

EVALUACIÓN DEL USO DE ELEMENTOS PREFABRICADOS DE GRC EN LA CONSTRUCCIÓN DE FACHADAS

JUAN CAMILO HERNÁNDEZ BÁEZ
ANGÉLICA MARÍA PARRA BLANDÓN

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero(a) Civil

ANA MARÍA MESA MEJÍA

MBA en Sostenibilidad

**Gerente de Innovación y Sostenibilidad CONCRETO
S.A**



**UNIVERSIDAD EIA
CONSTRUCTORA CONCRETO S.A
INGENIERIA CIVIL
ENVIGADO**

2016

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra directora de trabajo de grado, Ana María Mesa M. y a Camilo Andrés Salazar G. por su apoyo constante en la realización de la investigación y por el direccionamiento brindado para la realización de este informe final.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

CONTENIDO

pág.

AGRADECIMIENTOS.....	2
CONTENIDO.....	3
LISTA DE TABLAS.....	6
LISTA DE ILUSTRACIONES.....	7
LISTA DE GRAFICAS.....	9
LISTA DE ECUACIONES.....	9
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
INTRODUCCIÓN.....	12
1. PRELIMINARES.....	13
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES.....	13
1.2 Objetivos del proyecto.....	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Marco de referencia.....	15
1.3.1 Antecedentes.....	15
1.3.2 Lean Construction.....	16
1.3.3 Trabajo en altura.....	18
1.3.4 Fachadas de edificación.....	19

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.3.5	Elementos prefabricados en la construcción de fachadas	19
1.3.6	Sistemas temporales de construcción en altura.....	20
2.	ENFOQUE Y METODOLOGÍA	27
2.1	Etapa 1: Definición de proyectos	27
2.2	Etapa 2: información y Mediciones	27
2.3	Etapa 3: Análisis lean construction, accidentalidad y rendimientos.....	28
3.	DESARROLLO DEL PROYECTO	29
3.1	Análisis del sector de la construcción	29
3.1.1	Construcción en Colombia.....	29
3.1.2	Construcción en Antioquia y Área Metropolitana	32
3.2	Proyectos seleccionados	37
3.2.1	Nueva sede EDU - Fachada con elementos prefabricados.....	37
3.2.2	Proyecto de vivienda Bruja Bonita - Construcción de fachada en mampostería 44	
3.3	Análisis de rendimientos.....	48
3.4	Análisis de accidentalidad	49
3.5	Análisis Lean Construction	50
3.5.1	Clasificación de actividades.....	50
3.5.2	Mediciones Lean	52
4.	PRODUCTOS, RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS.....	54
4.1	Rendimientos	54
4.2	Accidentalidad y seguridad.....	57
4.3	Lean Construction	58
4.3.1	Fachada paneles GRC	58

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4.3.2	Fachada mampostería.....	63
4.4	RESUMEN	68
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6.	REFERENCIAS	72

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. PIB real para el sector de la construcción y total nacional.....	29
Tabla 2. Área (m ²) licenciada para construcción según destino en Antioquia.	32
Tabla 3. Obras culminadas, en proceso e inactivas en el Área Metropolitana.....	34
Tabla 4. Área iniciada de vivienda (m ²)según sistema constructivo para el AMVA	35
Tabla 5. Variables registradas para el caculo de rendimientos Mampostería.....	48
Tabla 6. Variables registradas para el cálculo de rendimientos paneles GRC	48
Tabla 7. Clasificación de actividades secundarias	50
Tabla 8. Clasificación de actividades - Fachada EDU	51
Tabla 9. Clasificación actividades - Fachada Bruja Bonita	51
Tabla 10. Rendimientos promedio por sistema	55
Tabla 12. Análisis costo unitario Mano de Obra.....	56
Tabla 13. Análisis costos administrativos.....	56
Tabla 15. Distribución de tiempos Lean en la construcción de fachadas prefabricada.....	59
Tabla 16. Distribución de porcentaje en actividades de tiempos sin valor agregado	59
Tabla 17. Distribución de porcentajes en actividades de tiempos soporte	61
Tabla 18. Distribución de tiempos LEAN en la construcción de fachadas en mampostería	63
Tabla 19. Distribución de porcentajes en actividades de tiempos sin valor agregado	64
Tabla 20. Distribución de porcentajes en actividades de tiempos soporte	65

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Andamios tradicionales metálicos tubulares o con cruceta	21
Ilustración 2. Andamios colgantes	22
Ilustración 3. Plataforma mecánica	23
Ilustración 4. Plataforma articulada.....	24
Ilustración 5. Andamio eléctrico	25
Ilustración 6. Plataforma para trabajo en altura.....	25
Ilustración 7. Torre grúa.....	26
Ilustración 8. Fachada nueva sede EDU	38
Ilustración 9. Puesto de trabajo fabricación de paneles	39
Ilustración 10. Vaciado mortero inicial , Ilustración 11. Aplicación desmoldante.....	39
Ilustración 12. Vaciado Mortero con fibra de vidrio , Ilustración 13. Vaciado con mortero N.3.....	40
Ilustración 14. Módulo listo , Ilustración 15. Módulos desencofrados y almacenados ...	40
Ilustración 16. Tipología de paneles de GRC para fachada	41
Ilustración 17. Izamiento del panel.....	42
Ilustración 18. Acercamiento del panel GRC , Ilustración 19. Soldadura del panel GRC	43
Ilustración 20. Anclaje y colocación de capa de pintura anticorrosiva	43
Ilustración 21. Proyecto de vivienda Bruja Bonita	44
Ilustración 22. Unidades de mampostería.....	45
Ilustración 23. Andamios para la construcción de fachada.....	46

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ilustración 24. Elaboración del mortero , Ilustración 25. Pega de las unidades de mampostería.....	47
Ilustración 26. Vaciado de dovela Ilustración 27. Anclaje del muro	47
Ilustración 28. Actividad fachada prefabricada en sistema GICO.....	52
Ilustración 29. Listado de empleados creados en GICO para la fachada prefabricada	52
Ilustración 30. Distribución de tiempos LEAN en la construcción de fachada prefabricada	58
Ilustración 31. Pareto y frecuencias de actividades en tiempos sin valor agregado	60
Ilustración 32. Pareto y frecuencias de actividades en tiempos soporte.....	61
Ilustración 33. Gráfica de Pareto y frecuencias en actividades dentro de las detenciones	62
Ilustración 34. Distribución de tiempos LEAN en la construcción de fachada en mampostería	63
Ilustración 35. Pareto y frecuencias de actividades en tiempos sin valor agregado	65
Ilustración 36. Gráfica de Pareto y frecuencias de actividades en tiempos soporte	66

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

LISTA DE GRAFICAS

	pág.
Grafica 1. Rendimientos Mampostería.....	54
Grafica 2. Rendimientos Paneles GRC.....	55

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Tasa de accidentalidad.....	49
Ecuación 2. Índice de frecuencia de Accidentes en el Trabajo (AT).....	49
Ecuación 3. Índice de severidad de AT.....	49
Ecuación 4. Índice de lesiones incapacitantes.....	50

RESUMEN

En la actualidad, con el incremento en el sector de la construcción en Colombia y específicamente en el Valle de Aburrá se ha incurrido en la necesidad de hacer los procesos correspondientes al avance de obra de manera más eficiente y óptima, con el fin de reducir los costos administrativos de esta, entregándola en el menor tiempo posible.

Uno de los procesos más representativos que se encuentran en la ruta crítica para la entrega final de una edificación es la construcción de la fachada, es por lo anterior, que con la intención de reducir el tiempo en esta actividad se lleva a incurrir en la innovación con la construcción de paneles prefabricados de GRC y su respectiva instalación, y, se busca comparar cómo la implementación de estos repercute en los ámbitos involucrados al costo administrativo de una obra, como la productividad, rendimiento y riesgo de accidentalidad con esta nueva alternativa, versus la construcción de fachada más representativa en el área metropolitana de la ciudad de Medellín, que es la fachada tradicional de mampostería.

Entonces, Para la verificación de qué sistema constructivo es más rentable en la construcción de fachadas en altura se compararon dos de estos sistemas, la instalación de paneles prefabricados de GRC y la instalación de fachada tradicional en la ciudad de Medellín y su área metropolitana, por medio de ladrillos, es decir, trabajo de mampostería de fachada común; Para lo anterior, se realizaron mediciones por medio de la metodología "Lean Construction" en donde se cronometra el tiempo establecido para cada método de construcción teniendo en cuenta las actividades que representan tiempos con valor agregado, tiempos contributivos y tiempos que no agregan valor agregado, además de la medición de rendimientos en $\frac{m^2}{H.H.}$, permitiendo este ser uno de los factores más determinantes en cuanto al costo y finalmente la evaluación de la seguridad en los puntos de trabajo e instalación de los insumos.

Como resultado se observó que con la implementación de paneles prefabricados de GRC en la construcción de la fachada se obtuvo un mayor porcentaje en productividad y un rendimiento mayor, comparado con las mediciones que se realizaron en la construcción de fachada con mampostería tradicional, y, en cuanto al ámbito de seguridad se encontró que mediante el proceso de instalación de los paneles prefabricados la cuadrilla se expone a un riesgo menor de accidentalidad que la cuadrilla de mamposteros.

ABSTRACT

Actually, with the increase of the construction sector in Colombia and specifically in the Aburrá Valley has incurred in the need to make the processes corresponding to the progress of work in a more efficient and optimal way, in order to reduce the Administrative costs of a construction project and finishing it in the shortest possible time.

One of the most representative processes that are in the critical route for the final delivery of a building is the construction of the facade, it is because of the above, that with the intention of reducing the time in this activity it takes to incur the innovation with the construction of prefabricated panels of GRC and their respective installation, and, it is tried to compare how the implementation of these repercussions in the involved areas in the administrative cost of a work, as the productivity, yield and risk of accidentality, with this new alternative, versus The most representative facade construction in the metropolitan area of the city of Medellín, which is the traditional façade of masonry.

To verify what construction system is more profitable in façade height building, two of these systems were compared, the installation of prefabricated panels and the installation of traditional facade in the city of Medellin and its metropolitan area, the common handmade façade with bricks; For this, measurements were made by “Lean Construction” methodology, where time established for each method of construction is timed in activities that represent added value time, contributing time and not added value time, also façade building returns were measured in $\frac{m^2}{M.H.}$, being this one the most representative aspect in the conclusion of profitability; and finally the evaluation of the safety in working and installation places.

As a result, it was observed that with the implementation of prefabricated GRC panels in the construction of the façade a higher percentage of productivity and a higher performance was obtained, compared to the measurements that were made in the construction of traditional masonry facade, and in as for the safety area, it was found that through the installation process of the prefabricated panels the crew is exposed to a lower risk of accidentality than the crew of masonry masons.

INTRODUCCIÓN

A pesar de que en los últimos años el sector de la construcción en Colombia ha tenido un crecimiento bastante grande, este no se ha dejado de realizar por medio de métodos que tradicionalmente siempre han sido artesanales, lo que en cierta forma frena el avance de técnicas industriales o de rendimientos altos que merece un sector de la economía en el país con tan alta participación en el mercado. Y, aunque la construcción se compone de varias actividades, las cuales en la mayoría de las veces son repetitivas, aún no se cuenta con un sistema específico en la agilización de estas series.

Dentro de estas actividades en la construcción se encuentra la elaboración de fachadas, actividad que no solamente por ser hecha de manera artesanal o hecha a mano genera mucha pérdida de tiempo por tiempos perdidos o desplazamiento de materiales, sino, también es riesgosa para quien la realiza, pues, al ser una actividad que se considera como trabajo en altura, las herramientas para esto, como andamios metálicos, tubulares o colgantes no son precisamente los más seguros ni ergonómicos para el mampostero.

Por lo anterior, es que se han estado buscando alternativas para volver esta actividad más eficiente y segura. Por eso es que se decide aplicar en Colombia otra alternativa a la fachada en mampostería, por medio de paneles prefabricados de GRC.

En este trabajo, entonces, se compara el uso de las dos metodologías previamente mencionadas (mampostería tradicional e instalación de paneles prefabricados de GRC) en términos de costos administrativos, productividad y seguridad, por medio de mediciones directas en obra, haciendo uso de la metodología de “Lean Construction” o construcción sin pérdidas, que consiste en medir los tiempos que se demora el trabajador en realizar actividades que generan valor agregado, actividades contributivas y actividades que no generan ningún valor, además de mediciones de rendimientos en $\frac{m^2}{H.H.}$ (metros cuadrados/hora hombre) y medición de accidentalidad en el sitio de trabajo, y, finalmente determinar cuál de los dos sistemas constructivos de fachadas puede generar una disminución en los costos administrativos de una obra y los riesgos de accidentalidad a los que pueden estar expuestos, por medio del análisis de los datos obtenidos en campo.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1. PRELIMINARES

1.1 CONTEXTUALIZACIÓN Y ANTECEDENTES

La industria de la construcción en Colombia ha logrado obtener mayores ganancias en los últimos años debido a su crecimiento exponencial, generando un impacto significativo en todo el contexto de la economía colombiana y ganando mayor importancia participativa dentro del producto interno bruto del país (Jorge-Moreno, Lopez Robayo, & Dias Castro, 2014).

A pesar de estas ganancias, el sector de la construcción no ha dejado de ser una industria artesanal donde las actividades de acabados, entre otras, se realizan de manera manual, y contrario a lo que sucede en las demás industrias colombianas, donde se involucran avances tecnológicos, la industria de la construcción difícilmente ha logrado implementar sistemas tecnológicos industrializados en la manera como se construye en el medio (Echeverry Hoyos & Giraldo Palma, 2012).

Al mirar de manera global un proceso constructivo, se puede establecer que la elaboración de este consta de series repetitivas de actividades y que al ser realizadas manualmente resultan ineficientes y riesgosas, lo cual se ve reflejado en la productividad y los costos de obra, pues de acuerdo con lo descrito por CAMACOL – Consejo Privado de Competitividad (2008).

el porcentaje de trabajo no contributivo en obra debido a dichas actividades asciende al 40%, adicionando que los decrecimientos en la productividad se originan en la no incorporación de innovación tanto de productos como de procesos (Jorge-Moreno, Lopez Robayo, & Dias Castro, 2014).

La elaboración de fachadas de edificaciones, al ser un proceso manual, además de representar riesgos de accidentalidad por ser un trabajo en altura, figura con el 8% de los tiempos no contributivos en obra, en gran parte debido a los tiempos de espera, los desplazamientos de materiales y mano de obra (Salazar Giraldo, 2015). Aunque actualmente se han empezado a utilizar en Colombia elementos prefabricados para la elaboración de dicha actividad, los constructores e inversionistas fijan su mirada únicamente en el costo de los equipos y materiales, sin analizar en un contexto global los beneficios que se pueden obtener a partir del uso de prefabricados en términos de productividad, por lo que la industrialización de la actividad es descartada.

Durante el Congreso Colombiano de la Construcción, realizado en junio de 2014, se presentaron los resultados de la primera fase del proyecto Camacol Innova 2020. En el congreso se evidenció que lo que más influye en los costos de una empresa es la innovación, y al realizar un diagnóstico se encontró que esta innovación debe ser en tecnología de procesos, áreas comerciales y calidad de los productos (CAMACOL, 2014). De 250 empresarios encuestados solo el 10% ha implementado algún tipo de tecnología en sus procesos, un porcentaje muy bajo comparado con Alemania donde el 70% de los empresarios implementa este tema.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Además, la presidente del Consejo Privado de Competitividad recalcó la importancia de mirar cual es el capital humano con el que cuenta Colombia, pues según estudios internacionales la productividad en el país es una quinta parte de la de Estados Unidos y Bogotá presenta la productividad más baja de América Latina.

Teniendo en cuenta lo anterior, se reconoce la necesidad de realizar un análisis de costo beneficio, donde se evalúe cómo repercute el costo adicional que se paga por la implementación de innovación en construcción de fachadas con el uso de elementos prefabricados y los equipos que se usan para la instalación de estos, en mayor seguridad, mayores avances de obra (más área construida en el mismo tiempo) y por consecuencia mayor productividad; realizando un estudio de tiempos, bajo el concepto de Lean Construction y la implementación del sistema de evaluación para la construcción GICO, además de un estudio de rendimientos y desperdicios, de manera que se evalúe la significancia de la reducción de costos mediante el uso de elementos prefabricados y los equipos que se requieren para su instalación frente a los costos de la utilización de los materiales y sistemas tradicionales para la construcción de fachadas.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Comparar el uso de elementos prefabricados, paneles de GRC, con materiales tradicionales en la construcción de fachadas en términos de costos administrativos, productividad y seguridad.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Definir los proyectos para los cuales se realizará el análisis de tiempos, accidentalidad y productividad en obra, considerando la tipología de construcciones de fachada y el sistema de construcción asociado a esta que se construyen actualmente en la ciudad de Medellín y su área metropolitana.
- Analizar mediante el cálculo de rendimientos, índices de accidentalidad y la metodología Lean Construction el uso de elementos prefabricados y materiales tradicionales en la construcción de fachadas, a través de mediciones directas en obra y la definición de tiempos contributivos, tiempos con valor agregado y tiempos sin valor agregado.
- Sintetizar los resultados de rendimientos e índices de accidentalidad obtenidas, asociándolos a costos unitarios de mano de obra, indemnizaciones y costos administrativos para la construcción de fachadas, y así realizar un diagnóstico de ambos sistemas en términos de economía.
- Comparar y analizar, con base en los resultados obtenidos a partir de cada una de las variables medidas en obra, el uso de elementos prefabricados y materiales tradicionales, y así determinar cuál de estos representa una mejor solución a la hora de realizar un proceso constructivo de fachada.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

1.3.1 Antecedentes

En ámbitos de productividad, en la ciudad de Bogotá D.C., Colombia, se llevó a cabo una investigación para mejorar la producción, debido a que en Colombia ha sido un país en el cual se le ha invertido muy poco para implementar mejoras en productividad provenientes de producción en serie, pues cada proyecto cuenta con su particularidad, su propio tiempo de desarrollo, incertidumbre y factores ambientales. Es por esto que se llevó a cabo la evaluación de procesos constructivos por medio de la metodología Lean Construction, que se basa en dar prioridad a actividades que agregan valor al producto, sobre las que no lo hacen.

En este trabajo de maestría se presentó, bajo la filosofía de Lean Construction y la simulación de un proceso de construcción, que efectivamente al darle una mayor

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

importancia a las actividades que generan valor agregado se evidencia una mejora en la productividad, lo que se puede lograr haciendo uso de nuevos escenarios teóricos en los cuales se establezcan cambios de estrategia, aumento o disminución de equipos y personal, etc. haciendo que efectivamente se consigan ahorros en tiempos y costos (Echeverry Hoyos & Giraldo Palma, 2012).

Asimismo, un estudio realizado para un proyecto industrial en Egipto sugiere y aplica una nueva técnica para minimizar el efecto de los factores de riesgo en el tiempo utilizando los principios de Lean Construction. Se evalúa el efecto de utilizar la nueva herramienta que se describe en términos de dos medidas: Porcentaje Esperado Tiempo (PET) y el Plan de Porcentaje Completado (PPC). Los más importantes factores de riesgo son identificados y evaluados, mientras que el PET se cuantifica en el inicio del proyecto y durante la ejecución del proyecto mediante un modelo para la cuantificación de tiempo de desbordamiento.

Los resultados mostraron que los tiempos totales del proyecto se reducen en un 15,57% debido a la disminución de los valores de PET, mientras que los valores de PPC mejoraron (Hamed Issa, 2013).

Finalmente, un proyecto de Maestría de la Universidad Politécnica de Madrid expone que el mito de que los prefabricados reducen la flexibilidad y productividad en la instalación de fachadas ya no tiene apoyo real, sino por el contrario que los paneles de hormigón arquitectónico se ratifican como una solución contemporánea flexible y eficiente en la realización de este tipo de actividad (Sánchez Hurtado, 2010).

1.3.2 Lean Construction

Construcción sin pérdidas es una filosofía basada en el concepto de manufactura sin pérdidas. Se trata de la gestión de dirigir y mejorar el proceso de construcción de forma rentable entregando lo que el cliente necesita.

Lean Construction trata sobre el diseño y el funcionamiento correcto de procesos y tener los sistemas, recursos y medidas adecuados para entregar las cosas bien a la primera. Esencial para esta es la eliminación de los residuos - actividades y procesos que absorben recursos, pero que no crean valor. Los residuos pueden incluir errores, trabajo fuera de secuencia, actividad y movimiento redundante, retraso o insumos prematuros, y los productos o servicios que no lo hacen satisfacer las necesidades del cliente. El enfoque principal está en movimiento cada vez más cerca proporcionando un producto que los clientes realmente quieren, gracias a la comprensión del proceso, identificando los residuos dentro de él, y eliminándolos paso a paso (Constructing Excellence, 2006).

De acuerdo con la organización Constructing Excellence (2015) los principios de Lean Construction son:

- Eliminar residuos.
- Especificar el valor desde la perspectiva del cliente final.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Identificar claramente el proceso que entrega lo que el cliente valora (la cadena de valor) y eliminar todos los pasos sin valor añadido.
- Hacer que el valor permanezca añadiendo pasos que fluyen sin interrupción mediante la gestión de las interfaces entre los diferentes pasos.
- Perseguir la perfección por la mejora continua.

Lean Construction es una alternativa que tiende al mejoramiento de la competitividad de las empresas mediante la implementación de un proceso completo de mejoramiento, que busca la eliminación de desperdicios, para así aumentar la productividad de materiales, maquinaria y mano de obra.

Análisis de información

Para la evaluación la información obtenida se utilizará la plataforma GICO, un Sistema de gestión integrada en la construcción; GICO es una plataforma web desarrollada bajo el concepto de Lean Construction que integra los diferentes procesos dentro de una construcción al proceso de gestión de la producción, facilitando a los profesionales de obra, la planificación y el control del proyecto. Su objetivo principal es buscar la integración de los procesos de calidad, seguridad industrial y salud ocupación con la administración de la producción, para así facilitar la planificación y control en cada proyecto.

GICO fue desarrollado conjuntamente por el grupo de investigación en gestión de la construcción (GESCON) y el Centro de Investigación y desarrollo Tecnológico para la Industria de la Construcción (CIDICO) y hace parte del portal Gestión de la construcción, como unos de los productos y servicios que la alianza estratégica EAFIT-CIDICO ofrece a las empresas constructoras que buscan mejorar su productividad y competitividad (GICO, 2015).

- Requerimientos

Para poder acceder a los beneficios que ofrece la herramienta GICO es necesaria una vinculación. Actualmente diferentes empresas del gremio de la construcción se encuentran vinculadas al sistema GICO, entre ellas esta Conconcreto S.A, la cual por ser la empresa directora del proyecto proporcionara los medios necesarios para la implementación de esta herramienta en el análisis de los datos.

- Mediciones

Como la plataforma se desarrolla bajo el concepto de Lean Construction se hace necesario realizar la medición de tres tipos de actividades descritas a continuación.

Actividades que generan tiempos contributivos (soporte): Las actividades que involucran tiempos contributivos son aquellas que, aunque no afectan de manera directa la obra, son indispensables para el adecuado avance de esta, es decir, son las actividades de segundo

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

plano que se deben realizar, pero que sin estas las actividades que generan valor agregado no se podrían llevar a cabo.

Actividades que generan tiempos con valor agregado: Las labores que generan valor agregado a la obra son aquellas que repercuten directamente en el avance de la obra, tales como la elaboración de la fachada, la pega de mampostería, entre otras.

Actividades que generan tiempos sin valor agregado: En cuanto a las actividades que no generan valor agregado, son las que simplemente repercuten en la demora o el no avance del cronograma establecido en obra y que genera retrasos, entre estas puede estar la espera por abastecimiento de materiales, desplazamiento o el transporte y armado de los andamios.

En la plataforma también se realiza el registro de las detenciones autorizadas que puedan presentarse durante la actividad.

1.3.3 Trabajo en altura

El trabajo en altura se define como “Cualquier actividad o desplazamiento que realice un trabajador mientras está expuesto a un riesgo de caída de distinto nivel, cuya diferencia de cota sea aproximadamente igual o mayor a 1,5 metros con respecto al plano horizontal inferior más próximo” de acuerdo con el Artículo 1 de la resolución de Minprotección Social 3673 de 2.008 (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito , 2015).

El trabajo en altura también puede considerarse como cualquier tipo de trabajo que se desarrolle en nivel cero como pozos, tanques enterrados o excavaciones de más de 1,5 metros de profundidad y situaciones similares.

Accidentalidad

De acuerdo con las estadísticas generadas por el Instituto de Medicina Legal y Ciencias Forenses se evidencian datos muy significativos referentes a cuáles son las principales causas de mortalidad accidental en Colombia. “*De 2833 muertes accidentales para el año 2007 el 28,5% de los casos fue debido a caídas de altura*”, al ser un dato repetitivo durante la historia se afirma entonces que la caída de altura es la principal causa de muerte accidental en el país (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito , 2015)

Normatividad

El ministerio de protección social reconoce la problemática de la accidentalidad de la construcción en altura y como medida legislativa se genera la resolución número 003673 de 2008 en la cual se establece el reglamento técnico de trabajo seguro en alturas. De acuerdo con La Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito (2015) se convierte en obligatorio y prioritario involucrar las técnicas de trabajo seguro en altura dentro de los programas de salud ocupacional.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

1.3.4 Fachadas de edificación

Una de las actividades que hacen parte del trabajo en altura es la elaboración de fachadas de edificación; de acuerdo con la RAE se definen como fachadas de edificación la parte exterior que recubre el edificio, en esta normalmente se presentan consideraciones arquitectónicas y se espera que cumpla con proteger de condiciones ambientales, térmicas, de ruido y al mismo tiempo preservar la estructura del edificio (Universidad Politecnica de Cataluña & Escuela politécnica superior de edificación de Barcelona, 2011), aunque en algunos casos las fachadas pueden formar parte del sistema estructural del edificio.

Construcción de fachadas

Dentro de la elaboración de una fachada de edificación existen tres elementos principales que demarcan la construcción de esta, como lo son los materiales, la mano de obra y los sistemas constructivos que se implementan.

- Materiales

Hoy en día las fachadas pueden estar construidas de diferentes materiales, siendo los más comunes la madera, el ladrillo o muros vaciados de cemento. Dichos materiales además de cumplir con una función estética también deben ser funcionales ya que están encargados de actuar como aislantes tanto térmicos como acústicos, además de impedir el ingreso del agua.

- Mano de Obra

La mano de obra es la encargada de realizar la ejecución de la construcción de la fachada, ésta generalmente se compone de varias cuadrillas conformadas por un oficial y un ayudante y puede haber tantas cuadrillas como sea necesario para la construcción de la fachada. La determinación del número de cuadrillas se realiza de acuerdo con estudios de pre factibilidad donde se evalúan rendimientos y costos (Salazar Giraldo, 2015).

- Sistemas constructivos

En la actualidad existen diferentes sistemas de solución para los trabajos en altura, mediante estos sistemas se hace posible el desplazamiento tanto de materiales como de mano de obra hasta los diferentes lugares donde se requiere implementar el trabajo en altura.

Estos sistemas son temporales, como en el caso de la elaboración de una fachada, estos sistemas tienen como ejemplo típico los andamios, plataformas y escaleras móviles (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito , 2015).

1.3.5 Elementos prefabricados en la construcción de fachadas

Actualmente las tendencias mundiales en la construcción buscan seguridad, durabilidad y calidad, sin embargo, en algunos países europeos y en América Latina se mantiene un

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

conservadurismo en la estética exterior del edificio, aun así, cada vez más clientes demandan soluciones diferenciales que proporcionen características no solo estéticas sino también versátiles. (Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones & Asociación Nacional de Fabricantes de Fachadas de Hormigón Arquitectónico, 2013).

La implementación de fachadas prefabricadas en construcción constituye una verdadera solución industrializada ya que los elementos son elaborados en serie en una fábrica, de manera que al realizar la construcción de la fachada se realice en un montaje simple y preciso, más no una elaboración en sitio. De esta manera la sostenibilidad en obra comienza a coger forma, ya que se marcan pautas adecuadas de trabajo a los instaladores de la fachada para el que el resultado final sea acorde con lo que se concibió inicialmente.

- Materiales

Actualmente el material por excelencia para realizar elementos prefabricados para fachada es el concreto debido a su calidad y versatilidad, además de sus cualidades funcionales. Industrial Concreto ha desarrollado algunas soluciones prefabricadas para fachadas como fachada flotante, Antepechos, Glass Reinforced Concrete y Cortasoles, esto buscando garantizar ahorros en tiempo y dinero para los diferentes proyectos de construcción que se requieran desarrollar.

- Mano de obra

Para realizar el montaje en obra, al igual que en la construcción de fachadas con materiales tradicionales, las cuadrillas se conforman de acuerdo con la necesidad de la obra, en algunos casos se requiere que la cuadrilla que elabore la actividad tenga al menos un soldador, debido a que hay elementos prefabricados que se instalan mediante anclajes metálicos.

- Sistemas constructivos

El izado de los elementos se realiza con la torre grúa de la obra en ejecución, por lo que los trabajos de fijación y anclaje del cerramiento, así como la liberación de sujeciones a la grúa se realizan desde el interior de la estructura que se está cerrando, aproximándose al borde con la protección de la línea de vida de la estructura.

1.3.6 Sistemas temporales de construcción en altura

Sistemas tradicionales

Los sistemas tradicionales se componen de diferentes tipos de andamios que, debido a su construcción modular, permiten ser usados en procesos constructivos con la función de plataforma de trabajo para fachadas, torre de acceso, sistema de encofrado para vaciado de losas e inclusive andamio de carga; adecuándose a casi cualquier diseño y geometría (SAECO, 2013).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Andamios metálicos tubulares o con cruceta

Son estructuras auxiliares de carácter provisional y están formados a partir de la unión de componentes prefabricados tubulares metálicos y otros elementos como plataformas de trabajo, generalmente tablas de madera (Línea Prevención , 2015). Estos, en general se usan en obras de nueva ejecución y rehabilitación de fachadas de edificaciones, ver **Ilustración 1**.

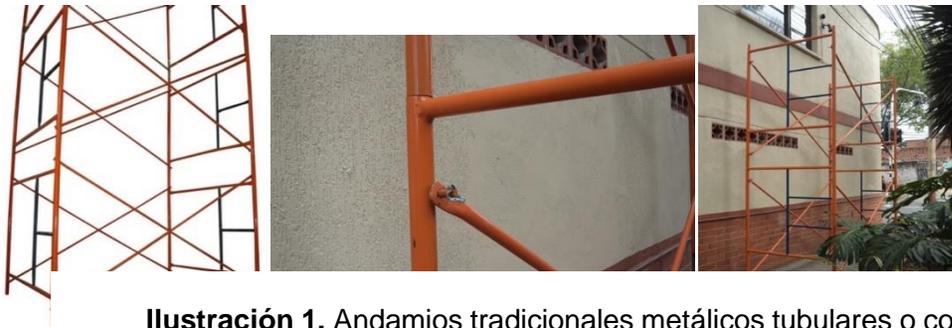


Ilustración 1. Andamios tradicionales metálicos tubulares o con cruceta

(Andescol, 2011)

A pesar de los beneficios que tienen estos andamios como la facilidad de adaptarse a casi cualquier tipo de fachada, también cuentan con algunas desventajas, bien sea la verificación de que el andamio quede bien instalado el número de veces que se deba armar y que no se puede sobrecargar con materiales.

- Andamios Colgantes

Son plataformas colgantes temporales de accionamiento manual compuestos por los siguientes elementos:

- Pescantes para andamios que pueden ir sobre caballetes
- Aparejos de elevación (50 metros aproximadamente)
- Plataformas (2 m y 2,65 m)
- Cable
- Dispositivos de seguridad

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Contrapesos

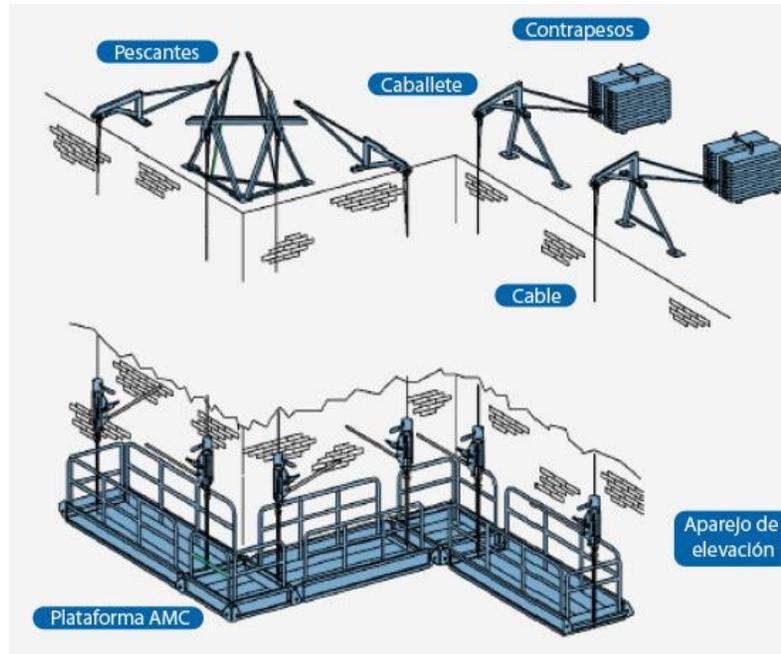


Ilustración 2. Andamios colgantes

(Soefec, 2015)

Estos se mantienen suspendidos mediante los pescantes, que van anclados y apoyados al suelo y están diseñados para la elevación y descenso de plataformas suspendidas, que funcionan por medio de sistema de agarre de cable mediante mordazas (Soefec, 2015).

Sistemas industrializados

Este tipo de andamios constituye una nueva herramienta mecánica en la construcción que se comporta como plataforma móvil, que usa energía eléctrica o combustible, capaz de reemplazar el andamio tradicional.

- Genie AWP 25 S

Es una plataforma mecánica que necesita fuente eléctrica de 110 V.

Cuenta con las siguientes características:

Capacidad:

- Altura total de trabajo: 9.57m
- Capacidad de la plataforma: 159 Kg

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Dimensiones:

- Altura en plataforma elevada: 7.57m
- Altura de plataforma retirada: 1.98m
- Longitud: 1.31m
- Ancho: 0.74m
- Peso plataforma: 330 Kg



Ilustración 3. Plataforma mecánica

(MegaEquipos, 2011)

- JLG 450 A Articulada

Esta plataforma cuenta con estas características:

Capacidad:

- Altura total del trabajo: 15.52m
- Altura plataforma: 13.72m
- Alcance horizontal: 7.47m
- Rotación: 360°
- Capacidad plataforma: 230 Kg

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Giro plataforma: 180°

Datos Dimensionales:

- Dimensiones plataforma: 0.76m x 1.83m
- Anchura total: 2.08m
- Altura recogida: 2.25m
- Longitud recogida: 6.53m
- Peso plataforma: 7000 Kg

Chasis:

- Velocidad de desplazamiento máximo: 7.2 Km/h
- Pendiente superable máxima: 45%

Sistemas de alimentación:

- Capacidad deposito combustible (diésel): 62.5L
- Depósito hidráulico: 114L
- Alimentación auxiliar: 12V DC



Ilustración 4. Plataforma articulada
(MegaEquipos, 2011).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Andamio eléctrico circular Andino

Es una plataforma de trabajo seguro en alturas, está compuesto de una plataforma suspendida, compuesta de motores eléctricos que permiten movimiento vertical, además un riel superior permite movimiento horizontal, garantizando movilidad y agilidad en cada trabajo de instalación de fachada, ventanearía y mantenimiento, etc.



Ilustración 5. Andamio eléctrico

(Andamios Andino, 2016)

- Plataforma para trabajo en altura

Esta es una Plataforma importada y certificada para trabajo en alturas es autopropulsada con su canastilla de trabajo con comando en la canastilla y en la base. Para alturas de 10 m y 15 m.



Ilustración 6. Plataforma para trabajo en altura

(Andamios Andino, 2016)

- Torre grúa

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

La torre grúa es un equipo creado para la carga y descarga de diferentes materiales en las construcciones. Este sistema permite ahorrar tiempos y fuerza humana y es utilizado en la construcción de fachadas con elementos prefabricados.

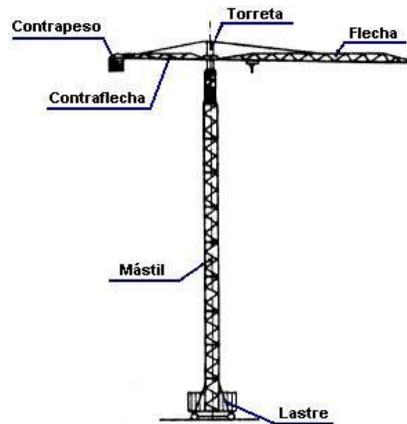


Ilustración 7. Torre grúa

(Bellmunt , 2016)

2. ENFOQUE Y METODOLOGÍA

Con el fin de cumplir los objetivos planteados en la sección 1.2 se presenta la metodología para desarrollar la investigación de manera consecutiva a los objetivos específicos.

2.1 ETAPA 1: DEFINICIÓN DE PROYECTOS

Para definir los tipos de proyectos para los cuales se realizará el análisis de tiempos, accidentalidad y productividad se realizó un estudio de cómo ha evolucionado el sector de la construcción en Colombia y más específicamente cómo se encuentra la construcción en Medellín y Antioquia, reconociendo los tipos de edificaciones más comunes en la ciudad como edificaciones de vivienda, centros empresariales, bodegas, centros comerciales, entre otros.

Una vez definidos, se estableció que tipo de construcciones son las más representativas para la ciudad, es decir, cuáles representan un mayor potencial de crecimiento de acuerdo con la demanda actual de la construcción. Además, se definió cual es el sistema constructivo de fachada más común en la ciudad de acuerdo a la cantidad de m^2 construidos en los últimos años.

Finalmente se definió que para edificaciones de vivienda y centros empresariales se realizara la comparación del uso de elementos prefabricados frente al uso de mampostería en la construcción de fachadas. El análisis se encuentra en la sección 3.1, por lo que se recomienda la lectura de ésta para comprender por qué la fachada en mampostería fue la seleccionada para realizar dicha comparación.

2.2 ETAPA 2: INFORMACIÓN Y MEDICIONES

Con el fin de poder realizar los análisis mediante la metodología Lean Construction sobre los procesos constructivos, la accidentalidad y los rendimientos se desagregaron los procesos de construcción de fachadas tanto con elementos prefabricados como con mampostería, definiendo cada una las actividades que hacen parte del proceso constructivo y realizando un flujo de proceso donde fuera posible visualizar de forma más clara como se realiza la construcción de fachadas para cada sistema.

Una vez definidas se clasificaron en actividades que agregan valor, actividades contributivas y también se establecieron cuáles son las que no agregan valor, como esperas de material y tiempos ociosos.

Al tener estos lineamientos definidos se ingresaron las actividades en el sistema GICO para comenzar las mediciones directas en obra.

Para el cálculo de rendimientos se definieron formatos en Excel que facilitarían la recolección de la información necesaria para determinar los avances de cada obra.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En cuanto a accidentalidad se pretendía calcular indicadores de seguridad y salud en el trabajo establecidos por SURA de acuerdo con el número de accidentes y el número de trabajadores registrados en las obras durante los periodos de medición de Tiempos Lean y rendimientos, sin embargo esta parte de la etapa no fue posible realizarla debido a que no se presentaron accidentes en ninguna de las obras durante las mediciones, a pesar de esto se realizó un análisis de costos de indemnización por accidentes de trabajadores en altura el cual se detalla en el numeral 4.

Una vez se tuvo la información definida se comenzaron las mediciones directas en obra de rendimientos y accidentalidad y se implementó el sistema GICO para Tiempos Lean.

2.3 ETAPA 3: ANÁLISIS LEAN CONSTRUCTION, ACCIDENTALIDAD Y RENDIMIENTOS

Una vez realizadas todas las mediciones se calcularon los rendimientos establecidos en la Etapa 2 y con la clara identificación de los rendimientos de mano de obra requerida para construir los tipos de fachadas (prefabricado/mampostería) de las edificaciones donde fueron realizadas las mediciones, se realizó un análisis de costos unitarios.

Luego se obtuvieron los costos administrativos asociados a un mes de trabajo tomando como referencia la nueva sede del EDU, además del área total de fachada que se construyó para esta. Esto para poder realizar un cálculo de la reducción o aumento de costos que podría generarse con la implementación de los paneles prefabricados.

En cuanto al análisis de accidentalidad no fue posible realizar el cálculo de los indicadores ya que no se presentó ningún accidente durante la etapa de mediciones, sin embargo se concluye sobre esto al final del documento.

Para los tiempos Lean se realizaron gráficas y se calcularon estadísticas para hacer visible y cuantificable las cantidades tiempo sin valor agregado en cada caso, así como también los tiempos contributivos y los tiempos con valor agregado.

3. DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 ANÁLISIS DEL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN

Se recolectó información a 2016 de la Cámara Colombiana de la Construcción, la cual fue actualizada en marzo. Dicha información compila las series más relevantes sobre la cadena de valor de la construcción en el país, mostrando el sector de la construcción en cifras desde el PIB, el empleo, censos, licencias, costos, precios de materiales, hasta precios de financiación de vivienda.

También se investigaron cifras de inversión del Banco de la república y cifras del Boletín Técnico del DANE (2016) para tener un contexto más amplio de como se ha venido desarrollando el sector de la construcción en el país durante los últimos años.

Por ser archivos tan extensos se seleccionaron las tablas y gráficos que se consideraran más pertinentes debido al aporte que realizan a la investigación. Estas se describen con mayor detalle a continuación resaltando que por la extensión de estas se decidió mostrar solo cierto periodo de registro en el documento, sin embargo, los análisis fueron realizados teniendo en cuenta la totalidad de los datos.

3.1.1 Construcción en Colombia

Tabla 1. PIB real para el sector de la construcción y total nacional

Año - Trimestre	Millones de pesos desde 2010				
	Edificaciones	Obras civiles	Construcción	PIB Total	Porcentaje que representa la Construcción en el PIB total
2010-I	3,173	3,361	6,560	104,438	6.28%
2010-II	2,972	3,322	6,291	105,364	5.97%
2010-III	3,055	3,322	6,402	106,055	6.04%
2010-IV	3,392	3,760	7,049	108,742	6.48%
2011-I	3,175	3,441	6,625	110,319	6.01%
2011-II	3,115	3,898	6,951	112,157	6.20%
2011-III	3,389	3,968	7,313	114,462	6.39%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2011-IV	3,425	4,227	7,580	115,640	6.55%
2012-I	3,451	4,174	7,586	116,747	6.50%
2012-II	3,573	4,460	8,077	117,778	6.86%
2012-III	2,990	3,986	6,990	117,403	5.95%
2012-IV	3,861	3,844	7,506	118,952	6.31%
2013-I	3,792	4,240	8,054	120,113	6.71%
2013-II	3,888	4,426	8,295	123,305	6.73%
2013-III	3,872	4,803	8,578	124,435	6.89%
2013-IV	3,846	4,972	8,687	125,978	6.90%
2014-I	4,082	5,318	9,232	127,706	7.23%
2014-II	3,949	5,152	9,046	128,211	7.06%
2014-III	4,467	5,188	9,569	129,404	7.39%
2014-IV	4,143	5,259	9,280	130,168	7.13%
2015-I	4,168	5,512	9,517	131,171	7.26%
2015-II	4,300	5,531	9,788	132,204	7.40%
2015-III	4,102	5,586	9,605	133,601	7.19%
2015-IV	4,425	5,411	9,683	134,400	7.20%

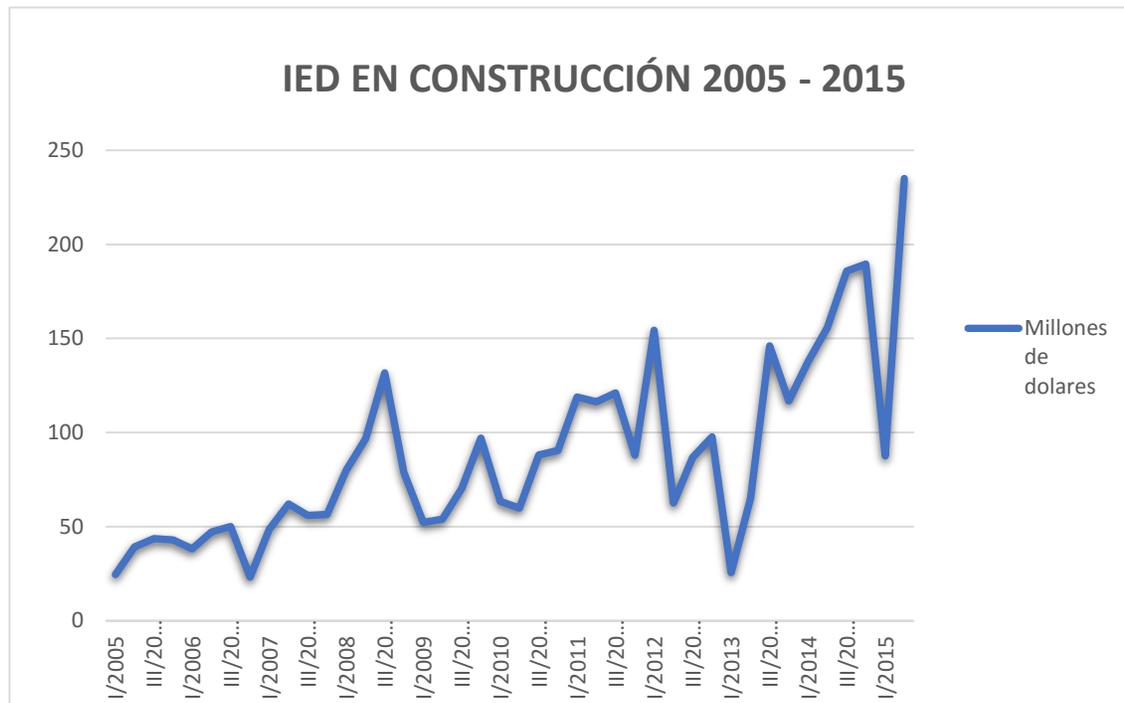
(CAMACOL, 2016)

En la **Tabla 1** se presenta información trimestral de los años 2010 a 2015 del PIB del sector de la construcción en millones de pesos. Allí se puede evidenciar que, debido a las cantidades construidas, y por lo tanto de PIB, que se presentan en Colombia, se hace necesario dividir en dos grandes grupos el sector de la construcción: Edificaciones y Obras Civiles, esto puesto que la construcción de edificaciones alcanza casi los mismos niveles de PIB que la construcción de otro tipo de obras civiles.

Adicionalmente se muestra el porcentaje que representa la construcción en el PIB total nacional, el cual para los dos últimos años ha sobrepasado el 7%, reforzando lo expuesto por Sandra Forero, presidenta de CAMACOL, para el diario (El País, 2015) donde asegura

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

que “La construcción se consolidó como el motor de la economía, poniendo en evidencia el creciente rumbo de la inversión de las firmas y los hogares en ese sector”.



(Observatorio inmobiliario catastral de Medellín - OIME, 2016)

Gráfico 1. *Inversión Extranjera Directa en el sector de construcción en Colombia*

En el **Gráfico 1** se observa la Inversión Extranjera Directa en el sector de la construcción para los últimos 10 años registrada trimestralmente, allí se evidencia una tendencia al crecimiento de la inversión, sin embargo, para el primer trimestre de 2013 y 2015 hubo bajas considerables que generan discontinuidad en el crecimiento.

A pesar de que la tendencia generalmente es a la alza, según las cifras reveladas por la Subgerencia de Estudios Económicos - Balanza de Pagos del Banco de la República (2016) los flujos de inversión extranjera para el mismo periodo de estudio (2005-2015) revelan que el sector de la construcción se encuentra muy por debajo de los sectores que mayor inversión presentan en el tiempo como el Petrolero, Minas y Canteras y Manufactureras, ya que el porcentaje de inversión del sector con respecto a la inversión total en ningún año supera el 10%, lo que al contrario sucede en otros sectores donde en algunos casos se llega a más del 50%.

Este fenómeno puede deberse a que la mayoría de la entrada de capital extranjero en construcción llega por parte de contratos estatales de licitación para obras civiles de gran magnitud, realizadas por medio de alianzas público privadas, mas no en ningún tipo de

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

edificaciones en ciudades, que de acuerdo a la **Tabla 1** es el tipo de construcción que mayor inversión representa por parte de los constructores en el país.

También a esto puede asociarse que la mayoría de los empresarios no implementan ningún tipo de tecnología para este tipo de construcciones, generando mayores incertidumbres y accidentalidad a la hora de construir, por lo que los inversionistas desisten de realizar alianzas con los constructores locales (Salazar Giraldo, 2015).

3.1.2 Construcción en Antioquia y Área Metropolitana

Tabla 2. Área (m²) licenciada para construcción según destino en Antioquia.

Mes - Año	Vivienda	Industria	Oficina	Bodega	Comercio	Hotel	Educación
ene-14	224,092	3,290	0	575	28,606	1,626	0
feb-14	178,416	871	0	5,773	50,054	2,556	2,867
mar-14	259,137	1,589	411	7,610	19,113	10,057	2,917
abr-14	91,263	6,496	33	896	17,218	6,657	8,236
may-14	116,996	3,210	10,099	6,434	69,522	7,566	7,315
jun-14	306,987	197	318	23,128	12,999	302	4,272
jul-14	428,651	7,249	420	1,474	11,720	530	8,571
ago-14	113,096	6,878	845	873	5,292	0	0
sep-14	226,158	8,157	1,664	3,814	34,274	15,503	4,244
oct-14	198,796	5,324	12,477	45,432	10,949	2,684	830
nov-14	136,385	2,284	969	500	11,868	0	202
dic-14	172,182	26,880	1,753	2,568	18,005	0	10,988
ene-15	247,976	3,553	176	5,193	5,342	14,032	4,739
feb-15	174,763	13,793	607	1,450	8,126	10,905	1,836

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

mar-15	134,091	4,337	31	8,044	4,207	8,931	0
abr-15	353,062	5,575	49,544	17,302	10,638	0	18,551
may-15	137,730	0	3,495	9,364	32,214	702	10,441
jun-15	421,439	610	2,149	13,492	28,915	19,010	2,002
jul-15	255,518	2,746	20,679	746	11,084	15,220	2,789
ago-15	248,985	53,541	53	1,409	39,383	4,891	2,626
sep-15	170,952	1,668	13,861	10,344	35,950	4,080	9,914
oct-15	211,786	390	37	0	4,558	2,913	895
nov-15	130,605	20,225	622	2,343	10,674	5,332	976
dic-15	327,422	19,608	11,180	68,744	42,315	219	490
ene-16	107,181	4,206	2,000	393	5,426	1,993	0
Total área (2014- 2015)	5,373,669	202,677	133,423	237,901	528,452	135,709	105,701

(CAMACOL, 2016)

De acuerdo con la **Tabla 2** donde se presenta el área licenciada según destino para el departamento de Antioquia de forma mensual para los últimos dos años, es posible identificar que las construcciones con mayores licencias otorgadas son vivienda y comercio, estableciendo la construcción de viviendas y edificaciones como principal actividad entre los constructores en el departamento, esto a pesar de que en enero de 2016, el área total licenciada disminuyó 25,8% respecto al mismo mes del año anterior, además, el área aprobada para vivienda decreció 24,5% (DANE, 2016). Sin embargo, durante el cuarto trimestre de 2015, los pagos efectuados para la construcción de obras civiles presentaron un incremento de 2,0%, con relación al mismo trimestre de 2014.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 3. Obras culminadas, en proceso e inactivas en el Área Metropolitana

Año - Trimestre	Área metropolitana de Medellín		
	Obras culminadas	Total proceso	Total paralizadas
2010-I	543,645	2,587,324	382,589
2010-II	473,938	2,460,085	378,049
2010-III	541,051	2,338,722	386,572
2010-IV	490,023	2,587,795	423,507
2011-I	431,705	2,857,542	370,120
2011-II	578,008	2,634,093	433,390
2011-III	479,164	2,619,599	407,427
2011-IV	438,062	3,387,207	502,307
2012-I	548,996	3,626,683	531,905
2012-II	496,759	3,746,025	498,342
2012-III	423,372	4,008,198	499,396
2012-IV	684,724	3,840,631	572,124
2013-I	698,464	4,323,730	505,552
2013-II	700,909	4,302,084	575,056
2013-III	654,057	4,557,105	537,024
2013-IV	750,955	4,580,665	586,655
2014-I	574,741	4,620,297	697,446
2014-II	781,567	4,530,139	743,144
2014-III	925,260	4,383,532	775,921
2014-IV	774,506	4,338,970	849,617

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2015-I	507,306	4,604,484	877,000
2015-II	699,681	4,626,863	860,857
2015-III	657,904	4,774,708	854,130
2015-IV	792,218	5,050,869	825,717

(CAMACOL, 2016)

La **Tabla 3** presenta cifras de edificaciones culminadas, en proceso e inactivas en el Área Metropolitana de manera trimestral para los últimos cinco años. De acuerdo con el Boletín Técnico del DANE (2016), a pesar de que se inició el primer trimestre de 2016 con decrecimiento durante el cuarto trimestre de 2015 el área en proceso en presentó un crecimiento de 10,2%; así mismo, el área culminada de edificaciones aumentó 7,4%, en relación al mismo trimestre del año anterior, ratificando el fuerte posicionamiento que tiene la construcción de edificaciones en Colombia de manera general y también de manera puntual en el área metropolitana de la ciudad de Medellín.

De acuerdo con las cifras presentadas y los análisis realizados anteriormente fue posible definir que las edificaciones son el tipo de construcción que presenta más auge actualmente, debido a su constante crecimiento en el tiempo y a su posicionamiento como el tipo de obra civil más construido en el país, el departamento y el municipio.

Tabla 4. Área iniciada de vivienda (m²) según sistema constructivo para el AMVA

Año - Trimestre	Área metropolitana de Medellín			
	Total Vivienda			
	Mampostería Estructural	Mampostería Confinada	Sistemas Industrializados	Otros sistemas
2010-I	45,023	262,451	50	70,251
2010-II	21,563	147,796	2,510	98,871
2010-III	7,812	199,436	0	111,509
2010-IV	14,889	389,915	0	187,776

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

2011-I	25,627	372,867	38,383	1,689
2011-II	25,160	259,112	59,138	0
2011-III	63,775	200,646	39,352	0
2011-IV	14,888	720,323	163,316	24,846
2012-I	15,602	512,633	98,171	13,159
2012-II	13,061	304,698	98,062	876
2012-III	18,278	339,483	109,825	623
2012-IV	13,160	308,004	179,379	987
2013-I	43,463	602,375	127,706	922
2013-II	37,852	402,868	176,167	336
2013-III	55,563	375,489	269,160	1,072
2013-IV	43,228	262,502	224,296	0
2014-I	30,319	374,409	109,957	230
2014-II	21,715	253,179	165,431	746
2014-III	17,320	372,754	82,180	9,211
2014-IV	23,800	431,315	78,406	31,872
2015-I	18,000	405,460	178,280	240
2015-II	12,508	397,939	145,754	1,505
2015-III	23,244	372,228	150,904	2,279
2015-IV	6,106	404,469	212,703	510
Total m2	611,956	8,672,351	2,709,130	559,510

(CAMACOL, 2016)

A pesar de que se recolectó gran cantidad de datos para realizar el análisis de las tipologías de construcción en Colombia, no fue posible obtener cifras generales de los tipos de sistema

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

constructivo que se usan actualmente en las diferentes construcciones de edificación, por lo cual se decidió seleccionar el grupo más representativo de este tipo de construcciones, en este caso edificaciones de vivienda, y con este realizar el análisis.

Según las cifras publicadas por CAMACOL (2016), se presenta la **Tabla 4** que contiene las cifras del área iniciada de vivienda según sistema constructivo para el Área Metropolitana de 2010 a 2015 de manera trimestral. Allí se hace visible que la mampostería confinada es el sistema constructivo más utilizado actualmente, en segundo lugar, se encuentran los sistemas industrializados que se entienden como sistemas donde el concreto compone vigas, columnas y también muros vaciados en sitio con formaletería tipo túnel o mano portable, y finalmente la mampostería estructural y otros sistemas que no se especifican.

Conforme con lo anterior, es la mampostería el elemento predominante en los métodos constructivos para la elaboración de cerramientos de edificación. Debido a las cifras presentadas en la **Tabla 4**, son los materiales mampuestos los más implementados en cerramientos internos y externos para las edificaciones construidas en el Área Metropolitana, ya que son los que se asocian a los sistemas constructivos descritos en el párrafo anterior, además de que por su bajo costo son los preferidos por los constructores (Salazar Giraldo, 2015). A pesar de que en algunos casos al realizar construcciones con sistemas industrializados se utilicen otro tipo de elementos y sistemas, la mampostería tradicional sigue siendo protagonista en la elaboración de fachadas en el Área Metropolitana.

3.2 PROYECTOS SELECCIONADOS

De acuerdo con el análisis del numeral 3.1 se definió que para construcciones tipo edificación se realizara la comparación del uso de elementos prefabricados frente al uso de mampostería para la construcción de fachadas. Se definió además que serían edificaciones tipo vivienda u oficina por ser los más comunes actualmente en la ciudad.

A continuación, se muestran los proyectos seleccionados para el análisis y las especificaciones de cada uno con los respectivos materiales, equipo y mano de obra necesarios para su elaboración.

3.2.1 Nueva sede EDU - Fachada con elementos prefabricados

La nueva sede de la Empresa de Desarrollo Urbano - EDU fue seleccionada por ser una construcción tipo edificación cuya fachada será construida implementando elementos prefabricados. Esta edificación cuenta con nueve pisos de oficinas, un piso de terraza social y dos sótanos. La sede es una co - creación entre el sector público (EDU), la academia (expertos de la universidad de Harvard), y el sector privado (Concreto S.A).

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



(Empresa de Desarrollo Urbano, 2016)

Ilustración 8. Fachada nueva sede EDU

El edificio se destaca por tener una arquitectura basada en conceptos eco sostenibles y un sistema modular (elementos prefabricados) que ayudará a que el edificio respire contando con iluminación y ventilación naturales. La nueva sede del EDU se constituirá como referente por su innovación y sistemas constructivos en la ciudad.

Materiales

Para la elaboración de la fachada se utilizaron elementos modulares tipo Glass Reinforced Concrete (GRC), paneles fabricados con concreto reforzado con fibra de vidrio de muy bajo espesor. Estos paneles fueron diseñados de acuerdo con los requerimientos de las especificaciones arquitectónicas, las cuales establecieron diferentes tamaños de paneles de manera que fuera posible realizar combinaciones entre ellos que garantizaran la precisión necesaria que debían tener los espacios para balcones y ventanearía, además de garantizar que el edificio proporcionara ventilación e iluminación naturales de acuerdo con el estudio bioclimático realizado para el aprovechamiento de los recursos naturales.

Un total de 383 paneles de GRC se realizaron en la planta de prefabricados de Industrial Concreto, garantizando la seguridad de quienes lo realizaron, haciendo uso de todas las herramientas de seguridad industrial, además de puestos de trabajo ergonómicos para la prevención de accidentes.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 9. Puesto de trabajo fabricación de paneles

Cada uno de los módulos cuenta con 3 tipos de mortero que son vaciados manualmente en las formaletas previamente diseñadas y fabricadas para los requerimientos de diseño de la fachada. En primer lugar, estas formaletas son rociadas con desmoldante, con la intención de que puedan ser desencofrados mucho más fácil y garantizando que queden con los requerimientos estéticos para la fachada, posteriormente se vacía el primer mortero (Mortero inicial) que cuenta con buena proporción de cemento y plastificantes, una vez ya esté esparcido este mortero por toda la formaleta se espera alrededor de 15 minutos para que este fragüe y se pueda vaciar el siguiente mortero, el mortero 2 o mortero con la fibra estructural está compuesto por cemento, fibras de vidrio y plastificante, el mortero número 2 es el que más proporción de volumen lleva el módulo, luego de completar su vaciado se debe esperar 20 minutos aproximadamente para que venga el mortero número 3 (Mortero final), quien cuenta con menos proporción de cemento que el mortero inicial y aditivo acelerante.



Ilustración 10. Vaciado mortero inicial



Ilustración 11. Aplicación desmoldante

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 12. Vaciado Mortero con fibra de vidrio



Ilustración 13. Vaciado con mortero N.3

Una vez se logra el vaciado del último mortero, se espera hasta el otro día para desmoldar o desencofrar por medio de una grúa tipo pórtico y almacenar los paneles para posteriormente ser llevados al lugar de instalación, es decir, la nueva sede del EDU.



Ilustración 14. Módulo listo



Ilustración 15. Módulos desencofrados y almacenados

En promedio, cada panel pesa alrededor de 453 Kg, tiene un volumen de $0,22 m^3$ y ocupa un área de aproximadamente $7,5 m^2$.

A continuación, se muestran los tipos de panel y sus posibles combinaciones.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

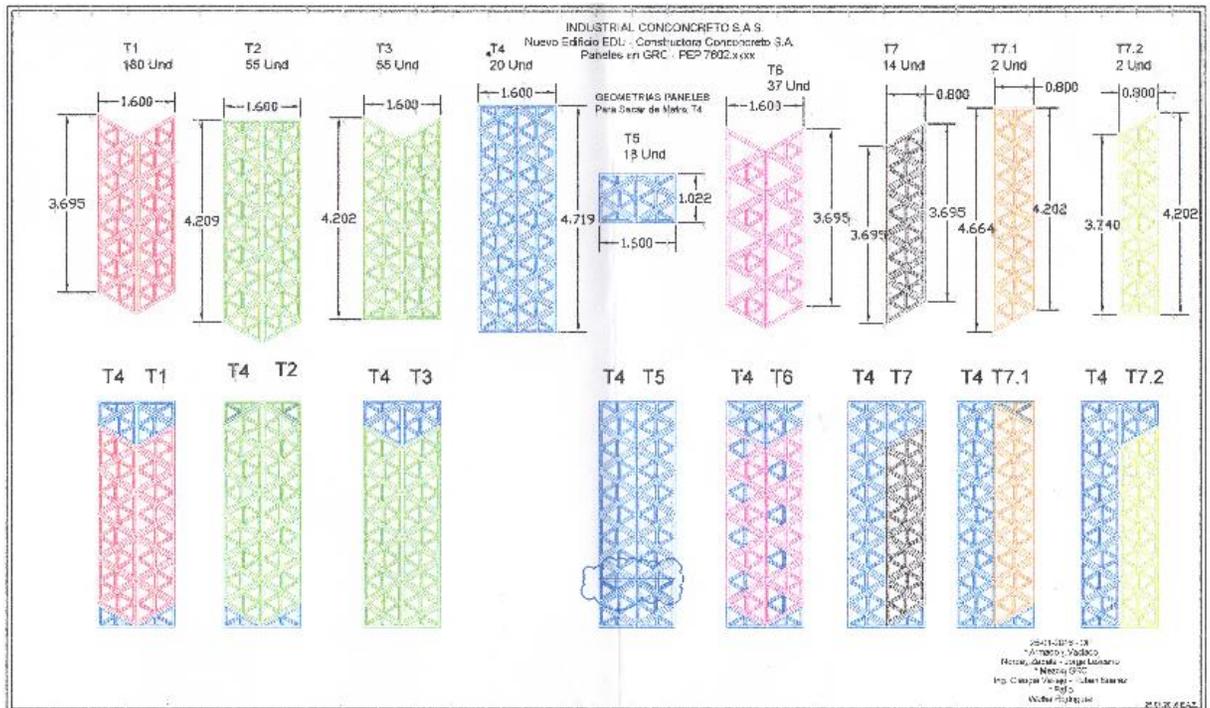


Ilustración 16. Tipología de paneles de GRC para fachada

Equipo

El izado de los elementos se realiza con la torre grúa de la obra, por lo que los trabajos de fijación y anclaje del cerramiento, así como la liberación de sujeciones a la grúa se realizan desde el interior de la estructura con herramientas mano portables pequeñas (taladro, sogas, soldadores, etc.).

Mano de obra

Para realizar el montaje en obra la cuadrilla se conformó de acuerdo con la necesidad de esta, en este caso se requería que se incluyera un soldador en la elaboración de la actividad debido a que los elementos prefabricados requieren ser soldados en la parte inferior.

Adicionalmente se consideraron necesarios 4 instaladores (ayudantes), los cuales realizan actividades de anclaje y amarre en varios paneles a la vez.

La cuadrilla para la instalación de todos los paneles quedo conformada por cuatro instaladores y un soldador.

Proceso constructivo de fachada con elementos prefabricados

A continuación, se presenta un flujo de proceso que expone las actividades que componen la instalación de los elementos prefabricados en la fachada de la nueva sede del EDU.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

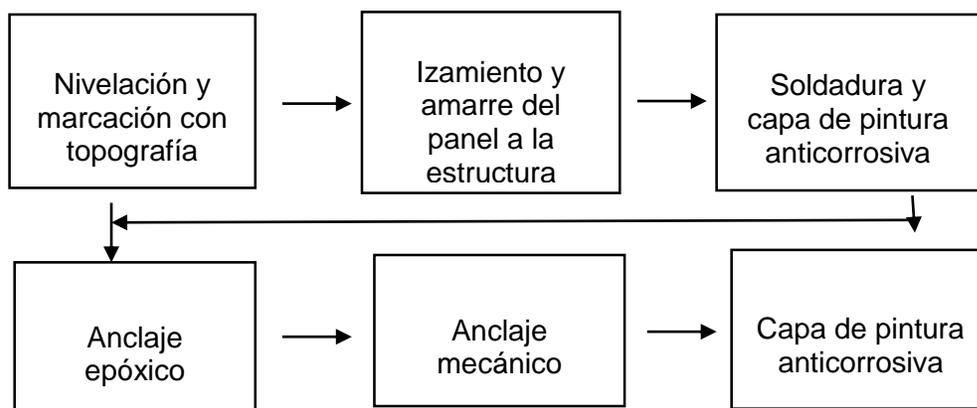


Figura 1. Flujo de proceso instalación de fachada con elementos prefabricados - Nueva sede EDU

NOTA: El anclaje mecánico se realiza en la parte superior del elemento y el anclaje epóxico y la soldadura en la parte inferior.

Las siguientes ilustraciones muestran de manera general el proceso constructivo de fachada con paneles GRC.

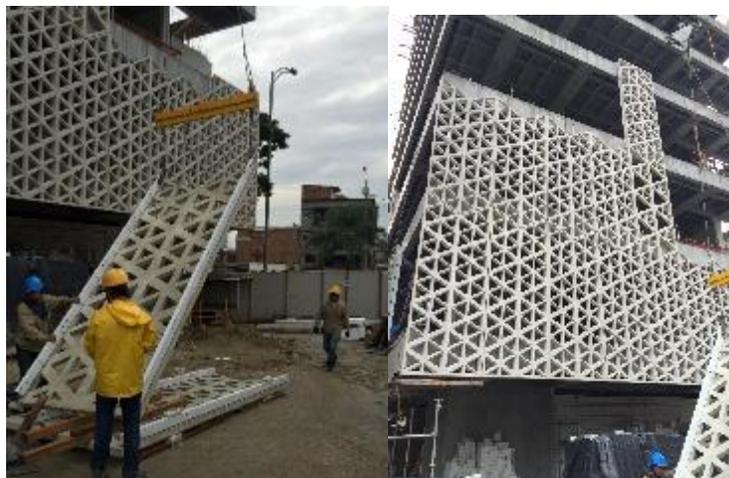


Ilustración 17. Izamiento del panel

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 18. Acercamiento y amarre del panel GRC

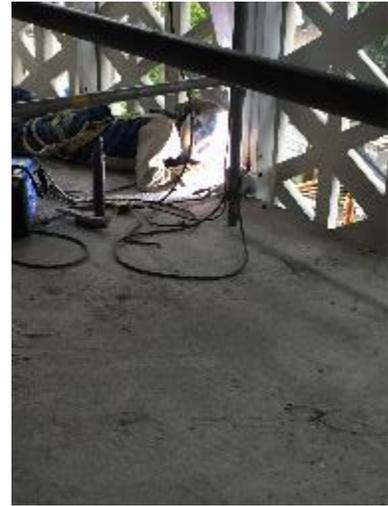


Ilustración 19. Soldadura del panel GRC



Ilustración 20. Anclaje y colocación de capa de pintura anticorrosiva

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.2.2 Proyecto de vivienda Bruja Bonita - Construcción de fachada en mampostería

Bruja Bonita es un proyecto de vivienda ubicado en la parte alta de la Loma de Las Brujas en Envigado. El proyecto cuenta con dos torres elaboradas en construcción tradicional y fachada en mampostería.



(Revista propiedades, 2016)

Ilustración 21. Proyecto de vivienda Bruja Bonita

La fachada en mampostería se basa en la construcción de muros con piezas de mampostería (ladrillo) con perforación vertical que se unen por medio de mortero y se refuerzan internamente con barras de acero. La inyección de mortero de relleno para este caso se realiza solo en las piezas verticales que llevan refuerzo.

Materiales

Para la elaboración de este tipo de fachada se requieren los siguientes materiales:

- Mortero

El mortero puede ser para pega o para inyección, este primero se utiliza para pegar las piezas, y es elaborado directamente en la obra. El segundo se usa para vaciar los elementos que llevan refuerzo vertical, su elaboración es en obra utilizando cemento de uso general, agregado fino y agua.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Unidades de mampostería

Ladrillo liso para utilización en fachada de dimensiones 15x10x30. Estas unidades son elaboradas por una ladrillera y enviadas a la obra.



Ilustración 22. Unidades de mampostería

- Acero de refuerzo

Acero que debe estar embebido en el mortero y localizado de manera que se cumplan con los requisitos de anclaje, adherencia y separación con respecto a las unidades de mampostería.

En las zonas donde se encuentran las columnas se realiza la elaboración de la fachada mediante la pega de unidades de arcilla tipo pantalla.

Equipo

Para la elaboración de la fachada en mampostería se utilizan andamios colgantes, estos se mantienen suspendidos mediante los pescantes, que están diseñados para la elevación y descenso de plataformas suspendidas, y funcionan por medio de sistema de agarre de cable mediante mordazas.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Ilustración 23. Andamios para la construcción de fachada

Mano de obra

Para la elaboración de los muros de fachada se requiere un oficial y un ayudante para la inyección del mortero, además a la hora de realizar el anclaje del refuerzo se requiere un oficial que tenga experiencia en dicha actividad.

Proceso constructivo de fachada con mampostería

A continuación, se presenta un flujo de proceso que muestra las actividades que componen la elaboración de una fachada con materiales mampuestos, en este caso ladrillo.

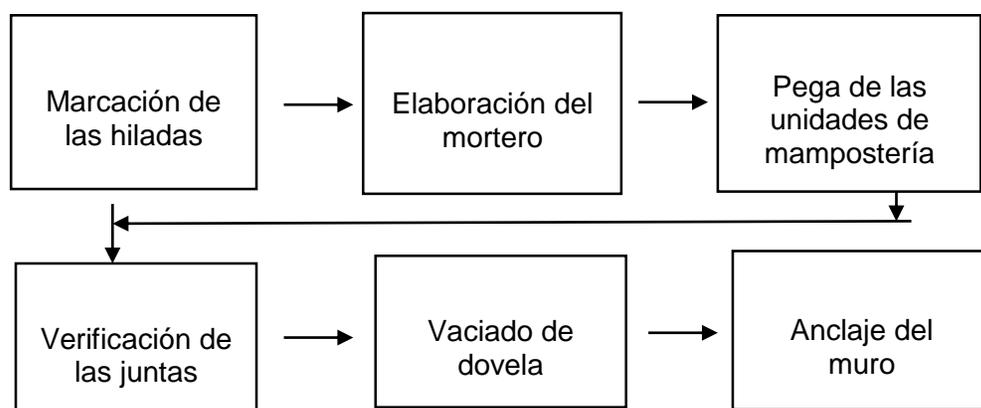


Figura 2. Flujo de proceso elaboración de fachada con mampostería

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Las siguientes ilustraciones muestran de manera general el proceso constructivo de fachada con unidades de mampostería.



Ilustración 24. Elaboración del mortero



Ilustración 25. Pega de las unidades de mampostería



Ilustración 26. Vaciado de dovela



Ilustración 27. Anclaje del muro

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.3 ANÁLISIS DE RENDIMIENTOS

Como se mencionó en el numeral 2.2 para el análisis de rendimientos se definieron diferentes variables, las cuales hacen posible calcular los avances de obra para cada caso.

Tabla 5. Variables registradas para el cálculo de rendimientos Mampostería

Fecha	Inició	Terminó	Actividad	No. Soldadores	No. Instaladores	Total trabajadores	Horas trabajadas	M2 Instalados
-	-	-	Nombre Actividad Localización Especificación material	-	-	-	-	-

Tabla 6. Variables registradas para el cálculo de rendimientos paneles GRC

Fecha de instalación	Tipología de paneles Instalados	Total paneles instalados /día	Hora de Inicio de la instalación	Hora Final de la instalación	Número de Ayudantes	Número de Oficiales	Total Trabajadores	Metros Cuadrados Instalados Durante el día	Tiempo de Instalación /Día [Horas]	Horas Hombre /Día	Consumo MO [hh/m2]
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Para las mediciones de rendimientos se asume que un empleado de obra trabaja en una jornada de 10 horas laborales (horario de 7:00am a 5:00pm), de las cuales dispone de 20 min para desayunar y 40 min para almuerzo, que son descontados de las horas trabajadas. En el caso de la fachada con elementos prefabricados los m^2 instalados se miden de acuerdo al número de paneles que se instalen, asociándolos al área que tenga cada uno, y para el caso de la fachada en mampostería se medirán de acuerdo al número de ladrillos instalados durante las mediciones, ya que, a diferencia de los paneles prefabricados, todos los ladrillos utilizados en la construcción de fachada en mampostería cuentan con las mismas dimensiones.

A partir de estas mediciones es posible calcular el rendimiento asociado a la mano de obra como HH/m^2 .

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

3.4 ANÁLISIS DE ACCIDENTALIDAD

Según SURA (2016), los indicadores de seguridad actualmente se encuentran enfocados en mediciones de resultado, por lo que presentan limitaciones para la evaluación y prevención del riesgo, ya que una vez haya ocurrido el accidente es poco lo que se puede hacer al respecto, sin embargo sirven para la implementación de la gestión del riesgo y la accidentalidad en las empresas, uno de los factores que pretende analizar este trabajo de grado para el caso puntual de la elaboración de fachadas de edificaciones en Medellín y el Área Metropolitana.

Para realizar el análisis de accidentalidad, se consultaron los principales indicadores de seguridad y salud en el trabajo, de acuerdo con el Sistema General de Riesgos Laborales (Ley 1562 de 2012).

A continuación, se presentan los indicadores de impacto que se calcularían en caso de presentarse un accidente durante las mediciones que se realicen en obra. Un indicador de impacto es aquel que mide los resultados de los esfuerzos pasados (SURA, 2016).

Ecuación 1. Tasa de accidentalidad

$$TA = \frac{\text{No de accidentes de trabajo en el periodo}}{\text{Promedio de trabajadores}} * K$$

La Tasa de Accidentalidad se presenta usualmente en casos por cada 100 trabajadores expuestos.

Ecuación 2. Índice de frecuencia de Accidentes en el Trabajo (AT)

$$IF AT = \frac{\text{No total de AT en el periodo}}{\text{No HHT año}} * K$$

Ecuación 3. Índice de severidad de AT

$$IS AT = \frac{\text{No de dias perdidos por AT en el periodo}}{\text{No HHT año}} * K$$

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Ecuación 4. Índice de lesiones incapacitantes

$$ILI AT = \frac{IF AT * IS AT}{1000}$$

NOTA: La constante K utilizada es igual a 200.000 y resulta de multiplicar 100 trabajadores que laboran 40 horas semanales por 50 semanas que tiene el año. Esto implica que los resultados del cálculo se presenten como anuales.

Para hacer el cálculo de las Horas Hombre Trabajadas por año se toma el número de trabajadores que realizan la labor de instalación o elaboración de fachada, según el caso, y se multiplicara por 40 horas semanales por 50 semanas del año, tomando la misma suposición que tiene la variable K de manera que no se genere mayor dispersión en los resultados.

Como no se registraron accidentes durante la etapa de mediciones se concluirá de acuerdo a la información suministrada por Concreto S.A que especifica que durante el tiempo que se ha implementado el uso de paneles GRC no se ha presentado ningún accidente por trabajo en alturas.

3.5 ANÁLISIS LEAN CONSTRUCTION

3.5.1 Clasificación de actividades

De acuerdo con la definición de tiempos Lean que se estableció en la sección 1.3.2, se presenta la **Tabla 6**, en esta se muestra la clasificación de las actividades que son parte tanto del proceso de elaboración de fachada mediante unidades de mampostería o instalación de fachada con la implementación de paneles prefabricados, pero no representan actividades principales para ser incluidas dentro del flujo de proceso de cada caso.

Tabla 7. Clasificación de actividades secundarias

Mediciones	Tiempo Soporte
Preparación	
Protecciones	
Transporte	
Desplazamientos	Tiempo Sin Valor Agregado
Espera	
Reprocesos	
Tiempo ocioso	

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Descanso	Detenciones autorizadas
Necesidades fisiológicas	

En las siguientes tablas se expone la clasificación de las actividades que componen los flujos de proceso de cada tipología de fachada en estudio, entendiéndose “TS” como Tiempo Soporte y “TVA” como Tiempo con Valor Agregado.

Tabla 8. Clasificación de actividades - Fachada EDU

Actividad	Tiempo Lean
Nivelación y marcaciones con topografía	TS
Izamiento del panel prefabricado de GRC	TS
Amarre y acercamiento del panel desde la parte interior de la estructura	TVA
Anclaje mecánico en la (parte superior del panel / viga)	TVA
Anclaje epóxico en la parte inferior del panel	TVA
Soldadura en la parte inferior	TVA
Capa de pintura anticorrosiva en la soldadura	TVA

Tabla 9. Clasificación actividades - Fachada Bruja Bonita

Actividad	Tiempo Lean
Izamiento o transporte de los ladrillos de forma manual	TS
Definición de hiladas	TS
Elaboración del mortero	TS
Pega de las hiladas de ladrillos	TVA

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Vaciado de Dovela	TVA
Elaboración y verificación de las juntas	TS
Anclaje	TVA

3.5.2 Mediciones Lean

A partir de la definición de estas clasificaciones fue posible comenzar a utilizar el sistema de información GICO y posteriormente realizar las mediciones directas en obra.

En el sistema se crearon las obras y las actividades de instalación de fachada con panel GRC y construcción de fachada con mampostería, así mismo la lista de empleados correspondiente para cada obra, ya que al ser los trabajadores los ejecutores directos de las actividades son quienes realizan los tiempos con valor agregado, tiempos sin valor agregado y tiempos contributivos (soporte), es decir, es a los trabajadores a quienes se mide.

A continuación, se muestra un ejemplo de la creación de las actividades y los empleados para el caso de la nueva sede del EDU.

CAPÍTULO	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	INICIO	FIN	
TIEMPOS LEAN EDU	Crear	- - -	10/03/2016	31/07/2016	
Modificar	Eliminar	FACHADA PREFABRICADA	- - -	09/04/2016	31/07/2016

Ilustración 28. Actividad fachada prefabricada en sistema GICO

A pesar de que el periodo de mediciones si comenzó en la fecha mostrada en la **Ilustración 9**, abril de 2016, el periodo de finalización no es el mismo, ya que la fachada de la nueva sede del EDU se terminó a finales de Mayo; La fecha de finalización se definió lejana ya que al iniciar las mediciones no se tenía certeza de cuando culminaría la instalación en la obra.

LISTADO DE EMPLEADOS								
NOMBRE	CÉDULA	OFICIO	TELÉFONO	CONTRATISTA	TIPO SANGRE	FECHA INGRESO	EPS	ARP
SOLDADOR	1323450	AYUDANTE ENTENDIDO				10/03/2016	NINGUNA	NINGUNA
AYUDANTE	78945623	AYUDANTE ENTENDIDO				10/03/2016	NINGUNA	NINGUNA

Ilustración 29. Listado de empleados creados en GICO para la fachada prefabricada

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Como se muestra en la Ilustración 11, debido a la naturaleza de mediciones que son realizadas en calidad investigativa, no se consideraron datos reales de los empleados a los cuales se les tomaron Tiempos Lean como el número de cedula, teléfono, contratista o seguridad social.

Una vez toda la información de la obra se encontraba en el sistema se comenzaron las mediciones. Estas consisten en pruebas de 3 minutos cada una, donde se selecciona aleatoriamente un trabajador que este ejecutando la actividad y se miden los tiempos que va ejecutando en un periodo de 3 minutos.

Ejemplo instalación elementos prefabricados: Al dar inicio al cronometro, este empieza en TVA ya que el instalador está taladrando la losa para poder realizar el anclaje, cuando el trabajador descarga el taladro no encuentra material y se va a buscarlo, es ahí donde se cambia el cronometro para TSVA. De esta manera se va intercambiando el cronometro en los momentos en que el trabajador hace un cambio de actividad hasta completar los 3 minutos, estas actividades rotan entre TVA, TSVA, TS y DA como se muestra en la siguiente Ilustración.

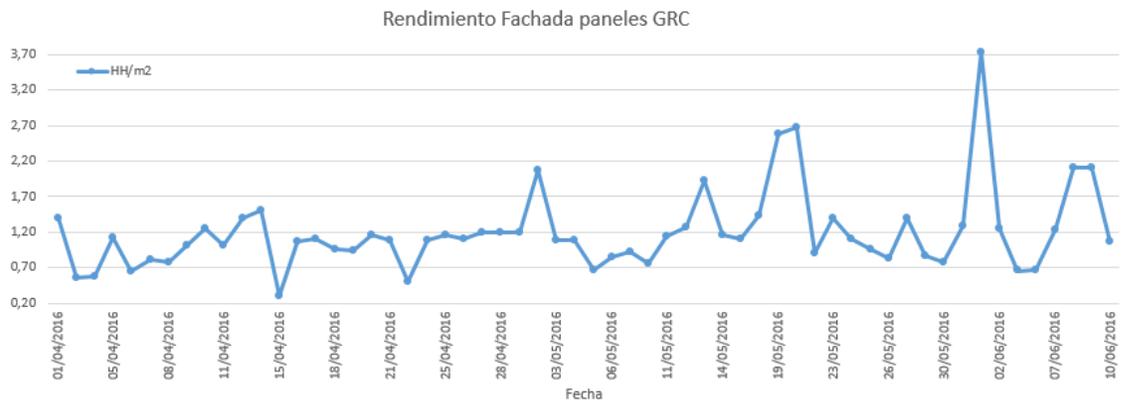
Estas pruebas se realizan una tras la otra durante los días que se visitan las obras, de manera que se pueda recolectar la mayor información posible para tener un diagnóstico más preciso a la hora de realizar las pruebas estadísticas.

4. PRODUCTOS, RESULTADOS Y ENTREGABLES OBTENIDOS

4.1 RENDIMIENTOS

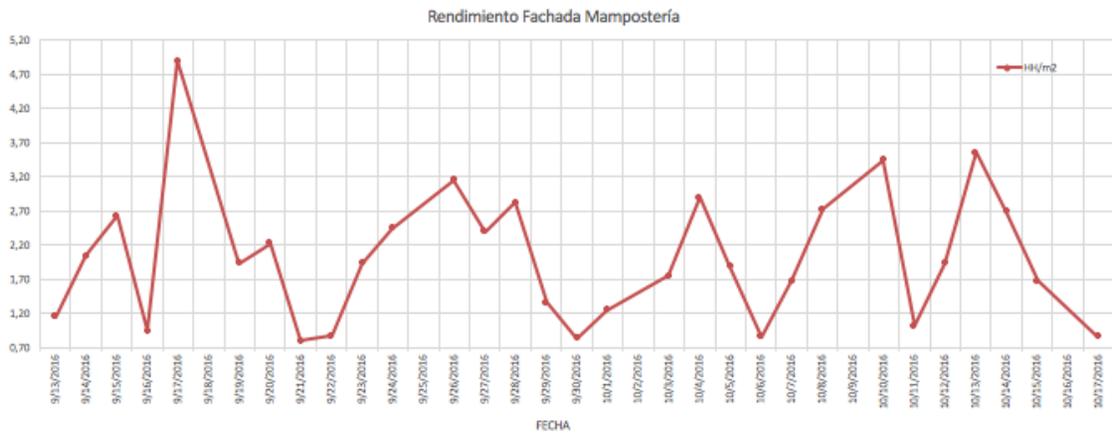
Como se muestra en las siguientes graficas, a la hora de tomar las mediciones de rendimientos en algunos casos se presentan picos muy pronunciados, esto debido a que en el sector de la construccion se trabaja tambien los dias sabado pero solo hasta el medio dia o empezando la tarde, lo que ocasiona que los m2 construidos o instalados disminuya significativamente afectando directamente los valores de rendimiento, ademas de esto se presentan muchos imprevistos durante la construccion como la lluvia o tormentas electricas que tambien afectaron el trabajo en dias especificos.

Para que el promedio realizado no se viera muy afectado por la dispersion de estos datos se decidio omitirlos en el momento de realizar el calculo.



Grafica 1. Rendimientos Mampostería

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.



Gráfica 2. Rendimientos Paneles GRC

Una vez realizadas analizadas las mediciones de rendimientos para cada una de las obras se obtuvieron las horas hombre requeridas en promedio para realizar un m2 de cada sistema, los resultados que se presentan a continuación.

Tabla 10. Rendimientos promedio por sistema

Obra	Sistema	HH/m2 (promedio)
EDU	Paneles GRC	1,01
Bruja Bonita	Mampostería	1,91

Como se identifica en la Tabla 11 los resultados indican que se necesitan menos horas hombre para realizar un metro cuadrado de fachada utilizando el sistema de Paneles GRC.

A pesar de obtener los resultados esperados se aclara que los paneles GRC se utilizaron para una edificación de carácter público, la cual cuenta con tiempos de entrega que no pueden ser aplazados por lo que a partir de la terminación del primer anillo de paneles se cambió la cuadrilla de 5 a 9 trabajadores, luego a 10 y finalizando la instalación de la fachada la cuadrilla disminuyo nuevamente a 5 trabajadores ya que lo que se instalaba eran los paneles esquineros; Con esta distribución se logró que la totalidad de la fachada del EDU fuera terminada en 2 meses y medio. Además de esto en las mediciones de la fachada en mampostería se presentaron inconvenientes con el transporte vertical de los materiales debido a que el motor de la torre grúa fallo durante un tiempo la cuadrilla se encargaba de gestionar el transporte de estos mediante malacates y no tomaban descansos ni algo en las horas de la tarde.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Una vez obtenidos los valores consolidados de rendimientos se procedió a consultar con Concreto valores estimados (\$) de Horas Hombre, y tomando como referencia el área total de fachada del EDU se realizó el siguiente análisis.

Tabla 12. Análisis costo unitario Mano de Obra

Obra	Sistema	HH/m2 Promedio	Área fachada EDU (m2)	HH requeridas	Valor HH estimado	Costo MO para fachada estimado	% ahorro
EDU	Paneles GRC	1,01	2241	2263,41	\$ 7.845,00	\$ 17.756.451,45	47%
Bruja Bonita	Mampostería	1,91	2241	4280,31	\$ 7.845,00	\$ 33.579.031,95	

Además de esto se definió, en compañía de Concreto S.A, un estimado del valor mensual de los costos administrativos de que se requieren para realizar una edificación como la nueva sede del EDU, luego se estableció una cuadrilla base de dos oficiales y un ayudante, y utilizando los rendimientos obtenidos de las mediciones de cada sistema se calculó un ahorro de tiempo estimado como se muestra a continuación.

Tabla 13. Análisis costos administrativos

Sistema	Cuadrilla base (No. trabajadores)	Horas trabajadas al día	Tiempo para realizar la fachada (días)	Tiempo ahorrado GRC vs Mampostería	Costos administrativos EDU estimados (mes)	Costos administrativos estimados EDU (día)
Paneles GRC	3	24	94	47%	\$77.066.667	\$ 2.568.889
Mampostería	3	24	178			

Como se muestra en la Tabla 11 y la Tabla 12 y de acuerdo con los resultados de rendimiento obtenidos se calculó que implementando el sistema de Paneles GRC es posible lograr un ahorro del 47% en el costo de la Mano de Obra para la elaboración de fachadas de edificación y también en tiempo, lo que quiere decir que por cada día que se adelante el proceso de entrega de la obra se ahorrarían \$2.568.889 en costos administrativos.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4.2 ACCIDENTALIDAD Y SEGURIDAD

En vista de que no se presentó ningún tipo de accidente durante el periodo de mediciones no fue posible realizar el cálculo de los índices de accidentalidad que se tenía programado. Se pensó como alternativa realizar dicho cálculo con información histórica de accidentalidad de las empresas constructoras, pero se desistió de esto debido a que representa información sensible para estas y no promueven su distribución.

Con base en lo anterior se decide, entonces, realizar una investigación de cuáles podrían ser las diferentes causas de los accidentes en la construcción de fachada con mampostería, haciendo uso de los andamios colgantes. Se obtuvo la información de que Concreto no hace uso de andamios colgantes en ningún tipo de obra desde el 2013, sin embargo, ocurrieron incidentes, que nunca llegaron a ser accidentes, por fortuna, ya que se contaba con adecuado manejo de este tipo de andamios, manejo que sin llegarse a hacer causarían accidentes laborales. Este adecuado manejo en los andamios colgantes consistía en realizar mantenimiento y limpieza cada mes, en especial en la estabilidad y el suelo del andamio, además, de la limpieza del malacate y cuerda, para así, liberarlos de la mezcla de concreto sobrante.

No obstante, esa investigación no finalizó ahí, también se obtiene información de qué causarían esa falta de mantenimiento en los andamios. Una de las razones es que la labor que realizan los mamposteros es hecha por medio de contrato de obra o labor, lo que implica que a estos sólo les interesa terminar este contrato para ser adjudicados luego a otro y conseguir un pago mayor, sin importar el estado del andamio o las condiciones de trabajo; además se encuentra que en la construcción lo que se hace con este tipo de equipos es alquilarlos y en ningún momento, la empresa que presta el servicio de alquiler advierte de cómo se debe manejar y mantener los andamios.

Ahora bien, en cuanto a los costos, en caso de que se presente un accidente, es la ARL del trabajador quien se encarga de pagar dicha incapacidad y gastos médicos si es del caso, sin embargo, las constructoras suelen realizar una conciliación ya sea con el trabajador o su familia y así no llevar a cabo un caso de demanda. Es válido recalcar que el costo de la ARL está incluido en los gastos de la nómina de los trabajadores.

Otro de los casos que se podría presentar en caso de un accidente es que el trabajador quede con daños permanentes en un 15% o más de su cuerpo, lo que le impide a la constructora despedir el trabajador y se debe reubicar, repercutiendo en la productividad y rendimientos de las labores de la empresa, ocasionando un aumento en los costos de una obra en construcción (Lenis, 2016).

Posteriormente se quiso realizar un comparativo en aspectos como la seguridad en los puntos de trabajo entre el proceso de elaboración de fachada de mampostería, con andamios colgantes y la elaboración de fachada con paneles prefabricados. Entre estos aspectos, el principal a evaluar es la exposición a la altura, en el caso de la fachada con mampostería, los mamposteros tienen que estar expuestos directamente a la altura de la edificación, sin embargo, también se hace uso de arnés, certificado de curso en altura y conexión a la línea de vida; por el otro lado, durante el proceso de instalación de los paneles

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

prefabricados, tanto los maestros como los ayudantes están dentro de la edificación, es decir, en ningún momento se ven expuestos a estructuras inestables como lo son los andamios colgantes, de igual forma, los trabajadores también cuentan con equipos como el arnés, curso de trabajo en altura y conexión a la línea de vida.

Otro de los aspectos que se evalúa es la ergonomía en el sitio de trabajo, para el caso de la realización de la fachada en ladrillo expuesto, es a los mamposteros a quienes les toca cargar los elementos de trabajo pesados, tales como los adobes o baldes llenos de mezcla de concreto, además que para llegar a tener un proceso con acabados óptimos se ven sometidos a realizar posturas inadecuadas para la columna; lo que no ocurre con el otro proceso, pues el panel prefabricado siempre es cargado por la torre grúa y los instaladores se ven sometidos solamente a cargar herramientas como llaves o anclajes y no se someten a posturas inadecuadas, ni siquiera, durante el proceso de fabricación del panel, pues como se muestra en las ilustraciones 9, 10, 11, 12 y 13 en ningún momento se someten a sobre esforzar la columna, pues la mesa de trabajo está a la altura de la cintura del trabajador.

4.3 LEAN CONSTRUCTION

4.3.1 Fachada paneles GRC

Al finalizar las mediciones de la construcción de la fachada por medio de paneles prefabricados de GRC se obtuvieron los siguientes porcentajes de tiempos

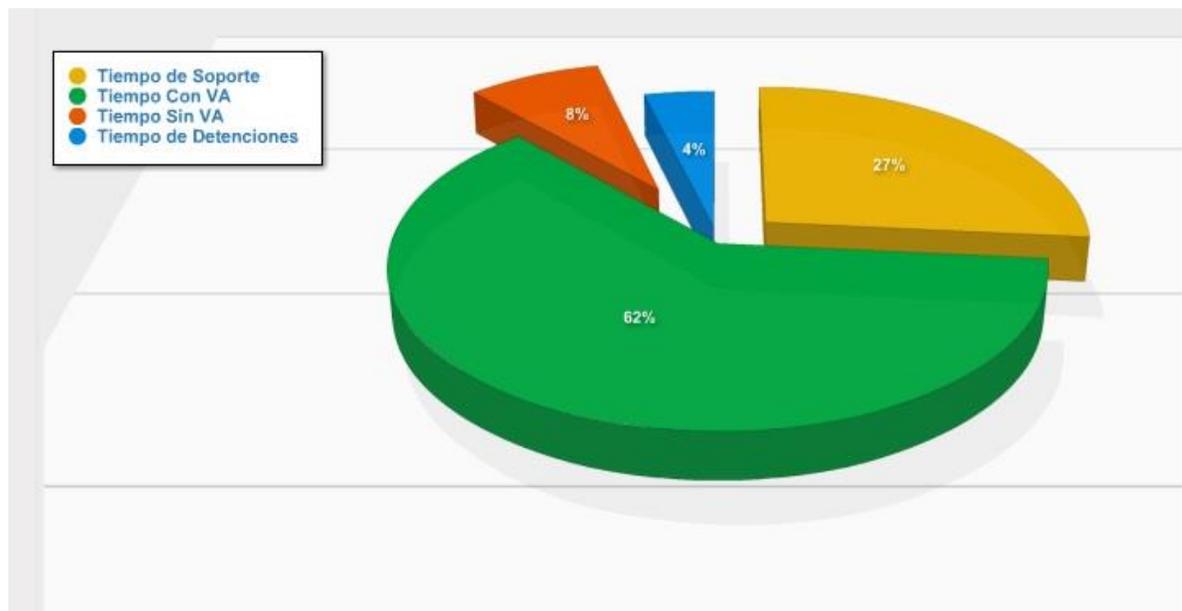


Ilustración 30. Distribución de tiempos LEAN en la construcción de fachada prefabricada

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Siendo predominante el tiempo que se le invirtió a las actividades que agregan valor, seguido por el tiempo de actividades soporte, luego, el tiempo de actividades sin valor agregado y por último el tiempo de detenciones, así:

Tabla 14. Distribución de tiempos Lean en la construcción de fachadas prefabricada

Tipo de tiempo	Cantidad medida	Porcentaje
Tiempo con VA	71,58 minutos	61,68%
Tiempo sin VA	9,03 minutos	7,78%
Tiempo de soporte	30,78 minutos	26,53%
Tiempo de detenciones	4,65 minutos	4,01%

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se lleva a cabo la inspección de cuáles son las actividades que más involucradas están en el tiempo sin valor agregado, tiempo soporte y tiempo de detenciones.

En primer lugar, observamos que los factores que están involucrados en tiempos sin valor agregado son los desplazamientos, la espera, el transporte de materiales, el tiempo ocioso y finalmente los reprocesos. Cada uno de estos con los siguientes porcentajes

Tabla 15. Distribución de porcentaje en actividades de tiempos sin valor agregado

Porcentaje tiempos sin valor agregado		
Actividades	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
Desplazamientos	56,52	56,52
Espera	30,43	86,95
Transporte	8,7	95,65
Tiempo ocioso	4,35	100
Reprocesos	0	100

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

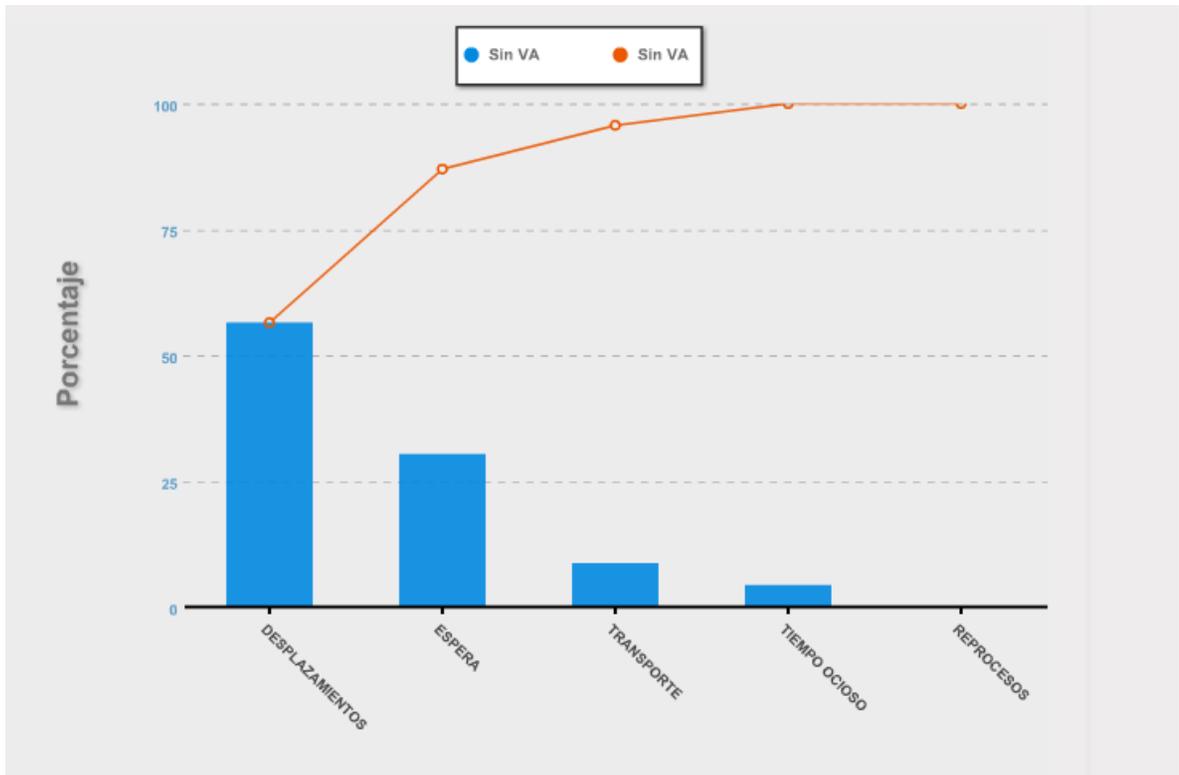


Ilustración 31. Pareto y frecuencias de actividades en tiempos sin valor agregado

Se observa que el factor que mayor repercusión tiene, afectando el incremento de tiempos sin valor agregados se debe a los desplazamientos, estos desplazamientos se daban generalmente por no tener los equipos de instalación exactamente en el puesto de trabajo, pues los miembros de la cuadrilla debían ir a buscar herramientas como llaves, martillos, taladro o incluso la herramienta para soldar; luego, está el factor de la espera, para este caso, estaba trabajando una cuadrilla de 5 personas, pero no todos trabajaban a la vez, pues al estar midiendo los tiempos “Lean Construction” de uno de los ayudantes, este debía esperar a que el soldador hiciera su trabajo para luego reanudar con su labor, es por lo anterior, que aumenta el porcentaje de espera en los tiempos que no agregan valor, además, está el factor de transporte, tiempo que invertían transportando el material y las herramientas para el lugar donde se instalaría el siguiente panel de la fachada prefabricada. Y, finalmente está el tiempo ocioso, tiempo en el que los instaladores de la fachada dedicaban a charlar.

A continuación, se evalúan los factores involucrados en el tiempo soporte, factores como Instrucciones, preparación, mediciones, protecciones, transporte y limpieza, así:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Tabla 16. Distribución de porcentajes en actividades de tiempos soporte

Porcentaje tiempos soporte		
Actividades	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
Instrucciones	64,71	64,71
Preparación	11,76	76,47
Mediciones	8,82	85,29
Protecciones	5,88	91,17
Transporte	5,88	97,05
Limpieza	2,95	100

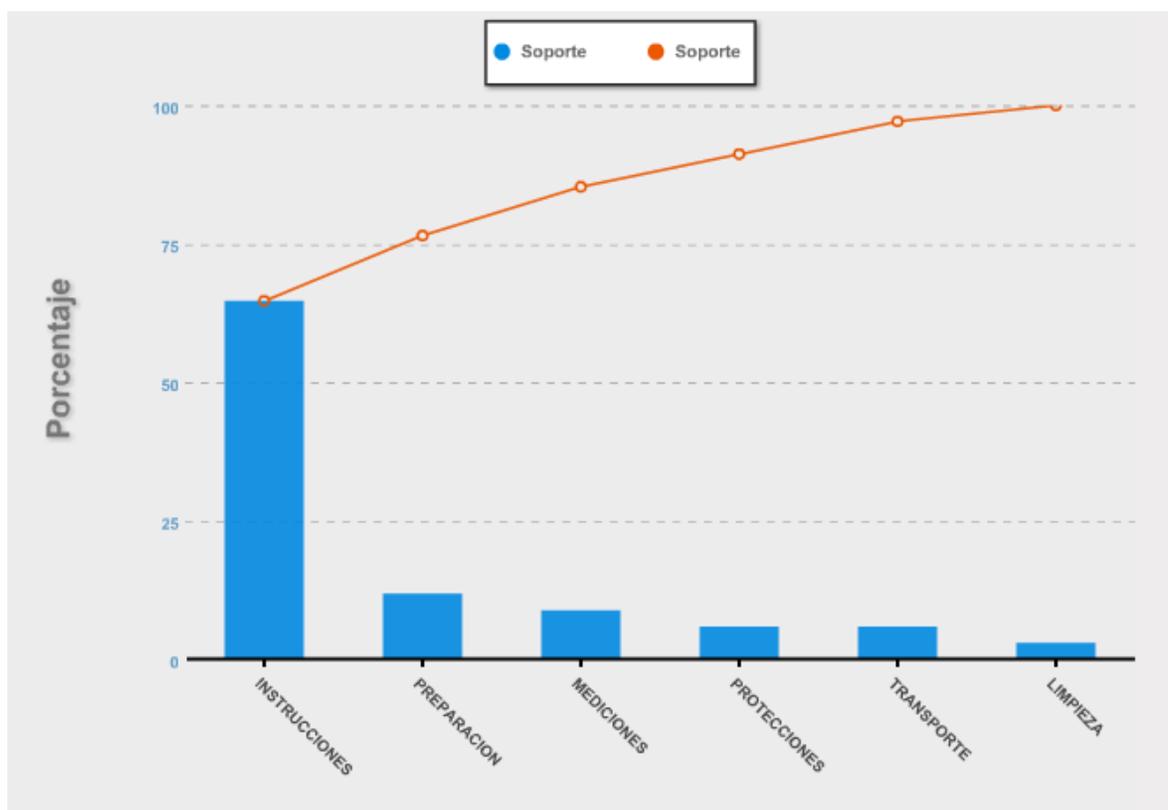


Ilustración 32. Pareto y frecuencias de actividades en tiempos soporte

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

En cuanto a estos factores, es evidente que el que más influencia tiene en los tiempos soporte es dar o recibir instrucciones para la correcta instalación del panel y que este quede en su lugar exacto, luego viene la preparación, la cuadrilla se encargaba de preparar la superficie para que cuando la torre grúa llevara el panel este se pudiera instalar correctamente, luego, siguen las mediciones, cuando se aseguraban que las medidas fueran las correctas y que no afectara la postura y ubicación de los siguientes paneles, además de que estos estuvieran derechos, en cuanto a las protecciones, eran relativamente rápidas, pues sólo se conectaban a la línea de vida del arnés, postura de guantes y gafas. Y, finalmente en cuanto a la limpieza, lo que se hacía era limpiar las superficies después de perforar y soldar.

Ahora, en lo que corresponde a las detenciones, el 100% de estas fueron simplemente detenciones autorizadas, detenciones entre la instalación de los paneles de la fachada.

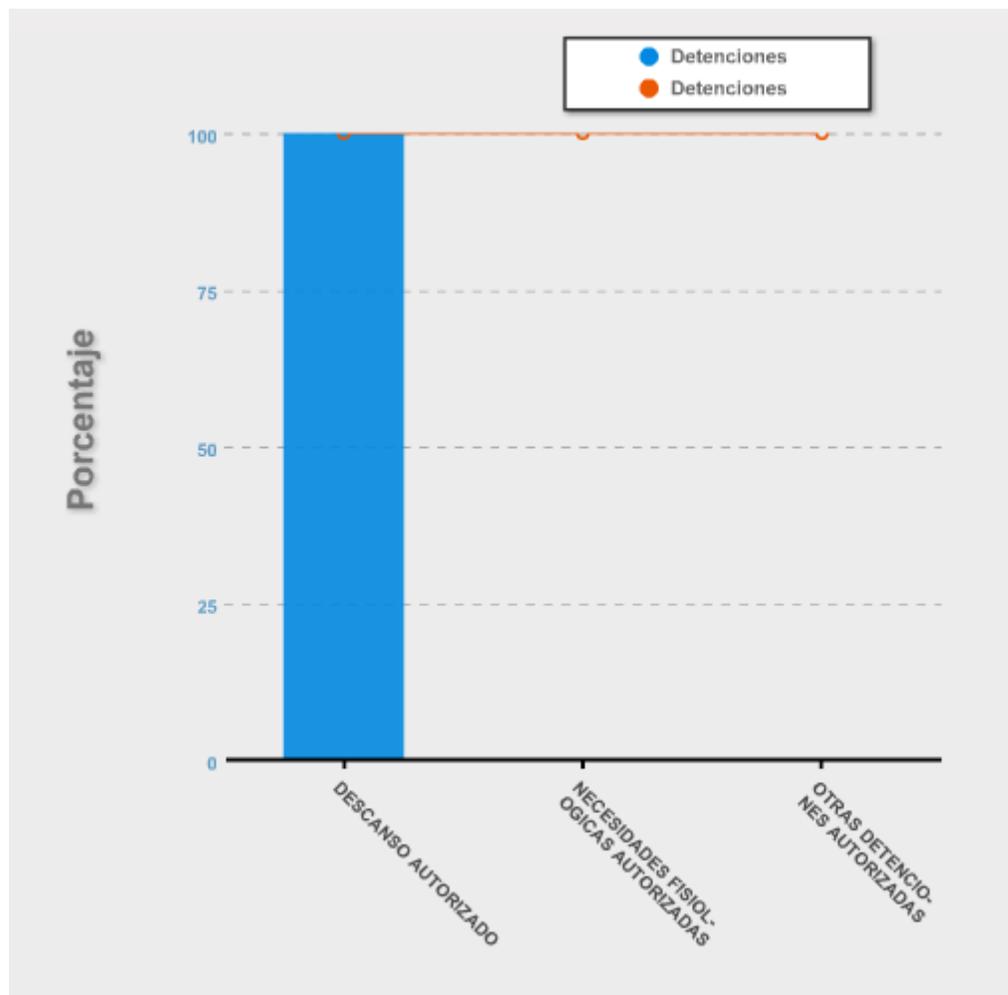


Ilustración 33. Gráfica de Pareto y frecuencias en actividades dentro de las detenciones

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4.3.2 Fachada mampostería

Tras las mediciones por medio de la aplicación GICO y el método de “Lean Construction” o “Construcción sin pérdidas” se obtuvo los siguientes resultados:

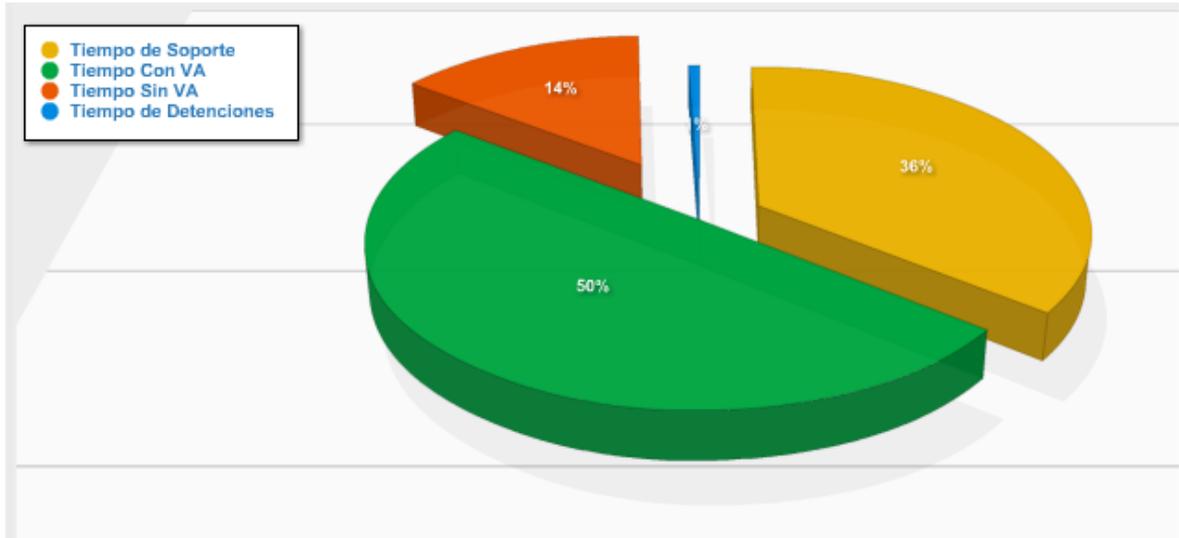


Ilustración 34. Distribución de tiempos LEAN en la construcción de fachada en mampostería

Siendo, de los tiempos medidos, la mayoría actividades realizadas que agregan valor al proceso, seguido por los tiempos soportes, tiempos sin valor agregado y finalmente el tiempo de detenciones, exactamente, con los siguientes porcentajes:

Tabla 17. Distribución de tiempos LEAN en la construcción de fachadas en mampostería

Tipo de tiempo	Cantidad medida	Porcentaje
Tiempo con VA	72,52 minutos	49,66%
Tiempo sin VA	20,68 minutos	14,16%
Tiempo de soporte	52 minutos	35,61%
Tiempo de detenciones	0,83 minutos	0,57%

Ahora, como se hizo con el análisis de las mediciones de tiempos en la construcción de la fachada por medio de paneles prefabricados, se lleva a cabo el mismo análisis de los

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

factores que más afectan cada tipo de tiempos, pero ahora, enfocado en la implementación a la fachada con ladrillos.

Entonces, en primer lugar, se analizan los factores que intervienen en los tiempos que no aportan valor o simplemente, los factores que no permiten que se agregue valor, entre estos están desplazamientos, espera, tiempo ocioso, reprocesos y transporte, cada uno con los siguientes porcentajes:

Tabla 18. Distribución de porcentajes en actividades de tiempos sin valor agregado

Porcentaje tiempos sin valor agregado		
Actividades	Porcentaje	Porcentaje acumulado
Desplazamientos	48,15	48,15
Espera	44,44	92,59
Tiempo ocioso	2,47	95,06
Reprocesos	2,47	97,53
Transporte	2,47	100

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

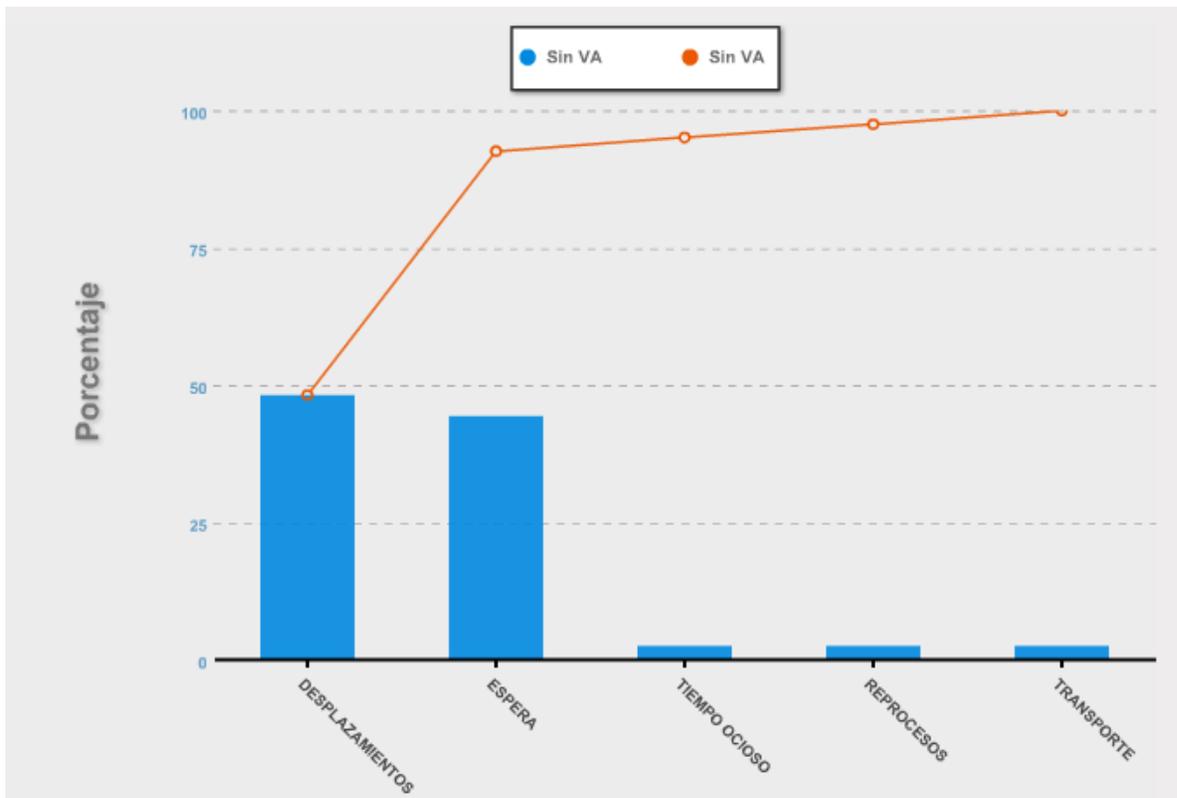


Ilustración 35. Pareto y frecuencias de actividades en tiempos sin valor agregado

Los principales factores que afectan este tipo de construcción de fachadas son el desplazamiento y la espera, factores que sin lugar a duda se ven relacionados directamente por el material con el que se trabaja, en cuanto a los desplazamientos, el mampostero tenía que ir a buscar los materiales, hayan sido ladrillos o cemento para realizar la mezcla de concreto, pues estos estaban en el acopio del piso y no cerca al lugar de trabajo, por otra parte, se encuentra el factor “espera”, factor que se alargaba debido a que el material se agotaba en el acopio y se tenía que esperar a que este fuera surtido de nuevo, espera que es prolongada debido al tipo de desplazamiento vertical con el que se cuenta en estas obras, desplazamientos por medio de malacates o grúas pequeñas. Otro de los factores que aumenta el tiempo sin valor agregado es el tiempo ocioso, tiempo en el que los mamposteros se dedican a charlar, luego, están los reprocesos, factor que se debe efectuar por haber hecho medidas erróneas anteriormente, y por esto, es que se debe realizar de nuevo esa tarea, y finalmente, está el transporte, tiempo que destinaban transportando los materiales para un nuevo lugar de trabajo.

En cuanto al análisis de los tiempos soporte, se evaluaron los mismos factores que la construcción de la fachada prefabricada, en este caso la distribución de porcentajes fue así:

Tabla 19. Distribución de porcentajes en actividades de tiempos soporte

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

Porcentaje tiempos soporte		
Actividades	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)
Preparación	42,64	42,64
Mediciones	26,36	69
Instrucciones	24,03	93,03
Limpieza	5,43	98,46
Transporte	1,54	100
Protecciones	0	100

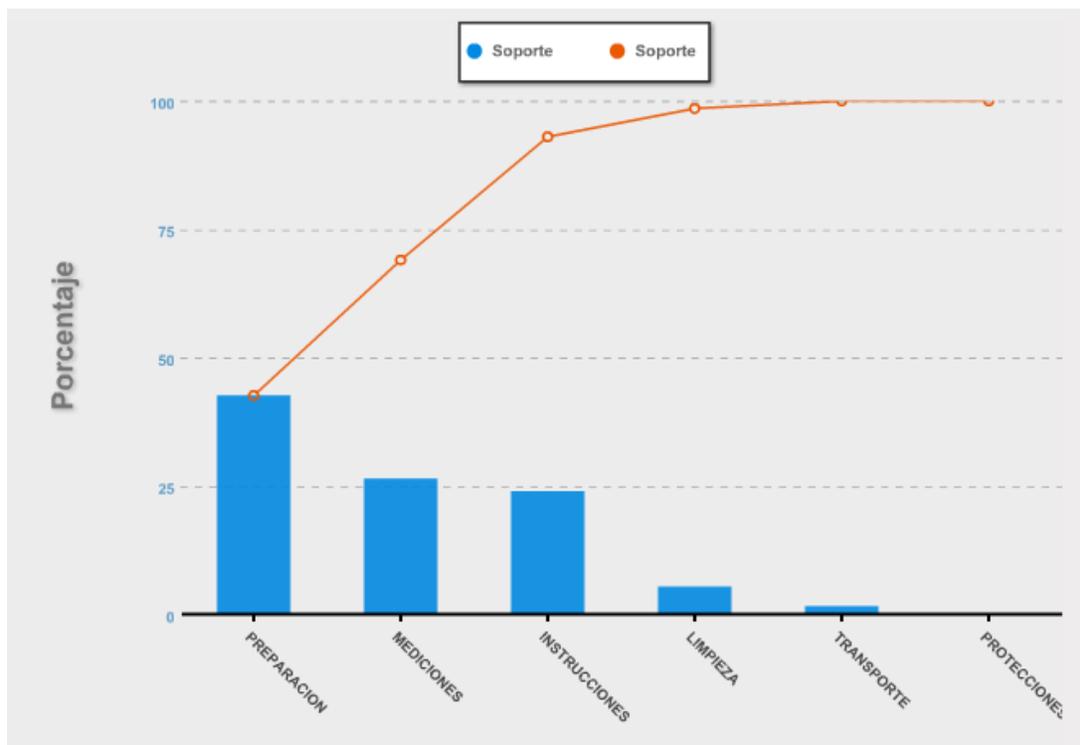


Ilustración 36. Gráfica de Pareto y frecuencias de actividades en tiempos soporte

Era de esperarse que el factor que más tiempo agrega a tiempos soporte era la preparación, pues en este tipo de tarea, fachada en mampostería, es bastante importante la preparación de los materiales, mezcla de concreto de pega o adecuar los adobes con las medidas

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

correctas, luego vienen las mediciones, mediciones que son necesarias e indispensables para garantizar la exactitud de la fachada, luego, está la actividad de dar o recibir instrucciones, posteriormente, la limpieza para garantizar la estética del trabajo y finalmente el transporte de material desde el interior del edificio, cerca al puesto de trabajo, hasta el andamio colgante.

Para finalizar, el porcentaje de 0,57% que corresponde a detenciones, en su totalidad fueron detenciones autorizadas.

Tabla 20. Comparación Tiempos Lean

Construcción fachada con mampostería		Construcción fachada con paneles prefabricados	
Tipo de tiempo	Porcentaje	Tipo de tiempo	Porcentaje
Tiempos con VA	50%	Tiempos con VA	62%
Tiempos sin VA	14%	Tiempos sin VA	8%
Tiempo de soporte	36%	Tiempo de soporte	27%
Tiempo detenciones	1%	Tiempo detenciones	4%

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

4.4 RESUMEN

PRODUCTO ESPERADO	INDICADOR DE CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES (indique si se logró o no su cumplimiento y por qué)	ENTREGABLE
<p>Determinar cuál de los sistemas representa una mejor solución a la hora de realizar un proceso constructivo de fachada de edificación.</p>	<p>Para los paneles GRC se encontró una reducción de 47% tanto en costos de Mano de Obra como tiempo para la elaboración de la fachada con respecto a la fachada en mampostería, además se obtuvo 12% más tiempos con Valor Agregado, 6% menos tiempos sin VA y 9% menos tiempos soporte.</p>	<p>Se logró el cumplimiento de todos los objetivos planteados menos los cálculos de los índices de accidentalidad debido a que no se registraron accidentes durante el tiempo que se realizaron las mediciones en obra, sin embargo, en compañía del área de salud ocupacional de Conconcreto S.A se logró hacer un análisis de accidentalidad y seguridad.</p>	<p>Informe con los resultados obtenidos.</p>

A la hora de realizar el proyecto la ventaja más grande fue contar con el apoyo de Conconcreto S.A, la empresa hizo posible contar con herramientas de análisis y procesamiento de datos, además de facilitar las mediciones en una de las obras donde se estaba implementando los paneles GRC para la construcción de la fachada y también la posibilidad de observar el proceso de elaboración de los paneles y las condiciones de trabajo en la que estos se construyen. Asimismo, la única dificultad fue no contar con mediciones de accidentalidad más sin embargo con colaboración de Conconcreto fue posible sortearla y realizar un análisis pertinente para la investigación.

Los resultados para la empresa son satisfactorios ya que se comprueba la hipótesis que se planteó cuando surgió la idea de realizar la investigación, donde se establecía que al usar

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

paneles prefabricados de GRC en la construcción de fachadas se obtendrían mejores resultados de productividad y rendimientos que frente a la elaboración de fachadas utilizando el sistema tradicional.

Al realizar este proyecto fue posible comprender y analizar en profundidad la elaboración de fachadas que es una de las actividades que mayor tiempo requieren a la hora de construir una edificación; esto debido a que se decidió abarcar la actividad desde diferentes puntos críticos que afectan directamente la elaboración de esta como lo son los rendimientos, la seguridad y la productividad lo que permitió identificar que cada uno de estos aspectos se afectan directamente entre si y que mientras mejores sean las condiciones tanto en equipos como en materiales es posible obtener mejores resultados.

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este caso y según las mediciones realizadas a las muestras seleccionadas se observó que al realizar la construcción de la fachada de una edificación haciendo uso de los paneles prefabricados de GRC se logró un rendimiento mayor a la construcción de la misma área haciendo uso de la técnica de mampostería tradicional, debido a que se logra hacer más metros cuadrados en menos tiempo, sin embargo, para garantizar que en efecto esta metodología logra una reducción representativa en los costos administrativos de una obra es necesario realizar mediciones en un número mayor de muestras, es decir, más obras o proyectos en construcción que utilicen elementos prefabricados de GRC.
- En aspectos como la exposición a la altura, trabajar en estructuras inestables y realizar trabajos con posturas inadecuadas para el cuerpo puede generar accidentes que después se verán reflejados en costos de indemnizaciones con los que debe cumplir la empresa constructora, lo que es más común en la realización de fachada con mampostería, en cambio, se evidencia que las condiciones de fabricación, transporte e instalación de la fachada con paneles prefabricados garantiza una mayor seguridad al trabajador y por ende, una probabilidad menor a la ocurrencia de un accidente.
- La productividad mediante la instalación de fachada con paneles prefabricados de GRC es mayor, pues se invierte un 62% del tiempo en actividades que agregan valor directo al avance de la obra, lo que no ocurre tan bien con el método de mampostería, en el cual sólo se invierte 50% del tiempo, esto junto con los datos de rendimientos y costos unitarios da por sentado que puede llegar a ser una opción óptima para acelerar el proceso de la construcción de la fachada, sin embargo, para garantizar esto es necesario respaldar el estudio con una muestra lo suficientemente representativa para la investigación.
- Fue posible comprobar que uno de los factores que más afectara el proceso constructivo de fachada son los tiempos de espera y transporte de materiales, debido a la manera como se realiza este proceso cotidianamente, pero al estar implementando la construcción de la fachada con paneles GRC, se evidenció que con este proceso puede ser más rápido y efectivo este transporte, debido a que se cuenta con equipos más sofisticados y eficientes a la hora del transporte, contando también que cuando se instala un solo panel de estos se cubre mayor área de la fachada.
- La falta de productividad en la construcción de la fachada por medio de mampostería común se debe también a la cantidad de tiempo invertido en tiempos soporte, ya que un 36% del tiempo total se dedica netamente a la preparación de materiales, limpieza y mediciones para que este trabajo quede en buenas condiciones, tiempo que con la instalación de paneles prefabricados (27% del tiempo), se reduce porque el proceso de actividades que incurren en tiempos soporte son mucho menores, pues la calidad de los acabados de los paneles se garantizan desde el proceso de

fabricación para que durante la instalación no se haga necesario invertir tiempo en estos. Lo anterior basándose únicamente en las dos muestras que se midieron a lo largo del trabajo.

6. REFERENCIAS

- Andamios Andino. (2016). *Andamio eléctrico circular Andino*. Recuperado el 28 de Febrero de 2016, de Andamios Andino: <http://www.andamiosandino.com/andamio-electrico-circular-andino/>
- Andamios Andino. (2016). *Plataforma para trabajo en alturas*. Recuperado el 28 de Febrero de 2016, de Andamios: <http://www.andamiosandino.com/plataforma-para-trabajo-en-alturas/>
- Andescol. (2011). *Andescol*. Obtenido de Andamios metálicostubulares-andamios con cruceta: <http://www.andescol.com/andamios-con-cruceta.html>
- Bellmunt , J. (2016). *Grúa Torre*. Recuperado el 12 de Marzo de 2016, de SIAFA: <http://www.siafa.com.ar/notas/nota39/gruatorre.htm>
- CAMACOL. (2014). *Cámara Colombiana de la Construcción*. Recuperado el 11 de Abril de 2016, de CAMACOL INNOVA 2020: <http://camacol.co/noticias/camacol-innova-2020>
- CAMACOL. (15 de Marzo de 2016). Construcción en cifras. Colombia.
- Constructing Excellence. (17 de Febrero de 2006). *Lean Construction*. Obtenido de Constructing Excellence: <http://constructingexcellence.org.uk/resources/lean-construction/>
- DANE. (1 de Abril de 2016). *Boletín técnico DANE*. Obtenido de Indicadores Económicos alrededor de la Construcción - IV trimestre de 2015: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/pib_const/Bol_ieac_IVtrim15.pdf
- Echeverry Hoyos, J. D., & Giraldo Palma, M. X. (Abril de 2012). *Mejoramiento de Procesos Constructivos de una Edificación a Partir de Simulación*. Recuperado el Agosto de 2015, de Pontificia Universidad Javeriana: <http://repository.javeriana.edu.co/bitstream/10554/2545/1/EcheverryHoyosJuanDiego2012.pdf>
- Echeverry Hoyos, J. D., & Giraldo Palma, M. X. (Abril de 2012). *Mejoramiento de Procesos Constructivos de una Edificación a Partir de Simulación Digital y Videos Time Lapse*. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia.
- El País. (28 de Marzo de 2015). Sector de la construcción, motor del crecimiento de la economía. *El País*.
- Empresa de Desarrollo Urbano. (2016). *Proceso de construcción de la nueva sede EDU*. Obtenido de Empresa de Desarrollo Urbano:

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

<http://www.edu.gov.co/site/actualidad/1555-proceso-de-construccion-de-la-nueva-sede-edu>

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito . (2015). Trabajo en altura - Laboratorio de condiciones de trabajo .

GICO. (2015). *GICO*. Recuperado el 20 de Septiembre de 2015, de GICO - Gestion integrada para la industria de la construcción: <http://www.gico.com.co/Default.aspx>

Hamed Issa, U. (2013). Implementation of lean construction techniques. *Alexandria Engineering Journal*.

Instituto Español del Cemento y sus Aplicaciones & Asociación Nacional de Fabricantes de Fachadas de Hormigón Arquitectónico. (2013). Montaje de fachadas de hormigón arquitectónico. España. Recuperado el 12 de Marzo de 2016

Janet Lenis, S. o. (24 de Noviembre de 2016). (J. C. Hernández, Entrevistador) Medellín, Antioquia, Colombia.

Jorge-Moreno, J., Lopez Robayo, O., & Dias Castro, J. (2014). *PRODUCTIVIDAD, EFICIENCIA Y SUS FACTORES EXPLICATIVOS EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCION EN COLOMBIA 2005-2010*. Recuperado el Agosto de 2015, de Scientific Electronic Library Online Colombia: <http://www.scielo.org.co/pdf/ceco/v33n63/v33n63a12.pdf>

Lenis, J. (24 de Octubre de 2016). Accidentalidad y seguridad de trabajos en altura. (J. H. Baez, & A. P. Blandon, Entrevistadores)

Línea Prevención . (2015). *Línea Prevención*. Obtenido de Identificación, descripción y características principales: http://www.lineaprevencion.com/ProjectMiniSites/IS35/html/2-1-2/2_1_2_1.html

MegaEquipos. (2011). *MegaEquipos Equipos para construcción- Industrial*. Obtenido de Plataformas: <http://megaequipos.com.co/plataformas/uploads/files/1246368159-genie-awp-30-s.pdf>

Observatorio inmobiliario catastral de Medellín - OIME. (2016). *Indicadores*. Recuperado el 4 de Abril de 2016, de Observatorio inmobiliario catastral de Medellín: <http://catastrooime.blogspot.com.co/p/indicadores.html>

Revista propiedades. (2016). Bruja Bonita. Medellín.

SAECO. (2013). *SAECO Alquiler de Equipos de construcción*. Obtenido de Andamio Multidireccional certificado: <http://www.saeco.com.co/sistemas-para-trabajo-seguro-en-alturas/16-sistemas-de-encofrado/40-andamio-multidireccional-certificado>

La información presentada en este documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no compromete a la EIA.

- Salazar Giraldo, C. A. (9 de Septiembre de 2015). Productividad en elaboracion de fachadas. (A. M. Parra Blandon, & J. C. Hernandez Baez, Entrevistadores)
- Sánchez Hurtado, J. F. (2010). *Paneles prefabricados de hormigón en fachadas*. Recuperado el 12 de 02 de 2016, de Universidad Politécnica de Madrid: http://oa.upm.es/4518/1/TESIS_MASTER_JUAN_FRANCISCO_SANCHEZ_HURTADO.pdf
- Soefec. (2015). *Soefec Andamios certificados*. Obtenido de EL Sistema de Andamiaje Colgante SOEFEC S.A.S cuenta con la certificación EUROPEA de examen tipo CE AENOR. : <http://www.soefec.com/colgante.html>
- SURA. (2016). Formulación, seguimiento y análisis a los indicadores de seguridad y salud en el trabajo.
- Universidad Politecnica de Cataluña & Escuela politécnica superior de edificación de Barcelona. (16 de Noviembre de 2011). Gestión de explotación de edificios - Fachadas. Barcelona.