tratamiento para evitar esta patología; mientras que en los elementos en concreto requieren menos procesos para extender su vida útil. Por otra parte, en términos de tiempos de construcción, en la estructura metálica es significativamente más rápido, porque las piezas son prefabricadas en las industrias y su ensamble se realiza en el sitio en menos tiempo permitiendo una mayor precisión en las fechas de finalización. Entre tanto, la estructura en concreto generalmente toma más tiempo debido al proceso de vertido, fraguado y curado del

mismo. Se debe agregar que, en términos de alcance la estructura en concreto es muy duradera y presenta una alta resistencia al fuego, lo que la hace adecuada para edificios de múltiples niveles y con una gran resistencia a cargas axiales. Mientras que la estructura metálica admite aprovechar mejor los espacios debido a que permite luces y espacios abiertos sin columnas intermedias, ideales para edificios industriales y comerciales. Lo dicho hasta aquí, supone que en promedio las estructuras metálicas pueden ser entre un 20% a un 40% más costosas en términos de materiales comparados con el hormigón armado (Spectra s.f). Sin embargo, para ilustrar el concepto y ofrecer una referencia aproximada, se considera un ejemplo no tan complejo como lo sería un edificio de la constructora Aprix el cual demanda una complejidad mayor; por su parte, y para dar un acercamiento un tanto teórico, se plantea la construcción de una vivienda unifamiliar de dos plantas con una superficie total de 150 metros cuadrados.

Al ejecutarla en estructura metálica, el costo estimado según (Spectra. Sf) es de aproximadamente \$200.000.000 COP, ya que algunos factores que incrementan el costo son el diseño arquitectónico complejo con voladizos y espacios abiertos. Necesidad de cimentaciones especiales debido a condiciones geotécnicas del terreno, mano de obra altamente calificada para el montaje e instalación de la estructura.

En contraste con lo anterior, la misma estructura se plantea en hormigón armado cuyo costo estimado es de \$150.000.000 COP, debido a que hay factores que reducen el costo como un diseño arquitectónico más simple y regular, cimentaciones estándar adecuadas para el tipo de suelo, mano de obra con menor especialización requerida. En este ejemplo hipotético, la estructura metálica resulta ser un 33% más costosa que la estructura en hormigón armado (Spectra. Sf).

En cuanto al impacto ambiental, la producción de cemento es una fuente significativa de emisiones de CO₂, aunque su impacto puede mitigarse con el uso de tecnologías verdes; mientras que el

acero es reciclable y puede ser reutilizado, lo cual reduce su impacto ambiental, sin embargo, la producción de acero también es intensiva en energía y emite CO₂.

Es por ello que esto me permite enunciar la siguiente tabla que presenta Spectra, ingenieros calculistas, en la cual permiten ratificar que son más las características que van en línea con aspectos como el tiempo, el alcance y el costo en menor medida.

Tabla 1 Comparativa de las estructuras en acero con estructuras en hormigón armado

		
Característica	Estructura de Acero	Estructura de Hormigón Armado
Resistencia	Por poseer gran resistencia los elementos estructurales son de menor tamaño, lo que implica un aprovechamiento del espacio.	Para cumplir con las solicitaciones de carga por lo general tienen dimensiones mayores.
Ductilidad	Este tipo de material es muy dúctil por lo que las deformaciones antes de presentar fallas son perceptibles.	No es un material dúctil por lo tanto las fallas solo se aprecian cuando ya es demasiado tarde.
Homogeneidad	El acero es un material totalmente homogéneo.	El hormigón armado no es homogéneo por la disposición de los agregados en la mezcla.
Tiempo	Su montaje es rápido. La estructura puede llegar preparada previamente del taller solo para montar.	La construcción con este material implica más actividades y nivel de detalle.
Costo	Como requiere menor tiempo de construcción el costo por lo general es menor. Además, por ser estructuras más livianas requieren menores costos en la cimentación.	Implica un mayor costo por la cantidad de tiempo para su ejecución. Los costos de cimentación son mayores por lo pesado de la estructura.
Adaptación	En caso de alguna modificación es mucho más fácil hacer la adaptación a alguna estructura ya existente.	Los procesos de anclaje con hormigón armado suelen ser más engorrosos y difíciles.
Reutilización	Se puede fácilmente desmontar y reutilizar una estructura de acero siempre y cuando se encuentre en buen estado.	El desmontaje de hormigón armado implica la destrucción del elemento estructural. No puede reutilizarse.
Capacidad de Carga	El acero puede soportar carga inmediatamente luego de montarse.	Para poder someter una estructura de hormigón armado a carga deben pasar 28 días luego de su vaciado.

Nota: Tomado de “Estructuras Metálicas Vs. Estructuras De Hormigón Armado”, por Spectra Ingeniería, 2024. (<https://www.spectrainge.com/blog/estructuras-metalicas-vs-estructuras-de-hormigon/>)

Finalmente, y no menos importante en el ámbito de la construcción en Colombia la selección del material para la construcción de muros divisorios representa una decisión crucial que impacta en la calidad, durabilidad y eficiencia de la edificación. En este contexto, dos opciones que han ganado relevancia son los muros de Durapanel y los muros de bloque de arcilla, unos con más recorrido que otros, pero con el mismo objetivo. El fin de esta comparativa tendrá principal objetivo brindar una perspectiva informada a los profesionales del sector y a los tomadores de decisiones, en especial a la constructora Aprix.

Características y ventajas de los muros en Durapanel: Los paneles de Durapanel se posicionan como una solución constructiva innovadora, destacando por su rapidez de instalación, gracias a su naturaleza prefabricada que permite una ejecución eficiente y modular. Su ligereza constituye una ventaja estructural, pues reduce la carga muerta sobre la estructura, lo cual es particularmente beneficioso en zonas sísmicas o con suelos de baja capacidad portante. La versatilidad de este material permite su aplicación tanto en muros interiores como exteriores, ofreciendo la posibilidad de combinar diversos acabados estéticos. Además, los paneles de Durapanel incorporan materiales aislantes, proporcionando un aislamiento térmico efectivo que contribuye al ahorro de energía en calefacción y aire acondicionado. Cabe destacar su resistencia a la humedad, haciéndolos adecuados para climas húmedos o con riesgo de filtraciones (Torres et al., 2018).

Características y ventajas de muros de bloque de arcilla: Los bloques de arcilla representan una opción tradicional y ampliamente utilizada en la construcción. Su bajo costo los convierte en una alternativa atractiva, especialmente en proyectos con presupuestos ajustados. La alta resistencia estructural de los muros de bloque de arcilla los hace idóneos para soportar grandes cargas y para construcciones de gran altura. Su buen aislamiento acústico, particularmente en frecuencias bajas, los convierte en una opción adecuada para espacios que requieren privacidad o control de ruido. La larga trayectoria de este material en la construcción avala su comprobada durabilidad.

Velocidad de Construcción: Los paneles de Durapanel ofrecen una significativa ventaja en términos de rapidez de instalación, reduciendo los tiempos de construcción en comparación con los muros de bloque de arcilla (Buitrago, 2014).

Resistencia Estructural: Los muros de bloque de arcilla presentan una mayor resistencia estructural, lo que los hace adecuados para soportar grandes cargas y para construcciones de gran altura.

Aislamiento Térmico: Los paneles de Durapanel incorporan materiales aislantes que proporcionan un mejor aislamiento térmico en comparación con los muros de bloque de arcilla.

Aislamiento Acústico: Los muros de bloque de arcilla ofrecen un mejor aislamiento acústico, particularmente en frecuencias bajas, en comparación con los paneles de Durapanel.

Economía: Los bloques de arcilla suelen ser una opción más económica que los paneles de Durapanel, especialmente en proyectos de gran envergadura.

Sostenibilidad: Ambos materiales tienen un impacto ambiental considerable durante su producción. La evaluación de la huella de carbono y el ciclo de vida completo es crucial para una elección sostenible.

La elección entre muros de Durapanel y muros de bloque de arcilla en Colombia depende de las necesidades y prioridades específicas de cada proyecto. Para proyectos que requieren rapidez de

construcción, aislamiento térmico y resistencia a la humedad, los paneles de Durapanel pueden ser una buena opción. Sin embargo, para proyectos con presupuestos ajustados, que requieren alta resistencia estructural y buen aislamiento acústico, los muros de bloque de arcilla pueden ser la mejor alternativa. Además, es fundamental contar con la asesoría de profesionales calificados, como arquitectos, ingenieros y contratistas especializados en construcción, para realizar una evaluación precisa de las necesidades del proyecto y considerar factores como las características del sitio, las condiciones climáticas, las regulaciones locales y el presupuesto disponible. Un análisis detallado de los costos y beneficios de cada material, junto con una evaluación crítica de los aspectos técnicos y ambientales, permitirá tomar una decisión informada y responsable que asegure la calidad, durabilidad, eficiencia y sostenibilidad de la edificación. La adopción de muros en Durapanel en los proyectos de Constructora Aprix representa una oportunidad para mejorar la eficiencia constructiva, reducir costos, optimizar recursos y contribuir a la sostenibilidad ambiental. La implementación gradual, la capacitación del personal, el establecimiento de alianzas estratégicas, la promoción efectiva y la evaluación continua son factores clave para el éxito de esta transición. Con una estrategia bien definida y una ejecución cuidadosa, la Constructora Aprix puede posicionarse como una empresa líder en la construcción moderna y eficiente en Colombia.

Las estructuras metálicas representan una opción viable y atractiva para la construcción moderna, ofreciendo ventajas significativas en términos de rapidez, flexibilidad, resistencia y eficiencia en el uso del espacio. Sin embargo, es importante considerar los costos iniciales, la necesidad de aislamiento térmico y protección contra incendios, y la selección de materiales y tratamientos adecuados para garantizar la durabilidad y el desempeño a largo plazo de la estructura.

La decisión final sobre la conveniencia de utilizar estructuras metálicas en futuros proyectos de la constructora Aprix debe basarse en una evaluación detallada de las necesidades del proyecto, las

condiciones del sitio, las regulaciones locales, el presupuesto disponible y los objetivos de sostenibilidad ambiental. Se recomienda contar con la asesoría de profesionales calificados, como arquitectos, ingenieros y expertos en estructuras metálicas, para realizar un análisis exhaustivo y tomar una decisión informada que asegure la calidad, seguridad, eficiencia y sostenibilidad de la edificación.

Lista de Referencia o Bibliografía

Aguirre Sosapanta, C. E., & Figueroa Bernal, A. J. (Junio de 2008). Escuela politécnica nacional. Obtenido de Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/607/1/CD-1570%282008-06-30-03-17-36%29.pdf>

Potes, A., Vargas, L. y Gordo, M. (2017). Factores que ocasionan retrasos en obras civiles en Empresas Publicas de Neiva. (Trabajo de grado, Universidad Santo Tomás). Recuperado de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10740/Johana%20Potes-2017.pdf>

Taha, G., Badawy, M. y El-Nawawy, O. (2016). Un modelo para la evaluación de retrasos en proyectos de construcción. Revista internacional de investigación innovadora en ciencias, Ingeniería y Tecnología. Vol 5. Recuperado de: http://www.ijirset.com/upload/2016/march/48_A%20Model.pdf

Allegua, A. (16 de Noviembre de 2018). Alcance, tiempo, coste: El triángulo de la gestión de proyectos. Recuperado de: <https://lecciondeaprendizaje.blogspot.com/2018/11/alcance-tiempo-coste-el-triangulo-de-la.html>

Gomez, P. (2019). Historia del acero como elemento estructural. Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías Diseño de Estructuras de Acero. Recuperado de: https://www.academia.edu/40997159/Historia_del_acero_como_elemento_estructural

Poyatos. (2023, 24 de octubre). ¿QUÉ VENTAJAS TIENE EL HORMIGÓN ARMADO SOBRE EL ACERO?. <https://www.poyatos.com/blog/ventajas-tiene-el-hormign-armado-sobre-el-acero>

Harmsen, T. (2002). *DISEÑO DE ESTRUCTURAS E CONCRETO ARMADO*. <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenio-de-estructuras-de-concreto-harmsen.pdf>

Toirac, J. (2009). *LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN, CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA EL LOGRO DE LA DURABILIDAD DE LAS OBRAS*. Ciencia y sociedad. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=87014516001>

McCormar, J. & Csernak, S. (2013). *Diseño de estructuras de acero*. Alfaomega.

https://issuu.com/gustavochonlongalcivar/docs/p_ginas_desde248353723-estructuras

Aguirre, C. & Figueroa, A. (Junio del 2008). *Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios*. Escuela politécnica nacional.

<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/607/1/CD-1570%282008-06-30-03-17-36%29.pdf>

Torres, J. Camargo, C. Parada, D. (Octubre del 2018). *Sistema Durapanel Exp*. Universidad pontificia Bolivariana. <https://es.scribd.com/presentation/390848116/Sistema-Durapanel-Exp#:~:text=Información%20del%20documento&text=El%20documento%20describe%20el%20sistema,sismo-resistencia%20y%20beneficios%20ambientales>.

Buitrago, D. (2014). *Evaluación técnica y análisis costo/beneficio para la implementación del sistema constructivo Durapanel para proyectos de vivienda, comerciales, institucionales e industriales*. Universidad Militar Nueva Granada.

[https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13287/Articulo%20Trabajo%20final%20-%20\(DURAPANEL\).pdf?sequence=2](https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/13287/Articulo%20Trabajo%20final%20-%20(DURAPANEL).pdf?sequence=2)

Nilson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto*. (Duodécima edición). Emma Ariza H.

Valencia, G. (1997). *Estructuras de acero: Diseño con factores de carga y de resistencia*. (Primera edición). Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería

Spectra Ingeniería, Sf. *Estructuras Metálicas Vs. Estructuras De Hormigón Armado*.

<https://www.spectrainge.com/blog/estructuras-metalicas-vs-estructuras-de-hormigon/>

