

Analysis of the Variables and Proposal for Improving the Assembly Performance of Metal Structures in Cuenca-Ecuador.

Análisis de Variables y Propuesta de Mejora del Rendimiento de Montaje de Estructuras Metálicas en Cuenca-Ecuador.

Autores:

Poveda-Pulla, Marcelo Xavier
Universidad Católica de Cuenca
Posgradista, del programa de maestría en Construcciones con mención en Administración de la construcción Sustentable
Cuenca – Ecuador



marcelo.poveda.90@est.ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-9640-9577>

Ing. Vásquez-Quiroz, Pablo Tiberio MBA, PMP
Universidad Católica de Cuenca
Docente, del programa de maestría en Construcciones con mención en Administración de la Construcción Sustentable
Cuenca – Ecuador



pablo.vasquez@ucacue.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0002-3261-5523>

Citación/como citar este artículo: Poveda-Pulla, Marcelo Xavier. Y Vásquez-Quiroz, Pablo Tiberio. (2023). Análisis de Variables de Mejora del Rendimiento de Montaje de Estructuras Metálicas en Cuenca-Ecuador. MQRInvestigar, 7(3), 432-460.

<https://doi.org/10.56048/MQR20225.7.3.2023.432-460>

Fechas de recepción: 01-JUN-2023 aceptación: 09-JUL-2023 publicación: 15-SEP-2023



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>
<http://mqrinvestigar.com/>

Resumen

El presente trabajo de investigación abarca el análisis de las variables del montaje de las estructuras metálicas que se van convirtiendo en una alternativa eficaz a la hora de realizar un proyecto, en el Ecuador se ha vuelto un sustituto ideal de las estructuras tradicionales de hormigón armado, esto con el objetivo de mejorar el proceso de montaje donde se identificó las variables que intervienen en el proceso de armado de estructuras de acero, una vez identificadas se evaluó el rendimiento de algunas variables, y una vez analizada toda la información de la variables que intervienen en el proceso de montaje se propuso un procedimiento que mejore de manera importante el armado de las estructuras, para identificar y analizar todas estas variables y obtener la información adecuada se lo realizó a través de encuestas a 23 profesionales dedicados al montaje de estructuras metálicas, donde se identificaron aspectos de mejora como capacitar al personal involucrado en un 16.1%, mejorar los procesos de soldadura utilizados 6%, tener una planificación de la obra desde el inicio 15,25%, tener disponibilidad de materiales, equipos y máquinas en un 11% para la correcta ejecución de la obra, exista una mejor comunicación entre personal involucrado y sin duda un factor importante dentro del proceso y que afecta al montaje son las condiciones climáticas, se obtuvo rendimientos de montaje de estructuras que superaban el 79% y 92% para estructuras pesada y liviana respectivamente mientras que los rendimientos en día con lluvia bajan drásticamente al 8% y 21% para estructura liviana y pesada en consecuencia existirá variables que se puedan controlar y mejorar como capacitación del personal, asequibilidad de materiales, equipos y máquinas, y otras como las condiciones climáticas buscar soluciones para no bajar el rendimiento del proceso, todo esto con el fin de mejorar las prácticas de montaje de estructuras metálicas y comprender de mejor manera el procedimiento.

Palabras claves: Estructura metálica, variables, rendimiento, montaje, Gestión.

Abstract

This research work covers the analysis of the variables of the assembly of metal structures that are becoming an effective alternative when carrying out a project, in Ecuador has become an ideal substitute for traditional reinforced concrete structures, this with the aim of improving the assembly process where the variables involved in the assembly process of steel structures were identified, once identified, the performance of some variables was evaluated, Once all the information on the variables involved in the assembly process had been analyzed, a procedure was proposed to significantly improve the assembly of the structures. To identify and analyze all these variables and obtain the appropriate information, a survey was conducted with 23 professionals dedicated to the assembly of metallic structures. 1%, improve the welding processes used 6%, have a planning of the work from the beginning 15.25%, have availability of materials, equipment and machines in 11% for the proper execution of the work, there is a better communication between personnel involved and undoubtedly an important factor in the process and that affects the assembly are the weather conditions, In the case of heavy and light structures, assembly yields of structures that exceeded 79% and 92% respectively were obtained, while yields on rainy days drop drastically to 8% and 21% for light and heavy structures. Consequently, there will be variables that can be controlled and improved, such as personnel training, availability of materials, equipment and machines, and others such as weather conditions, in order to find solutions to avoid lowering the performance of the process, all this in order to improve the assembly practices of metal structures and to better understand the procedure.

Keywords: metal structure, variables, performance, assembly.



Introducción

El sector de la construcción ha ido evolucionando notablemente a lo largo del tiempo, el uso de nuevos materiales y métodos de construcción son cada vez más frecuentes reemplazando a los materiales tradicionales como el hormigón por elementos prefabricados como perfiles metálicos, vigas, columnas, entre otros, proporcionando ventajas como reducción del tiempo de ejecución de la obra, buenas propiedades mecánicas de la estructura, menor peso en grandes estructuras, eficiencia en el proceso de montaje, entre otras, estas son algunas de las ventajas que ofrece el proceso de montaje de las estructuras. Pinos et al. (2021).

Dentro de los materiales utilizados actualmente en el sector de la construcción tenemos al acero que se usa ampliamente en varias aplicaciones de ingeniería civil como edificios, puentes, centros comerciales, casas entre otros, los beneficios de las estructuras de acero son la resistencia, durabilidad, facilidad en el diseño, rentabilidad, entre otras. Osuizugbo et al. (2021)

Esta investigación se empezó para poder establecer un conjunto de medidas comunes para poder mejorar la productividad dentro del montaje de estructuras metálicas y poder comprender y mejorar la práctica de montar estructuras de acero en la industria. Osuizugbo et al. (2021). Uno de los aspectos más importantes y que genera mayor preocupación dentro de un proceso de montaje tiene que ver con la proyección del valor y duración de la misma, aquí fundamentalmente es con respecto a cómo determinar los rendimientos de las diferentes actividades en el proceso de montaje de estructuras metálicas, de manera general para definir estos rendimientos que se usan en estos cálculos se basan en tablas que son desarrolladas para condiciones de trabajo no especificadas y con criterios desconocidos debido a que generalizan y simplifican la información. Remolina et al., (2014)

Por ello en esta investigación parte de identificar los factores que afectan la productividad dentro del montaje y proponer una metodología que mejore el rendimiento de las variables en el proceso del montaje de estructuras metálicas todo esto con el fin de mejorar y buscar estrategias para mejorar el proceso de montaje de estructuras de acero Osuizugbo et al., (2021), especialmente el rendimiento de la mano de obra, parte fundamental de la industria de la construcción, aunque en la actualidad el proceso se ha mejorado en ciertos componentes como el uso de equipos especializados en soldadura, herramientas eléctricas como taladros, amoladoras entre otros que ayudan a reducir el tiempo del proceso, aun se requiere de forma predominante a los obreros y una planificación para el montaje, la mano de obra es sin duda uno de los principales factores en la industria de la construcción, estas personas son las que programan y ejecutan todas las actividades requeridas para cumplir con los objetivos establecidos en la obra (Bohórquez et al., 2018), es por ello que se busca mejorar el rendimiento, todo este tiene un beneficio directo en las empresas en tener una ventaja competitiva en el mercado laboral todo esto bajo las normas de calidad establecidas del Ecuador. Cabrera et al. (2016)

Por lo mencionado anteriormente en la presente investigación su busca identificar las variables que intervienen en el proceso de montaje, evaluar dichos factores y proponer una metodología que busque mejorar el proceso del montaje de estructuras metálicas.

Marco Teórico

Estructura Metálica

Una estructura metálica es el conjunto de elementos que se conectan entre sí que incluyen anclajes, ganchos, pernos, tornillos, tuercas y a través de la soldadura para cumplir la funciones para cual fue solicitada, como puentes, naves industriales, estructuras de edificios, casas, galpones, entre otras aplicaciones. En las construcciones actualmente el acero es uno de los materiales que más se utilizan, debido a las múltiples ventajas que presentan como la reducción del peso, presenta alta resistencia mecánica, facilidad que presenta al momento de ejecutar el montaje y menor tiempo de ejecución con respecto a las estructuras de hormigón armado. Pinos et al. (2021)

En este tipo de estructuras se aprovecha los elementos prefabricados, se ejecuta un montaje planeado, y con equipos y mano de obra cualificada deberá ejecutarse en el menor tiempo posible para la optimización de recursos.

De acuerdo con ferros el concepto de estructura metálica se refiere a cualquier tipo de estructura realizada y conformada por elementos metálicos, siendo uno de estos el acero estructural debido a que cumple con requisitos de estabilidad, resistencia y rigidez necesarias en este tipo de estructuras.

Montaje de estructuras Metálicas

Las estructuras metálicas como se ha mencionado anteriormente están conformadas por varios elementos como lo son columnas vigas, placas, perfiles, entre otros que se unen a través de pernos, tornillos, soldadura y cualquier otro proceso que este establecido bajo las normas que rigen el armado de este tipo de estructuras, por esto el proceso de montaje es unir de forma ordenada y de acuerdo a los planos de montaje para ir dando forma a la estructura metálica, aquí los materiales deben estar paralelos y perpendiculares entre casi como las formas básica en este proceso. Pinos et. al. (2021)

Productividad en estructuras de acero

Todo proyecto en el sector de la construcción se debe regir de una secuencia de procesos específicos, complejos y que se relacionen. Estas actividades van destinadas a fin de lograr el propósito de manera técnica y específica dentro de los límites de costo, tiempo y las especificaciones solicitadas.

Rendimiento de mano de obra

Los rendimientos son importantes dentro del sector de la construcción, y uno de los más importantes es el rendimiento de mano de obra (RMO) y que se define como la cantidad de actividades constructivas que ejecuta un obrero una cuadrilla en un tiempo determinado, este tipo de rendimiento se mide um/hm donde “um” es unidad de medida y “hm” hora hombre, en pocas palabras el rendimiento de mano de obra es el tiempo estimado de las personas en ejecutar una actividad en concreto y que permite efectuar un análisis comparativo y una estimación del tiempo en la ejecución del proyecto a través de la planificación del mismo. Valdez et al. (2021)

El rendimiento de mano de obra expresa la cantidad de trabajo que ejecutan los trabajadores en una determinada obra y que van de la mano con las otras actividades de presupuesto, planificación y realización de un proyecto, este rendimiento permite gestionar de la mejor manera posible el proyecto. Fajardo et al. (2021)

Material y métodos

Tipo de investigación

Material

La investigación propuesta empleo un enfoque cuantitativo debido a la naturaleza de los datos obtenidos. Esta información se la obtuvo a partir de la revisión bibliográfica disponible, mientras la recopilación de datos fue a través de la encuesta planteada a las empresas que trabajan en esta área de la industria de estructuras metálicas de la ciudad de Cuenca, también se obtuvo información de los rendimientos diarios de montaje en estructura liviana correspondiente a una casa pequeña y de estructura pesada concerniente a un centro comercial ubicado en la ciudad.

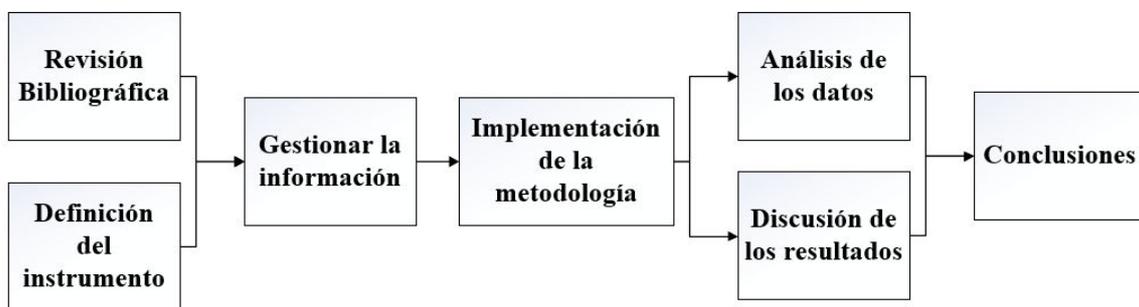
En cuanto al diseño de la encuesta se dio a través de un cuestionario para la recolección de la información pretende ser realizada de manera simultánea, en cuanto a la información de los rendimientos diarios de las obras mencionadas anteriormente para estructura pesada y liviana se recoge de manera experimental en el sitio de obra tabulando los datos obtenidos para luego ser analizados.

Proceso Metodológico

El proceso metodológico propuesto para el desarrollo de la presente investigación se indica en la figura 1.



Figura 1
Proceso Metodológico



Método

El universo de estudio son las 23 empresas constructoras encuestadas en la ciudad de Cuenca y que se dedican a esta actividad del montaje de estructuras metálicas.

En cuanto al muestreo, se aplicó un muestreo simple al azar por medio de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{NZ^2_{\alpha/2}pq}{e^2(N-1) + pqZ^2_{\alpha/2}}$$

Donde:

$Z^2_{\alpha/2}$: a distribución normal estándar para un determinado nivel de confianza.

N : tamaño de la población

e : error de estimación máximo tolerable

p : proporción de elementos que poseen la característica de interés

q : $1 - p$

El cálculo para la muestra, con un nivel de confianza del 95%, un error máximo tolerable del 5%, y un valor p de 0.5 se expone a continuación:

Para el caso de la investigación se procede a completar con los siguientes valores:

$$n = \frac{(25)(0.95)^2(0.5)(0.5)}{(0.05)^2(25 - 1) + (0.5)(0.95)^2(0.5)}$$

$$n = 19.74$$

$$n = 20$$

Recolección de la información:

Para recoger la información en la presente investigación es a través de la encuesta. La herramienta utilizada será el cuestionario, la encuesta será aplicada a la muestra, es decir al número de personas que se entreviste para obtener la información deseada.

Tratamiento de datos

El análisis de la información obtenida será evaluado mediante una secuencia de pasos para que esta información sea interpretada y utilizada de manera sencilla.

- Obtención de la información
- Análisis de datos
- Interpretación de la información
- Tratamiento de los datos
- Discusión de resultados

Consideraciones de la encuesta

Para realizar la presente investigación, especialmente, para recopilar los datos necesarios mediante encuesta, se utilizó la base de datos de la Superintendencia de Compañías, Valores y Seguros, en donde nos muestra que hay 25 empresas profesionales y legalmente formadas en Cuenca que trabajan en estructuras metálicas, de las cuales fueron 23 encuestadas, dentro de la empresa se buscó a profesionales que las representen entre los que encontramos a gerentes, directores, ingenieros del área en estructuras, que mediante su consentimiento se solicitó contestar la encuesta, para poder recabar los datos necesarios para su uso y posterior análisis de los resultados obtenidos.

Resultados

A continuación, se presenta los resultados obtenidos de las encuestas realizadas a personas dedicadas al ámbito de las estructuras metálicas y estos son los resultados.

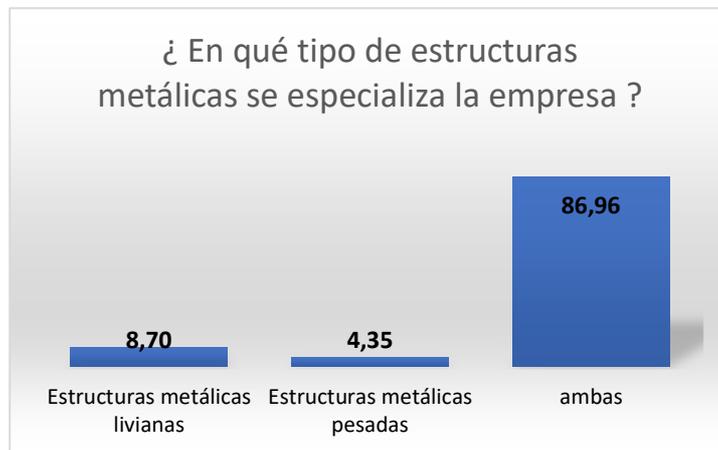
Presentación de resultados de la encuesta

1. ¿En qué tipo de estructuras metálicas se especializa su empresa?

A las empresas encuestadas en Cuenca, la mayoría se dedican al montaje de estructuras metálicas de ambos tipos, tanto livianas como pesadas con un porcentaje del 87% de montaje en estructuras mixtas.

Figura 2

Resultados obtenidos a la pregunta ¿En qué tipo de estructuras metálicas se especializa su empresa?

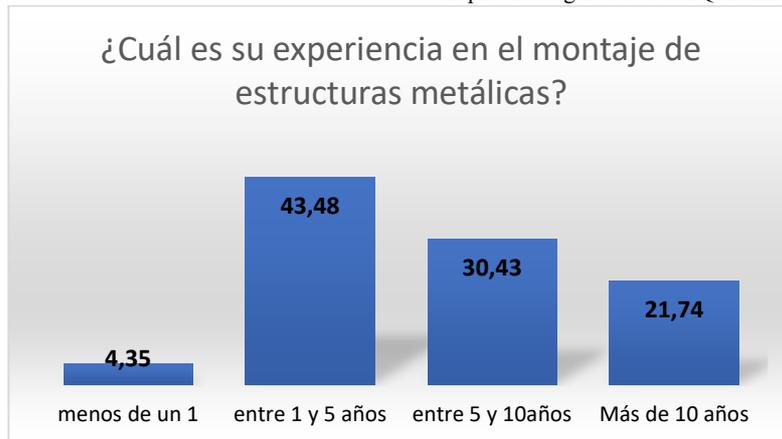


2. ¿Cuál es su experiencia en el montaje de estructuras metálicas?

Los resultados obtenidos de la figura 3 nos refleja que las empresas encuestadas con menos de 5 años de experiencia representan aproximadamente el 44%, entre 5 y 10 años un 30% y con experiencia de más de 10 años un 22% aproximadamente, esto nos manifiesta que en Cuenca la mayoría de empresas formales que trabajan en estructuras metálicas son empresas nuevas y emergentes que demuestran el crecimiento en Cuenca de la construcción en acero.

Figura 3

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Cuál es su experiencia en el montaje de estructuras metálicas?

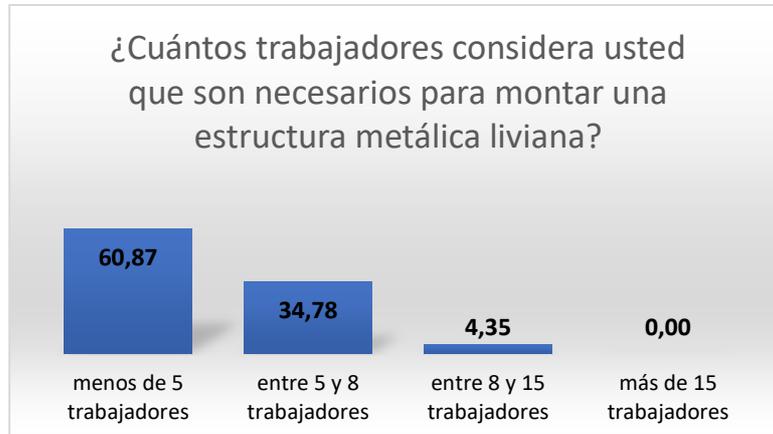


3. ¿Cuántas personas considera usted que necesita en su cuadrilla para montar una estructura metálica liviana?

Los resultados obtenidos de la figura 4 nos arroja resultados que se necesitan al menos 5 trabajadores un 61% aproximadamente y 35% nos indica que se requiere un entre 5 y 8 trabajadores, y que todo esto dependerá de los plazos de entrega del proyecto a ejecutarse.

Figura 4

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Cuántas personas considera usted que necesita en una cuadrilla para montar una estructura metálica liviana?

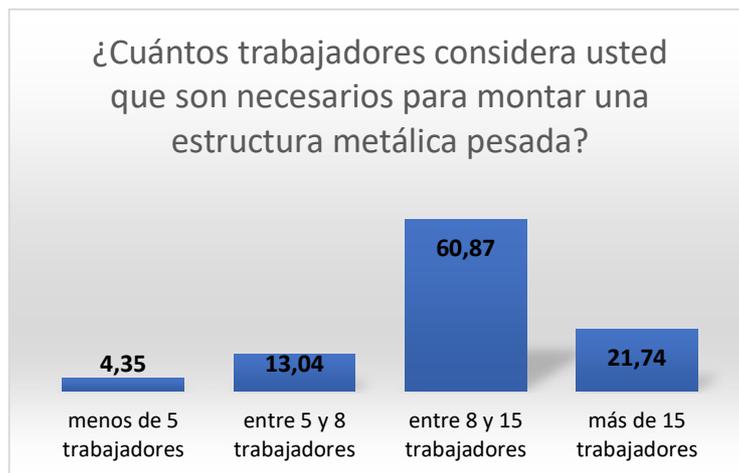


4. ¿Cuántas personas considera usted que necesita en una cuadrilla para montar una estructura metálica pesada?

Los resultados obtenidos de la figura 5 nos arroja resultados que nos indica que para poder ejecutarse un proyecto de estructura metálica pesada se necesita entre 8 y 15 trabajadores de la misma manera un 61% aproximadamente, un 22% de los encuestados cree que se necesitan más de 15 trabajadores y 13% indica que se necesita entre 5 y 8 trabajadores para poder realizar este tipo de proyectos.

Figura 5

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Cuántas personas considera usted que necesita en una cuadrilla para montar una estructura metálica pesada?

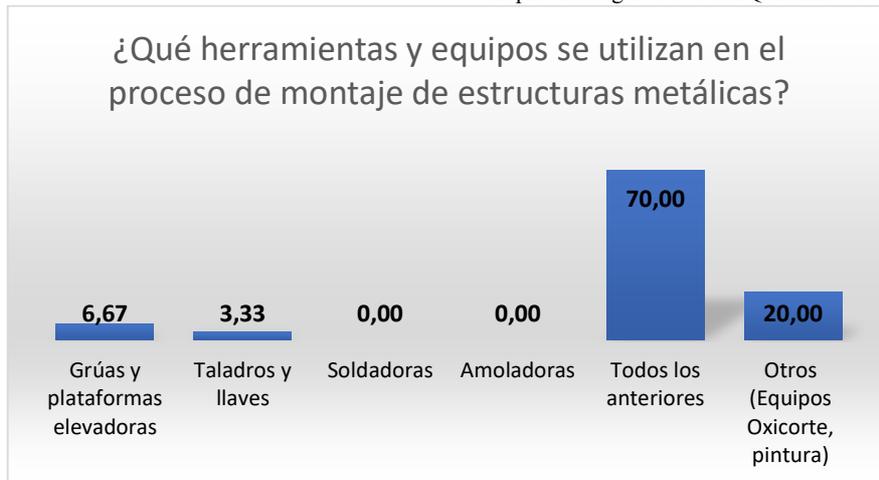


5. ¿Qué herramientas y equipos se utilizan en el proceso de montaje de estructuras metálicas?

Los resultados obtenidos de la figura 6 nos refleja que la mayoría de personal de montaje requiere soldadoras, amoladoras, elementos de izaje, herramientas de perforación y ajuste para poder ejecutar un proyecto de estructura metálica, y que aparte de estos se necesita equipos de corte de metal como oxicorte o plasma, y también equipos de pintura entre los más importantes.

Figura 6

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Qué herramientas y equipos se utilizan en el proceso de montaje de estructuras metálicas?

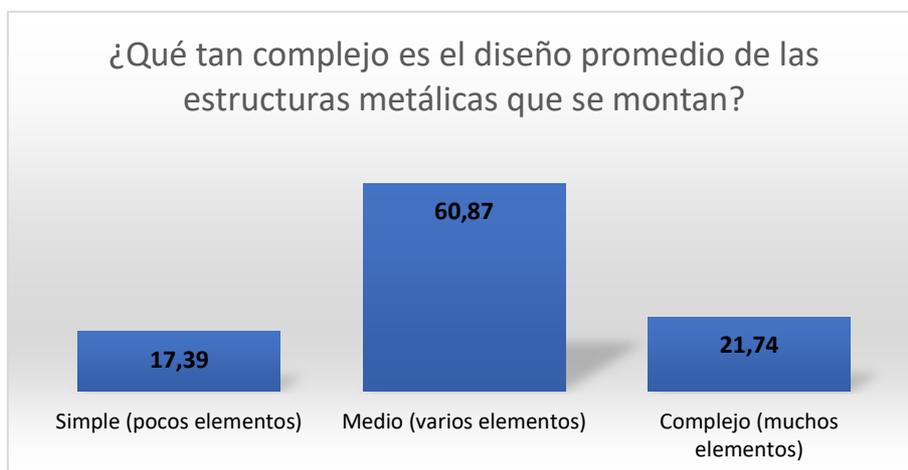


6. ¿Qué tan complejo es el diseño promedio de las estructuras de las estructuras metálicas que se montan?

Los resultados obtenidos de la figura 7 nos indica que la mayoría de estructuras que se ejecutan en la ciudad de Cuenca de un grado de complejidad medio con 61% aproximadamente, un 22% aproximadamente y 18% se ejecutan estructuras simples, esto nos hace ver qué tipo de estructuras se realizan.

Figura 7

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Qué tan complejo es el diseño promedio de las estructuras metálicas que se montan?



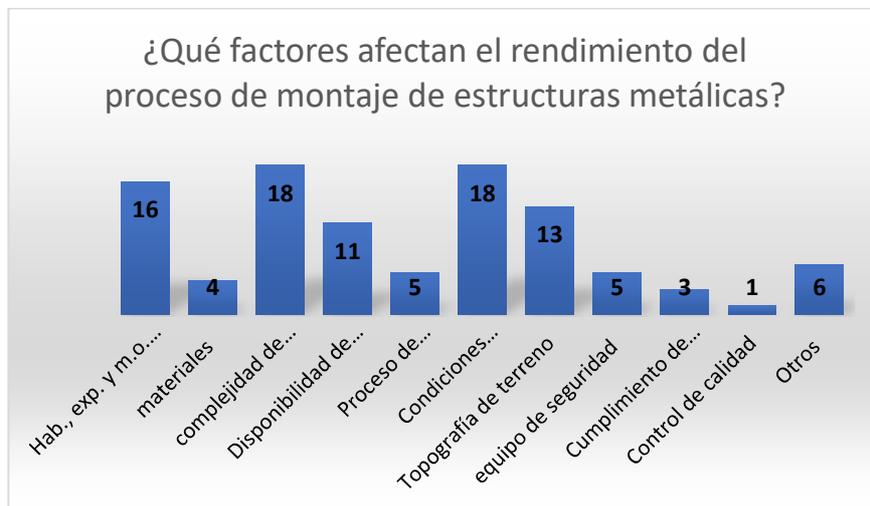
7. ¿Qué factores afectan el rendimiento del proceso de montaje de estructuras metálicas?

Los resultados obtenidos de la figura 8 indica que existe una serie de factores que afectan de manera significativa el montaje de las estructuras metálicas entre los cuales tenemos la complejidad de diseño, la habilidad, experiencia de la mano de obra, topografía de terreno,

el acceso a las máquinas, y las condiciones climáticas todos estos factores repercuten en el desempeño de montar una estructura de acuerdo a los profesionales encuestados como se indica en la figura 8, existen otros factores menos significativos que afectan poco al montaje como son materiales, cumplimiento de la normativa legal, control de calidad, equipo de seguridad, y por último existen otros factores que indican que también afectan al montaje como herramientas en mal estado, mala coordinación en la obra, mala planificación de actividades, falta de comunicación, que no exista suministro de energía eléctrica, entre otros.

Figura 8

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Qué factores afectan el rendimiento del proceso de montaje de estructuras metálicas



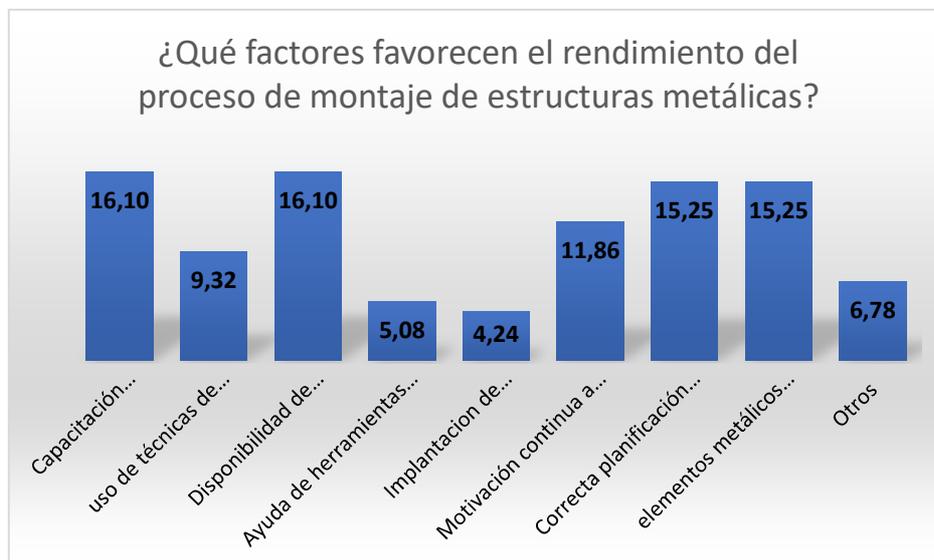
8 ¿Qué factores favorecen el rendimiento del proceso de montaje de estructuras metálicas?

Los resultados obtenidos de la figura 9 muestra que hay una algunos factores que contribuyen a mejorar el desempeño en el montaje de las estructuras metálicas y que de acuerdo a la figura

9 se tiene que la capacitación continua al personal, disponibilidad de materiales, correcta planificación de la obra y que todos los elementos estructurales cumplan con los requerimientos mínimos para ejecutar la obra, otros factores que contribuirán pero en menor medida como técnicas de planificación por parte de los administradores, uso de herramientas computacionales, implantación de un programa de seguridad industrial y existen otros factores que sugieren los profesionales para mejorar el desempeño en el montaje de estructuras como son incentivos laborales, experiencia en lugares críticos, equipos con sus planes de mantenimiento, buena comunicación entre las personas involucradas, que no existan cambios en el diseño, planos de montaje claros, entre otros.

Figura 9

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Qué factores favorecen el rendimiento del proceso de montaje de estructuras metálicas

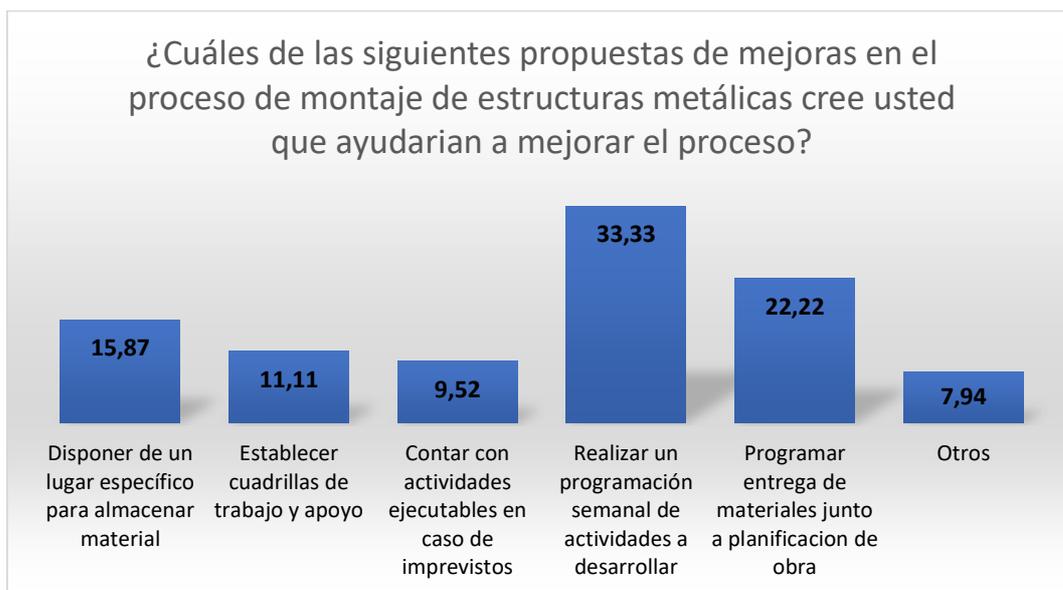


9. ¿Cuál de las siguientes propuestas de mejoras en el proceso de montaje de estructuras metálicas cree usted que ayudarían a mejorar el proceso?

Los resultados obtenidos de la figura 10 indica las propuestas de mejora para el montaje de las estructuras metálicas y que de acuerdo a la figura 10 es importante realizar una programación semanal de las actividades a ejecutar con un 33%, con 22% es importante programar la entrega de materiales conjunto a la planificación de la obra, con un 16% aproximadamente poseer un lugar para almacenar el material cercano al lugar de la obra, con un 11% se debería establecer cuadrillas de trabajo y apoyo, con un 9.5% contar con actividades ejecutables en caso de imprevistos con la obra, y entre otras propuestas de mejora con un 8% aproximadamente se tiene planificar los requerimientos de insumos y consumibles de las máquinas, de acuerdo a la complejidad de la obra planificar mensualmente, semanalmente o diariamente de acuerdo al caso, tener un plan de mantenimiento preventivo, tener un plan de seguridad para los trabajadores, utilizar elementos de izaje potentes y modernos, entre otros.

Figura 10

Resultados obtenidos a la pregunta ¿Cuál de las siguientes propuestas de mejoras en el proceso de montaje de estructuras metálicas cree usted que ayudarían a mejorar el proceso?



Análisis de rendimiento de montaje para vigas y columnas en estructura pesada y liviana

Para el análisis de este rendimiento en montaje de estructuras metálicas, se tomó en consideración por separado el montaje de columnas y el montaje de vigas, ya que en promedio las columnas son de sección más grande y pesada en comparación con las secciones y peso de vigas, además para la toma de datos se realizó diferenciando estructura pesada y estructura liviana.

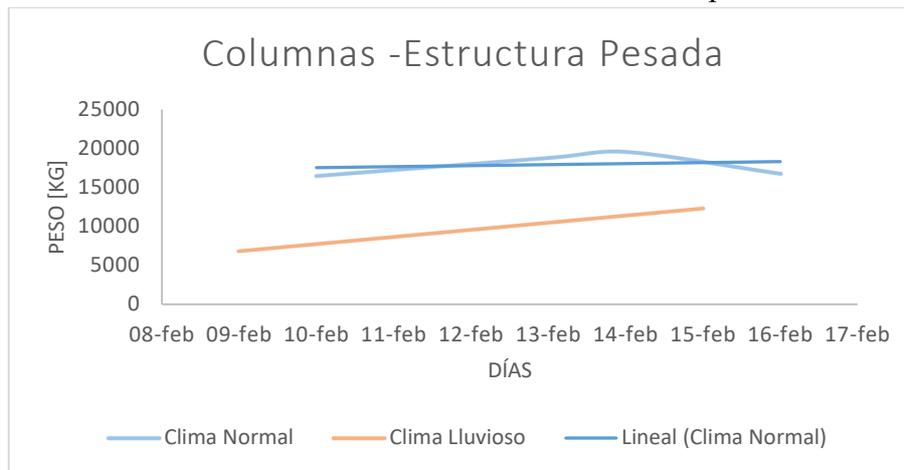
Para el análisis de estructura pesada se tomó como muestra el montaje de una bodega de alta carga ubicada en Zhullin con un peso promedio de 60Kg/m², para el análisis de estructura liviana se tomó como muestra el montaje de una casa de 2 plantas, con losa de entrepiso y cubierta, en la zona de Challuabamba, con un peso promedio de 40Kg/m².

Estructura pesada

La figura 11 indica el rendimiento en columnas para estructura pesada, se realiza en promedio por día el montaje de 18000Kg, también se ve claramente que el rendimiento en un día normal es el doble con respecto a un día lluvioso.

Figura 11

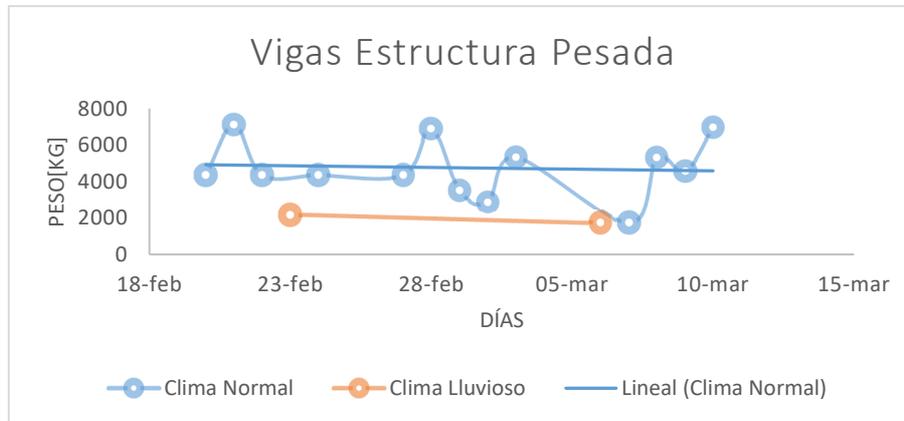
Rendimiento diario de columnas en estructura pesada.



La figura 12 muestra el rendimiento de vigas para estructura pesada, exponiéndonos que en promedio en nuestro medio se realiza el montaje de 5000Kg diarios en un día con clima normal y unos 2000Kg en un día con lluvia. El montaje de vigas en estructura pesada representa un 30% del peso comparado a columnas.

Figura 12

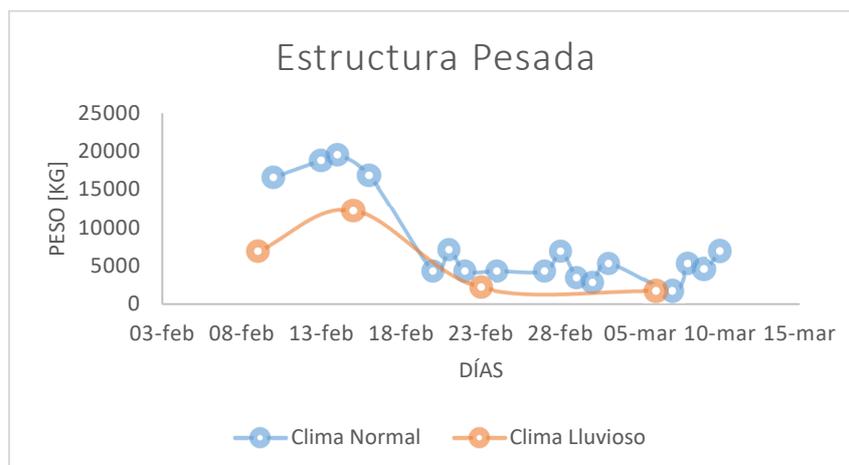
Rendimiento diario de vigas en estructura pesada



La figura 13 indica los rendimientos diarios de montaje tanto de columnas como de vigas para un día normal y uno lluvioso para una estructura pesada y como se aprecia las dos curvas tienen la misma tendencia, evidentemente el rendimiento de un día normal es superior al de un día lluvioso, inicialmente se observa mayor peso montado ya que las columnas se instalan primero y luego las vigas que poseen menor peso.

Figura 13

Rendimiento diario de una estructura pesada

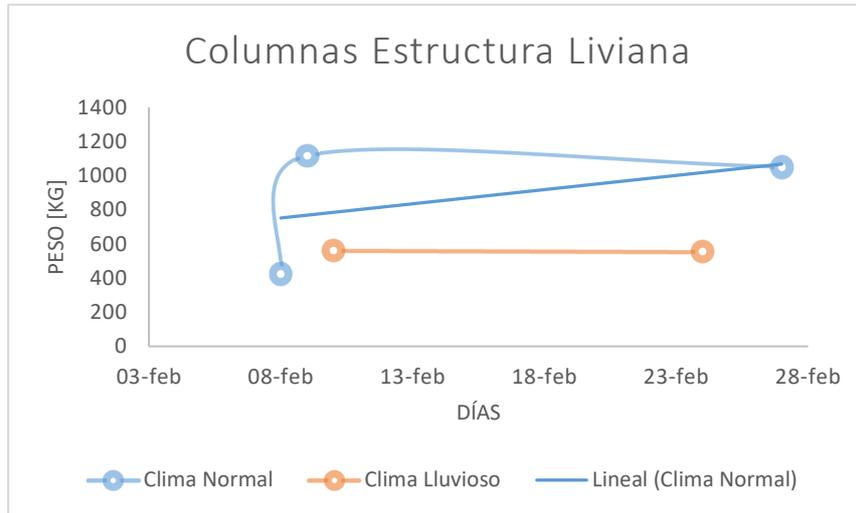


Estructura liviana



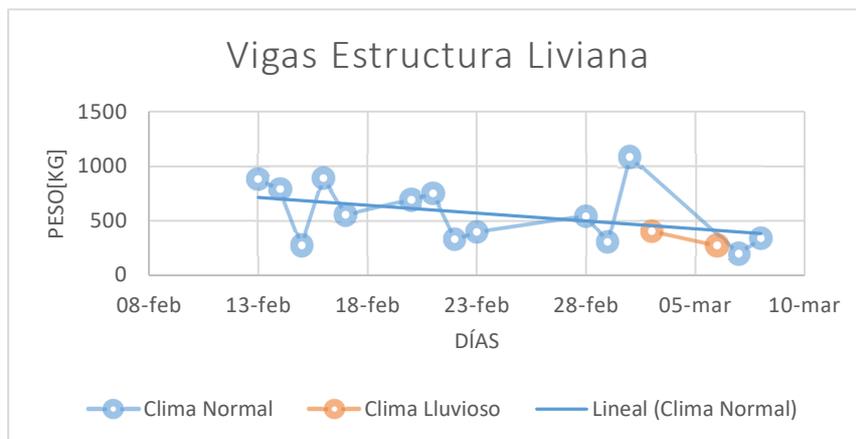
La figura 14 indica el rendimiento en columnas para estructura liviana se muestra que se realiza el montaje de 900KG en promedio diario en un día normal y unos 600Kg en un día lluvioso.

Figura 14
 Rendimiento diario de columnas en estructura liviana.



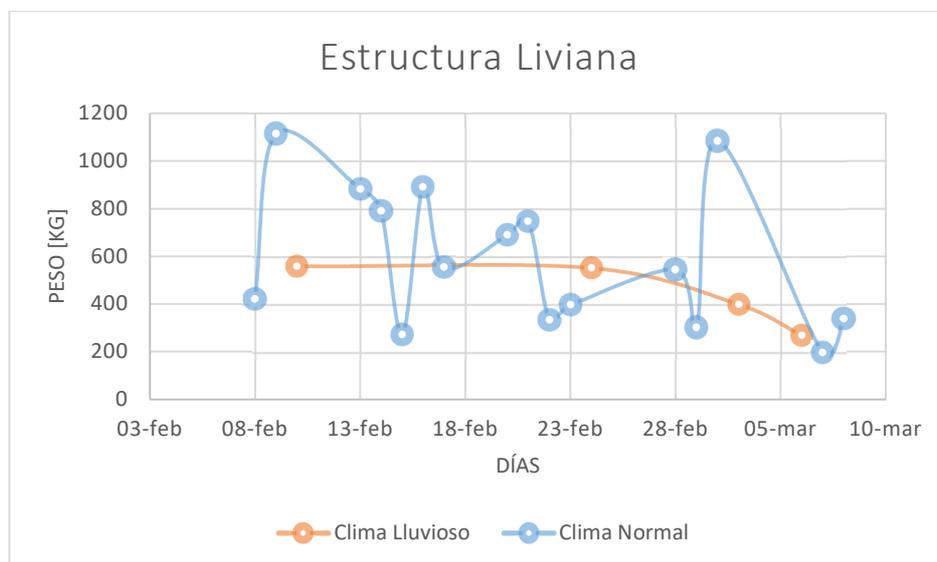
La figura 15 muestra el rendimiento de vigas para estructura liviana de igual manera la eficacia en el montaje es el doble ciertos puntos para un día normal con respecto a un día lluvioso, en promedio se realiza el montaje de 600Kg, es decir que representa un 65% aproximadamente del peso con respecto a las columnas.

Figura 15
 Rendimiento diario de vigas en estructura liviana



La figura 16 indica los rendimientos diarios de montaje para un día normal y uno lluvioso tanto de columnas como de vigas para una estructura liviana y como se aprecia las dos curvas la del día normal tiene una curva con varios puntos de inflexión, mientras la del día lluvioso mantiene una curva definida, claramente el rendimiento de un día normal es superior al de un día lluvioso, y en algunos puntos las dos curvas se cruzan, esto quiere decir ese día montaron el mismo peso, igualándose los rendimientos. La curva muestra algunos picos diferentes ya que en una estructura liviana hay más tipos de secciones diferentes a comparación de estructuras pesadas.

Figura 16
 Rendimiento de una estructura pesada



Análisis de los Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos y el análisis producto de las encuestas aplicadas.

Discusión

De los datos recabados algunos de los factores importantes que favorecen al montaje de las estructuras de acuerdo a los encuestados y que se debería considerar en el montaje de las estructuras: capacitar al personal, tener disponibilidad de materiales, equipos máquinas, una correcta planificación y que los elementos cumplan con geometría y tolerancias de medidas, en cambio los factores que afectan al proceso de montaje personal con poca experiencia, complejidad de diseño, las condiciones climáticas, topografía del terreno, disponibilidad de máquinas, materiales y equipos entre los más relevantes.

Los rendimientos obtenidos de los elementos principales de vigas y columnas tanto para estructura liviana y pesada y que indican el comportamiento en el montaje de un día normal y un día lluvioso marcan una tendencia de que se monta el doble de peso un día normal respecto a un día lluvioso para todos los elementos, esto es debido principalmente a que en un día lluvioso no se puede realizar el proceso de soldadura, se dificulta el traslado de los elementos principalmente y esto ocasiona que el montaje sea menos eficiente.

Dentro del análisis del montaje de las estructuras metálicas un aspecto importante a tomar en cuenta es el control de calidad del proceso de fabricación de las estructuras y para esto se debe seguir una serie de pasos sistemáticos que garanticen la calidad de las estructuras metálicas.

Plan de control de calidad

Para gestionar un control de calidad y garantizar el producto final en este caso las estructuras metálicas se basan en dos aspectos que son el aseguramiento de la calidad (QA) que se enfoca en los procesos de fabricación y que estos sean realizados de manera correcta previniendo inconvenientes y el otro aspecto el control de calidad (QC) que se enfoca en el producto y que tiene por finalidad identificar la mayor cantidad de defectos para asegurar que el producto en este caso la estructura cumpla las especificaciones solicitadas por el cliente todo esto es ejecutado por el ingeniero, inspectores de calidad (QA/QC), este control de calidad se ejecuta bajo códigos, normas o especificaciones para que sea ejecutado de manera efectiva, se realiza la inspección visual método primordial en soldadura que trata de identificar la mayor cantidad de defectos, también se debe establecer el mínimo nivel de evaluación para rechazar o aceptar dichos defectos, y de ser necesario complementar con ensayos no destructivos para los defectos que no se puedan ver y complementen la inspección y en este caso se procede con la norma AWS D1.1 es el código de soldadura estructural en acero o a su vez el código correspondiente.

Para ejecutar un correcto control de calidad se lo realiza por etapas antes, durante y después del proceso de fabricación.

Etapas de control de calidad

Antes de ejecutar un control de calidad se debe revisar los planos de fabricación, el código bajo el cual se va a fabricar, las especificaciones del cliente y los procedimientos y analizar que se va inspeccionar, donde se lo va a realizar y cuando se lo va a realizar y como se lo va a ejecutar.

Antes del proceso de soldadura

Se deben realizar las siguientes acciones para poder ejecutar el proceso:

- Revisar documentos como lo son las especificaciones del cliente, planos de fabricación, las inspecciones que se debe hacer entre los más importante.

- Verificar la especificación del procedimiento de soldadura (WPS), registro de calificación de procedimiento (PQR) y el registro de calificación de soldadores (WPQR).
- Establecer puntos de espera (hold points), esto permite que el trabajo sea aceptado paso a paso conforme avanza el trabajo, en lugar de esperar a que se complete la estructura.
- Desarrollar un plan de inspección y prueba, que tipo de inspección se va a hacer sea esta inspección visual, liquido penetrante, radiográfica, partículas magnéticas o ultrasonido, también se define qué porcentaje de la soldadura va a ser examinado si completo o parcialmente.
- El plan de inspección define los reportes, el sistema de identificación de los rechazos y el almacenamiento de los registros.
- Dentro de los reportes se debe revisar los parámetros de las juntas a soldar para que sean preparadas adecuadamente y se debe examinar los parámetros como abertura de raíz, ángulo de ranura, cara de raíz y alineamiento también se debe analizar la distorsión esperada, inherente al proceso de soldadura.

Durante el proceso

- Revisar que todos los parámetros sean los correctos y que vayan de acuerdo al procedimiento de soldadura.
- Revisar la calidad de cada uno de los pases en los cordones de soldadura, esto lo ejecuta un soldador calificado a través de la inspección visual.
- Revisar la pulcritud de las juntas y además la temperatura entre cordones siendo este muy importante en elementos de gran espesor para que el proceso sea el correcto.
- Revisar la superficie de saneado porque de ser necesario se revisa la raíz para garantizar una penetración completa en la junta soldada y de ser necesario recurrir a los ensayos no destructivos pertinentes.

Después del proceso

- Se revisa las juntas soldadas, de esto se ve el tamaño, la apariencia, la localización de las juntas de acuerdo a los planos de fabricación, que las medidas finales del componente analizado estén dentro del rango de tolerancia definida.
- Dentro de los parámetros del cordón de soldadura se debe inspeccionar el pase raíz que es muy importante, además se debe revisar el perfil y la presencia o no de discontinuidades y que están no se excedan el criterio de aceptación.
- Dentro de las discontinuidades típicas que se tiene en soldadura tenemos fisuras, salpicaduras, inclusiones de escoria, porosidades, falta de penetración, traslape, entre otras.

- Finalmente se deben generar los reportes de inspección.

Como se había mencionado anteriormente las personas que realicen el trabajo, deben ser personas capacitadas, calificadas y certificadas, para que ejecuten de manera correcta el trabajo, debido a que es importante para garantizar la calidad del producto final.

En el plan de control de calidad también se enfoca en los equipos a utilizarse, se deben estar calibrados para que arrojen los datos reales y el personal penitente realice el trabajo de manera correcta, al ser la mayoría equipos eléctricos, se debería ejecutar mantenimientos preventivos que garanticen el correcto funcionamiento de los mismos, por lo general se realiza una inspección visual de componentes, se detecta si existe vibraciones, se revisa rodamientos, se ejecuta limpieza y lubricación periódica, se revisa componentes eléctricos del motor.

Uno de los factores que repercuten en el rendimiento del montaje de estructuras es el clima y para ello se debe tener un plan emergente para responder en este caso de imprevistos referentes a las condiciones climáticas, y contrarrestar los planes originales del trabajo entre las acciones a ejecutar tenemos:

- Monitoreo permanente de las condiciones climáticas en obra.
- Dentro de los imprevistos que se puede tener en condiciones climáticas adversas sería el no poder montar y armar la estructura, no se ejecutaría el proceso de soldadura.
- Evaluar la gravedad de soldar en lluvia, se puede tener riesgo de daños de equipos, tener problemas de descarga eléctrica, problemas de inhalación de gases e incendios y explosiones.
- Para mitigar el problema de soldar en condiciones de lluvia que es el problema más serio, usar equipo de seguridad personal, controlar que este equipo este seco debido a que la humedad puede ser un agravante en la conducción de la electricidad.
- Las condiciones del viento deben ser controladas de manera oportuna porque en ciertos casos el gas protector que ocupan los procesos de soldadura son removidos por el viento, incluso con revestimiento el proceso puede no ejecutarse de manera correcta, por ello se debe acondicionar el lugar.
- En condiciones adversas de clima, lo más recomendable es no soldar, trasladar las operaciones a un lugar cerrado cerca del sitio de obra, tener acciones de pre ensamble de los elementos y ejecutar las acciones secundarias establecidas en el cronograma de trabajo, esto con el fin de no retrasar la obra.

Propuesta de mejora de montaje de estructuras metálicas

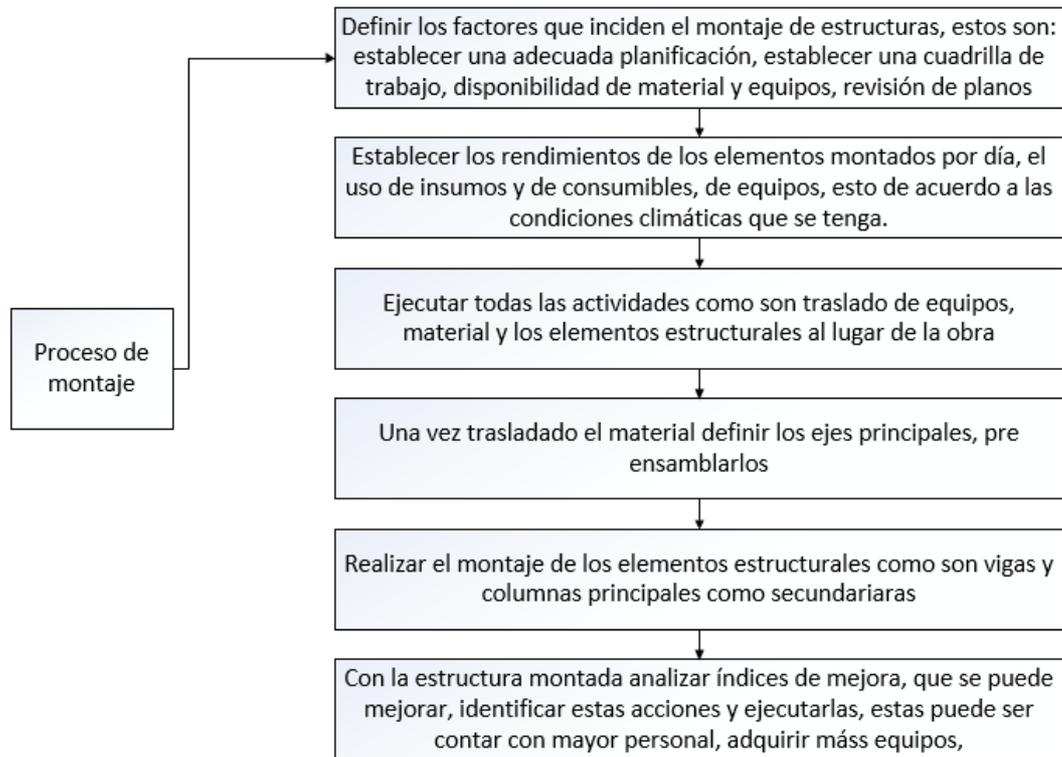
Para poder gestionar de mejor manera el proceso de montaje de estructuras metálicas y de acuerdo a los datos obtenidos de las encuestas se sugiere la siguiente propuesta de metodología para el montaje de estructuras metálicas con el fin de obtener beneficios para mejorar las condiciones de montaje, para esto se debe seguir una serie de pasos que siguen un orden, para que el proceso se lo realice de forma correcta.

- Revisión de planos de diseño: se analizar los planos del proyecto donde se muestran los elementos principales como son: placas base, vigas, columnas y conexión entre estos.
 - Establecer los materiales: se listan los materiales requeridos para ejecutar el proyecto de acuerdo a los planos de construcción.
 - Elaboración de presupuesto: a partir de los materiales listados, se buscar la mejor cotización, siempre viendo el aspecto económico y que los materiales cumplan los requisitos mínimos de calidad, para ejecutar el proyecto de manera segura, escogiendo la mejor proforma de acuerdo a los aspectos mencionados anteriormente.
 - Almacenamiento del material: una vez ejecutada la compra se almacena en un sitio seguro y cercano a la obra, verificando los materiales sean los correctos, certificar los materiales
 - Ejecución de las actividades: una vez obtenido el material se realizan las actividades previas al montaje
1. Elaboración de los planos de taller a partir de los planos principales de los elementos principales como columnas vigas y placas.
 2. Inspeccionar el lugar de obra: se visita el lugar con el único fin ver la topografía del terreno, cerciorar las medidas, ver el lugar donde van a ir los elementos principales, todo esto con el fin de no tener contratiempos.
 3. Preparación de material: se empieza a realizar cortes, trazados, con los materiales a partir de los planos de taller que indican los procesos que se deben ejecutar.
 4. Pre-ensamble de elementos: de acuerdo a la complejidad del proyecto y a los planos se empieza a armar los ejes principales con los elementos correspondientes, también se verifica cumplan con lo establecido se verifica medida, espesores, tolerancias, linealidad.
 5. Se realiza control de calidad, se inspecciona todos los elementos pre-armados, se los codifica para su fácil identificación,
 6. Se realiza el proceso de soldadura: se empieza preparando juntas adecuado a los elementos, posteriormente, se inspecciona las juntas soldadas y ejecuta ensayos correspondientes.

De manera general se establece que todo esto pasos sistemáticos para ejecutar el proceso de montaje, en la figura 17 se puede ver lo mencionado anteriormente.

Figura 17

Propuesta de mejora para el montaje de estructuras metálicas



Dentro de los factores que favorecen el rendimiento del proceso de montaje se da importancia a los más relevantes y que fueron determinados en las encuestas:

La capacitación al personal, para que las diferentes actividades sean ejecutadas de manera correcta se debería capacitar al personal de manera continua debido a que estos procesos van mejorando todo el tiempo, por ello el personal debe ser calificado y certificado para realizar el trabajo.

La disponibilidad de materiales de obra es otro aspecto importante en tener en cuenta, no solo se necesita tener el material a disposición, también verificar que los materiales cumplan con las especificaciones necesarias para garantizar el trabajo, dentro de las acciones se deben tener la resistencia del material, tolerancias, longitudes, alineamiento, entre otros factores, que garanticen el trabajo.

Se debe poseer una correcta planificación del trabajo de forma ordenada hasta cumplir con el objetivo final que es el montaje de la estructura, para todo esto se debe tener una planificación adecuada, contemplando todos los imprevistos posibles que se puedan generar.

Todos los aspectos mencionados anteriormente se contemplan en un plan de control de calidad, la planificación, el personal calificado para ejecutar las operaciones, los materiales, con único fin de garantizar un producto final de calidad.

Conclusiones

- Las principales variables que intervienen en el rendimiento del montaje son la experiencia en la mano de obra con 16,10%, una correcta planificación de montaje de estructura metálica y disponibilidad de material en la obra con la correcta geometría y tolerancias en las medidas, equipos y herramientas adecuados para el trabajo con 15.25%, mejora en los procesos de solda utilizados en el montaje con 9.32% y de acuerdo a Osuizugbo son factores que afectan al desarrollo de una estructura de acero.
- Las condiciones climáticas es un factor importante que influye en el rendimiento del montaje de estructuras metálicas reduciendo el rendimiento a la mitad, debido a que no se puede realizar arco de soldadura de manera eficiente por la humedad y también las superficies se vuelven resbalosas creando situaciones de riesgo y reducen el rendimiento a un 50% y de acuerdo a la investigación Thomas Randolph esta causa produce perdidas de productividad en un 41%.
- El rendimiento de las estructuras livianas en un día supera el 50% con respecto a un día con lluvia.
- Para mejorar el proceso de montaje de estructuras metálicas hubo propuesta de mejoras como tener una planificación de acorde a la obra con 33.33 %, establecer cuadrillas de trabajo con 11.11%, disponer de un lugar materiales cercano al sitio de la obra con un 22.22%.
- Se identificaron factores que merman el rendimiento del montaje como son personal no calificado con un 16%, no contar con materiales, equipos y máquinas con un 11%, procesos de soldadura inadecuados con 5%, el no tener una planificación acorde con un 6%.

Agradecimientos

El presente artículo es parte del trabajo de investigación y titulación del Programa de Maestría en Construcción con Mención en Administración de la Construcción Sustentable de la Universidad Católica de Cuenca, por ello agradecemos a todos y cada uno de los instructores pertenecientes a los grupos de investigación; Ciudad, Ambiente y Tecnología(CAT), y Sistemas embebidos y Visión artificial en ciencias, Arquitectónicas, Agropecuarias, Ambientales y Automática (SEVA4CA), por los conocimientos e información brindados para la elaboración del trabajo.

Referencias bibliográficas

- A. Assaf, M. Al-Khalil, M. Al-Hazmi, “Causes of delays in large building construction projects,” *ASCE Journal of Management in Engineering*, vol. 11, pp 45-50,1995.



Abu- Khasan M. Paper, “The Use of Metal Structures in the Construction of Unique Buildings and Structures”. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022.

Aksel, H., Eren , O. “A Discussion on the Advantages of Steel Structures in the Context of Sustainable Construction”, International Journal of Contemporary Architecture “The New ARCH”, 2 (3), (2015), 46-53. DOI: 10.14621/tna.20150405.

Barbosa, F. Parsons M. “Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity”; Mckinsey Global Institute; New York, NY, USA,2017; pp.20.

Bohórquez-Castellanos, J.J., Porras-Díaz,H.,Sánchez-Rivera, O. G., & Mariño-Espinel, M.C. (2018). Planificación de recursos humanos a partir de la simulación del proceso constructivo en modelos BIM 5D. *Entramado*, 14(1),252-267.

Brenes J. (2014). Análisis de rendimientos y productividad de mano de obra para la empresa la puerta del sol equipo constructor S.A., Instituto tecnológico de Costa Rica, Costa Rica.

Brochner, J. Olofsson, T. Construction Productivity Measures for Innovation Projects J. *Constr. Eng. Managment*. 2012,138,670-677.

Cabrera, A., & Bocanegra, D.C.M. (2016). Análisis de la productividad en la construcción de vivienda basada en rendimientos de mano de obra. *INGE CUC*, 12(1),21-31.Obtenido de: <https://doi.org/10.177981/ingecuc.12.1.2016.02>

Cordero D. (2015). Incorporación de conceptos de la metodología Lean en la fabricación y montaje de estructuras metálicas. Tecnológico de Costa Rica, Escuela de ingeniería en construcción, Costa Rica, Obtenido de: https://repositoriotec.tec.ac.cr/birstream/handle/2238/6768/incorporación_conceptos_metodología_lean_fabricación_montaje_estructuras_metálicas.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Dixit, S. Mandal, S.N.; Thanikal, J.V.; Saurabh, K. Evolution of Studies in Construction Productivity, A Systematic Literature Review (2006-2017). *Ain Shams Eng. J.*2019,10,555-564.

Dozzi, S.p; AbuRizk S. M, S.M, “Techniques for Measuring and Improving Productivity at Construction Sites,” *Productivity In Construction*, NRCC-37001. Ottawa, Ontario, Canada.

Fajardo W. y Quizpe J. (2021). Determinación de factores que afectan el rendimiento de la mano de obra en la actividad de colocación de cerámica en la ciudad de Cuenca. *Dominio de las Ciencias*, 7(4), 1249-1269.<https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2168>

G. Robles, A. Stifi, Jose L. Ponz-Tienda, S. Gentes. (2014). Labor Productivity in the Construction Industry- Factors Influencing the Spanish Construction Labor

- García K. (2019). Estudio del proceso de fabricación de estructuras metálicas y la productividad de la empresa tegmer de la ciudad de Riobamba, Universidad Tecnológica Indoamérica, Ambato, Ecuador.
- Gary S. Berman, PE, “The Steel Process- From Design Through Erection,” Structural Steel Design And Construction, Greyhawk, North America, Llc, 2013.
- Gavidia A y Subia A. (2014). Elaboración de procedimientos de fabricación y montaje de una estructura de acero para un edificio Tipo. Escuela Politécnica Nacional, Quito. Obtenido de: [https:// biddigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10578/1/CD-6256.pdf](https://biddigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10578/1/CD-6256.pdf)
- Hee-Sung Park, Stephen R. Thomas, “Benchmarking of Construction Productivity”. Dept. of civil Engineering, University of Texas, Austin, Tx.
- I. Abdel Rashid, S. Y. Aboul Haggag, H.M. Elhegazy (2015). Improving the Crew Productivity and Projects Performance for the Construction of Steel Structure Project- World Applied Sciences Journal, Department of Structural Engineering, Faculty of Engineering, Ain Shams University, Cairo, Egyp. ISSN 1818-4952.
- M. M. Kumaraswamy, D. W. M. Chan, “Contributors to construction delays”, Construction Management and Economics, vol. 16, pp. 17-19,1998.
- Mahesh Madan Gundecha, “Study of Factors Affecting Labor Productivity At A Building Construction Project In the Usa” M.S. Thesis, Construction Management and Engineering. North Dakota State University of Agriculture and Applied Science. North Dakota. September 2012.
- Morales, C., Alburqueque J. y Chávez C. (2022). “Improvements in the assembly process of metallic structures in the construction of a mining project”. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC).
- Morales-Yovera D. (2019). Optimización del proceso de Montaje de estructuras en una Refinería. Universidad de Piura, Perú.
- Naoum, S. G. Factors Influencing Labor Productivity on Construction Sites. A State of the Art Literature Review and a Survey, Int. J. Product. Perform. Manag. 2016, 65,401-421.
- Osuzugbo I. C. (2021). “Factors Affecting Steel Structure Erection in Developing Countries: A Case Study of Nigerian Construction Industry”. Dept. of Building Technology, College of Environmental Sciences, Bells University of Technology, Ota, Nigeria.

Panas, A.; Pantouvakis, J.P. On the Use of Learning Curves for the Estimation of Construction Productivity. *Int. J. Management Eng.* 2013,30,214-225.

Paul Krugman, “Definig And Measuring Productivity,” *The Age of Diminishing Expectations*, 1994.

Petroutsatou K. Kantilierakis D. “Productivity Analysis and Associated Risks in the Steel Structures, Buildings, Laboratory of Planning and Project Management, Department of civil Engineering, Greece, February, 2023.

Pinos J. (2021). Propuesta de implementación de un modelo de Gestión para la fabricación y montaje de estructuras metálicas. Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca.

Remolina A., & Polanco, L. (2014). *Estudio de rendimientos para las actividades de estructura y mampostería para un proyecto de construcción en el campus de la UPB, Colombia*. Scielo, Obtenido de : http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612014000200011#:~:text=Una%20base%20de%20datos%20de,la%20ejecuci%C3%B3n%20de%20la%20actividad.

Sanders Steve R., Thomas Randolph H., “Factors affecting Masonry-Labor Productivity”. Dept. of Civil, University Park, Pennsylvania.

Sandoval H. (2018). Proceso de montaje de estructura metálica, selección de equipos y maquinarias en la construcción de la torre c del estadio George Capwell. Universidad de Guayaquil, Guayaquil.

Sui Pheng L. “Quantifying the relationships between buildability, structural quality and productivity in construction”. Department of Building National University of Singapore

Thomas Randolph H. Riley R. D., “Loss of Labor Productivity due to Delivery Methods and Weather”. *Journal of Construction Engineering and Management*. Vol. 125.2000

Valdez, J. D.C. y Toledo, J. (2021). Análisis del rendimiento de la mano de obra en la construcción del rubro de enlucido en la ciudad de cuenca. *Conciencia Digital*, 4(4,1),6-18. Obtenido de: <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i4.1.1921>

White Paper, “Factors Affecting Construction Labor Productivity, “Managing Efficiency in Work Planning 09/12 PPM-AU-0177A-ENG, September,2012.

Yi, W.; Chan, A.P.C. “Critical Review of Labor Productivity Research in Construction Labour Journals”. *J. Management. Eng.* 2013, 30 214-225.

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.