



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

“Proyecto de investigación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil”

TRABAJO DE TITULACIÓN

Título del proyecto:

“EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE EL USO DE DOS SOFTWARE”

Autor:

Kevin Jhoel Angulo Benavides

Tutor:

Ing. Oscar Cevallos, PhD.

Riobamba – Ecuador

2018

REVISIÓN

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título: “EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE EL USO DE DOS SOFTWARE” presentado por: **Kevin Jhoel Angulo Benavides** y dirigida por: Ing. Oscar Cevallos, PhD. Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo.

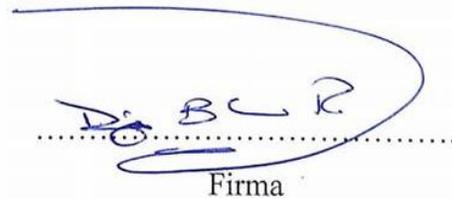
Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Oscar Cevallos
Tutor del proyecto



Firma

Ing. Diego Barahona
Miembro del Tribunal



Firma

Ing. Oswaldo Ortiz
Miembro del Tribunal



Firma

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Yo, **Ing. Oscar Cevallos**, en calidad de Tutor de Tesis, cuyo tema es: “EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO MEDIANTE EL USO DE DOS SOFTWARE”, CERTIFICO; que el informe final del trabajo investigativo, ha sido revisado y corregido, razón por la cual autorizo al Señor **Kevin Jhoel Angulo Benavides** para que se presente ante el tribunal de defensa respectivo para que se lleve a cabo la sustentación de su Tesis.

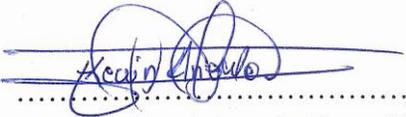
Atentamente,



Ing. Oscar Cevallos PhD.
Tutor de tesis

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, corresponde exclusivamente a: Kevin Jhoel Angulo Benavides e Ing. Oscar Cevallos; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



Kevin Jhoel Angulo Benavides
C.I. 020183735-8

AGRADECIMIENTOS

Antes de nada, quiero agradecer a Dios por ayudarme, guiarme y fortalecerme, para poder cumplir mis sueños, por hacerme sentir y saber que con esfuerzo y dedicación se puede lograr grandes cosas.

A mi esposa Jeimy y a mi hijo Alessandro quienes con su apoyo incondicional y moral fueron mi motivación principal para lograr cada una de mis metas propuestas, sin ellos no hubiera conseguido lo que hasta ahora. Gracias por su inmenso amor.

A mis padres: Julio y Mónica; a mis abuelos: Cervantes, Julieta y Susana, por ser el pilar fundamental en mi educación y a mis hermanos: Julio y Génesis, todos ellos que supieron confiar siempre en mí, y que mediante sus vivencias se convirtieron en un ejemplo a seguir para mí.

A la Universidad Nacional de Chimborazo, a la Facultad de Ingeniería, a mis profesores por su apoyo, de manera especial mi agradecimiento al Ing. Oscar Cevallos por su paciencia, quien ha sabido guiarme y transmitirme su conocimiento en la realización de esta investigación.

A todos los ingenieros civiles que participaron en esta investigación, por su tiempo, esfuerzo, esmero y la seriedad con la que supieron aportar a la misma.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios primeramente ya que sin su presencia en mi vida nada sería posible, a mi hijo Alessandro y a mi esposa Jeimy quienes con su amor, cariño y ternura supieron cambiar mi vida y hacer de mí una mejor persona, y a mis padres quienes, por su apoyo y amor incondicional, a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

RESUMEN	XII
ABSTRACT.....	XIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo General	4
2.2. Objetivos Específicos.....	4
3. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON LA TEMÁTICA.....	5
4. METODOLOGÍA.....	14
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
6.1. CONCLUSIONES	61
6.2. RECOMENDACIONES	63
7. BIBLIOGRAFÍA.....	64
8. ANEXOS.....	66
ANEXO I. Modelo de encuesta de selección de diseñadores participantes en el estudio.....	66
ANEXO II. Hojas de proceso entregadas a los diseñadores, para el análisis y diseño mediante ambos programas computacionales.....	68
ANEXO III. Planos tipo, que se implementarán a cada diseñador.	72
ANEXO IV. Fotografías del desarrollo de la investigación.....	74
ANEXO V. Ejemplo de planos obtenidos de la modelación del edificio de cuatro plantas mediante el uso del software C (columna y zapata B2, viga pórtico 2, escalera y losa).....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Espacio de trabajo recomendado (izq.) y no recomendado (der.) para el uso del ordenador portátil.....	9
Figura 2. Proceso clásico de diseño	10
Figura 3. Esquema de metodología de la investigación.....	14
Figura 4. Porcentaje de diseñadores de cumplen y no con los requisitos para el estudio.....	17
Figura 5. Tiempo de diseño mediante el uso del software C para la edificación de dos plantas.	24
Figura 6. Tiempo de diseño mediante el uso del software E para la edificación de dos plantas.	26
Figura 7. Comparación del tiempo total de diseño mediante ambos software para la edificación de dos plantas.....	29
Figura 8. Tiempo de diseño mediante el uso del software C para la edificación de tres plantas.	31
Figura 9. Tiempo de diseño mediante el uso del software E para la edificación de tres plantas.	32
Figura 10. Comparación del tiempo de diseño mediante ambos software para la edificación de tres plantas.	34
Figura 11. Tiempo de diseño mediante el uso del software C para la edificación de cuatro plantas.	35
Figura 12. Tiempo de diseño mediante el uso del software E para la edificación de cuatro plantas.	37
Figura 13. Comparación del tiempo de diseño mediante ambos software para la edificación de cuatro plantas.	39
Figura 14. Tiempo de análisis y diseño de todas las edificaciones.....	40
Figura 15. Resultados de la encuesta para la evaluación del diseño estructural de edificaciones.	60

Figura 16. Vista en planta y elevación frontal de la edificación de dos plantas.	72
Figura 17. Vista en planta y elevación frontal de la edificación de tres plantas.	72
Figura 18. Vista en planta y elevación frontal de la edificación de cuatro plantas.	73
Figura 19. Espacio de trabajo en donde se realizó el estudio.	74
Figura 20. Extracción de datos durante el análisis y diseño de un edificio.	74
Figura 21. Extracción de datos durante el análisis y diseño de un edificio.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características para evaluar software, según la norma ISO-9126.	13
Tabla 2. Resultados de la tabulación de los resultados de las encuestas a diseñadores estructurales.	16
Tabla 3. Requisitos recomendados para el correcto uso del software C.	18
Tabla 4. Requisitos recomendados para el correcto uso del software E.	19
Tabla 5. Tiempo de análisis y diseño mediante ambos software.	20
Tabla 6. Encuesta de calificación de ambos software.	21
Tabla 7. Criterios de evaluación para la matriz de calificación.	22
Tabla 8. Tabla tipo para extracción de datos del análisis ANOVA de una vía.	23
Tabla 9. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de dos plantas, por medio del software C.	25
Tabla 10. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de dos plantas, por medio del software E.	27
Tabla 11. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre los software C y E de la edificación de dos plantas.	28
Tabla 12. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos de los tiempos totales de análisis y diseño entre los software C y E de la edificación de dos plantas.	30
Tabla 13. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de tres plantas, por medio del software C.	31
Tabla 14. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de tres plantas, por medio del software E.	33

Tabla 15. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre los software C y E, de la edificación de tres plantas.	33
Tabla 16. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos de los tiempos totales de análisis y diseño entre los software C y E de la edificación de tres plantas ...	34
Tabla 17. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de cuatro plantas, por medio del software C.	36
Tabla 18. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de cuatro plantas, por medio del software E.	37
Tabla 19. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre los software C y E, de la edificación de cuatro plantas.	38
Tabla 20. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos de los tiempos totales de análisis y diseño entre los software C y E de la edificación de cuatro plantas	40
Tabla 21. Análisis de la Interfaz Gráfica de Usuario de los software C y E.....	42
Tabla 22. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos en cada fase del diseño, con el uso de cada software	44
Tabla 23. Análisis comparativo de los atributos particulares de ambos software dentro de la presente investigación.....	46
Tabla 24. Análisis de los recursos utilizados por el diseñador estructural	48
Tabla 25. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo longitudinal en columnas.....	51
Tabla 26. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo en la viga crítica del edificio de dos plantas mediante el uso de ambos software.....	53
Tabla 27. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo en viga crítica del edificio de tres plantas mediante el uso de ambos software.....	54

Tabla 28. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo en viga crítica del edificio de cuatro plantas mediante el uso de ambos software.	55
Tabla 29. Productividad en función de los tres indicadores identificados en el estudio.....	58
Tabla 30. Encuesta de satisfacción de productividad de software.....	59

RESUMEN

En la actualidad, la competitividad entre empresas constructoras o consultoras exige la capacidad de realizar lo más pronto un trabajo. Hoy en día, los ingenieros estructurales realizan sus diseños usando diversas herramientas computacionales comerciales; sin embargo, los niveles de productividad que se alcanzan al usar cada uno de estos software de diseño no han sido tratados ampliamente en estudios previos, o el lanzamiento de nuevas versiones de software hace que los estudios de productividad deban actualizarse continuamente. En la presente investigación, se realiza una evaluación de productividad comparativa mediante el uso de dos software (software “C” y software “E”) para el análisis y diseño estructural de edificios regulares de hormigón armado de dos, tres y cuatro plantas, destinados para viviendas. Para la evaluación de la productividad se solicitó a cinco ingenieros civiles con experiencia en el uso de los dos programas computacionales, considerados en este estudio, que realicen los análisis y diseños de tres edificaciones, y se verificaron tres indicadores de productividad que fueron: el tiempo de análisis y diseño, los atributos del software, y la calidad de los resultados obtenidos. Los resultados indican que la productividad de un diseñador estructural puede elevarse al utilizar un software con una interfaz gráfica amigable, y que simplifique los pasos requeridos en la modelación. Por otro lado, la calidad de los resultados es menor cuando el software simplifica los pasos y no es flexible al momento de establecer parámetros de cálculo, lo que tiende a incrementar el costo final de las estructuras.

Palabras Clave: Productividad, software, modelación estructural, diseño estructural.

ABSTRACT

Currently, the competitiveness between construction companies or consultants requires the ability to perform a job as soon as possible. Nowadays, structural engineers carry out their designs using various commercial computational tools; however, the levels of productivity that are achieved when using each of the design software have not been widely discussed in previous studies, or the launching of new software versions makes that productivity studies must be continually updated. In this investigation, an evaluation of comparative productivity is made through the use of two software (software "C" and software "E") for the analysis and structural design of regular reinforced concrete buildings of two, three and four floors, intended for homes. For the evaluation of productivity, five civil engineers with experience in the use of the two computer programs; which were considered in this study, who were asked to perform the analyzes and designs of three buildings, and three productivity indicators were verified: time of analysis and design, the attributes of the software, and the quality of the obtained results. The results indicate that the productivity of a structural designer can be raised by using software with a friendly graphical interface, and that it simplifies the required steps in modeling. On the other hand, the quality of the results is lower when the software simplifies the steps and is not flexible when establishing calculation parameters, which tends to increase the final cost of the structures.

Keywords: Productivity, software, structural modeling, structural design.



Reviewed by: Solís, Lorena
Language Center Teacher



1. INTRODUCCIÓN

Es de conocimiento dentro de la industria de la ingeniería civil que pocos investigadores se han planteado establecer puntos de referencia para evaluar la productividad en la ingeniería y menos la productividad que puede aportar un software de diseño estructural. Según el estudio realizado por Ebrahimi & Rokni (2010) existen tres indicadores de medida que se han propuesto por distintos investigadores para evaluar la productividad de la ingeniería, estos son: las horas de ingeniería por cada dibujo (Thomas, 1999), las horas de ingeniería por elemento diseñado (Song, 2003) y las horas de ingeniería por cantidad de elementos diseñados (Kim, 2007).

En los últimos años, la tecnología ha avanzado de manera muy rápida en lo que se refiere al software, y el sector del diseño asistido por computadora (CAD) siempre ha aprovechado estos avances de la tecnología. Es por ello que hoy en día tenemos varios programas capaces de elevar la productividad al momento de realizar un diseño estructural. Pero, aunque hace varios años existen varios software para este tipo de diseño, aún no existe información mediante indicadores de productividad que permitan evaluar la productividad que aporta un software al momento de realizar el diseño estructural de una edificación. La norma ISO-9126 ha establecido una serie de atributos para evaluar el software, el cual menciona que todo programa computacional se puede evaluar mediante una política de calidad interna y externa.

La productividad es un tema importante en cualquier organización, aunque ha recibido una atención limitada en los sectores de arquitectura e ingeniería. Sin embargo, cuando los proyectos son "fasttrack" (sistema de gestión de la construcción en el que el diseño del proyecto y la ejecución de la obra se realizan de manera solapada, superponiendo actividades que normalmente se realizan en una secuencia rígida, produciéndose una considerable reducción del

tiempo total), y el calendario es estrecho, la necesidad de asegurar una productividad satisfactoria asume una mayor importancia. (Thomas, 1999).

Actualmente, la competitividad en empresas constructoras y consultoras es una constante exigencia de la capacidad de realizar lo más pronto un trabajo (Chao Liao, O'Brien, Thomas, & Mulva, 2011); ya que la mayoría de personas o empresas tienen como objetivo el llegar a ser exitosas y competitivas en el mercado y para esto existen varios factores que influyen en el camino a realizar esta meta. Uno de estos factores son las personas que realizan el trabajo, o en nuestro caso el diseño estructural. Por otro lado, los recursos que tienen estas personas para poder realizar dicho trabajo o diseño es otro factor a considerar, es decir el tipo de software que manejen, la amigabilidad del mismo, el rendimiento del ordenador en el cual realicen sus diseños, y finalmente la experiencia y el conocimiento del diseñador. Todos estos son factores importantes al momento de ejecutar un software de diseño estructural, y evaluar la productividad que puede aportar.

Desafortunadamente, en el país la mayoría de calculistas o empresas, ya sean constructoras o consultoras, no cuentan con información acerca de si la productividad de un diseñador estructural depende del software que utilice y si es así, que software aporta una mayor productividad, ya que no se han realizado estudios de este tipo, y existen pocas comparaciones validadas entre varios software de diseño estructural. Por lo que, este desconocimiento les puede resultar en pérdidas de tiempo, esfuerzo y calidad de producto, incluyendo dinero.

Brindando un seguimiento adecuado y dándole la importancia que merece el análisis de productividad de varios software de diseño estructural, la productividad de una persona o empresa podría ser mejor, y así esta podrá aportar mejoras para llegar a cumplir sus objetivos y metas propuestas. Por lo tanto, en este estudio se hace un análisis comparativo de productividad

entre dos software de análisis y diseño estructural. La metodología consistió en seleccionar y exponer a las mismas condiciones de espacio de trabajo a cinco ingenieros civiles, para que realicen el análisis y diseño estructural de tres tipos de edificios, durante dicho análisis medir el tiempo que le lleva a cada uno obtener los resultados del diseño mediante el uso de cada software, y posteriormente analizar si es que existen variaciones de tiempo entre ambos programas, para entender porque se pueden dar estas variaciones.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Evaluar la productividad del diseño estructural de edificaciones de concreto armado mediante el uso de dos software.

2.2. Objetivos Específicos

Comparar el tiempo que tardan varios diseñadores estructurales en obtener los resultados del análisis y diseño de varias edificaciones mediante el uso de ambos software.

Identificar los atributos más importantes que hacen que un software eleve la productividad del diseñador.

Verificar si la productividad del diseñador estructural depende del software que utilice.

Conocer que software contribuye a mejorar la productividad del diseñador estructural.

3. ESTADO DEL ARTE RELACIONADO CON LA TEMÁTICA

Para que un negocio pueda crecer y aumentar su rentabilidad, o su utilidad, existe un único camino, que es aumentando su productividad. El estudio de tiempos y la utilización de métodos es un instrumento fundamental que puede originar una mayor productividad. (Guerrero & Galindo, 2014)

Gracias al estudio de la productividad, muchas empresas a lo largo de la historia han logrado mayores utilidades, mayor margen de seguridad en el mercado, mayor competitividad, es por ello que resulta indispensable analizar la productividad en todos los sectores de la industria del diseño y construcción.

Hoy en día existen varios conceptos en lo que se refiere a “productividad” y para poder definirla correctamente, es necesario remontarse a los orígenes de esta palabra tan conocida en la actualidad.

La palabra productividad se mencionó por primera vez en el año 1766; un siglo más tarde en 1883, Littré la definió como la facultad de producir. Pero fue en el siglo XX que el término se definió con más precisión, “como una medida de lo bien que se han combinado y usado los recursos para cumplir con los objetivos específicos deseados, en el tiempo programado”.

Partiendo de esa definición han existido una gran variedad de definiciones, todas ellas dependiendo de las necesidades y situaciones en las que se ha encontrado cada autor que la ha definido, entonces para el presente estudio parte de las siguientes:

Productividad puede definirse como la relación entre la cantidad de servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados (Ruiz, 2015), lo cual da a entender que una persona es más productiva mientras utiliza menos recursos para producir un determinado servicio.

La productividad también puede definirse como la relación entre los resultados y el tiempo que lleva conseguirlos (Prokopenko, 1987), aquí el autor expresa que un individuo es más productivo si produce un servicio en el menor tiempo empleado.

En la actualidad dentro del diseño, la productividad sirve para evaluar el rendimiento de un software y el encargado del manejo del mismo. La medida más común de la productividad del trabajo es la tasa unitaria. La tasa unitaria se define como:

$$Productividad = \frac{Entrada (horas de trabajo)}{Salida (Unidades)} \quad (\text{Ec. 1}) \quad (\text{Thomas, 1999}).$$

La entrada es el tiempo empleado en el ingreso de datos según las normas de construcción empleadas en el diseño estructural y todo el conocimiento del diseñador que esto conlleva. La salida es el dibujo o en este caso el plano estructural entonces la productividad o la tasa unitaria de los dibujos será igual a las horas de trabajo por plano (ht / un) o las horas de ingeniería por cada dibujo (Thomas, 1999).

Para evaluar la productividad que aporta un software al momento de realizar un diseño estructural interviene una serie de variables, como el tipo de software utilizado, el equipo en el cual se ejecuta el software, y el conocimiento o experiencia del encargado de utilizar el software.

En cualquier negocio, sea con o sin ánimo de lucro es conveniente y muchas veces esencial tener una unidad de medición común y exacta para calcular la productividad de los recursos usados para producir un trabajo (Bohan, 2008).

Dentro de la productividad del análisis y diseño estructural se proponen 3 medidas de productividad:

- 1) El tiempo que tarda un diseñador en obtener los resultados del diseño estructural a través de un software.
- 2) Los recursos que ocupa o necesita el diseñador para obtener los resultados del diseño.

3) La calidad de la presentación de los resultados obtenidos en el software de diseño estructural.

- **El diseñador estructural**

La evaluación del desempeño del diseñador permite planificar con mayor seguridad las actividades a realizar durante cualquier tipo de estudio, por lo tanto y para el correcto cumplimiento de los objetivos del individuo o empresa, es necesario estar calificado o calificar a las personas que intervienen en dicho estudio, estos parámetros son: el conocimiento de las definiciones en lo que se refiere al cálculo estructural, la experiencia en el manejo de distintos programas computacionales de diseño estructural, y el conocimiento e interpretación de normas de construcción.

Si en una empresa el objetivo es contratar un software para mejorar la productividad de la misma, es necesario hacer un análisis de calificación del software, para evaluar cuál es el correcto de acuerdo a sus necesidades, algo muy común en empresas, pero el problema recae, en cómo medir que software es mejor y por qué. Es ahí es donde entra el estudio de tiempos y la importancia de tener personal capacitado para evaluar distintos programas computacionales.

Una vez que se cuenta con estos parámetros, se trata de que los individuos encargados de probar y ejecutar el software, se concentren y aprovechen al máximo tanto su conocimiento como las capacidades de cada programa.

La concentración es un aspecto vital para analizar la productividad de un individuo, Sáenz (2012) afirma que un método muy efectivo para mejorar la concentración y el tiempo dedicado a actividades productivas es lo que los psicólogos llaman “efecto espejo”. Ver reflejado nuestro comportamiento en números y métricas, entender y ser conscientes de cómo invertimos

nuestro tiempo nos permite implementar cambios que se acaban convirtiendo en hábitos que afectan positivamente a los resultados.

- **La ergonomía dentro de la interacción Humano - Computador**

Existen factores externos que pueden afectar la productividad del diseñador como es el caso de la ergonomía.

El mundo laboral actual requiere que los trabajadores puedan dar respuestas más rápidas en su labor y esto sólo se puede conseguir con la ayuda de las nuevas tecnologías. Desde este punto de vista, los ordenadores portátiles facilitan el trabajo, pero también conllevan unos riesgos para la salud que conviene conocer y prevenir (Barba Garrido & Barnés Sarrá, 2010).

En los últimos años el ordenador portátil se ha convertido en una herramienta de uso habitual y continuo, aunque no ha sido diseñado con esta finalidad es el más utilizado para todo tipo de trabajo en el que intervenga el software, aunque existan riesgos para las articulaciones derivados del uso de ordenadores portátiles en oficina, también existen recomendaciones para que las personas que trabajen puedan ser más productivas y eviten riesgos ergonómicos; las más importantes según el estudio de Universidad Politécnica de Catalunya (2011) son:

Adecuar el puesto de trabajo con iluminación y entrada de aire constante, además de mantener una postura adecuada. Así como se ve en la Figura 1.

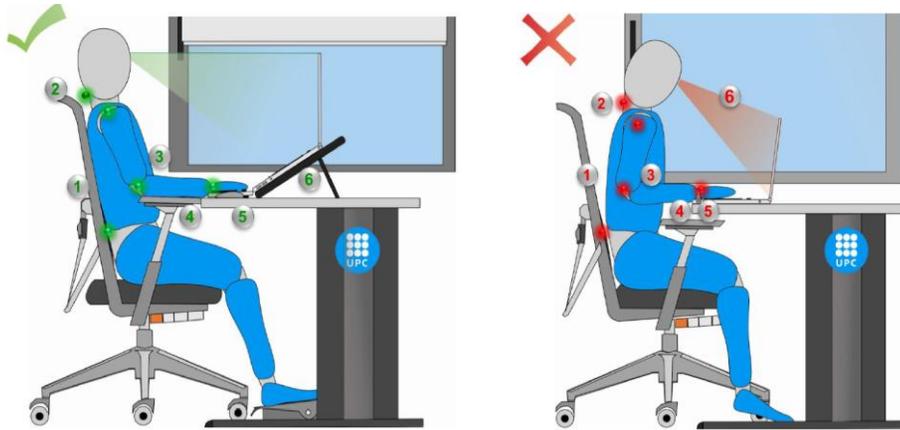


Figura 1. Espacio de trabajo recomendado (izq.) y no recomendado (der.) para el uso del ordenador portátil

Fuente: Universidad Polit cnica de Catalunya

Otro factor muy importante que también interviene en el desempeño de un diseñador es la interacción humano – computador, esta relación se refiere a la disciplina que estudia el intercambio de información mediante software entre las personas y las computadoras.

Esta disciplina se encarga del diseño, evaluación e implementación de los aparatos tecnológicos interactivos, estudiando el mayor número de casos que les pueda llegar a afectar. El objetivo es que el intercambio sea más eficiente: minimizar errores, incrementar la satisfacción, disminuir la frustración y, en definitiva, hacer más productivas las tareas que rodean a las personas y los computadores (Jacko, Harrys, & Duffy, 2003).

- **Equipo utilizado durante la ejecución del software**

El equipo en el cual se ejecute el software es otra variable para analizar dentro de la productividad que puede llegar a aportar este software, ya que la velocidad del procesamiento de datos incide en el tiempo que lleva realizar un diseño estructural, además de que cada software tiene requisitos mínimos y recomendados para que se ejecute correctamente en el computador; cabe recalcar que estos programas ocupan grandes cantidades de datos y memoria por lo cual

para ejecutarlos se necesitan ordenadores con características óptimas, lo cual lleva a una calificación de los ordenadores para la realización correcta de cualquier tipo de estudio; es decir que para evaluar correctamente la productividad que brinda cualquier tipo de software, este debe ejecutarse en un ordenador con características iguales o mejores a las recomendadas por cada programa.

- **El Diseño Asistido por Computador (CAD)**

El término diseño procede del vocablo italiano “disegno”. Torres (2005) afirma que dentro del CAD, el diseño se utiliza para caracterizar la representación gráfica, de acuerdo con una idea creativa previa, de un objeto artístico o funcional, de un dispositivo mecánico, o de la estructura o funcionamiento de un sistema o proceso. El proceso de diseño se ve a continuación en la figura 1.

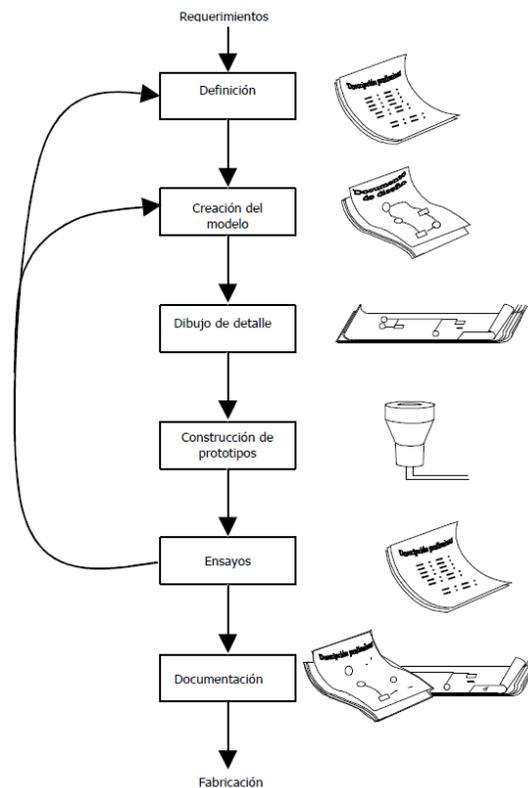


Figura 2. Proceso clásico de diseño

Fuente: J.C. Torres

El diseño y desarrollo de nuevos productos o la modificación de los existentes se ha convertido en un elemento clave y fundamental para la mejora de la capacidad de innovación y competitividad de las empresas (Torres, 2005).

El diseño asistido por computador se refiere al diseño de productos o sistemas con la ayuda de una computadora, es decir que reemplaza al diseño manual del diseñador por el diseño interactivo en la pantalla del computador con vista tridimensional (Bonilla, 2003).

El CAD tiene muchas ventajas: el tiempo reducido del diseño, el ahorro de dinero (\$), la reducción de errores. El CAD elimina la necesidad de que el diseñador tome decisiones que requieran mucho tiempo y son tediosas y además reduce los cálculos, también permite la evaluación rápida de alternativas.

Hoy en día existen varios programas como Cypecad, SAP, Etabs, Robot Structural, Diamonds, EdiLus, además de otros, a través de los cuales se pueden realizar el análisis y diseño estructural de edificios de hormigón, acero, aluminio y madera, incluyendo optimización de secciones y detallado de armados.

- **El software amigable**

El software amigable, se refiere a las características o atributos que debe tener un software para que el usuario se sienta más cómodo al maniobrarlo o ejecutarlo.

Este quizá sea un indicador muy importante dentro de la productividad de una persona, debido a que, si él se encuentra más cómodo, este podrá aportar mejoras para lograr los objetivos propuestos.

En programas de diseño estructural, el modelaje, el procesamiento numérico de los datos y la visualización de los resultados, se realiza en entornos de trabajo perfectamente definidos,

que corresponden a 3 etapas o fases del diseño: pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento de los datos.

- **Pre-Procesamiento de datos**

En el pre procesamiento de datos, los programas actuales permiten desarrollar la geometría del modelo mediante un conjunto de objetos (Taboada Garcia & Izcue Uceda, 2009), para posteriormente seguir con introducción de cargas vivas, cargas muertas y demás configuraciones. Es decir que esta fase culmina cuando el usuario manda a correr al programa por primera vez.

- **Procesamiento de datos**

Las posibilidades de procesamiento, están relacionadas con el tipo de análisis que se puede ejecutar. Algunos de estos tipos corresponden al análisis estático elástico, análisis dinámico lineal, análisis de respuesta térmica, análisis transitorio lineal y no lineal y al análisis de líneas de influencia (Taboada Garcia & Izcue Uceda, 2009).

El procesamiento finaliza cuando el diseñador a optimizado el diseño de todos los elementos estructurales de la edificación.

- **Post procesamiento de datos**

En el post procesamiento, los resultados del análisis pueden ser mostrados en pantalla a través de gráficos, tablas y funciones, o de manera impresa, a través de archivos de texto (Taboada Garcia & Izcue Uceda, 2009).

- **Características de un software**

Además de estas fases, por medio de las cuales se puede evaluar la funcionalidad de un software de análisis y diseño estructural, la norma ISO-9126 proporciona una serie de categorías

para evaluar de la calidad del software, basadas en seis características: funcionalidad, confiabilidad, usabilidad, eficiencia, mantenibilidad y portatilidad. (Abud Figueroa, 2015)

Tabla 1. Características para evaluar software, según la norma ISO-9126.

Características	Pregunta Central
<i>Funcionalidad</i>	¿Las funciones y propiedades satisfacen las necesidades explícitas e implícitas; esto es, el qué...?
<i>Confiabilidad</i>	¿Puede mantener el nivel de rendimiento, bajo ciertas condiciones y por cierto tiempo?
<i>Usabilidad</i>	¿El software es fácil de usar y aprender?
<i>Eficiencia</i>	¿Es rápido y minimalista en cuanto al uso de recursos?
<i>Mantenibilidad</i>	¿Es fácil de modificar y verificar?
<i>Portatilidad</i>	¿Es fácil de transferir de un ambiente a otro?

Fuente: Abud Figueroa, 2015

La tabla 1 atiende a la pregunta central, de cada una de las características para la evaluación de la calidad de un software, más no de calidad de resultados del software.

- **Calidad de resultados**

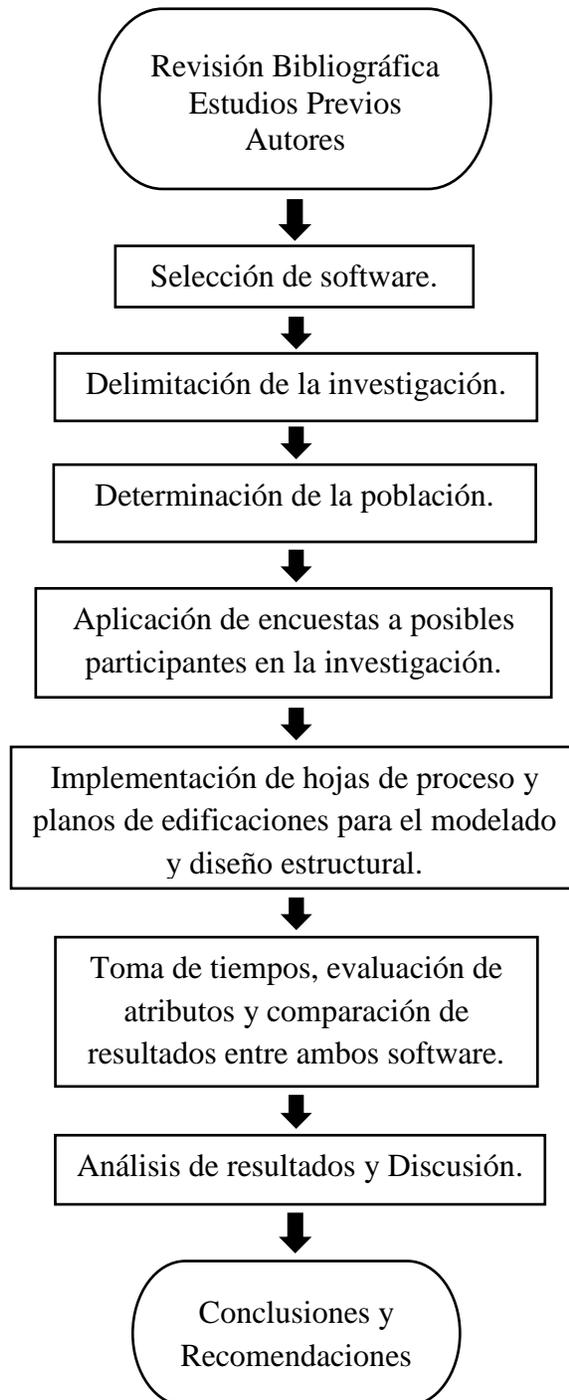
Evaluar la calidad de resultados del software, puede resultar complejo, ya que la calidad es un concepto dinámico, porque depende de las necesidades del cliente, la calidad es cumplir con lo que el cliente quiere o espera, es una percepción del cliente.

Rincón de Parra (2001) establece que la productividad, calidad y costo, se pueden analizar como un todo prácticamente inseparable, por cuanto el cambio de uno cualquiera de los elementos afecta a los otros dos.

Durante mucho tiempo se hizo énfasis en la mejora de la productividad, bajo el supuesto de que, como consecuencia natural, se incrementarían los niveles de calidad. La evidencia demuestra ahora que el camino es exactamente el opuesto. Los incrementos de productividad no sólo no conducen definitivamente hacia la mejora de la calidad; sino que, incluso, la pueden deteriorar (Rincón de Parra, 2001).

4. METODOLOGÍA

A continuación, se muestra un esquema gráfico del proceso a seguir para el desarrollo de la presente investigación, en donde se detalla de manera general los pasos para poder realizarla.



*Figura 3. Esquema de metodología de la investigación.
Elaborado por: Kevin Angulo*

La revisión de la bibliografía se realizó en bibliotecas tanto físicas como virtuales, como el buscador web google académico, donde se encontró la información necesaria que sirvió como base fundamental para hacer la revisión de la literatura, utilizando palabras claves como: Productividad, diseño estructural, software para modelación de estructuras, diseño asistido por computador (CAD). Scopus, Web of Science, Redalyc, entre otras fueron las bases de datos también utilizadas, las mismas que encaminaron a la investigación para el desarrollo de una metodología que permitió conocer que software contribuye a mejorar la productividad de un diseñador estructural de edificaciones de concreto armado.

En primer lugar, la búsqueda se centró en hallar información acerca de un concepto claro de productividad que se pueda adaptar a la presente investigación, con lo cual se halló que ningún investigador se ha planteado evaluar la productividad de ningún software de diseño estructural.

Posteriormente la búsqueda se centralizó en buscar dos programas computacionales para la posterior evaluación comparativa de ambos, por lo que se optó por seleccionar dos software que se encuentran disponibles en el mercado, y que son dos de los más usados en el medio para el diseño estructural, y a los cuales se les denominará con las letras C y E.

Se delimitó la investigación, al diseño estructural de tres edificaciones con regularidad tanto en planta como en elevación destinadas a viviendas, ubicados en el cantón San Miguel de Bolívar, variando la cantidad de pisos: dos, tres, y cuatro; utilizando los siguientes datos: Para todos los elementos estructurales el concreto tendrá una resistencia a la compresión de 210 kg/cm², se utilizó como acero de refuerzo varillas corrugadas de 4200 kg/cm² de límite de fluencia y un módulo de elasticidad del concreto de 2153810.58 kg/cm². Todos los resultados de los análisis basándose en los criterios de la NEC (2015).

Para la determinación de la población participante en el estudio se aplicó un muestreo estratificado, que es también conocido como el de “testigos privilegiados”, el cual consistió en seleccionar una muestra representativa de un universo dado, en este caso fueron ocho ingenieros civiles con experiencia en el diseño y modelación de estructuras mediante programas computacionales.

Se realizó el diseño de la encuesta a los diseñadores estructurales (Ver Anexo 1) con preguntas mediante las cuales se los calificó, para ver si son aptos para participar en el estudio.

Dentro del diseño de la encuesta se realizó preguntas para determinar ciertos parámetros indispensables para el correcto cumplimiento del objetivo de la investigación. Estos parámetros son la experiencia en el manejo de ambos software, y el conocimiento e interpretación de normas de construcción, por lo tanto, las personas encuestadas que cumplieron con estos requisitos son los que participaron en el estudio, esto fue con la finalidad de que no existan tiempos improductivos por errores de diseñador, y así lograr mayor eficiencia en el estudio. Luego de la implementación de la encuesta a los ocho diseñadores, fueron cinco los cuales cumplieron con todos los requisitos para participar como se ve en la siguiente tabla:

Tabla 2. Resultados de la tabulación de los resultados de las encuestas a diseñadores estructurales.

Diseñador Estructural	Maneja ambos softwares	Maneja solo uno de los softwares	Actualizado en normas de construcción de concreto armado	Experiencia en diseño estructural	No cumple	Cumple
1	X		x	x		x
2	X		x	x		x
3		X	x	x	x	
4	X		x	x		x
5		X	x	x	x	
6	X		x	x		x
7		X	x	x	x	
8	X		x	x		x

Elaborado por: Kevin Angulo

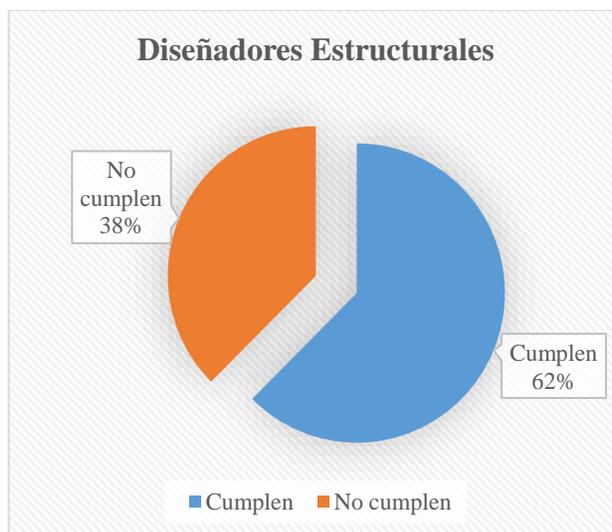


Figura 4. Porcentaje de diseñadores de cumplen y no con los requisitos para el estudio.
Elaborado por: Kevin Angulo

Previamente a la implementación de planos, se seleccionó y adecuó el lugar en donde se realizó la investigación, optimizando al máximo el sitio en lo que se refiere a condiciones ergonómicas, para que cada diseñador estructural trabaje en condiciones óptimas y que ningún factor externo influya en la productividad de los mismos.

Uno de los 14 principios de Crosby (1987), los cuales se enfocan en la mejora de calidad y productividad de las empresas, sirvió como una herramienta eficiente para que los diseñadores optimicen el tiempo durante sus diseños. El séptimo principio se denomina: Planificación cero defectos, el cual consiste en un programa de actuación con el objetivo de prevenir errores en lo sucesivo. Esto fue muy importante debido a que el diseño en ordenador es un proceso sucesivo de ingreso de datos; por ello se le implementó a cada diseñador las “hojas de proceso”, realizadas por el investigador, (ver anexo 2) en la cual se encontraban los datos del pre-diseño de cada estructura, combinaciones de carga, así como también los pasos que deben seguirse para la realización de la modelación y diseño de la edificación mediante cada programa computacional.

Posteriormente, a cada diseñador calificado se le entregaron tres planos, en formato .dwg y en físico, (Ver Anexo 3) con los datos necesarios para que cada quien realice el diseño estructural de los edificios mediante los dos programas computacionales, los mismos que se realizaron en un ordenador con características que satisfacen a las recomendadas por cada programa para su correcta utilización, estas se ven reflejadas en las tablas 2 y 3.

Tabla 3. *Requisitos recomendados para el correcto uso del software C.*

<i>Sistema operativo</i>	Microsoft Windows 10 Microsoft Windows 8.1 Microsoft Windows 7
<i>Procesador</i>	Intel Core i7, Core i5 de Intel o AMD compatibles
<i>Memoria RAM</i>	Para 32 bits: 4 GB Para 64 bits: 8 GB
<i>Tarjeta de Video</i>	512 MB de memoria de Video
<i>Resolución</i>	1600*1050 pixeles
<i>Disco Duro</i>	5.5 GB de espacio libre para la instalación y más de 1.5 GB para uso
<i>USB</i>	USB 2.0 o superior

Fuente: *Pagina Web del desarrollador del Software*

Tabla 4. Requisitos recomendados para el correcto uso del software E.

<i>Sistema operativo</i>	Microsoft Windows 10 Microsoft Windows 8.1 Microsoft Windows 7 Microsoft Windows Vista
<i>Procesador</i>	Intel Core 2 Duo, AMD Athlon 64 x2, o superior
<i>Memoria RAM</i>	Para 32 bits: 4 GB Para 64 bits: 8 GB
<i>Tarjeta Gráfica</i>	Compatible con DirectX 9.0c, con 512 Mb de memoria RAM y unidad de procesamiento GPU
<i>Resolución</i>	1600*1050 pixeles
<i>Disco Duro</i>	500 GB o disco duro con mayor capacidad (7200 rpm SATA)
<i>Conectividad</i>	Conectividad a internet para instalación, activación, renovación y desactivación de licencias

Fuente: Pagina Web del desarrollador del Software

Mediante observación directa a cada diseñador, se fue registrando el tiempo que tardó cada uno en obtener los resultados del análisis estructural estático de cada edificación, empleado cada software.

Se realizó la toma de tiempos, primeramente del software “C” con todos los diseñadores estructurales, luego con el software “E” subdividiendo los tiempos para un mejor análisis, mediante las fases del diseño: Pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento. Así como se ve en la tabla 5:

Tabla 5. Tiempo de análisis y diseño mediante ambos software.

Fases	Comparación de tiempos de la edificación de X Plantas (hrs)									
	Diseñador 1		Diseñador 2		Diseñador 3		Diseñador 4		Diseñador 5	
	C	E	C	E	C	E	C	E	C	E
1 <i>Pre-procesamiento</i>										
2 <i>Procesamiento</i>										
3 <i>Post-procesamiento</i>										
Total										

Elaborado por: Kevin Angulo

Durante la toma de tiempos, se verificó que cada diseñador modele elementos estructurales tales como: columnas, vigas, losas, escaleras, y que además toda la estructura pase los chequeos mediante cada programa computacional. Estos chequeos son: excentricidad de la estructura, torsión de la estructura, derivas de piso, aplastamiento de columnas, flexión en vigas y nudo rígido.

Posteriormente se realizó una encuesta de satisfacción de atributos de ambos software, la cual constó de una entrevista a los diseñadores, posterior a los resultados de su diseño estructural.

Tabla 6. Encuesta de calificación de ambos software.

Encuesta de calificación de ambos software			
Atributo	Descripción	Software C	Software E
Productividad	Tiene la capacidad de importar el modelo desde Autocad y exportar los resultados a diferentes programas tales como SAP 2000, SAFE, Microsoft Excel y otros.		
	Tiene la capacidad de dibujar los planos de detalles de los elementos estructurales analizados.		
	Muestra errores de diseño de acuerdo normas de construcción.		
	Cuenta con la capacidad de calcular la planilla de hierros de la estructura.		
	Análisis tanto de la superestructura como de la cimentación del edificio.		
	El programa tiene implementado las normas de construcción vigentes en el país y muestra sus resultados en base y rigiéndose a dichas normas.		
	El software se encuentra disponible en múltiples idiomas incluyendo el español.		
Usabilidad	El programa procesa los datos rápidamente para una pronta corrección de errores de concepción de la estructura.		
	Cuenta con soporte local vía telefónica o correo electrónico.		
Satisfacción	Posee una interfaz gráfica de usuario amigable.		
	Tiene herramientas de autoayuda y auto aprendizaje o tutoriales.		
	Confianza del usuario hacia el software.		
Total =			
<i>Elaborado por: Kevin Angulo</i>			

Por medio de la encuesta, se verificaron cuáles eran los atributos más importantes de cada software y cuáles de ellos hicieron que los diseñadores culminen más rápidamente sus diseños estructurales, o mejoraron la satisfacción de los usuarios al momento de diseñar cada estructura.

Para esto se elaboró una matriz de calificación para ambos software y los encargados de llenarla fueron los diseñadores estructurales, basándose en los criterios de evaluación mostrados en la Tabla 7.

Tabla 7. *Criterios de evaluación para la matriz de calificación.*

Criterios de evaluación	
Puntaje máximo (Posee)	5
Puntaje medio (Parcialmente)	3
No tiene puntaje (no posee)	0

Elaborado por: Kevin Angulo

La recolección de datos se hizo, como se mencionó anteriormente mediante entrevistas a los diseñadores estructurales, los cuales expresaron sus criterios y opiniones en base a la experiencia que tuvieron durante el estudio, además de su experiencia profesional en la cual todos han utilizado ambos programas computacionales.

Dentro de los resultados, se realizó un análisis comparativo de tiempo, de atributos de software y de la calidad de los resultados que presentan ambos software.

El análisis comparativo del tiempo, consistió en una toma cronometrada del tiempo que les tomó a los diseñadores obtener los resultados del análisis y diseño de los tres tipos de edificaciones mediante el uso de ambos software.

Para comprobar si existen diferencias significativas del tiempo entre cada fase del diseño (pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento), del software C y del software E, se realizó el análisis de varianza de un factor ANOVA a través del uso de un software estadístico. Recopilando la información en la siguiente tabla tipo:

Tabla 8. Tabla tipo para extracción de datos del análisis ANOVA de una vía.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Variables	-	-	-	-

Elaborado por: Kevin Angulo

Donde: **p** = es el nivel de significancia (si el valor es menor o igual a 0,05 quiere decir que existen diferencias significativas entre las variables, y si el valor es mayor entonces no existen diferencias significativas).

F = es una prueba estadística que el programa calcula según la cantidad de variación que hay en los datos (si el valor es elevado quiere decir que existe mucha variación entre los datos).

Fcrítico = es un valor estándar que depende del número de variables que analiza el programa)

Conclusión = esta opción se agregó con el fin de concluir los datos extraídos del software; es decir que se marca con “sí” cuando existan diferencias significativas entre los datos caso contrario se marcará “no”.

La comparación de los atributos, consistió en la identificación de las capacidades de cada programa, para ayudar al diseñador a mejorar su productividad durante el análisis y diseño de las estructuras.

Para el análisis comparativo de la calidad de resultados, se consideró la optimización y reducción de secciones como parámetro principal, ya que dicha reducción influye directamente en el costo de la estructura; para lo cual, se escogió el diseño con mejor optimización de secciones, tanto de concreto, como de cuantía de acero de refuerzo.

Posterior al análisis de resultados, se pudo llevar a cabo la discusión, las conclusiones y recomendaciones, las cuales se realizaron en base a los resultados obtenidos en todas las etapas del estudio, así como también del estado del arte que se halló mediante la búsqueda bibliográfica de la investigación.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Basado en el análisis descrito en la metodología para la evaluación de la productividad del diseño estructural mediante los software C y E, los resultados se presentan mediante tres indicadores de productividad de software, los cuales son: El tiempo de análisis y diseño, los atributos del software, y la calidad de los resultados.

- Tiempo de Análisis y Diseño

Edificio de dos plantas

Los resultados obtenidos considerando el indicador de tiempo, fueron obtenidos tomando en cuenta el tiempo que se tarda el diseñador en obtener los resultados para la edificación de dos plantas. Estos resultados se muestran en la figura 5.

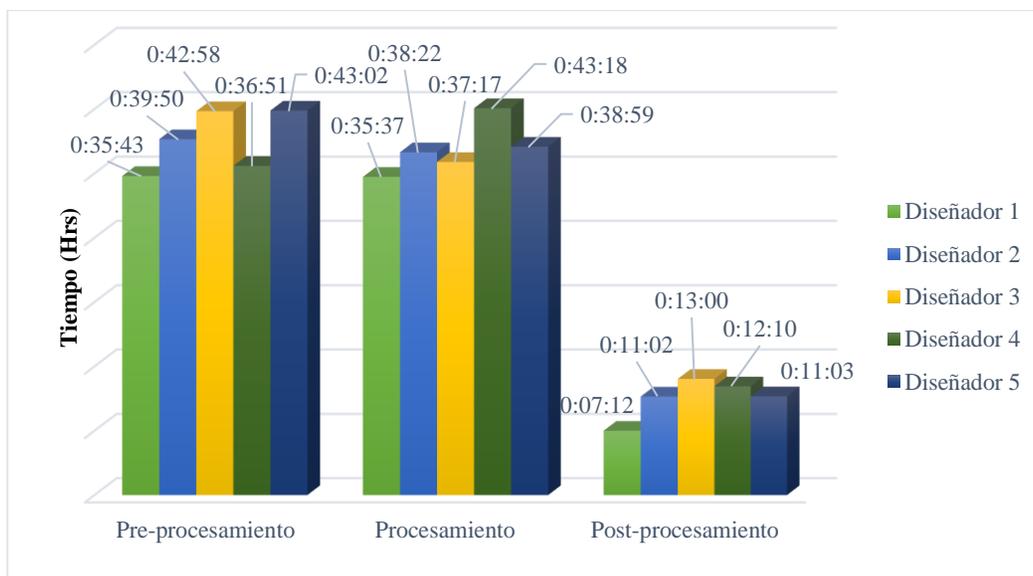


Figura 5. Tiempo de diseño mediante el uso del software C para la edificación de dos plantas.

Elaborado por: Kevin Angulo

Al comparar los resultados del tiempo de análisis y diseño por medio de cada fase, de la edificación de dos plantas mediante el uso del software C (ver fig. 5), se puede observar que el pre-procesamiento y el procesamiento de los datos poseen tiempos sin diferencias significativas.

Lo contrario sucede con el post-procesamiento, en el cual disminuyen los tiempos de manera significativa. La comprobación estadística de la independencia de datos se realizó en base a un análisis ANOVA de una vía, tal como se presenta en la tabla 9.

Tabla 9. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de dos plantas, por medio del software C.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Software C - Dos plantas entre pre-procesamiento y procesamiento	0,638	0,239	5,32	No
Software C - Dos plantas entre pre-procesamiento y post-procesamiento	0,0000002	252,96	5,32	Si
Software C - Dos plantas entre procesamiento y post-procesamiento	0,0000001	294,23	5,32	Si
Software C - Dos plantas entre pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento	0,000000002	162,989	3,89	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

El análisis ANOVA de una vía, dio como resultado, que el p valor obtenido para el pre-procesamiento y el procesamiento fue mayor que 0,05, representando un valor que está por encima del nivel de significancia del 5%. Por lo tanto, **no** existe diferencia significativa entre las medias de los tiempos de estas fases de diseño; esto no sucede al analizar las tres fases en conjunto ya que, los p valores obtenidos fueron menores que 0,05, representando un valor que está por debajo del nivel de significancia del 5%. Por lo tanto, **si** existe diferencia significativa entre las medias de los tiempos de las tres fases de diseño.

Cuando se usa el software C, dentro de la fase del pre-procesamiento hay un paso que consiste en configurar los armados para la edificación que se va a analizar, y esto conlleva una serie de pasos extensos, en comparación de los otros pasos dentro de esta fase (dibujar el modelo, insertar cargas, etc) como se evidencia en la tabla 21. El tiempo que le toma al diseñador, el realizar esta configuración de armados, no depende de la cantidad de elementos a analizar en la estructura (columnas, vigas, losas, escaleras, cimentación); esto no sucede en la fase del

procesamiento, debido a que es la fase en la que el diseñador debe optimizar los elementos de la edificación. Por consiguiente, esta fase si depende del número de elementos a analizar, y puesto que esta edificación es de dos plantas, no llevó mucho tiempo en realizarse. Coincidiendo con la fase del pre-procesamiento.

El post-procesamiento, por otro lado, depende tanto de los atributos del software C, como del nivel de detalle que requiera el diseñador, ya que permite la obtención de los resultados por medio de informes y planos. Esta fase, al igual que el procesamiento, si depende del número de elementos a analizar, ya que el software, al realizar los planos de detalle de la edificación, requiere mayor tiempo cuando hay mayor número de elementos. Sin embargo, gracias a la interfaz del programa, esta fase toma poco tiempo en realizarse, en comparación a las fases anteriores.

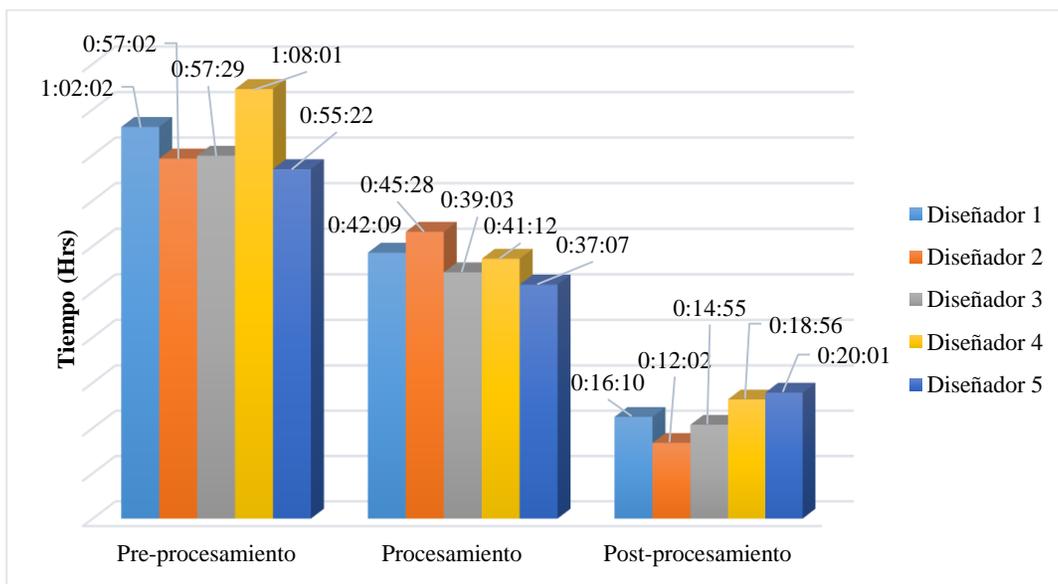


Figura 6. Tiempo de diseño mediante el uso del software E para la edificación de dos plantas.

Elaborado por: Kevin Angulo

La figura 6 muestra los resultados del tiempo obtenido en cada fase del análisis y diseño de la edificación de dos plantas mediante el uso del software E.

Aquí, se puede observar que el pre- procesamiento lleva mayor tiempo en realizarlo, en comparación con el procesamiento y el post-procesamiento, en el cual los tiempos disminuyen significativamente.

Tabla 10. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de dos plantas, por medio del software E.

ANOVA	P	F	Fcrítico	Conclusión
Software E - Dos plantas entre pre-procesamiento y procesamiento	0,0001	49,67	5,32	Si
Software E - Dos plantas entre pre-procesamiento y post-procesamiento	0,0000002	260,40	5,32	Si
Software E - Dos plantas entre procesamiento y post-procesamiento	0,000002	149,19	5,32	Si
Software E - Dos plantas entre pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento	0,000000003	153,94	3,89	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

Según el resultado obtenido en el análisis ANOVA de una vía, el p valor obtenido para las tres fases fue mucho menor que 0,05, representando un valor que está por debajo del nivel de significancia del 5%. Por lo tanto, **si** existe diferencia significativa entre las medias de los tiempos de análisis y diseño en cada fase.

Al usar el software E, la fase del pre-procesamiento se caracteriza por introducir manualmente las propiedades de los materiales, secciones a utilizar, e introducir las cargas del pre-diseño. Está claro que la interfaz gráfica del software requiere que el diseñador inserte una gran cantidad de datos, así como también posee un complejo método para la inserción de la escalera. Todo este proceso conlleva un mayor número de pasos que el software C (ver Tabla 21), pasos que se aumentan si se eleva el número de vanos, o de plantas de la estructura.

La fase del procesamiento, debido a que es la fase en la que el diseñador debe optimizar los elementos de la edificación, siguiendo un proceso de chequeos del software, si depende del

número de elementos a analizar, y puesto que esta edificación es de dos plantas, no llevó mucho tiempo en realizarse en esta edificación de poca altura. En este caso, el tiempo disminuyó en comparación con la fase del pre-procesamiento.

El post-procesamiento, depende tanto de los atributos del software E, que permite la obtención de los resultados por medio de tablas, gráficas o informes, como del nivel de detalle que requiera el diseñador, ya que él debe extraer los datos que vea necesarios para la posterior realización a mano de los armados y dibujos de detalle de la edificación. Sin embargo, se evidenció que esta fase toma poco tiempo en realizarse, en comparación a las fases anteriores.

Tabla 11. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre los software C y E de la edificación de dos plantas

	ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Dos plantas	Pre-procesamiento entre software C - E	0,00008	54,69	5,32	Si
	Procesamiento entre software C - E	0,27	1,43	5,32	No
	Post-procesamiento entre software C - E	0,01	10,07	5,32	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

Al comparar los tiempos, entre ambos software para cada etapa del análisis y diseño de la edificación de dos plantas, se puede notar, que el tiempo para el pre-procesamiento y post-procesamiento, disminuyen significativamente cuando se utilizó el software C, ya que el p valor para ambas es menor al 0,05 representando un valor que está por debajo del nivel de significancia del 5%. Sin embargo, el procesamiento de los datos entre ambos Software no presentó diferencias significativas, debido a que el p valor fue mayor a 0,05.

Para las fases de pre-procesamiento y post-procesamiento, se verificó que existieron diferencias significativas en el tiempo de análisis y diseño del edificio de dos plantas. Esto podría atribuirse a la interfaz gráfica de usuario que presentan ambos software, ya que el software C,

logra simplificar los pasos para la realización de estas dos fases. Esto se muestra claramente en la Tabla 21.

Por otra parte, el tiempo para el procesamiento no presentó diferencias entre ambos software, esto fue debido al poco número de plantas analizadas en la estructura.

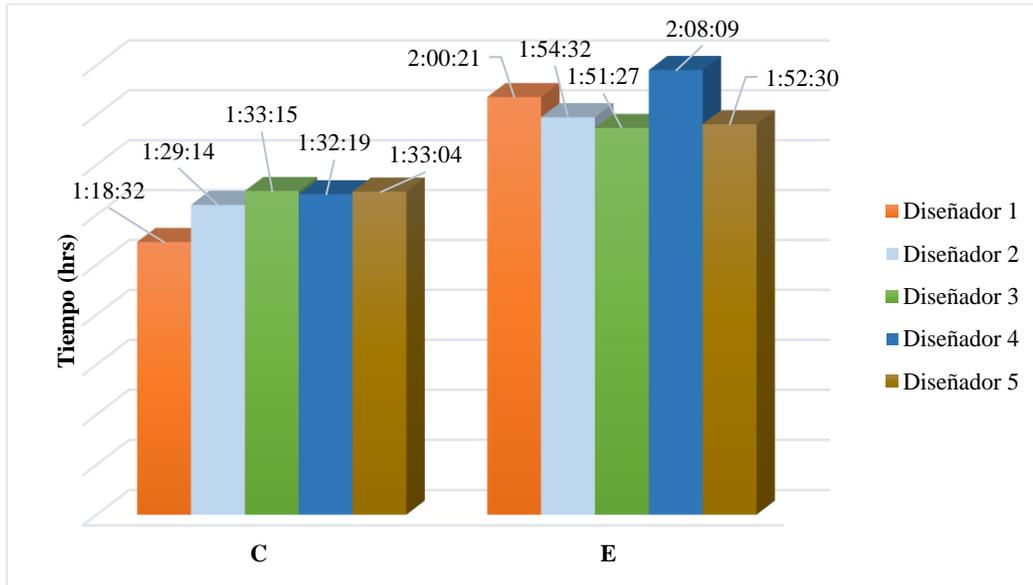


Figura 7. Comparación del tiempo total de diseño mediante ambos software para la edificación de dos plantas.

Elaborado por: Kevin Angulo

La figura 7 muestra la comparación entre los tiempos totales de análisis y diseño mediante ambos software (tiempos de pre-procesamiento + procesamiento + post-procesamiento), a la izquierda el software C y a la derecha el software E. Dando como resultado que cada diseñador tardó menos tiempo en diseñar la edificación de dos plantas con acceso a la terraza usando el software C.

La comprobación estadística de la independencia de datos se realizó en base a un análisis ANOVA de una vía para cada fase del diseño, tal como se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos de los tiempos totales de análisis y diseño entre los software C y E de la edificación de dos plantas.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Edificio de dos plantas - Entre software C y E	0,0001	45,60	5,32	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

El análisis ANOVA de una vía, para el tiempo total del análisis y diseño, entre los software C y E, dio como resultado, que el p valor obtenido fue menor que 0,05, representando un valor que está por debajo del nivel de significancia del 5%. Por lo tanto, **si** existe diferencia significativa entre el tiempo de análisis y diseño de ambos software.

Está claro que, el tiempo total de análisis y diseño de la edificación de dos plantas disminuyó significativamente cuando se utilizó el software C. Como se evidencia en la tabla 11, en las fases de pre-procesamiento y post-procesamiento, existieron diferencias significativas en el tiempo en que se realizaron estas dos fases, influyendo también significativamente en el tiempo total de diseño. Estas diferencias se pueden dar, a causa de los atributos que posee la interfaz gráfica de ambos software, ya que el software C logra simplificar los pasos para el modelamiento del edificio, en comparación con el software E. Ver tabla 21.

Edificio de tres plantas

- Los resultados del tiempo de análisis y diseño usando ambos software para la edificación de tres plantas se muestran a continuación:

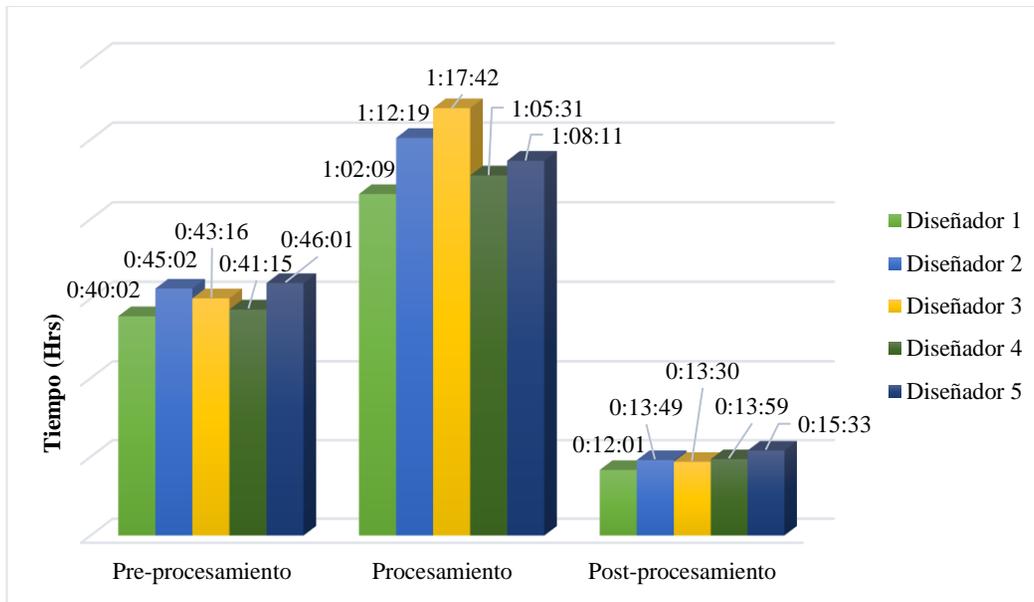


Figura 8. Tiempo de diseño mediante el uso del software C para la edificación de tres plantas.
Elaborado por: Kevin Angulo

Para el diseño de la edificación de tres plantas, el tiempo de análisis y diseño, para el pre-procesamiento es menor en comparación al del procesamiento de los datos, que aumenta en comparación a la fase anterior, cosa que no sucede con el post-procesamiento, el cual disminuye notablemente en comparación a las otras dos fases del diseño.

Tabla 13. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de tres plantas, por medio del software C.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Software C - Tres plantas entre pre-procesamiento y procesamiento	0,00002	79,22	5,32	Si
Software C - Tres plantas entre pre-procesamiento y post-procesamiento	0,00000001	547,50	5,32	Si
Software C - Tres plantas entre procesamiento y post-procesamiento	0,00000004	402,18	5,32	Si
Software C - Tres plantas entre pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento	0,0000000001	259,34	3,89	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

El análisis estadístico ANOVA para las tres fases, arrojó un valor p mucho menor a 0,05, lo que quiere decir que, entre cada fase del análisis y diseño de la edificación de tres plantas, con el uso del software C, existen diferencias significativas.

Al usar el software C, el pre-procesamiento no presenta una marcada variación, cuando aumenta el número de vanos o pisos, pero en la fase del procesamiento sí. A causa de que cuando aumenta el número de pisos, el programa tarda un poco más en procesar la información introducida por el usuario, además de que, si existen errores, el diseñador necesita corregirlos.

Por consiguiente, el tiempo se eleva en comparación a la fase del pre-procesamiento. Aunque el post procesamiento, también tiende a elevarse debido al mayor número de planos de detalle que tendrá que obtener el software.

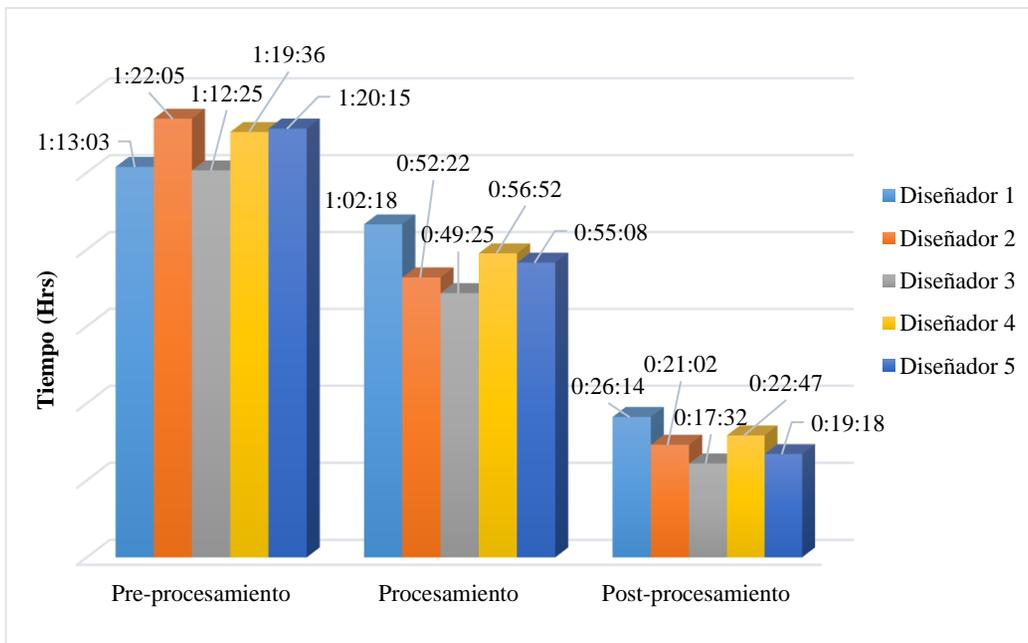


Figura 9. Tiempo de diseño mediante el uso del software E para la edificación de tres plantas.
Elaborado por: Kevin Angulo

En la figura 9 se observa que el pre-procesamiento lleva mayor tiempo en realizarlo, en comparación con el procesamiento y el post-procesamiento, en los cuales los tiempos decrecen significativamente. Esto se puede comprobar con el análisis estadístico ANOVA en la tabla 14.

Tabla 14. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de tres plantas, por medio del software E.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Software E - Tres plantas entre pre-procesamiento y procesamiento	0,00007	57,21	5,32	Si
Software E - Tres plantas entre pre-procesamiento y post-procesamiento	0,00000002	510,19	5,32	Si
Software E - Tres plantas entre procesamiento y post-procesamiento	0,000001	164,26	5,32	Si
Software E - Tres plantas entre pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento	0,0000000004	219,60	3,89	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

El análisis estadístico ANOVA para las tres fases, arrojó un valor p mucho menor al 0,05, lo que quiere decir que, entre cada fase del análisis y diseño de la edificación de tres plantas, con el uso del software E, existen diferencias significativas. y las razones para esto podrían ser las mismas que en el edificio de dos plantas, pero en este caso el tiempo para cada fase se elevó, a causa del mayor número de plantas de la estructura.

Tabla 15. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre los software C y E, de la edificación de tres plantas.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Tres plantas Pre-procesamiento entre software C - E	0,0000004	227,66	5,32	Si
Tres plantas Procesamiento entre software C - E	0,004	16,17	5,32	Si
Tres plantas Post-procesamiento entre software C - E	0,001	22,61	5,32	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

Es evidente, durante cada fase del análisis y diseño de la edificación de tres plantas, que el tiempo disminuye significativamente cuando se utilizó el software C, y gracias al análisis estadístico ANOVA se verificó esto. Para todas las fases del edificio de tres plantas, usando ambos software se verificó que existieron diferencias significativas en el tiempo de análisis y diseño. Esto es consecuencia de la interfaz gráfica de usuario que presentan ambos software, ya

que el software C logra simplificar los pasos para la realización de todas las fases. Esto se evidencia claramente en la Tabla 21.

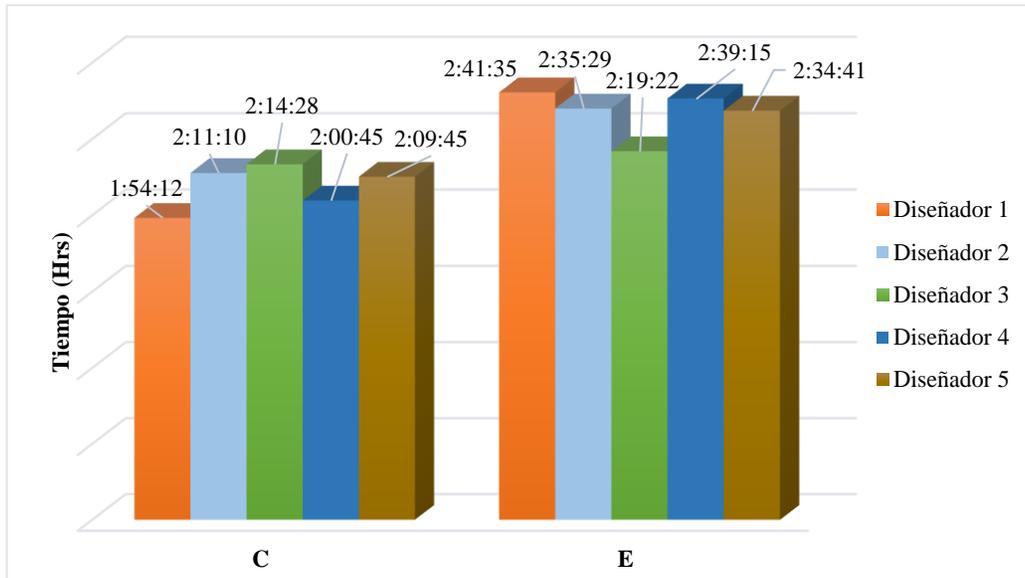


Figura 10. Comparación del tiempo de diseño mediante ambos software para la edificación de tres plantas.

Elaborado por: Kevin Angulo

La figura 10 presenta la comparación entre los tiempos totales de diseño (tiempos de pre-procesamiento + procesamiento + post-procesamiento), mediante ambos software, dando como resultado que cada diseñador tardó menos tiempo en diseñar la edificación de tres plantas con acceso a la terraza a través del uso del software C.

Tabla 16. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos de los tiempos totales de análisis y diseño entre los software C y E de la edificación de tres plantas

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Edificio de tres plantas - Entre software C y E	0,001	27,00	5,32	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

Del tiempo total del análisis y diseño, entre los software C y E, se obtuvo el análisis estadístico ANOVA de una vía, el mismo que dio como resultado, que **si** existe diferencia significativa entre los tiempos de análisis y diseño de ambos software.

Claramente, el tiempo total de análisis y diseño de la edificación de tres plantas disminuyó significativamente cuando se utilizó el software C. Como se observa en la tabla 16, en todas las fases (pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento), existieron diferencias significativas en el tiempo en que se realizó cada una, dando como resultado que, en el tiempo total del análisis y diseño del edificio, también se muestran estas diferencias significativas entre el software C y el software E.

Edificio de cuatro plantas

- Los resultados del tiempo de análisis y diseño mediante ambos software para la edificación de cuatro plantas se detallan a continuación:

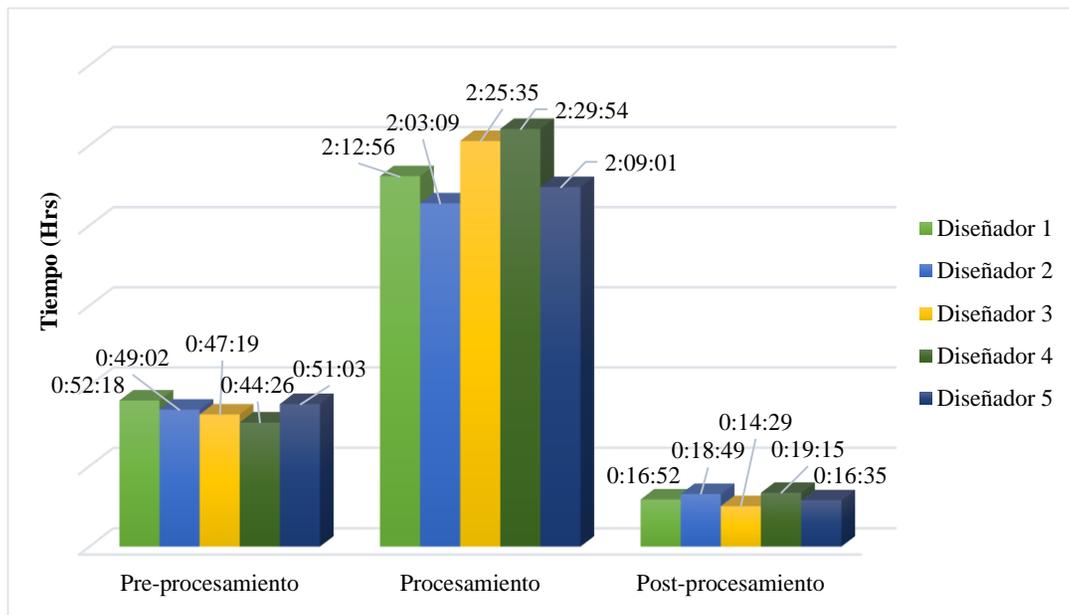


Figura 11. Tiempo de diseño mediante el uso del software C para la edificación de cuatro plantas.

Elaborado por: Kevin Angulo

Para el análisis y diseño de la edificación de cuatro plantas, el tiempo para el pre-procesamiento es menor en comparación al del procesamiento de los datos, que aumenta significativamente en comparación a la fase anterior, cosa que no sucede con el post-

procesamiento, el cual disminuye notablemente en comparación a cualquiera de las otras dos fases del diseño.

Tabla 17. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de cuatro plantas, por medio del software C.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Software C - Cuatro plantas entre pre-procesamiento y procesamiento	0,0000002	278,64	5,32	Si
Software C - Cuatro plantas entre pre-procesamiento y post-procesamiento	0,0000001	375,19	5,32	Si
Software C - Cuatro plantas entre procesamiento y post-procesamiento	0,00000001	540,81	5,32	Si
Software C - Cuatro plantas entre pre-procesamiento, procesamiento, post-procesamiento	0,00000000001	405,29	3,89	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

El análisis estadístico ANOVA para las tres fases, arrojó valores p mucho menores a 0,05, entonces se afirma que, entre cada fase del análisis y diseño de la edificación de cuatro plantas, con el uso del software C, existen diferencias significativas.

Al usar el software C, para todas las fases (pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento) se incrementa el tiempo de análisis y diseño cuando se aumenta el número pisos de tres a cuatro. Puesto que, el programa tarda un poco más en procesar la información introducida por el usuario, además de que, si existen errores, el diseñador necesita corregirlos.

A mayor número de plantas, puede surgir un mayor número de errores, por lo que el diseñador necesita mayor tiempo para corregir estos errores. Por ello, el tiempo se eleva en comparación a la fase del pre-procesamiento. Aunque el post procesamiento, también tiende a elevarse debido al mayor número de planos de detalle que tendrá que obtener el software.

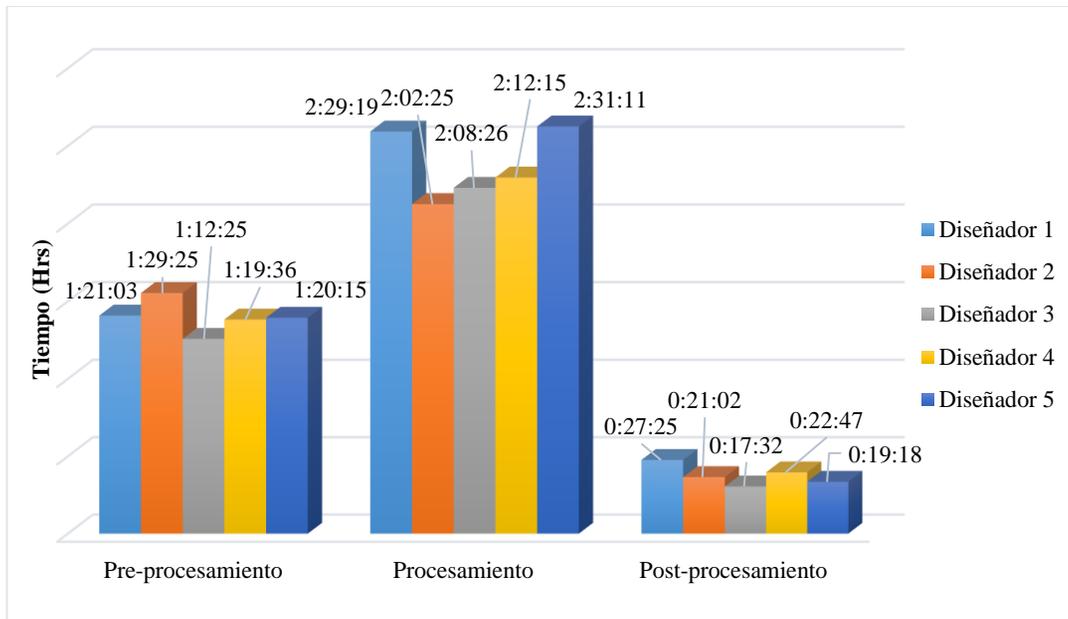


Figura 12. Tiempo de diseño mediante el uso del software E para la edificación de cuatro plantas.

Elaborado por: Kevin Angulo

La figura 12 muestra los resultados del tiempo de análisis y diseño, mediante cada fase del diseño de la edificación de cuatro plantas mediante el uso del software E, y en la cual se observa que el procesamiento lleva mucho mayor tiempo en realizarse, en comparación con el pre-procesamiento y el post-procesamiento en las cuales los tiempos disminuyen.

Tabla 18. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre las fases de diseño de la edificación de cuatro plantas, por medio del software E.

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Software E - Cuatro plantas entre pre-procesamiento y procesamiento	0,00002	78,19	5,32	Si
Software E - Cuatro plantas entre pre-procesamiento y post-procesamiento	0,00000008	341,52	5,32	Si
Software E - Cuatro plantas entre procesamiento y post-procesamiento	0,0000001	368,82	5,32	Si
Software E - Cuatro plantas entre pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento	0,0000000003	229,94	3,89	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

Gracias al análisis estadístico ANOVA, realizado entre las tres fases, se demostró que, entre cada fase del análisis y diseño de la edificación de cuatro plantas, por medio del uso del software E, si existen diferencias significativas, y las razones podrían ser las mismas que en los edificios de dos y tres plantas, pero en este caso el tiempo para cada fase se elevó, a causa del mayor número de plantas de la estructura.

Como se mencionó anteriormente a mayor número de plantas, surgieron mayor número de errores; por lo que toma mayor tiempo corregir estos errores que surgen en los elementos del edificio. Esto influye en mayor manera durante la fase del procesamiento, ya que es en esta fase que los diseñadores tratan de optimizar secciones e ir chequeando que el modelo no presente errores.

Tabla 19. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos entre los software C y E, de la edificación de cuatro plantas.

ANOVA		P	F	Fcrítico	Conclusión
Cuatro plantas	Pre-procesamiento entre software C - E	0,00001	108,98	5,32	Si
	Procesamiento entre software C - E	0,94	0,01	5,32	No
	Post-procesamiento entre software C - E	0,05	5,41	5,32	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

Gracias al análisis estadístico ANOVA se notó que, durante las fases de pre-procesamiento y post-procesamiento del análisis y diseño de la edificación de cuatro plantas, el tiempo disminuyó significativamente cuando se utilizó el software C, ya que el p valor en ambas fases es igual o menor a 0,05, representando valores que están por debajo del nivel de significancia del 5%. Pero durante la fase de procesamiento de los datos, **no** existió diferencias significativas entre los tiempos de análisis y diseño de ambos software, debido a que el p valor es mayor al 0,05 representando un valor que está por encima del nivel de significancia del 5%.

Para el edificio de cuatro plantas, durante las fases de pre-procesamiento y post-procesamiento se evidenciaron diferencias significativas entre ambos software. Puesto que, gracias a los atributos del software C, este logra simplificar los pasos para la inserción del modelo y cargas en la estructura. La fase de procesamiento no presentó diferencias significativas debido a que esta fase, no solo dependen del software, sino que también de la experiencia, o del nivel de seguridad que el diseñador requiera para el edificio.

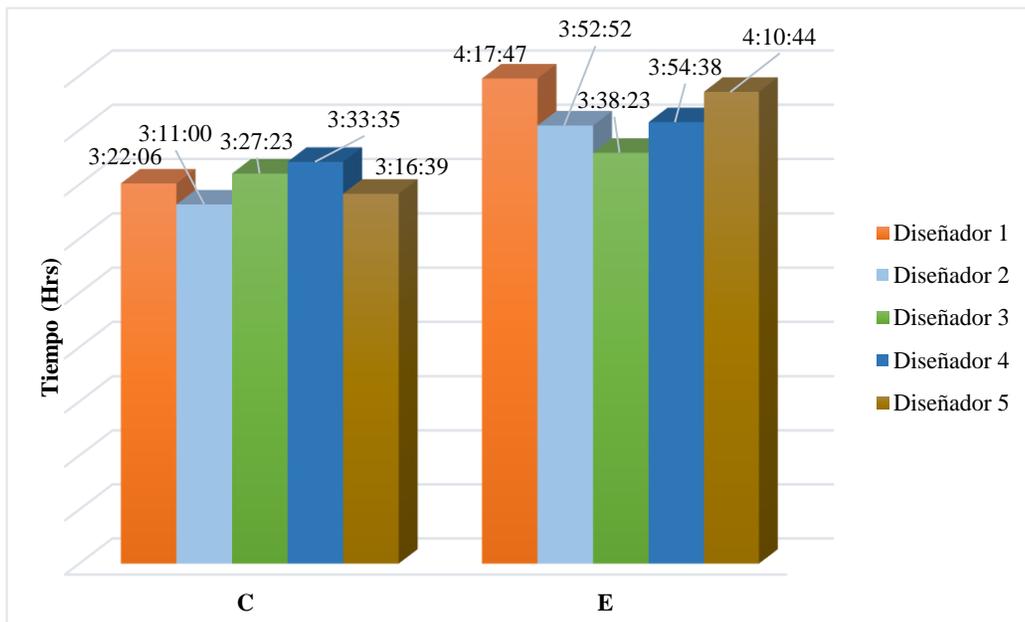


Figura 13. Comparación del tiempo de diseño mediante ambos software para la edificación de cuatro plantas.

Elaborado por: Kevin Angulo

La figura 13 demuestra la comparación entre los tiempos totales de diseño (tiempos de pre-procesamiento + procesamiento + post-procesamiento), mediante ambos software, a la izquierda el software C y a la derecha el software E, dando como resultado que cada diseñador tardó menos tiempo en diseñar la edificación de cuatro plantas con acceso a la terraza mediante el uso del software C.

Tabla 20. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos de los tiempos totales de análisis y diseño entre los software C y E de la edificación de cuatro plantas

ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
Edificio de cuatro plantas - Entre software C y E	0,002	21,01	5,32	Si

Elaborado por: Kevin Angulo

Del tiempo total del análisis y diseño, para la edificación de cuatro plantas entre los software C y E, se obtuvo el resultado del análisis estadístico ANOVA de una vía, el mismo que dio como resultado, que el p valor obtenido fue menor que 0.05, representando un valor que está por debajo del nivel de significancia del 5%. Por ello, **si** existe diferencia significativa entre ambos software.

Evidentemente, el tiempo total de análisis y diseño de la edificación de cuatro plantas disminuyó significativamente cuando se utilizó el software C. Como se ve en la tabla 19, en las fases de pre-procesamiento y post-procesamiento de los datos, el tiempo cuando se usa el software C disminuye significativamente en comparación al software E; influyendo en el tiempo total del análisis y diseño del edificio.

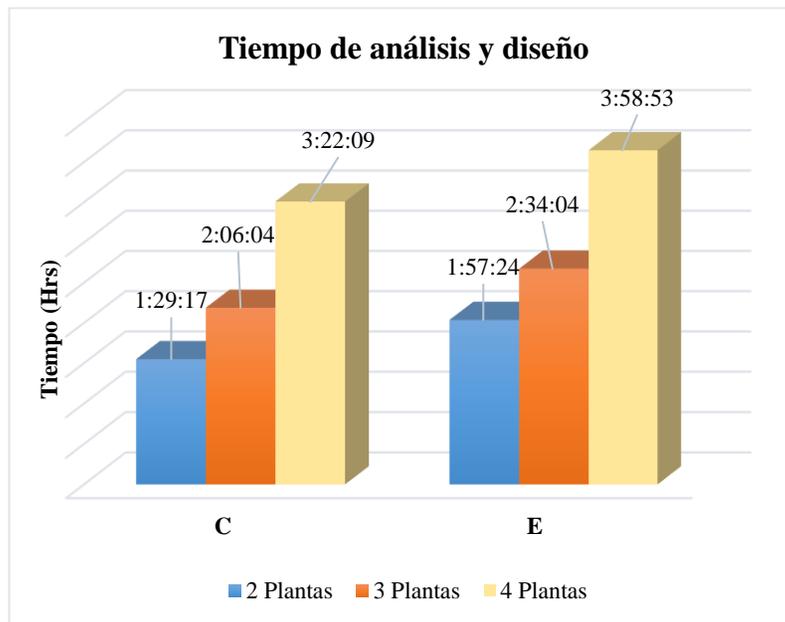


Figura 14. Tiempo de análisis y diseño de todas las edificaciones.

Elaborado por: Kevin Angulo

Como se puede observar claramente en la figura 14 el tiempo de análisis y diseño se incrementa en ambos software, cuando aumenta el número de plantas de la edificación.

Es evidente, que el software C contribuye a disminuir el tiempo que le lleva al diseñador estructural, el obtener los resultados del análisis y diseño para los tres tipos de edificios analizados. Para el edificio de dos plantas, disminuye el tiempo en un 24%, para el edificio de tres plantas, disminuye el tiempo en un 18%, y finalmente para el edificio de cuatro plantas, disminuye el tiempo en un 15%.

Los tiempos para cada fase del diseño (pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento) también varían de acuerdo al software que se utilice, y al número de plantas que se analicen. Es por ello que, es necesario entender el porqué de la variación de los tiempos en cada fase del diseño en ambos software, y para esto se ha realizado un análisis de la interfaz gráfica de usuario (GUI), de cada uno, ya que a través de ella, el usuario interactúa con el sistema, y así verificar si alguno de los software logra simplificar los procesos internos que realizan estos programas.

Tabla 21. Análisis de la Interfaz Gráfica de Usuario de los software C y E.

Fase	Atributo	Número de pasos		Ejecución
		C	E	
Pre-procesamiento	<i>Definir unidades.</i>	2	2	Seleccionar opciones
	<i>Configurar armados de elementos estructurales.</i>	176	-	El software C, seleccionar, y el software E, no necesita
	<i>Definir materiales.</i>	4	38	El software C, seleccionar, y el software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Seleccionar código o norma.</i>	2	2	Seleccionar opciones
	<i>Definir espectro de diseño.</i>	15	16	Seleccionar opciones
	<i>Definir patrones de carga, tipo de masa y casos de carga.</i>	-	22	El software C, no necesita, y el software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Definir combinaciones de carga.</i>	3	90	El software C, seleccionar, y el software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Introducir plantillas o grilla.</i>	37	22	El software C y software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Seleccionar número de pisos.</i>	8	-	El software C Selecciona, y el software E lo hace conjuntamente con la grilla
	<i>Definir secciones de columnas y dibujar.</i>	5	18	El software C y software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Definir secciones de vigas y dibujar.</i>	4	19	El software C y software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Definir sección de losa y dibujar.</i>	8	62	El software C, seleccionar, y el software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Dibujar escalera.</i>	19	47	El software C y software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Introducir cargas vivas y muertas.</i>	-	6	El software C, conjuntamente con el número de pisos y el software E introducir datos
	<i>Asignar restricciones en la base</i>	-	6	El software C, no necesita, y el software E, seleccionar.
	<i>Dibujar puntos de centro</i>	-	4	El software C, no necesita, y el software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Asignar diafragmas en plantas</i>	-	9	El software C, no necesita, y el software E, seleccionar e insertar datos
	<i>Seleccionar e introducir cimentación</i>	4	-	El software C, seleccionar, y el software E, no realiza
		Suma	287	363

Fase	Atributo	Número de pasos		Ejecución
		C	E	
Procesamiento	<i>Chequear torsión en planta</i>	10	11	Seleccionar opciones
	<i>Chequear derivas de piso</i>	4	9	Seleccionar opciones
	<i>Dimensionar el concreto</i>	2	2	Seleccionar opciones
	<i>Chequear el diseño de la superestructura (vigas, columnas y losas)</i>	14	13	Seleccionar opciones
	<i>Chequear aplastamiento en columnas</i>	-	12	El software C lo muestra conjuntamente con el resto de chequeos
	<i>Chequear el diseño de la cimentación</i>	11	-	El software C, seleccionar, y el software E, no realiza
	Suma	41	47	
Post-procesamiento	<i>Extracción de datos de columnas, vigas y losas, para análisis de armados</i>	-	10	Seleccionar opciones
	<i>Extracción de memoria técnica</i>	3	3	Seleccionar opciones
	<i>Seleccionar planos a detallar de elementos estructurales</i>	12	-	El software C, seleccionar, y el software E, no realiza
	Suma	67	72	
	Total	395	482	

Elaborado por: Kevin Angulo

El número de pasos necesarios para realizar las distintas etapas de la modelación de cada programa se muestran en la tabla 21, arrojando como resultado que el software C logra simplificar algunos pasos durante el pre-procesamiento de los datos, ya que mientras este requiere solo seleccionar opciones, el software E requiere de ingreso de datos por parte del usuario, aunque esto no se da en todos los casos.

El procesamiento de los datos, es la fase que depende netamente del diseñador estructural, de su experiencia con el software, del nivel de seguridad que le quiera dar a la estructura, y de la velocidad de procesamiento de datos por parte del software, ya que no se sabe cuántas veces el diseñador podrá mandar a correr al programa para chequear los errores, optimizar secciones, y

armados de los elementos de la edificación. Es decir, que esta fase mediante ambos software necesariamente debe tomar más tiempo en comparación a las otras fases, y aún más cuando se incrementa el número de pisos, debido a que habrá más elementos a analizar, chequear, y optimizar.

El tiempo del post-procesamiento, para ambos software, depende netamente del nivel de detalle que el diseñador le quiera dar, tanto a los planos de detalle, como a la información necesaria requerida para la elaboración de la memoria de cálculo y planos de la edificación.

Tabla 22. Análisis ANOVA de una vía para independencia de resultados obtenidos en cada fase del diseño, con el uso de cada software

	ANOVA	p	F	Fcrítico	Conclusión
	Pre-procesamiento entre 2 y 3 Plantas	0,11	3,34	3,89	No
	Pre-procesamiento entre 2 y 4 Plantas	0,002	19,82	3,89	Si
	Pre-procesamiento entre 3 y 4 Plantas	0,01	10,22	3,89	Si
	Pre-procesamiento entre 2, 3 y 4 Plantas	0,002	11,69	5,32	Si
<i>Software C</i>	Procesamiento entre 2 y 3 Plantas	0,000007	103,61	3,89	
	Procesamiento entre 2 y 4 Plantas	0,00000007	350,67	3,89	Si
	Procesamiento entre 3 y 4 Plantas	0,000003	136,93	3,89	
	Procesamiento entre 2, 3 y 4 Plantas	0,0000000004	216,72	5,32	
	Post-Procesamiento entre 2 y 3 Plantas	0,036	6,37	3,89	
	Post-Procesamiento entre 2 y 4 Plantas	0,0013	23,13	3,89	Si
	Post-Procesamiento entre 3 y 4 Plantas	0,01	11,16	3,89	
	Post-Procesamiento entre 2, 3 y 4 Plantas	0,001	14,68	5,32	
	Pre-procesamiento entre 2 y 3 Plantas	0,0004	33,33	3,89	Si
	Pre-procesamiento entre 2 y 4 Plantas	0,0004	33,68	3,89	Si
	Pre-procesamiento entre 3 y 4 Plantas	0,39	0,84	3,89	No
	Pre-procesamiento entre 2, 3 y 4 Plantas	0,0001	22,39	5,32	Si
<i>Software E</i>	Procesamiento entre 2 y 3 Plantas	0,0006	29,99	3,89	
	Procesamiento entre 2 y 4 Plantas	0,0000002	261,32	3,89	Si
	Procesamiento entre 3 y 4 Plantas	0,000001	175,79	3,89	
	Procesamiento entre 2, 3 y 4 Plantas	0,000000001	201,11	5,32	
	Post-Procesamiento entre 2 y 3 Plantas	0,04	5,76	3,89	Si
	Post-Procesamiento entre 2 y 4 Plantas	0,06	5,51	3,89	No
	Post-Procesamiento entre 3 y 4 Plantas	0,92	0,01	3,89	No
	Post-Procesamiento entre 2, 3 y 4 Plantas	0,08	7,96	5,32	No

Elaborado por: Kevin Angulo

Durante el Pre-procesamiento de los datos usando el software C, el tiempo de diseño no influye significativamente para los edificios de dos y tres plantas, pero para el de cuatro plantas sí. En cambio con el software E, el tiempo de diseño no influye significativamente para los edificios de tres y cuatro plantas, pero para el de dos plantas sí. Estas variaciones son ocasionadas por la experiencia con cada software, o el nivel de concentración de los diseñadores, pero en el tiempo de esta fase, siempre va a influir el número de plantas de la edificación.

El Procesamiento de los datos es la fase en la que influye más el número de plantas, tanto para el software C como para el E, ya que el tiempo de diseño aumenta considerablemente cuando existe un mayor número de plantas en la estructura y siempre existen diferencias significativas de tiempo entre los edificios de dos, tres y cuatro plantas.

El Post-procesamiento se refiere a la presentación de los resultados de ambos programas y tanto en las gráficas anteriores, como en los análisis ANOVA de una vía, se puede evidenciar que, para ambos programas computacionales, es la fase que toma menos tiempo. Además depende del nivel de detalle que el diseñador requiera para sus planos finales, y para la memoria técnica. Cabe recalcar que para el software C, el número de plantas influye significativamente para esta fase del diseño, algo que no sucede con el software E, en el que en todas las plantas, los tiempos no tuvieron diferencias significativas.

- **Atributos del software**

Durante el desarrollo de la investigación, mediante observación directa a los diseñadores estructurales, se identificó los atributos de ambos software, que contribuyen a elevar la productividad del operador, para lo cual se realizó un análisis comparativo de estos, entre los software C y E, como se ve en la tabla 23.

Tabla 23. Análisis comparativo de los atributos particulares de ambos software dentro de la presente investigación.

	Atributo	C	E
1	<i>Versión.</i>	V2016.o	2016 V16.2.0
2	<i>Idioma.</i>	Varios (Incluye español).	Varios (No Incluye español).
3	<i>Elementos estructurales que diseña.</i>	Columnas, Vigas, Losas, Escaleras, Cimentación.	Columnas, Vigas, Losas.
4	<i>Implementación de normas de construcción locales.</i>	NEC-SE-DS-2015 NEC-SE-HM 2015	NEC-SE-DS-2015
5	<i>Armado de los elementos diseñados.</i>	Muestra gráficamente en 2-D y 3-D el armado de cada elemento que diseña el programa, incluyendo el porcentaje de acero, además permite editarlo, y exportar a AutoCAD todos los armados de la estructura.	Muestra porcentajes de cantidad de acero en los elementos diseñados, permite visualizar en 3D y 2D armados tipo.
6	<i>Chequeo de errores del diseño.</i>	Para el chequeo de cada elemento, el programa muestra la existencia de algún error durante el procesamiento de los datos en base a la NEC 2015 de hormigón armado, es decir que si un elemento aparece con color rojo quiere decir que tiene algún tipo de error, por lo que posteriormente lo muestra mediante colores, cálculos y comparaciones con la norma.	Durante el chequeo de los elementos, el programa muestra la existencia de errores mediante colores y códigos, es decir que, si un elemento esta con color rojo quiere decir que tiene algún tipo de error, por lo que posteriormente lo muestra mediante cálculos y comparaciones con normas internacionales (ACI).
7	<i>Presentación de resultados.</i>	Muestra los resultados del modelamiento y diseño de la estructura, mediante tablas y planos, ya que cuenta con la opción de detallado de los mismos, cuantificación de cantidades de acero y de hormigón, es decir que da el planillado del acero por cada elemento estructural, además de una memoria técnica detallada de todos los datos del modelamiento de la estructura.	Muestra los resultados mediante tablas, graficas, porcentajes de acero, áreas de acero, momentos y esfuerzos, además de una memoria técnica detallada de todos los datos del modelamiento de la estructura.
8	<i>Velocidad de procesamiento de datos por parte del programa.</i>	Una vez que el usuario manda a correr al software, necesita mucho tiempo para el procesamiento computacional de los datos.	Al momento de mandar a correr al software, este necesita de poco tiempo para el procesamiento computacional de los datos.

Elaborado por: Kevin Angulo

Los ocho atributos de productividad que se identificaron fueron mediante un análisis de 30 diseños estructurales realizados mediante ambos software. Estas características se analizan una por una a continuación:

Para ambos programas se utilizó la versión 2016, y se consideró la versión para este análisis, debido a que es importante utilizar versiones de software actualizadas para los diseños, ya que con cada año se presentan al mercado nuevas versiones mejoradas, que pueden facilitar el uso a los diseñadores.

La tesis doctoral de Chaur Bernal (2004) habla del desarrollo del software, desde un punto de vista generalizado, y concluye que los programas disponibles en ese momento, todos en lengua inglesa, eran más adecuados a la mentalidad anglosajona que a la latina, lo cual se evidenció claramente durante el proceso de modelación y diseño.

El hecho de que un solo programa cuente con la capacidad de analizar tanto la subestructura como la superestructura, da la pauta para conocer que este es más productivo que otro, debido a la reducción de recursos que utiliza el diseñador, es decir que, si el diseñador necesita dos programas computacionales o más, para realizar el diseño estructural completo de una edificación, este está siendo menos productivo, en la tabla 24 se puede evidenciar lo mencionado.

Tabla 24. *Análisis de los recursos utilizados por el diseñador estructural*

Requisito	C	E
Análisis de la subestructura y superestructura	No necesita más programas.	Necesita de otro programa para el análisis de la subestructura.
Análisis del armado de elementos estructurales	Necesita análisis externo del acero a corte para las columnas, ya que el software, considera para toda la columna el confinamiento de estribos.	El diseñador necesita realizar y chequear, ya sea a mano o con la ayuda de otro software los armados de los elementos estructurales.
Detallado de armaduras de elementos estructurales	Realiza el detallado de todos los elementos estructurales, pero necesita la ayuda de otro programa para el acomodamiento en las láminas que determine la entidad contratante.	El diseñador necesita de otro programa para realizar el detallado de todos los elementos estructurales.
Cuantificación del acero de la estructura	Muestra la planilla de hierros conjuntamente con el detallado de los armados de los elementos estructurales.	Necesita de otro programa para la cuantificación del acero en los armados o también, dependiendo de la habilidad del diseñador, este puede realizar el cálculo manualmente.

Elaborado por: Kevin Angulo

Es importante que los resultados del análisis del software, se presenten de acuerdo a normas locales, esto debido a la aprobación por parte de las entidades contratantes.

Que un software muestre de manera amigable los elementos de la estructura y que a la marcha del diseño permita editarlos y visualizarlos en 3-D y 2-D, ayuda significativamente al diseñador estructural a proponer soluciones a posibles errores, o a optimizar el diseño, cosa que el software C realiza de manera confiable y segura, a diferencia del software E, el cual solamente muestra “armados tipo” de elementos estructurales.

Es importante también, que los errores de procesamiento de datos se muestren en base a normas locales e internacionales, debido a que principalmente las normas locales varían dependiendo de cada país, aunque evidentemente el software C tiene implementada la NEC 2015

además del ACI 318-08 y el ACI 318-11, el software E implementa el ACI 318-08, mediante el cual se basa la NEC 2015, además también implementa el ACI 318-11, y el 318-14.

La presentación de resultados puede resultar la característica más importante, al momento de evaluar la productividad del software debido a que las entidades contratantes exigen como mínimo al diseñador estructural, los detalles de los elementos de la estructura, y la memoria técnica, lo cual el software C ya implementa, como por ejemplo: el armado de cada elemento estructural, cosa que no hace el software E, ya que posteriormente a la obtención de sus resultados, el diseñador recién necesitaría realizar el análisis de los armados chequeando según las normas, y posteriormente poder realizar los detalles de los elementos estructurales.

La velocidad del procesamiento de los datos introducidos por el diseñador, puede influir debido a que el diseñador puede probar más alternativas al diseño en menos tiempo, si el software no tarda en procesar la información, este puede optimizar el diseño de manera rápida.

- **Calidad de resultados**

Los resultados de los chequeos que realiza cada diseñador en el programa dependen netamente del nivel de seguridad que el diseñador le da a la edificación, así como también, de las secciones de concreto y la cantidad de acero para cada elemento estructural.

El diseño arquitectónico es una base para lo que puede necesitar la estructura, ya que en ocasiones se necesitan secciones bastante esbeltas para satisfacer el diseño arquitectónico, pero cuando esto no sucede, como es el caso de este estudio, el diseñador es el que decide como van a modelarse las dimensiones de cada elemento estructural de la edificación.

Para la extracción de estos datos, se verificó que cada estructura cumpla con varios chequeos usando cada programa computacional, como es el caso de las derivas de piso, torsión de la estructura, excentricidad en planta, las cuales no varían de manera significativa entre ambos

programas estructurales; algo que se pudo evidenciar durante esta parte del estudio, es que la experiencia del diseñador prevalece para poder controlar estos fenómenos que se manifiestan en todas las edificaciones.

Posteriormente se realizó la comparación numérica de secciones de concreto y cantidad de acero de las vigas y columnas de los edificios de dos, tres y cuatro plantas, para lo cual se escogió el diseño que se consideró con mayor optimización de secciones. La comparación se basa en un análisis de productividad, calidad y costo; Rincón de Parra (2001) establece que este trío de conceptos se puede analizar como un todo prácticamente inseparable, por cuanto el cambio de uno cualquiera de los elementos afecta a los otros dos.

Cabe mencionar que existe variabilidad entre los resultados de ambos software, esto es debido a que el software C obtiene momentos y esfuerzos mayores a los del software E, lo cual produce que las secciones de hormigón y el acero de refuerzo se incrementen.

El software C utiliza el cálculo estático sísmico por coeficientes, el cual puede emplear como método general, el análisis del empuje horizontal mediante la aplicación de coeficientes sísmicos por planta; en cambio el software E realiza el análisis estático lineal de la estructura lo cual implica la solución del sistema de ecuaciones lineales, considerando los efectos sísmicos producidos por la aplicación de las cargas laterales en las direcciones perpendiculares críticas X e Y.

- Columnas

Tabla 25. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo longitudinal en columnas.

N°	Columnas	Software C			Software E			Diferencia (%)	
		Sección (cm)	Área (cm ²)	Acero (%)	Sección (cm)	Área (cm ²)	Acero (%)	Secciones (Ag)	Acero (As)
Dos plantas	Esquinera - A1	35x35	1225	1,4	30x30	900	1,0	27%	29%
	Central - C3	45x45	2025	1,5	40x40	1600	1,0	21%	33%
	Linderos - X e Y	40x40	1600	1,8	35x35	1225	1,0	23%	44%
Tres plantas	Esquinera - A1	55x55	3025	1,4	45x40	1800	1,0	40%	29%
	Central - B2	60x60	3600	1,1	50x40	2000	1,0	44%	9%
	Linderos - X e Y	55x55	3025	1,6	50x40	2000	1,0	34%	38%
Cuatro plantas	Esquinera - A1	45x45	2025	1,7	35x35	1225	1,0	40%	41%
	Central - B2 (Ver Anexo 5)	60x60	3600	1,1	50x50	2500	1,0	31%	9%
	Linderos - X e Y	55x55	3025	1,6	40x40	1600	1,0	47%	38%

Elaborado por: Kevin Angulo

Para la edificación de dos plantas, se puede evidenciar que las secciones de concreto y porcentaje de acero para columnas son mayores mediante el software C, ya que las secciones van desde 35x35 cm hasta de 45x45 cm; el mismo que no trabaja con el 1% de acero, sino que más bien llega hasta el 1,8%. En cambio, el software E si trabaja con el mínimo porcentaje de acero (1%) y secciones un poco más esbeltas, desde 30x30 cm hasta 40x40 cm. En el área de concreto se visualizaron diferencias que van del 21% al 27%, así como también, en la cantidad de acero, con diferencias que van desde el 29% al 44%.

El edificio de tres plantas, también presenta secciones de concreto y porcentaje de acero en columnas mayores cuando se utiliza el software C, ya que las secciones van de 55x55 cm hasta de 60x60 cm; llegando a utilizar desde el 1,1 hasta el 1,6% de acero. Esto no sucede con los resultados del software E, el cual si trabaja con el mínimo porcentaje de acero (1%) y secciones más esbeltas desde 45x40 cm hasta 50x40 cm. En el área de concreto se visualizaron

diferencias que van del 34% al 44%, así como también, en la cantidad de acero, con diferencias que van desde el 9% al 38%.

Las secciones de concreto y porcentaje de acero en columnas del edificio de cuatro plantas, también son menores cuando se utiliza el software E, ya que dichas secciones van de 35x35 cm hasta de 50x50 cm; utilizando el 1% de acero en todas las columnas. Esto no sucede con los resultados del software C, el cual trabaja con secciones menos esbeltas, que varían desde 45x45 cm hasta 60x60 cm, y porcentajes de acero que llegan hasta el 1,6%. En el área de concreto se visualizaron diferencias que van del 31% al 47%, así como también, en la cantidad de acero, con diferencias que van desde el 9% al 41%.

Los resultados de diseño en columnas son mayores tanto en secciones de elementos como en cuantías de acero de refuerzo longitudinal cuando se utilizó el software C. Esto podría atribuirse al tipo de cálculo que realiza el software C, ya que la modelación se realiza mediante la aplicación de coeficientes sísmicos por cada planta.

También se debe tomar en cuenta que las cuantías que el software E muestra en sus resultados son las mínimas requeridas habilitando la opción (para ser diseñado), que proporciona dicho software; por el contrario, las cuantías de armado que proporciona el software C, son las secciones reales de diseño que consideran el software conjuntamente con el diseñador, optimizando y unificando secciones, también verificando los parámetros de diseño bajo la NEC-SE-HM y ACI 318-11.

- Vigas

Tabla 26. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo en la viga crítica del edificio de dos plantas mediante el uso de ambos software.

Viga pórtico C - Piso 1 (Crítica)			Tramo: C1 - C2			Tramo: C2 - C3			Tramo: C3 - C4		
Sección			25x35								
Zona			1/3L	2/3L	3/3L	1/3L	2/3L	3/3L	1/3L	2/3L	3/3L
Área Sup.	[cm ²]	<i>Software C</i>	9,96	6,45	8,93	6,64	6,61	10,81	10,81	5,16	11,12
		<i>Software E</i>	4,24	1,32	5,32	5,23	1,30	4,34	4,55	1,25	5,00
Diferencia		%	57%	80%	40%	21%	80%	60%	58%	76%	55%
Área Inf.	[cm ²]	<i>Software C</i>	5,15	4,02	4,81	4,81	4,64	5,56	6,87	6,87	5,56
		<i>Software E</i>	2,11	3,21	2,65	3,68	3,41	2,16	2,27	3,21	2,49
Diferencia		%	59%	20%	45%	23%	27%	61%	67%	53%	55%
Área Transv.	[cm ² /m]	<i>Software C</i>	26,17	11,21	26,17	26,17	11,21	26,17	26,17	11,21	22,43
		<i>Software E</i>	6,02	5,42	6,31	9,11	5,42	5,42	6,10	5,42	6,08
Diferencia		%	77%	52%	76%	65%	52%	79%	77%	52%	73%

Elaborado por: Kevin Angulo

Para el diseño de vigas del edificio de dos plantas, se puede evidenciar que las secciones del prediseño (25x35) cm cumplieron cuando se utilizó ambos software; aunque en lo que se refiere a la cuantía del acero de refuerzo en las vigas, se refleja un aumento en el área de acero de refuerzo longitudinal y transversal mediante el uso del software C; evidenciando que en algunos tramos sobrepasa la cuantía máxima establecida por la NEC. El área de acero de refuerzo longitudinal manifiesta diferencias que van desde el 20% hasta el 80%; mientras que el área de refuerzo del acero transversal varía del 52% hasta el 79%.

Tabla 27. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo en viga crítica del edificio de tres plantas mediante el uso de ambos software.

Viga pórtico B - Piso 1 (Crítica)		Tramo: Volado			Tramo: B1 - B2			Tramo: B2 - B3			Tramo: B3 - B4			
Sección		25x40												
Zona		1/3L	2/3L	3/3L	1/3L	2/3L	3/3L	1/3L	2/3L	3/3L	1/3L	2/3L	3/3L	
Área Sup.	[cm²]													
	C	9,11	9,11	9,35	10,68	5,09	10,68	10,68	4,32	9,10	10,00	10,00	10,00	
	E	0,01	0,90	1,98	7,59	1,98	7,59	4,82	1,27	4,44	5,77	1,48	9,65	
Diferencia		%	100%	90%	79%	29%	61%	29%	55%	71%	51%	42%	85%	3%
Área Inf.	[cm²]													
	C	4,12	4,42	4,81	4,81	4,02	7,82	7,90	9,50	8,10	7,82	4,09	5,56	
	E	0,01	0,49	0,99	3,98	5,10	3,85	3,06	1,39	3,34	2,88	2,94	2,96	
Diferencia		%	100%	89%	79%	17%	-21%	51%	61%	85%	59%	63%	28%	47%
Área Transv.	[cm²/m]													
	C	26,17	26,17	26,17	26,17	9,24	26,17	26,17	9,24	26,17	19,63	9,24	19,63	
	E	6,05	6,32	6,74	7,73	6,10	7,66	6,75	6,01	6,63	8,07	6,71	8,02	
Diferencia		%	77%	76%	74%	70%	34%	71%	74%	35%	75%	59%	27%	59%

Elaborado por: Kevin Angulo

El edificio de tres plantas, revela que ambos programas diseñaron las vigas correctamente con una sección de 25x40 cm; aunque en lo que se refiere a la cuantía del acero de refuerzo en las vigas, se refleja un aumento en el área de acero de refuerzo longitudinal y transversal mediante el uso del software C, en el 97% de las zonas analizadas en la viga; evidenciando que en algunos tramos sobrepasa la cuantía máxima establecida por la NEC. El área de acero de refuerzo longitudinal en el volado manifiesta diferencias que van desde el 79% hasta el 100%; mientras que el área de refuerzo del acero en las zonas de la viga sin volado evidencia diferencias que van desde el 3% hasta el 85%. El acero de refuerzo transversal muestra diferencias que van desde el 27% hasta el 75%, en la zona de la viga que no posee volado; en la zona del volado las diferencias varían del 74% al 77%.

Tabla 28. Comparación numérica de secciones de concreto, y cuantías de acero de refuerzo en viga crítica del edificio de cuatro plantas mediante el uso de ambos software.

Viga pórtico 2 - Piso 1 (Crítica) <i>(Ver plano en anexo5)</i>			Tramo: A2 – B2			Tramo: B2 – C2			Tramo: C2 – D2		
Sección			30x45								
Zona			1/3L	2/3L	3/3L	1/3L	2/3L	3/3L	1/3L	2/3L	3/3L
Área Sup.	[cm ²]	Software C	14,70	7,66	13,07	13,07	13,53	13,81	13,07	10,63	14,70
		Software E	7,68	2,59	8,31	6,15	2,04	6,45	6,39	2,26	6,53
Diferencia		%	48%	66%	36%	53%	85%	53%	51%	79%	56%
Área Inf.	[cm ²]	Software C	8,55	4,52	9,61	9,61	8,40	9,61	9,61	7,06	8,55
		Software E	3,92	4,28	3,97	4,97	2,04	4,79	3,92	3,90	3,92
Diferencia		%	54%	5%	59%	48%	76%	50%	59%	45%	54%
Área Transv.	[cm ² /m]	Software C	22,43	8,72	22,43	22,43	8,72	22,43	22,43	8,72	22,43
		Software E	7,77	6,30	8,03	9,02	7,83	9,43	9,07	7,61	9,03
Diferencia		%	65%	28%	64%	60%	10%	58%	60%	13%	60%

Elaborado por: Kevin Angulo

Para el diseño de vigas del edificio de cuatro plantas, se puede evidenciar que las secciones de (30x45) cm cumplieron cuando se utilizó ambos software; aunque en lo que se refiere a la cuantía del acero de refuerzo en las vigas, se refleja un aumento en el área de acero de refuerzo longitudinal y transversal mediante el uso del software C; evidenciando que en algunos tramos sobrepasa la cuantía máxima establecida por la NEC. El área de acero de refuerzo longitudinal manifiesta diferencias que van desde el 5% hasta el 85%; mientras que el área de refuerzo del acero transversal varía del 10% al 65%.

Al igual que en las columnas, los resultados de diseño en vigas, son mayores en las cuantías de acero de refuerzo, cuando se utilizó el software C. Como se mencionó anteriormente esto podría atribuirse al tipo de cálculo que realiza el software C, ya que la modelación se realiza mediante la aplicación de coeficientes sísmicos por cada planta. El aumento en las cuantías de acero de refuerzo podría afectar a un determinado proyecto, a producir aumento de costos que se reflejaran en la fase constructiva.

En las vigas, al igual que en las columnas, las cuantías del software E muestra en sus resultados son las mínimas requeridas habilitando la opción (para ser diseñado), que proporciona dicho software; por el contrario, las cuantías de armado que proporciona el software C, son las secciones reales de diseño que consideran el software conjuntamente con el diseñador, optimizando y unificando secciones, también verificando los parámetros de diseño bajo la NEC-SE-HM y ACI 318-11.

- **Losas**

Para la edificación de dos plantas, se consideró una losa de 20 cm de espesor para ambos software, cumpliendo satisfactoriamente en ambos programas. Esto no sucedió en el edificio de tres plantas, el mismo que mediante ambos software requirió de un aumento en el espesor de la losa de 20cm a 25cm.

Al igual que el edificio de tres plantas, se requirió aumentar el espesor de la losa del edificio de cuatro plantas, pero esta vez dicho aumento fue de 25cm a 30cm para el correcto cumplimiento mediante los chequeos que realizan los dos programas de diseño estructural.

Para el diseño de las losas, la elección de la varilla depende netamente del diseñador, esto es debido a que ambos programas cuentan con opciones para elegir la varilla que se desea ubicar en las losas.

El software C ya diseña directamente con las varillas que el diseñador previamente configura durante la fase del pre-procesamiento, en cambio el software E, permite elegir la varilla posteriormente al análisis del programa; éste también muestra por áreas en la superficie de la losa el acero necesario, ya sea el superior o el inferior, longitudinal y transversal. Se debe enfatizar que ningún programa muestra algún tipo de mayoración en las secciones tanto de concreto como de acero.

El diseño de la losa por medio del software C es más amigable, debido a que cuenta con diversas herramientas muy fáciles de emplear las cuales se señalan a continuación: entrar losa, borrar losa (entrar hueco), cambiar punto de paso, cambiar disposición, datos de losa, copiar losas, borrar vigueta doble, introducir hueco, generar ábacos, introducir ábacos, mover esquinas, borrar un ábaco, borrar todos los ábacos y asignar armadura base respectivamente; en cambio el software E necesita de un poco más de esfuerzo, e introducción de franjas de diseño sobre las losas, lo cual requiere un poco más de conocimiento para realizarlo.

- **Escaleras**

Las escaleras son diseñadas automáticamente usando el software C, de una manera muy dinámica ya que ofrece diversas soluciones para la creación de las mismas; permitiendo ingresar los datos de la geometría de la escalera, el giro y las cargas; también toma en cuenta la carga distribuida lineal de un pasamanos y el solado, que se refiere al recubrimiento que se emplee por ejemplo enlucido y mármol para lo cual también toma en cuenta la carga; por último la sobrecarga de uso, que se refiere a la carga viva. Finalmente, el software le muestra el plano detallado de la escalera, conjuntamente con todas las cargas utilizadas, y la cuantificación del acero utilizado.

El software E no diseña las escaleras, pero si se las puede modelar para que el programa muestre los momentos máximos que se aplican sobre la escalera, y el diseñador pueda continuar con el diseño de una manera externa al programa.

- **Cimentación**

Al igual que las escaleras, el diseño de la cimentación no merece comparación entre ambos software, debido a que solo el software C, cuenta con la opción del diseño de la cimentación; el diseño de zapatas, el programa lo realiza automáticamente por el método de

bielas y tirantes; el cual es un método rígido que tiene su fundamento en la teoría de la plasticidad.

Tabla 29. Productividad en función de los tres indicadores identificados en el estudio.

Productividad			
N.-	Tiempo	Calidad	Atributos
<i>Dos plantas</i>	Software C aumenta la productividad en un 24%	Secciones de elementos estructurales, y cantidades de acero longitudinal más óptimos económicamente mediante el software E.	La amigabilidad que ofrece, y la presentación de resultados mediante el software C, es mucho más dinámica y aporta significativamente a un aumento de productividad para el diseñador estructural.
<i>Tres plantas</i>	Software C aumenta la productividad en un 18%		
<i>Cuatro plantas</i>	Software C aumenta la productividad en un 15%		

Elaborado por: Kevin Angulo

En la tabla 29, se presenta un resumen de los indicadores de productividad de software que se analizaron a lo largo del estudio, siendo estos el tiempo de análisis y diseño, calidad de resultados y atributos del software. En la tabla se evidencia una mejora de la productividad mediante el uso del software C, debido a los atributos que presenta el mismo, cosa que no sucede con la calidad de los resultados. Es así que, al analizar este parámetro, se puede verificar que el costo de la edificación aumentaría debido al aumento de secciones, tanto de concreto como de cuantías de acero, mediante el software C. Por lo que, los resultados del software E tienen una mejor calidad. Lo que (Rincón de Parra, 2001) afirmó en su estudio, cuando menciona que el aumento de productividad tiene como consecuencia una baja en la calidad de resultados, se podría corroborar de acuerdo a lo observado en este estudio.

- **Calificación del software**

Finalmente se aplicó el modelo de la encuesta de satisfacción de productividad de software a todos los diseñadores para obtener una calificación de ambos programas computacionales luego de la obtención de los resultados de la modelación.

Tabla 30. Encuesta de satisfacción de productividad de software

Atributo	Descripción	Software C	Software E
Productividad	Tiene la capacidad de importar el modelo desde Autocad y exportar los resultados a diferentes programas tales como SAP 2000, SAFE, Microsoft Excel y otros.	5	5
	Tiene la capacidad de dibujar los planos de detalles de los elementos estructurales analizados.	5	3
	Muestra errores de diseño de acuerdo normas de construcción.	5	5
	Cuenta con la capacidad de calcular la planilla de hierros de la estructura.	5	0
	Análisis tanto de la superestructura como de la cimentación del edificio.	5	0
	El programa tiene implementado las normas de construcción vigentes en el país y muestra sus resultados en base y rigiéndose a dichas normas.	5	3
	El software se encuentra disponible en múltiples idiomas incluyendo el español.	5	3
	El programa procesa los datos rápidamente para una pronta corrección de errores de concepción de la estructura.	0	5
	Cuenta con soporte local vía telefónica o correo electrónico.	5	3
Usabilidad	Posee una interfaz gráfica de usuario amigable.	5	5
	Tiene herramientas de autoayuda y auto aprendizaje o tutoriales.	5	5
Satisfacción	Confianza del usuario hacia el software.	3	5
Total =		53	42

Elaborado por: Kevin Angulo

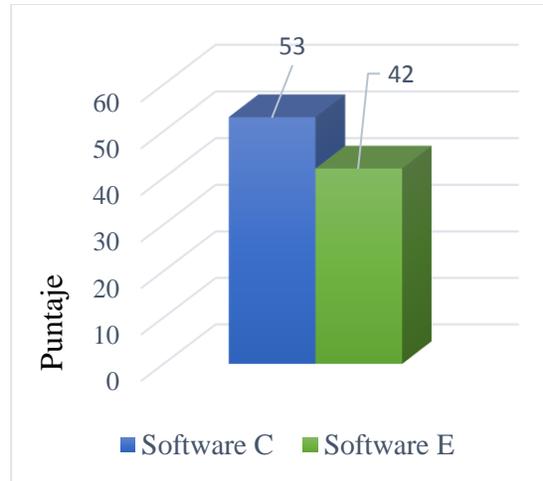


Figura 15. Resultados de la encuesta para la evaluación del diseño estructural de edificaciones.

Sobre un puntaje de 60 puntos los diseñadores calificaron a ambos software, en base a las características de productividad descritas en la encuesta dando una mejor puntuación al software C.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Se logró evaluar la productividad del diseño estructural de edificaciones de concreto armado mediante el uso de los software C y E; dicha evaluación se realizó en base a los atributos de productividad de cada software, y también al ahorro de recursos de software por parte de los diseñadores participantes en el estudio; el resultado, sobre un valor de 60 puntos fue de 53 para el software C, y 42 para el software E, obteniendo una diferencia del 21% entre ambos programas de diseño estructural.

Considerando el criterio de los diseñadores que participaron en este estudio, se identificaron ocho atributos de los programas de diseño estructural, que hacen que un software eleve la productividad del diseñador, estas son: versión, idioma, elementos estructurales que diseña, implementación de normas de construcción locales, armado de los elementos diseñados, chequeo de errores del diseño, presentación de resultados y velocidad de procesamiento de datos, siendo la penúltima, la más predominante.

Se comparó el tiempo que tardaron los cinco diseñadores estructurales en obtener los resultados del análisis, modelación y diseño de las edificaciones mediante el uso de ambos software, dando como resultados que para la edificación de dos plantas se obtuvo un tiempo promedio de 01:29:17 mediante el uso del software C, y 01:57:24 mediante el uso del software E. Para la edificación de tres plantas se obtuvo un tiempo promedio de 02:06:04 mediante el uso del software C, y 02:34:04 mediante el uso del software E. Para la edificación de cuatro plantas se obtuvo un tiempo promedio de 03:22:09 mediante el uso del software C, y 04:56:53 mediante el uso del software E.

Durante el análisis de productividad en función del tiempo de diseño, se determinó que el software C logra aumentar la productividad de los diseñadores, en comparación al software E, para la edificación de dos plantas en un 24%, para la edificación de tres plantas en un 18%, y para la edificación de cuatro plantas en un 15%.

Se realizó un análisis comparativo de la calidad de los resultados de la modelación y diseño estructural de todas las plantas, en función del análisis de los tres conceptos, productividad, calidad y costo, dando como resultado que, para todas las edificaciones, la calidad en función del costo de la estructura diseñada, es mejor mediante el software E, ya que optimiza tanto las secciones de concreto, como las secciones de acero en los elementos estructurales que diseña, columnas y vigas.

Se determinó que el software que contribuye de mejor manera a un incremento de productividad es el software C, esto debido a sus características de amigabilidad de software, la interfaz gráfica, que influye en la calidad de la presentación de los resultados de la modelación, análisis y diseño de las estructuras.

La reducción de los recursos utilizados para la obtención de resultados, durante el análisis, modelación y diseño de las edificaciones de concreto, por parte de los diseñadores, afirma que el software C, aporta mayor productividad.

La productividad del diseñador estructural, así como la calidad de resultados, varían notablemente, dependiendo el software que se utilice, también de las condiciones del espacio de trabajo en las que se encuentre el mismo.

6.2. RECOMENDACIONES

Tanto el software C y el E presentan resultados confiables; el uso de cualquiera de estos dos software, o de cualquier otro dependen netamente de la necesidad del diseñador estructural, es decir que, si se necesita un plano estructural lo más pronto posible, se recomienda el uso del software C, el cual cuenta con la opción de detallado de elementos estructurales, si no es el caso entonces se recomienda el uso del software E, debido a que presenta una mejor optimización de secciones.

Para el diseño a corte de columnas cuando se utilizan ambos software, se necesita chequear el diseño externamente, debido a que ambos no contemplan correctamente el diseño por confinamiento en sus resultados.

El correcto uso de la ergonomía, es decir, el establecer un espacio de trabajo en condiciones ergonómicas favorables, puede ayudar a mejorar tanto la productividad del diseñador estructural, como la salud del mismo.

Se recomienda como investigación futura un estudio de productividad de software enfocado a otro tipo de material, como es el acero estructural, a la combinación de este con el hormigón, y estructuras con tipologías irregulares.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Abud Figueroa, M. A. (2015). Calidad en la Industria del Software. La Norma ISO-9126. *UPIICSA. Investigación Interdisciplinaria*.
- Barba Garrido, C., & Barnés Sarrá, A. (2010). Prevención de los riesgos derivados de la utilización de ordenadores portátiles. *PQP Porta*, 1-8.
- Bohan, W. F. (2008). *El Poder Oculto de la Productividad*. Bogotá: Editorial Norma S. A.
- Bonilla, A. (2003). *Guía Básica para la aplicación de las TICs en PYMES*. Zamudio: Robotiker.
- Crosby, P. B. (1987). *La calidad no cuesta*. México, D. F. : Continental S. A.
- Chao Liao, P., O'Brien, W., Thomas, S. R., & Mulva, S. P. (2011). Factors Affecting Engineering Productivity. *Journal of Management in Engineering*, 229-235.
- Chaur Bernal, J. (2004). *Diseño conceptual de productos asistido por ordenador: Un estudio analítico sobre aplicaciones y definición de la estructura básica de un nuevo programa*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ebrahimi, Y., & Rokni, S. (2010). Validity of Industry Benchmarks and Metrics for Engineering Productivity. *American Society of Civil Engineers*, 1057-1063.
- Guerrero, C., & Galindo, F. (2014). *Administración 2 - Serie integral por competencias*. México D. F.: Grupo Editorial Patria.
- Jacko, J. A., Harrys, D., & Duffy, V. (2003). *Human - Computer Interaction*. Crete, Greece: Constantine Stephanidis.
- Kim, I. (2007). *Development and Implementation of an Engineering Productivity Measurement System (EPMS) for Benchmarking*. Austin Texas: The University of Texas at Austin.
- Nikolau, A. (17 de Febrero de 2016). *Comparative Report Cypecad vs Etabs*. Obtenido de CYPEYGR: <http://www.cypecygr.com/blog/comparative-report-cypecad-vs-etabs>

- ONGEI. (2004). *Guía Técnica sobre Evaluación de Software en la Administración Pública*.
Lima: Presidencia del Consejo de Ministros.
- Prokopenko, J. (1987). *La Gestión de la Productividad*. Ginebra: Organización Internacional del Trabajo.
- Rincón de Parra, H. (2001). Calidad, Productividad y Costos: Análisis de Relaciones entre estos Tres Conceptos. *Redalyc.org*, 49-61.
- Ruiz, G. (10 de Junio de 2015). *Concepto de productividad 2015*. Obtenido de De Finanzas: <https://definanzas.com/concepto-de-productividad/>
- Sáenz, M. (20 de Enero de 2012). *Observatorio de Recursos Humanos*. Obtenido de <http://www.observatoriorh.com/productividad/productividad-se-puede-medir-realmente-la-productividad-de-la-persona-en-el-trabajo.html>
- Sánchez Cubas, V., Arrambide Quiroz, A., & Roca Bendayan, L. (2015). *Informe técnico previo de evaluación de software para edificaciones*. Lima: GCTIC - GCPI.
- Song, L. (2003). Measuring and Estimating Steel Drafting Productivity. *Proceedings of the 2003 Construction Research Congress* (págs. 67-75). Honolulu: HI.
- Taboada Garcia, J. A., & Izcue Uceda, A. M. (2009). *Análisis y Diseño de Edificios Asistido por Computadoras*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Thomas, R. S. (1999). Conceptual Model for Measuring Productivity of Design and Engineering. *Journal of Construction Engineering and Management*, 1-7.
- Torres, J. C. (2005). *Diseño Asistido por Ordenador*. Granada: Universidad de Granada.
- Universidad Politécnica de Catalunya, B. (Mayo de 2011). Recomendaciones Ergonómicas. *Prevención de Riesgos Laborales*, 1-7.

8. ANEXOS

ANEXO I. Modelo de encuesta de selección de diseñadores participantes en el estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Objetivo: Conocer el nivel de experiencia de los ingenieros civiles y/o ingenieros estructurales en el manejo de los software “E” y “C”, el nivel de experiencia en diseños estructurales y el nivel de conocimiento e interpretación de normas de construcción vigentes.

Instrucciones: Por favor conteste el siguiente cuestionario, su aporte es de gran utilidad en este estudio, y marque con una X donde corresponda.

1. Nivel de educación:

Tercer nivel (Ingeniero Civil) ()

Cuarto nivel (Ingeniero estructural, vial, hidráulico, etc.) ()

2. Si marcó la segunda casilla especifique el área de su especialización.

3. Hace cuánto tiempo obtuvo su título de tercer nivel y/o de cuarto nivel si lo tuviere.

4. Ha realizado algún curso avalado por algún organismo con marco legal de diseño estructural de hormigón armado

Si ()

No ()

Duración: _____

5. Ha realizado planos estructurales de casas de 3 pisos o más para posterior aprobación en GADS Municipales?

Si

No

6. Si la respuesta anterior es si, indique el número de planos aprobados en su vida profesional

7. Ha utilizado usted algún software para el diseño y dibujo de planos estructurales. Indique cual o cuales ha utilizado

8. Hace cuánto tiempo diseña estructuras utilizando el/los software mencionados en la pregunta anterior

9. Está al tanto de las últimas actualizaciones de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, si es así mencione la última versión de la misma.

10. ¿Cuánto tiempo lleva usted diseñando estructuras mediante el Software E o el software C?

11. ¿Qué software prefiere para realizar sus diseños estructurales?

12. Ha realizado algún diseño estructural por medio el software C o el software E, especifique si solo en uno de ellos o en ambos

2.2. Hoja de proceso de análisis y diseño por medio del software C

1. Datos Generales de la Obra

- 1.1. Definir Unidades (2 pasos)
- 1.2. Definir materiales (Concreto (2 pasos) y Acero de refuerzo (2 pasos))
- 1.3. Configuraciones de armado: Columnas (20 pasos), Vigas (46), Losas (32 pasos), Cimentación (78 pasos) (Todo en el S.I.)
- 1.4. Seleccionar Normativa (2 pasos)
- 1.5. Definir espectro de diseño (análisis estático) (15 pasos).- NEC15.- $Z=0.35$, $n=2.48$, $F_a=1.23$, $F_d=1.15$, Suelo tipo C, $F_s=1.06$, $I=1$, $R=8$.

2. Menú de entrada de pilares

- 2.1. Introducir plantillas, (importar desde AutoCAD (6 pasos))
- 2.2. Seleccionar número de pisos, e insertar carga viva y carga muerta a cada piso (8 pasos)
- 2.3. Dibujar columnas (5 pasos)
- 2.4. Introducir líneas de replanteo, y modificar referencias (23 pasos)

3. Menú de entrada de Vigas

- 3.1. Dibujar vigas (4 pasos)
- 3.2. Definir losa e introducirla (8 Pasos)
- 3.3. Seleccionar tipo de cimentación e introducirla (4 pasos)
- 3.4. Dibujar y calcular la escalera (19 pasos)

4. Calcular la obra sin obtener el armado (2 pasos)

- 4.1. Corregir torsión en planta (10 pasos)
- 4.2. Chequear derivas de piso (4 pasos)

5. Calcular la obra sin dimensionar cimentación (2 pasos)

- 5.1. Chequear todos los elementos de la super estructura (columnas (5 pasos), Vigas (5 pasos), Losa (4 pasos)) y asegurarse de que pasen todos los errores que muestra el software

6. Dimensionar Cimentación (3 pasos)

- 6.1. Chequear todos los elementos de la cimentación y asegurarse de que pasen todos los chequeos que realiza el software (11)

7. Extraer memoria Técnica (Listados de Obra) (3 pasos)

8. Seleccionar los planos de detalle de los elementos estructurales. (12 pasos)

2.3. Hoja de proceso de análisis y diseño por medio del software E.

1. Inicialización del modelo

- 1.1. Seleccionar unidades (2 pasos)
- 1.2. Seleccionar Código o Norma para el concreto (2 pasos)

2. Menú Edit

- 2.1. Edit Stories and Grid System (Dibujar Grilla y número de pisos), o en el menú File, importar el modelo desde AutoCAD, en formato DXF (22 pasos)

3. Menú Define

- 3.1. Definir propiedades de materiales, Concreto para vigas y columnas con peso por unidad de volumen = 2,4 T/m³ (15 pasos), Concreto para losa con peso por unidad de volumen = 0 T/m³ (15 pasos), Acero de refuerzo (8 pasos)
- 3.2. Frame Sections.- Definir propiedades de secciones (Columnas Iag M2 y M3=0.8 (15 pasos) , Vigas Iag M3=0.5) (15 pasos).
Seleccionar el acero de refuerzo.

Reforzamiento para ser diseñado por el programa

- 3.3. Slab Sections.- Definir sección de la losa (Closa) y de la escalera (fc=210), ambas tipo membrana. (13 pasos)
- 3.4. Functions.- Definir espectro de diseño (Response Spectrum) NEC15.- Z=0.35, n=2.48, Fa=1.23, Fd=1.15, Suelo tipo C, Fs=1.06, I=1, R=8. (16 pasos)
- 3.5. Load Patterns.- Definir patrones de carga (Muerta, Viva, A. muerta, Csx, Csy)(12 pasos)
- 3.6. Mass Source.- Definir la masa (7 pasos)
- 3.7. Load Cases.- Definir casos de carga aumentando el espectro en x e y (15 pasos)
- 3.8. Load Combinations.- Definir combinaciones de carga (NEC 15) (90 pasos)

1.4D	1.2D + 1.0L - 1.0Csy
1.2D + 1.6L	0.9D + 1.0Csx
1.2D + 1.0L + 1.0Csx	0.9D - 1.0Csx
1.2D + 1.0L - 1.0Csx	0.9D + 1.0Csy
1.2D + 1.0L + 1.0Csy	0.9D - 1.0Csy

4. Menú Draw

- 4.1. Dibujar el modelo (Columnas (3 pasos), Vigas (4 pasos), Escaleras (47 pasos), Losas (3 pasos)).

5. Menú Assign

- 5.1. Asignar restricciones en la base (empotrar la base de la edificación) (6 pasos)
- 5.2. Shell loads.- Asignar cargas uniformes en las losas (Carga Viva y Carga Muerta) (6 pasos)

6. Draw Joint Objects (4 pasos)

6.1. Dibujar los puntos del centroide en x e y

7. Asignar diafragmas en cada planta (9 pasos)

8. Set load cases to run

8.1. Calcular Centros de rigidez (5 pasos)

9. **Run** (Mandar a correr el programa)

9.1. Chequear torsión en planta (11 pasos)

9.2. Chequear derivas de piso (9 pasos)

10. Concrete frame Design

10.1. Seleccionar combinaciones para el diseño (3 pasos)

10.2. Comenzar diseño

10.3. Verificar que todas las vigas y columnas pasen los chequeos, (También nudo rígido) (6 pasos)

10.4. Chequear aplastamiento en columnas (12 pasos)

10.5. Extraer datos de columnas y vigas (As, Ag)

10.6. Extraer memoria técnica de cálculo. (5 pasos)

11. Guardar el archivo con otro nombre para el diseño de la losa (2 pasos)

12. Cambiar el tipo de losa, en lugar de membrana poner Shell thin (7 pasos)

13. Dibujar fajas de diseño, en la losa más crítica a L/4 (Longitudinal y Transversal) (14 pasos)

14. Run, Concrete slab design

14.1. Seleccionar combinaciones para el diseño (1.4D y 1.2D +1.6L) (10pasos)

14.2. Comenzar diseño

14.3. Verificar que no salgan fallas en ningún sector de la losa. (4 pasos)

14.4. Extraer datos de losa (As longitudinal, transversal, superior e inferior, espesor)

14.5. Extraer memoria técnica de cálculo. (5 pasos)

ANEXO III. Planos tipo, que se implementarán a cada diseñador.

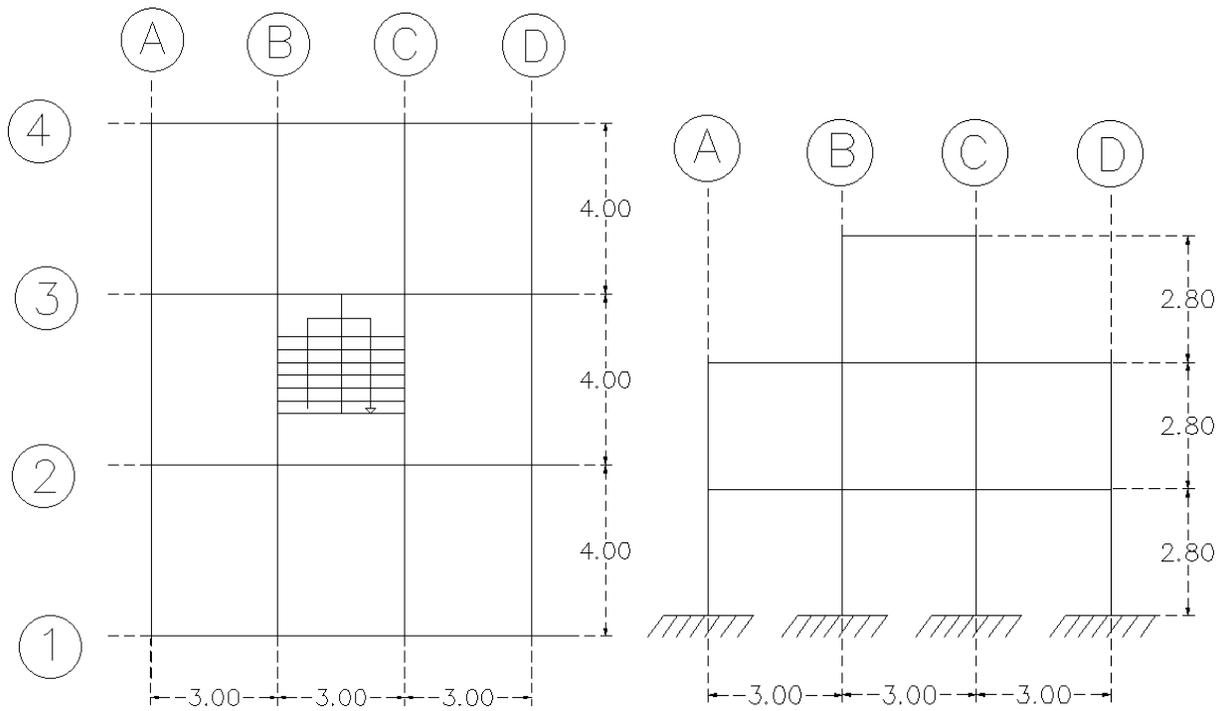


Figura 16. Vista en planta y elevación frontal de la edificación de dos plantas.

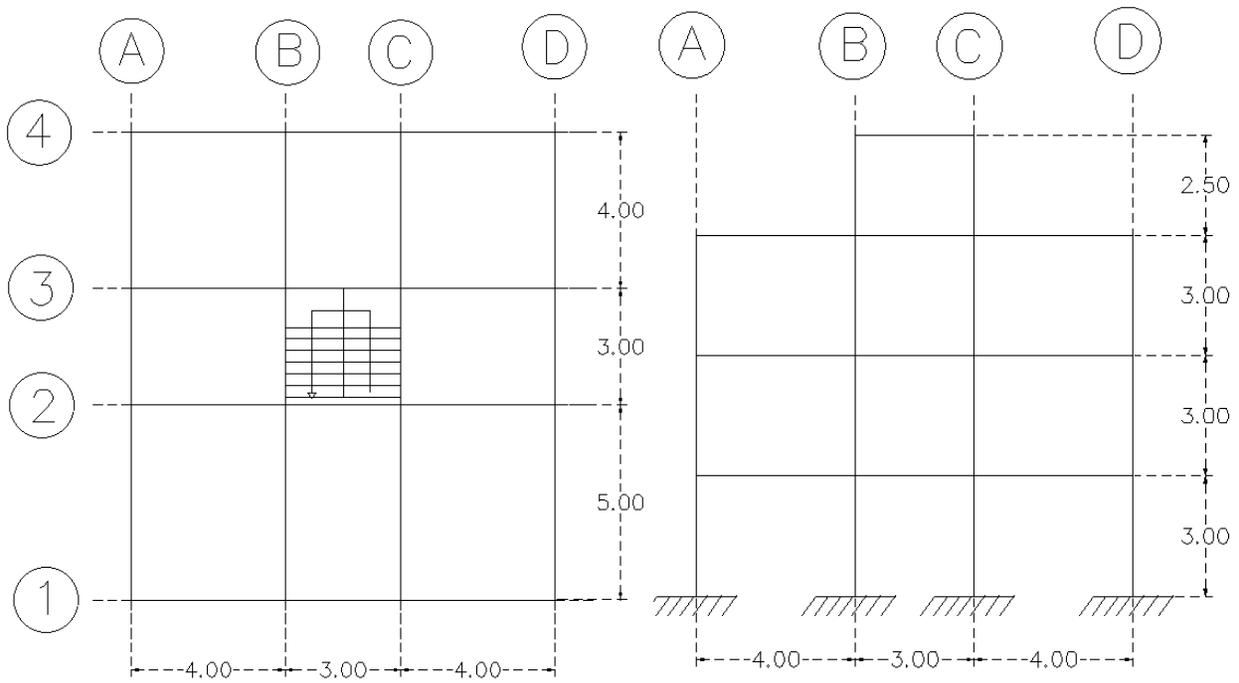


Figura 17. Vista en planta y elevación frontal de la edificación de tres plantas.

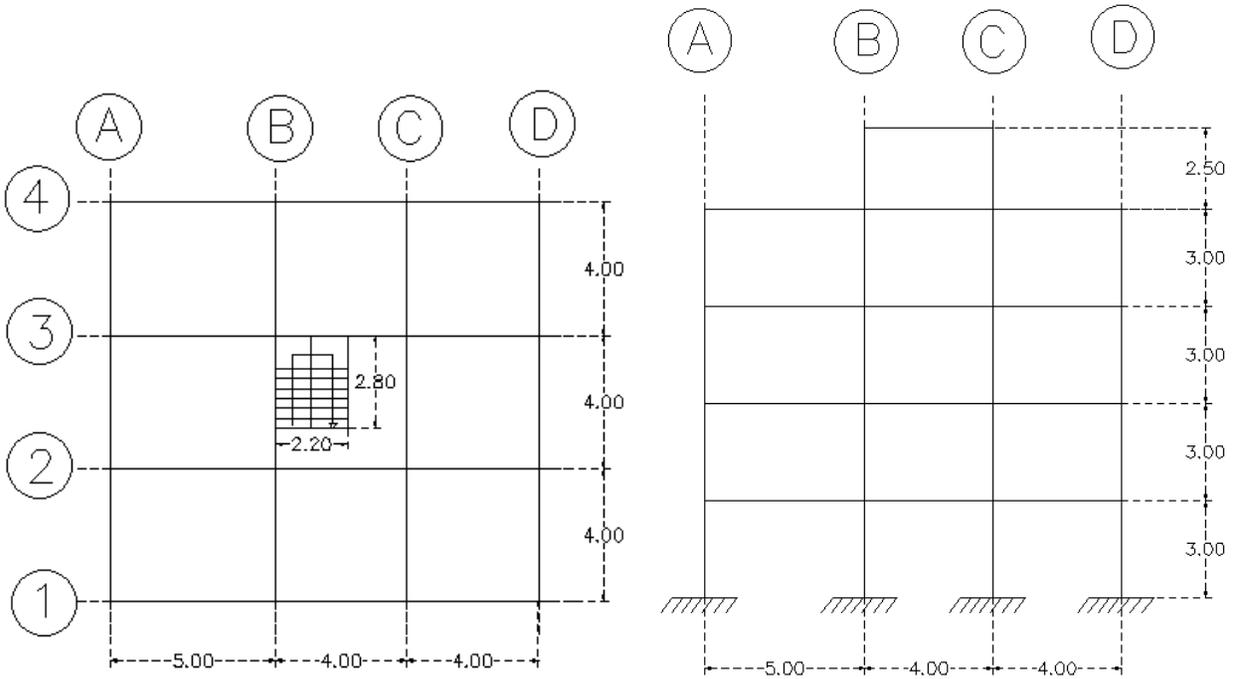


Figura 18. Vista en planta y elevación frontal de la edificación de cuatro plantas.

ANEXO IV. Fotografías del desarrollo de la investigación.



Figura 19. Espacio de trabajo en donde se realizó el estudio.



Figura 20. Extracción de datos durante el análisis y diseño de un edificio.



Figura 21. Extracción de datos durante el análisis y diseño de un edificio.

ANEXO V. Ejemplo de planos obtenidos de la modelación del edificio de cuatro plantas mediante el uso del software C (columna y zapata B2, viga pórtico 2, escalera y losa).

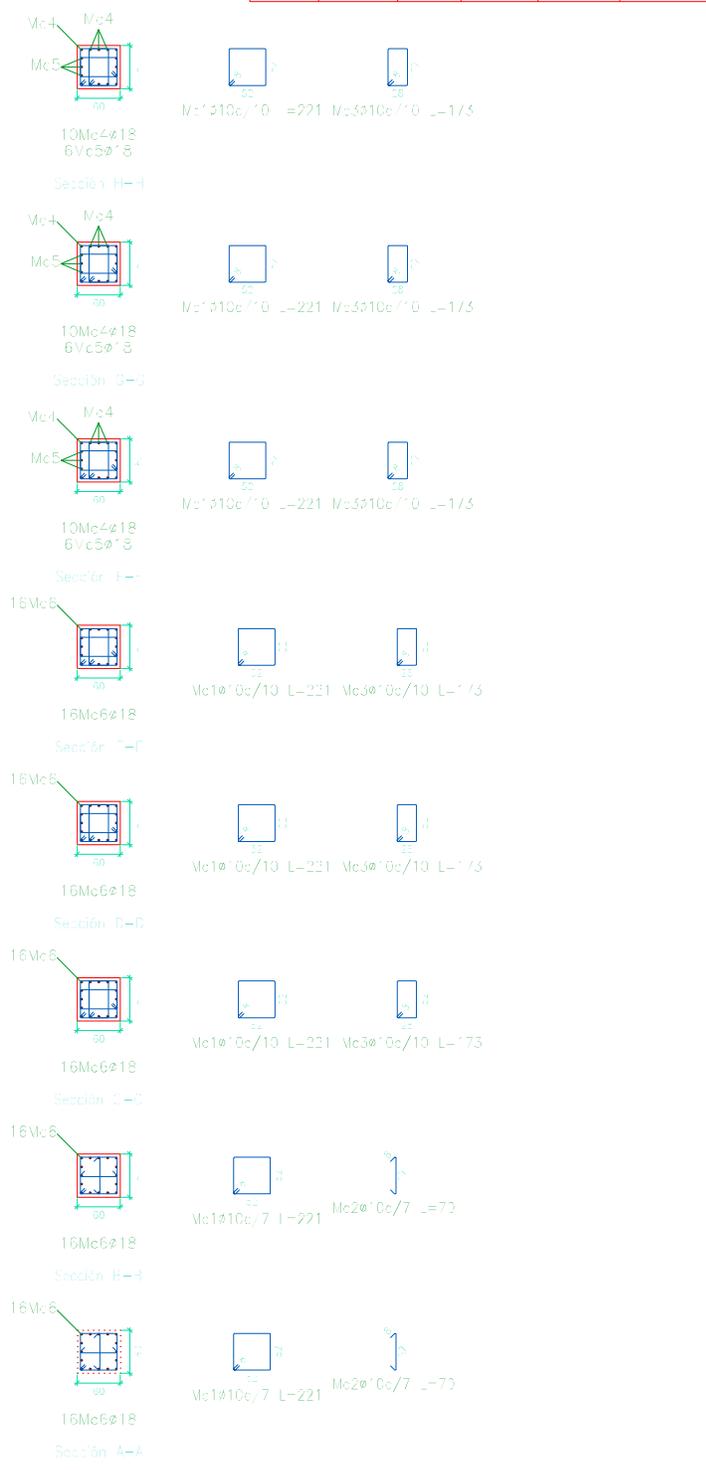
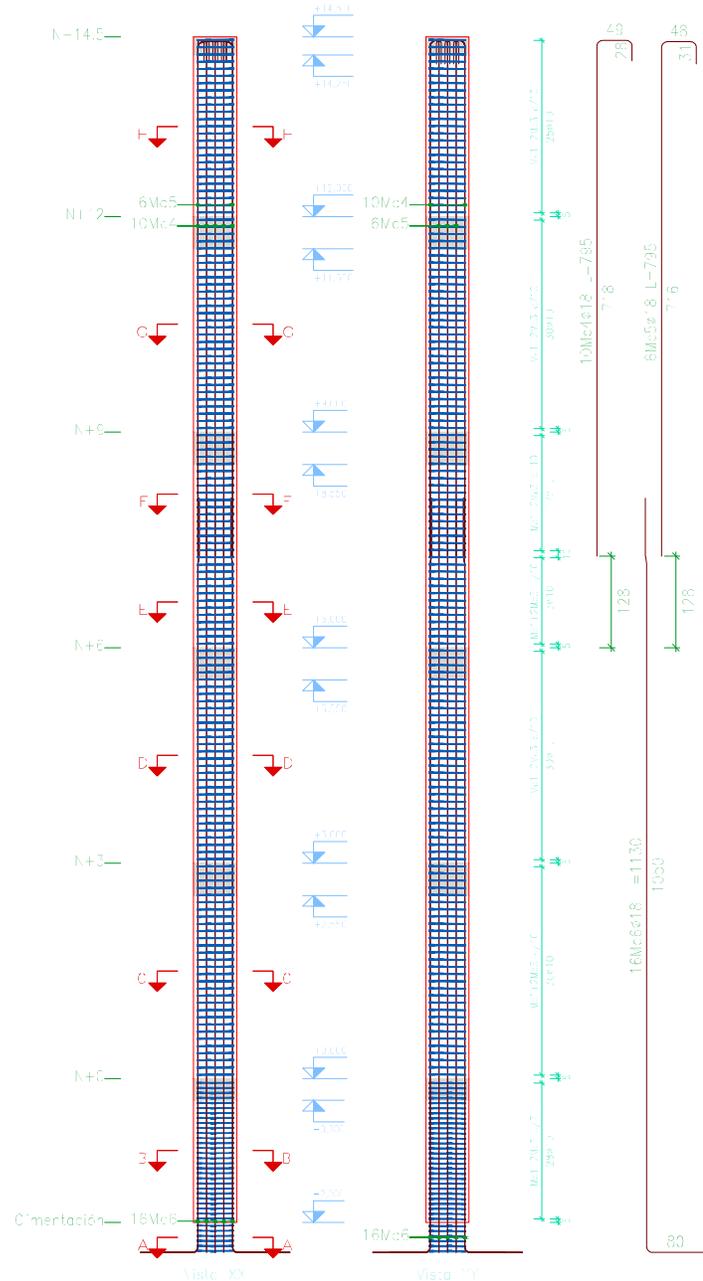
Pilares que nacen en N+0 y mueren en N+14.5

Hormigón: $f'c=210$

Acero en barras: Grado 60 (Latinoamérica)

Acero en estribos: Grado 60 (Latinoamérica)

Pos.	Dimcm.	No.	Long. (cm)	Vol (m ³)	Vol (kg)
1	ø10	179	271	39559	78118
2	ø10	88	70	4760	9520
3	ø10	290	173	50170	100340
4	ø18	10	795	7950	15900
5	ø18	6	795	4770	9540
6	ø18	16	1130	18080	36160



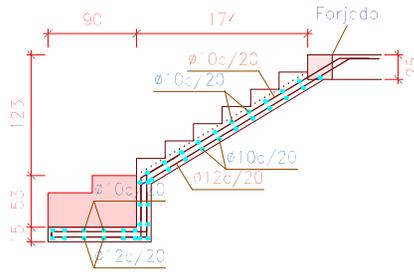
Pos.	D'ám.	No.	Esquema (cm)	Long. (cm)	Total (cm)	Grado 60 (kg)
1	ø10	179		271	39559	783.8
2	ø10	88		70	4760	29.3
3	ø10	290		173	50170	509.2
4	ø18	10		795	7950	158.8
5	ø18	6		795	4770	95.3
6	ø18	16		1130	18080	361.2
					Total + 0% (x2):	317.4
						2634.2
					ø10:	1281.2
					ø18:	1353.8
					Total:	2634.9

Planta	Dimensión (cm)	Hormigón		Armaduras Grado 60 (Latinoamérica)		
		Tipo: $f'c=210$ Recubrimiento: 4 cm		Longitudinal (kg)	Estribos (kg)	Total +10% (kg)
		Volumen (m ³)	Encofrado (m ²)			
N+14.5	60x60	1.80	6.00	-	87.3	96.0
N+12		2.16	7.20	-	104.8	115.3
N+9		2.16	7.20	254.1	104.8	394.8
N+6		2.16	7.20	-	104.8	115.3
N+3		2.16	7.20	-	104.8	115.3
N+0		1.44	4.80	-	62.3	68.5
Total (x2)		23.76	79.20	508.2	1137.8	1310.4

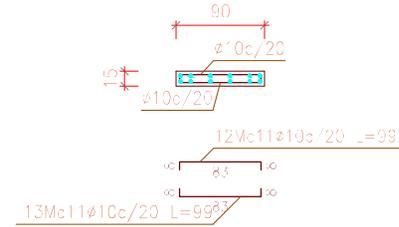
Escalera 1

Tramo 1	
Ámbito	0.900 m
Espesor	0.15 m
Illella	0.290 m
Contranuello	0.175 m
Desnivel que salva	2.98 m
Nº de escalones	17
Tramos consecutivos iguales	4
Planta final	N+12
Planta inicial	N+0
Peso propio	0.475 t/m ²
Paldaneco (armigado con la losa)	0.187 t/m ²
Solado	0.100 t/m ²
Barandillas	0.300 t/m
Sobrecarga de uso	0.480 t/m ²
Hormigón	f'c=210
Acero	Grado 60 (Latinoamérica)
Rec. geométrico	3.0 cm

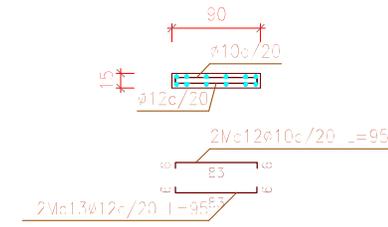
Sección C-C



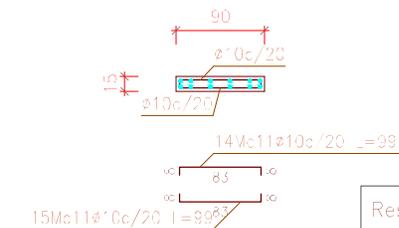
Sección D-D



Sección E-E

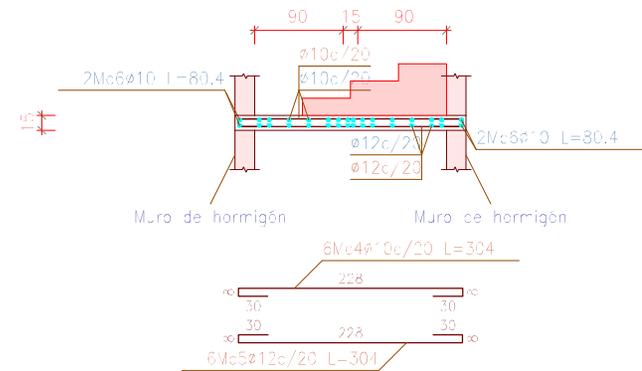


Sección F-F

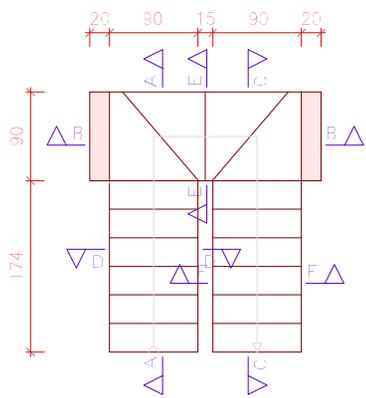
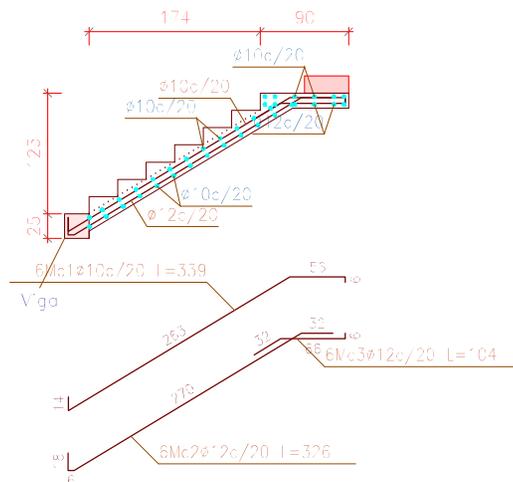


Resumen Acero Escalerc 1	Long. total (m)	Peso+10% (kg)	Total
Grado 60 ø10	510.5	346	
ø12	307.8	307	647

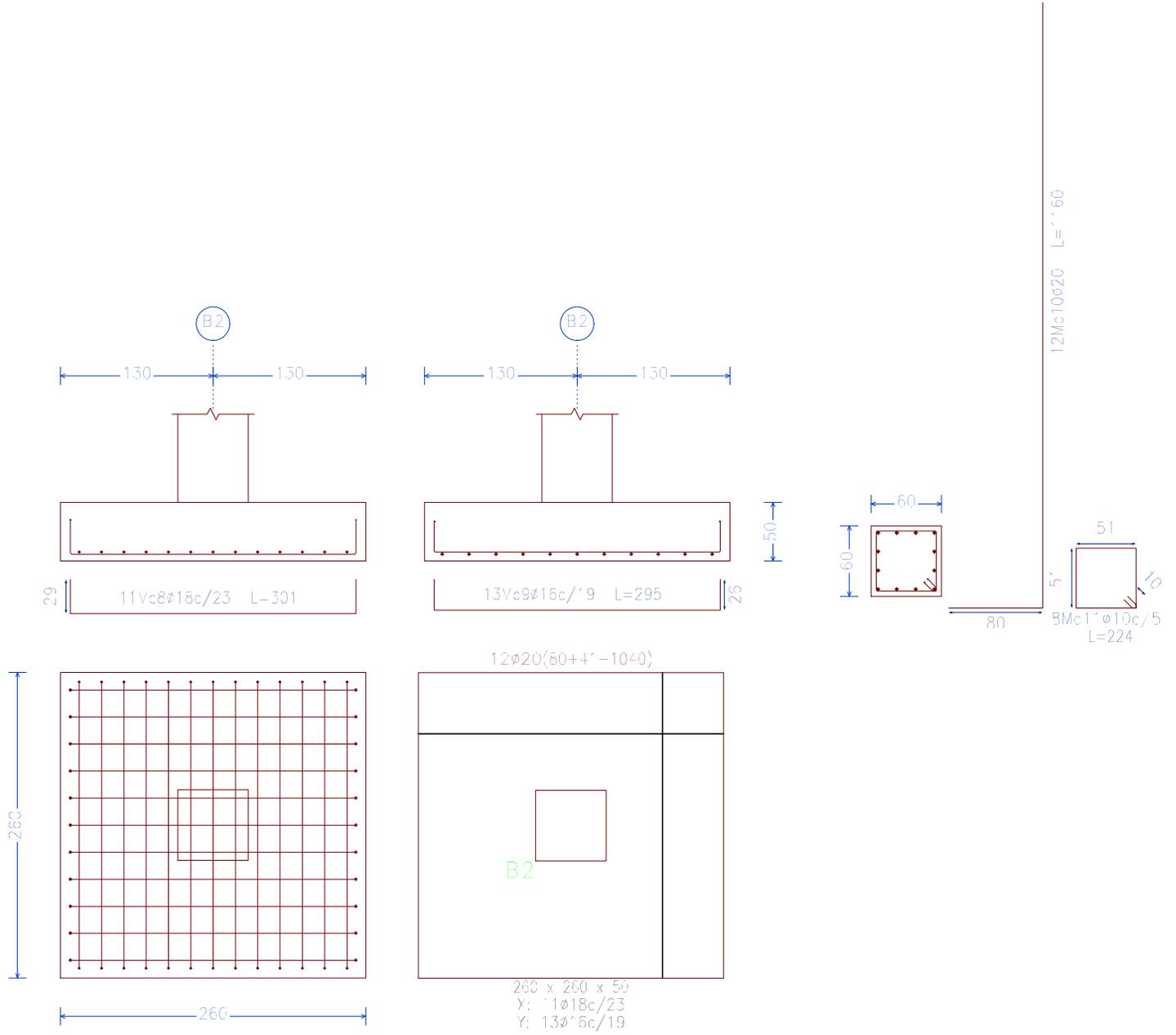
Sección B-B

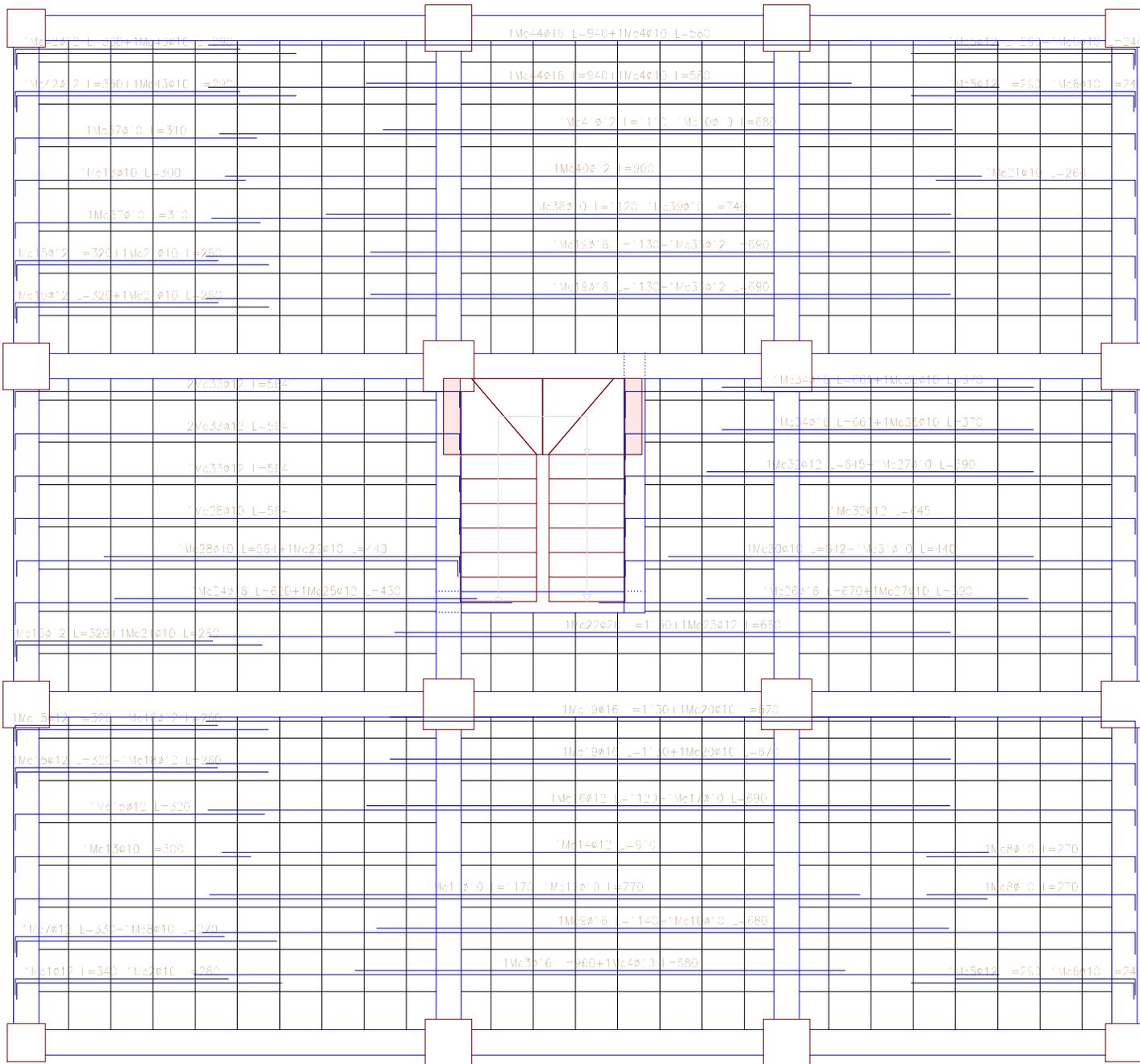


Sección A-A

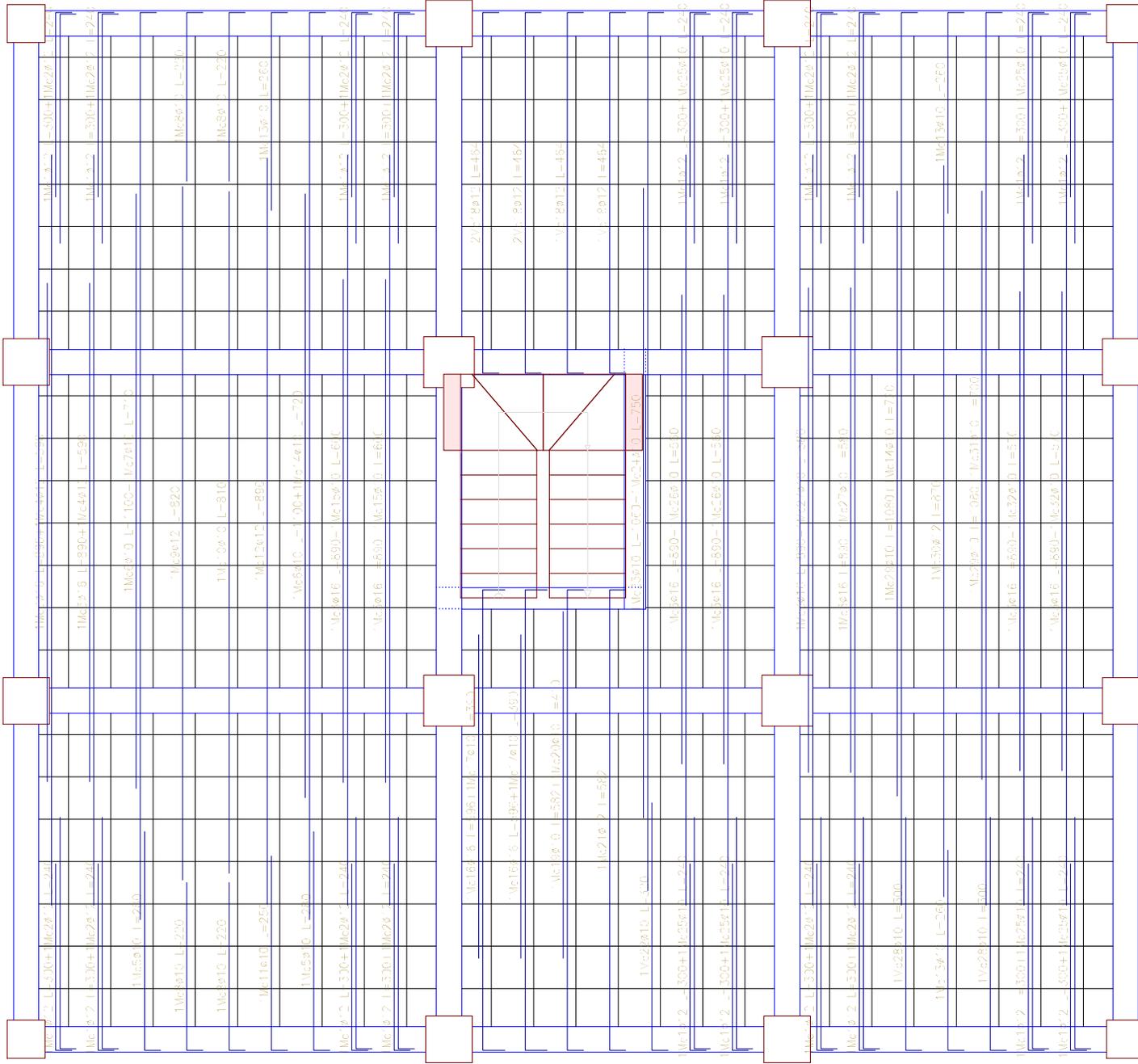


Elemento	Pos.	Diám.	Nº.	Long. (cm)	Total (cm)	Grado 60 (kg)
B2	8	ø 8	11	301	3311	66.1
	9	ø 6	13	295	3835	60.5
	10	ø 20	12	1760	13920	343.3
	11	ø 10	8	224	1792	11.0
Total					10%	529.0





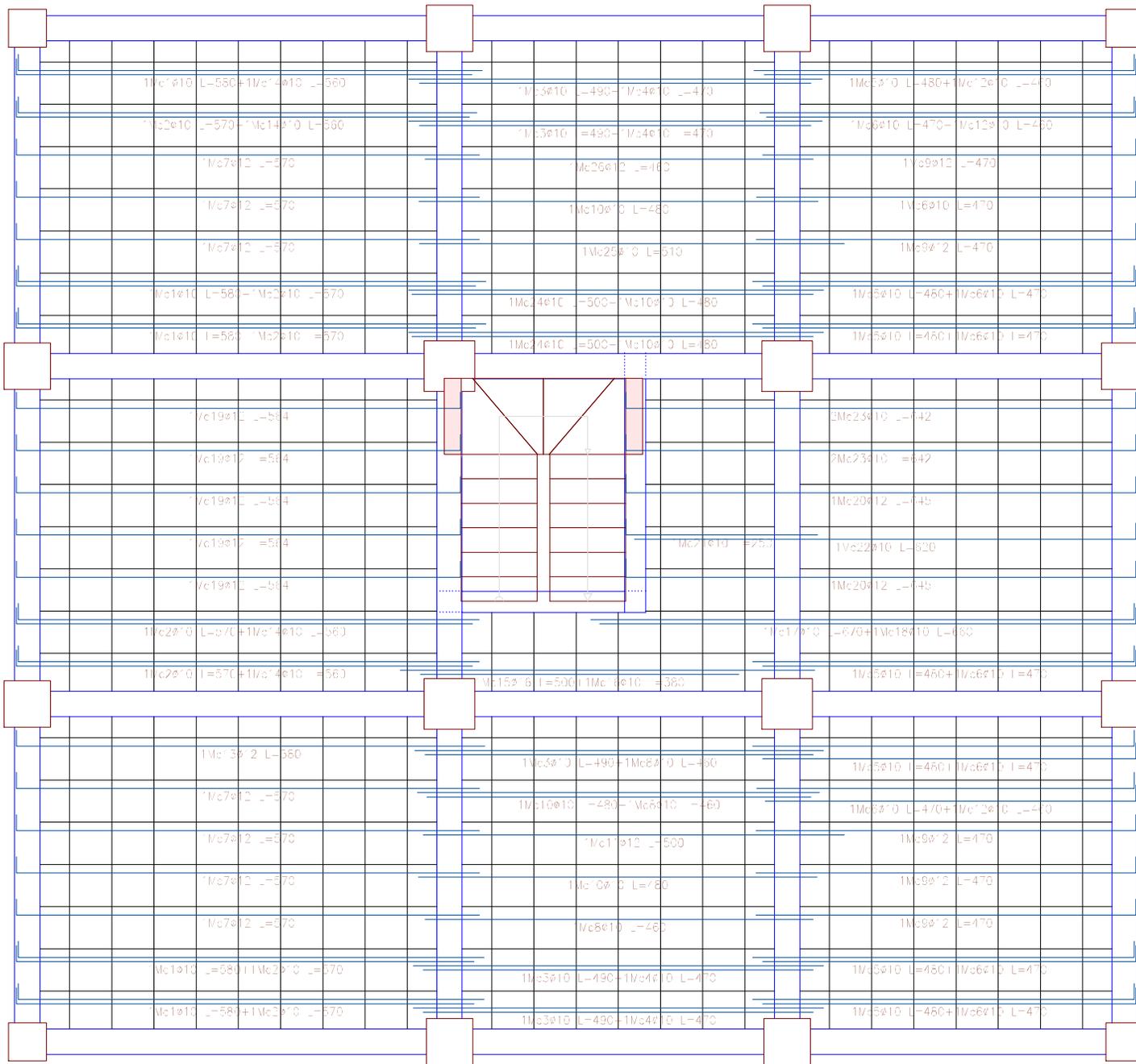
Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	Grado 60 (kg)
Armadura horizontal superior						
1	31C	1	74	74	54	4,0
2	31C	1	230	230	170	12,7
3	31C	1	390	390	290	22,0
4	31C	1	530	530	390	29,3
5	31C	1	740	740	540	40,5
6	31C	1	940	940	690	51,8
7	31C	1	1180	1180	870	65,3
8	31C	1	1440	1440	1060	79,3
9	31C	1	1710	1710	1260	94,5
10	31C	1	1990	1990	1470	110,7
11	31C	1	2280	2280	1690	126,7
12	31C	1	2580	2580	1920	144,0
13	31C	1	2890	2890	2160	162,0
14	31C	1	3210	3210	2410	180,8
15	31C	1	3540	3540	2670	200,3
16	31C	1	3880	3880	2940	220,5
17	31C	1	4230	4230	3220	241,5
18	31C	1	4590	4590	3510	263,3
19	31C	1	4960	4960	3810	285,8
20	31C	1	5340	5340	4120	309,0
21	31C	1	5730	5730	4440	333,0
22	31C	1	6130	6130	4770	357,8
23	31C	1	6540	6540	5110	383,3
24	31C	1	6960	6960	5460	409,5
25	31C	1	7390	7390	5820	436,5
26	31C	1	7830	7830	6190	464,3
27	31C	1	8280	8280	6570	492,8
28	31C	1	8740	8740	6960	521,8
29	31C	1	9210	9210	7360	551,3
30	31C	1	9690	9690	7770	581,3
31	31C	1	10180	10180	8190	611,8
32	31C	1	10680	10680	8620	642,8
33	31C	1	11190	11190	9060	674,3
34	31C	1	11710	11710	9510	706,3
35	31C	1	12240	12240	9970	738,8
36	31C	1	12780	12780	10440	771,8
37	31C	1	13330	13330	10920	805,3
38	31C	1	13890	13890	11410	839,3
39	31C	1	14460	14460	11910	873,8
40	31C	1	15040	15040	12420	908,8
41	31C	1	15630	15630	12940	944,3
42	31C	1	16230	16230	13470	980,3
43	31C	1	16840	16840	14010	1016,8
44	31C	1	17460	17460	14560	1053,8
45	31C	1	18090	18090	15120	1091,3
46	31C	1	18730	18730	15690	1129,3
47	31C	1	19380	19380	16270	1167,8
48	31C	1	20040	20040	16860	1206,8
49	31C	1	20710	20710	17460	1246,3
50	31C	1	21390	21390	18070	1286,8
51	31C	1	22080	22080	18690	1327,8
52	31C	1	22780	22780	19320	1369,3
53	31C	1	23490	23490	19960	1411,3
54	31C	1	24210	24210	20610	1453,8
55	31C	1	24940	24940	21270	1496,8
56	31C	1	25680	25680	21940	1540,3
57	31C	1	26430	26430	22620	1584,3
58	31C	1	27190	27190	23310	1628,8
59	31C	1	27960	27960	24010	1673,8
60	31C	1	28740	28740	24720	1719,3
61	31C	1	29530	29530	25440	1765,3
62	31C	1	30330	30330	26170	1811,8
63	31C	1	31140	31140	26910	1858,8
64	31C	1	31960	31960	27660	1906,3
65	31C	1	32790	32790	28420	1954,3
66	31C	1	33630	33630	29190	2002,8
67	31C	1	34480	34480	29970	2051,8
68	31C	1	35340	35340	30760	2101,3
69	31C	1	36210	36210	31560	2151,8
70	31C	1	37090	37090	32370	2202,8
71	31C	1	37980	37980	33190	2254,3
72	31C	1	38880	38880	34010	2306,8
73	31C	1	39790	39790	34840	2359,8
74	31C	1	40710	40710	35680	2413,3
75	31C	1	41640	41640	36530	2467,8
76	31C	1	42580	42580	37390	2522,8
77	31C	1	43530	43530	38260	2578,8
78	31C	1	44490	44490	39140	2635,3
79	31C	1	45460	45460	40030	2692,8
80	31C	1	46440	46440	40930	2750,8
81	31C	1	47430	47430	41840	2809,8
82	31C	1	48430	48430	42760	2869,8
83	31C	1	49440	49440	43690	2930,8
84	31C	1	50460	50460	44630	2992,8
85	31C	1	51490	51490	45580	3055,8
86	31C	1	52530	52530	46540	3119,8
87	31C	1	53580	53580	47510	3184,8
88	31C	1	54640	54640	48490	3250,8
89	31C	1	55710	55710	49480	3317,8
90	31C	1	56790	56790	50480	3385,8
91	31C	1	57880	57880	51490	3454,8
92	31C	1	58980	58980	52510	3524,8
93	31C	1	60090	60090	53540	3595,8
94	31C	1	61210	61210	54580	3667,8
95	31C	1	62340	62340	55630	3740,8
96	31C	1	63480	63480	56690	3814,8
97	31C	1	64630	64630	57760	3889,8
98	31C	1	65790	65790	58840	3965,8
99	31C	1	66960	66960	59930	4042,8
100	31C	1	68140	68140	61030	4120,8
101	31C	1	69330	69330	62140	4199,8
102	31C	1	70530	70530	63260	4279,8
103	31C	1	71740	71740	64390	4360,8
104	31C	1	72960	72960	65530	4442,8
105	31C	1	74190	74190	66680	4525,8
106	31C	1	75430	75430	67840	4609,8
107	31C	1	76680	76680	69010	4694,8
108	31C	1	77940	77940	70190	4780,8
109	31C	1	79210	79210	71380	4867,8
110	31C	1	80490	80490	72580	4955,8
111	31C	1	81780	81780	73790	5044,8
112	31C	1	83080	83080	75010	5134,8
113	31C	1	84390	84390	76240	5225,8
114	31C	1	85710	85710	77480	5317,8
115	31C	1	87040	87040	78730	5410,8
116	31C	1	88380	88380	79990	5504,8
117	31C	1	89730	89730	81260	5600,8
118	31C	1	91090	91090	82540	5697,8
119	31C	1	92460	92460	83830	5795,8
120	31C	1	93840	93840	85130	5894,8
121	31C	1	95230	95230	86440	5994,8
122	31C	1	96630	96630	87760	6095,8
123	31C	1	98040	98040	89090	6197,8
124	31C	1	99460	99460	90430	6300,8
125	31C	1	100890	100890	91780	6405,8
126	31C	1	102330	102330	93140	6511,8
127	31C	1	103780	103780	94510	6618,8
128	31C	1	105240	105240	95890	6726,8
129	31C	1	106710	106710	97280	6835,8
130	31C	1	108190	108190	98680	6945,8
131	31C	1	109680	109680	100090	7056,8
132	31C	1	111180	111180	101510	7168,8
133	31C	1	112690	112690	102940	7281,8
134	31C	1	114210	114210	104380	7396,8
135	31C	1	115740	115740	105830	7512,8
136	31C	1	117280	117280	107290	7629,8
137	31C	1	118830	118830	108760	7747,8
138	31C	1	120390	120390	110240	7866,8
139	31C	1	121960	121960	111730	7986,8
140	31C	1	123540	123540	113230	8107,8
141	31C	1	125130	125130	114740	8229,8
142	31C	1	126730	126730	116260	8352,8
143	31C	1	128340	128340	117790	8476,8
144	31C	1	129960	129960	119330	8601,8
145	31C	1	131590	131590	120880	8727,8
146	31C	1	133230	133230	122440	8854,8
147	31C	1	134880	134880	124010	8982,8
148	31C	1	136540	136540	125590	9111,8
149	31C	1	138210	138210	127180	9241,8
150	31C	1	139890	139890	128780	9372,8
151	31C	1	141580	141580	130390	9504,8
152	31C	1	143280	143280	132010	9637,8
153	31C	1	144990	144990	133640	9771,8
154	31C	1	146710	146710	135280	9906,8
155	31C	1	148440	148440	136930	10042,8
156	31C	1	150180	150180	138590	10179,8
157	31C	1	151930	151930	140260	10317,8
158	31C	1	153690	153690	141940	10456,8
159	31C	1	155460	155460	143630	10596,8
160	31C	1	157240	157240	145330	10737,8
161	31C	1	159030	159030	147040	10879,8
162	31C	1	160830	160830	148760	11022,8
163	31C	1	162640	162640	150490	11166,8
164	31C	1	164460	164460	152230	11311,8
165	31C	1	166290	166290	153980	11457,8
166	31C	1	168130	168130	155740	11604,8
167	31C	1	169980	169980	157510	11752,8
168	31C	1	171840	171840	159290	11901,8
169	31C	1	173710	173710	161080	12051,8
170	31C	1	175590	175590	162880	12202,8
171	31C	1	177480	177480	164690	12354,8
172	31C	1	179380	179380	166510	12507,8
173	31C	1	181290	181290	168340	12661,8
174	31C	1	183210	183210	170180	12816,8
175	31C	1	185140	185140	172030	12972,8
176	31C	1	187080	187080	173890	13129,8
177	31C	1	189030	189030	175760	13287,8
178	31C	1	190990	190990	177640	13446,8
179	31C	1	192960	192960	179530	13606,8
180	31C	1	194940	194940		



Elemento	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	Grado 60 (kg)
Armadura transversal superior	1	Ø12	2	29	58	55,3
	2	Ø12	2	240	480	25,6
	3	Ø12	2	80	160	14,5
	4	Ø12	2	200	400	21,8
	5	Ø12	2	200	400	21,8
	6	Ø12	2	200	400	21,8
	7	Ø12	2	200	400	21,8
	8	Ø12	2	200	400	21,8
	9	Ø12	2	200	400	21,8
	10	Ø12	2	200	400	21,8
	11	Ø12	2	200	400	21,8
	12	Ø12	2	200	400	21,8
	13	Ø12	2	200	400	21,8
	14	Ø12	2	200	400	21,8
	15	Ø12	2	200	400	21,8
	16	Ø12	2	200	400	21,8
	17	Ø12	2	200	400	21,8
	18	Ø12	2	200	400	21,8
	19	Ø12	2	200	400	21,8
	20	Ø12	2	200	400	21,8
	21	Ø12	2	200	400	21,8
	22	Ø12	2	200	400	21,8
	23	Ø12	2	200	400	21,8
	24	Ø12	2	200	400	21,8
	25	Ø12	2	200	400	21,8
	26	Ø12	2	200	400	21,8
	27	Ø12	2	200	400	21,8
	28	Ø12	2	200	400	21,8
	29	Ø12	2	200	400	21,8
	30	Ø12	2	200	400	21,8
	31	Ø12	2	200	400	21,8
	32	Ø12	2	200	400	21,8
Total						477,5

N13
 Armadura transversal superior
 -armigon: Ø12-210
 Grado 60 (Laminar) (ca)
 Fisicola:

Resumen Acero	Long. total (m)	Peso-10% (kg)	Total
Armadura transversal superior	477,5	46	
Grado 60	Ø10	215,3	145,8
	Ø12	160,7	152,7
	Ø16	100,9	175,3
			477,5



Item	Pos.	Diám.	No.	Long. (cm)	Total (cm)	Grado 60 (kg)
Armadura longitudinal inferior	1	Ø10	4	546	2184	7.9
	2	Ø10	4	570	2280	8.6
	3	Ø10	4	444	1776	6.5
	4	Ø10	4	470	1880	7.0
	5	Ø10	4	444	1776	6.5
	6	Ø10	4	470	1880	7.0
	7	Ø10	4	570	2280	8.6
	8	Ø10	4	450	1800	6.6
	9	Ø10	4	470	1880	7.0
	10	Ø10	4	450	1800	6.6
	11	Ø12	1	520	520	2.2
	12	Ø10	4	450	1800	6.6
	13	Ø10	1	280	280	1.1
	14	Ø10	4	550	2200	8.3
	15	Ø10	1	520	520	2.2
	16	Ø10	1	520	520	2.2
	17	Ø10	1	520	520	2.2
	18	Ø10	1	520	520	2.2
	19	Ø10	2	544	1088	4.0
	20	Ø10	2	614	1228	4.6
	21	Ø10	1	230	230	0.9
	22	Ø10	1	450	450	1.8
	23	Ø10	4	470	1880	7.0
	24	Ø10	1	520	520	2.2
	25	Ø10	1	450	450	1.8
Total=137						545.6
Ø10						222.4
Ø12						1.20
Ø16						4.2
Total						248.6

k=5
 Armadura longitudinal inferior
 Homogênea: f_{cd}=210
 Grado 60 (Letiramerica)
 Escala:

Resumen Acero N+5	ang. total (m)	Peso-10% (kg)	Total
Armadura longitudinal inferior			
Grado 60	Ø10	328.7	223
	Ø12	119.9	117
	Ø16	5.0	9
			549

