



**UNIVERSIDAD DE ESPECIALIDADES ESPÍRITU SANTO**

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:**

**ESTUDIO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA EDIFICACIÓN CON  
ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO Y ESTRUCTURA DE ACERO**

**NOMBRE DEL ESTUDIANTE:**

**PABLO ANDRÉS BAQUERIZO SÁNCHEZ**

**NOMBRE DEL TUTOR:**

**ING. FRANCISCO GARCÍA MSC.**

**SAMBORONDÓN, MAYO 2017**



## **CERTIFICACIÓN DE APROBACIÓN DE MIEMBRO DE TRIBUNAL**

En mi calidad de miembro del Tribunal examinador del estudiante **Pablo Andrés Baquerizo Sánchez**, que cursa estudios en la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad de Especialidades Espíritu Santo,

### **CERTIFICO:**

Que he revisado el trabajo de tesis con el título: **ESTUDIO COMPARATIVO TÉCNICO-ECONÓMICO DE UNA EDIFICACIÓN CON ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO Y ESTRUCTURA DE ACERO**, presentado por el estudiante, con cédula de ciudadanía número. 0914336318, como requisito previo para obtener el título de **Ingeniero Civil**, y considero que dicho trabajo investigativo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser presentado en defensa final.

Miembros del Tribunal:

---

---

---

Samborondón, mayo 2017

## **CERTIFICACIÓN FINAL DE APROBACIÓN DEL TUTOR**

## **AGRADECIMIENTO**

A mis Padres Pablo y Mirella por su respaldo de siempre.

A la Universidad de Especialidades Espiritu Santo por su constante innovación y conocimientos adquiridos.

A todos quienes de una u otra forma estuvieron respaldando la realización del presente trabajo de investigación.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y  
a todos quienes de una u  
otra forma me ayudaron.

## CONTENIDO

1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA.....	18
1.1. Planteamiento del problema.....	18
1.2. Formulación del problema .....	19
1.3. Sistematización del problema .....	19
1.4. Objetivos .....	19
1.4.1. Objetivo General.....	19
1.4.2. Objetivos Específicos.....	19
1.5. Justificación .....	20
2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	21
2.1. Marco Referencial.....	21
2.1.1. Antecedentes .....	21
2.2. Hormigón armado .....	22
2.2.1. Componentes del hormigón armado.....	24
2.3. Acero estructural.....	27
2.3.1. Componentes de acero estructural .....	27
2.4. Códigos y referencias bibliográficas específicas .....	33

2.5.	Ventajas del acero estructural frente al hormigón armado. ....	33
2.6.	Diseño de vigas de acero estructural.....	35
2.6.1.	Comportamiento plástico-Momento plástico total, zona 1. ....	36
2.6.2.	Secciones compactas y no compactas.....	36
	Diseño de columnas compuestas. ....	38
2.6.3.	Ventajas de las columnas compuestas. ....	38
2.6.4.	Especificaciones para columnas compuestas.....	40
2.6.5.	Resistencias de diseño de columnas cargadas compuestas cargadas axialmente. ..	41
2.7.	Detalle de Cargas sísmicas aplicadas a la estructura. ....	44
2.7.1.	Factor de Reducción de Resistencia Sísmica R. ....	46
2.7.2.	Peso reactivo de sismo en la estructura.....	47
2.7.3.	Categoría de la edificación y coeficiente de importancia I.....	48
2.7.4.	Regularidad/ configuración estructural.....	49
2.7.5.	Espectro elástico e inelástico utilizado para el análisis sísmico de la estructura....	51
2.7.6.	Control de la deriva de piso (derivadas inelásticas máximas de piso $\Delta M$ ). ....	53
2.7.7.	Análisis espectral modal de la estructura.....	54

2.7.8.	Cálculo y ajuste del cortante basal.....	56
2.8.	Características que inciden en los sistemas estudiados.....	57
2.8.1.	Nivel en mano de obra .....	57
2.8.2.	Mantenimiento estructural .....	57
2.8.3.	Tiempos de ejecución de estructura en obra .....	58
2.8.4.	Factores medio ambientales .....	58
2.8.5.	Percepción de la ciudadanía.....	59
2.8.6.	Tratamientos para mejorar capacidad .....	59
2.8.7.	Características de los sistemas investigados .....	60
2.9.	Formulación de hipótesis .....	62
2.10.	Definiciones conceptuales .....	62
3.	CAPÍTULO III: METODOLOGÍA .....	66
3.1.	Diseño de la investigación .....	66
3.2.	Población y muestra.....	66
3.3.	Conceptualización de las variables .....	76
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.	84
4.1.	Modelo matemático de los sistemas considerados.....	84

4.1.1.	Consideraciones generales de carga gravitacionales para el modelado.....	84
4.1.2.	Combinaciones de carga: .....	87
4.1.3.	Modelo de elementos finitos para análisis de alternativas.....	88
4.2.	Análisis de periodos estructurales frente a carga sísmica.....	91
4.3.	Listas de materiales estructurales a usar en la construcción y su valoración económica	
	101	
5.	CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
5.1.	Conclusiones.....	111
5.2.	Recomendaciones .....	112
6.	BIBLIOGRAFÍA .....	113

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. D1.1 del AISC 341-10 .....	37
Tabla 2. D1.1 AISC 341-10.....	41
Tabla 3. Tipo de suelo y factores de sitio Fa (NEC-15) .....	45
Tabla 4. Tipo de suelo y factores de sitio Fd (NEC-15).....	45
Tabla 5. Tipo de suelo y factores de sitio Fs. (NEC-15).....	46
Tabla 6. Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada (NEC-15).....	47
Tabla 7, Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-15).....	48
Tabla 8. Configuraciones estructurales recomendadas (NEC) .....	49
Tabla 9. Configuraciones estructurales no recomendadas (NEC) .....	50
Tabla 10. Derivas máximas de piso .....	54
Tabla 11. Comparación técnica del acero estructural y el hormigón armado, Fuente: <a href="http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1739/11577">http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1739/11577</a> .....	60
Tabla 12. Comparación financiera del acero estructural y el hormigón armado, Fuente: <a href="http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1739/11577">http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1739/11577</a> .....	61
Tabla 13. Resultados de encuesta por Edad.....	67
Tabla 14. Resultados de encuesta por criterio de construcción. ....	68

Tabla 15. Resultados de encuesta por afinidad con el acero estructural.....	69
Tabla 16. Resultados de encuesta por costos en construcción de acero .....	70
Tabla 17. Resultados de encuesta por costos en construcción de hormigón armado .....	71
Tabla 18. Resultados de encuesta por tiempos en construcción de acero estructural.....	72
Tabla 19. Resultados de encuesta por tiempos en construcción de hormigón armado.....	73
Tabla 20. Resultados de encuesta por resistencia de acero estructural.....	74
Tabla 21. Resultados de encuesta por rubros en construcción de acero.....	75
Tabla 22. Resultados de encuesta por edad de preferencia en sistemas constructivos.....	76
Tabla 23. Resultados de encuesta por edad de preferencia en construcción en acero.....	78
Tabla 24. Resultados de encuesta por costos e inconvenientes en construcción en acero.....	79
Tabla 25. Resultados de encuesta por tiempos e inconvenientes en construcción en acero.....	81
Tabla 26. Resultados de encuesta por comparativa en costos de construcción en acero vs hormigón. .....	82
Tabla 27. Detalle de cargas permanentes en pisos.....	85
Tabla 28. Análisis modal de la estructura en acero.....	92
Tabla 29. Análisis modal de la estructura en hormigón armado.....	93
Tabla 309. Relaciones ancho/espesor para vigas de piso metálicas.....	99

Tabla 31. Relaciones ancho/espesor para columnas metálicas. ....	100
Tabla 32. Resumen de análisis de estructura de acero vs estructura de hormigón. ....	100
Tabla 33. Lista de materiales usados en vigas de estructura metálica. ....	101
Tabla 34. Lista de materiales usados en columnas de estructura metálica. ....	102
Tabla 35. Volumen de hormigón armado para zapatas de edificio en acero. ....	103
Tabla 36. Volumen de hormigón armado para vigas de cimentación de edificio en acero. ....	103
Tabla 37. Resumen de rubros para la estructura del edificio de acero .....	104
Tabla 38. Volumen de hormigón armado en columnas de edificio en hormigón. ....	104
Tabla 39. Volumen de hormigón armado en vigas de edificio en hormigón.....	105
Tabla 40. Volumen de hormigón armado para zapatas de edificio en hormigón. ....	106
Tabla 41. Volumen de hormigón armado para vigas de cimentación de edificio en hormigón. ....	106
Tabla 42. Resumen de rubros para la estructura del edificio de hormigón.....	107
Tabla 43. Valoraciones finales.....	110
Tabla 44. Cuadro de precios finales de acero y hormigón armado.....	110

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Varillas .....	26
Figura 2. Comportamiento de vigas de acero a flexión .....	35
Figura 3. Ilustración de columnas compuestas .....	38
Figura 4. Representación de proceso constructivo en edificios de acero .....	40
Figura 5. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño (NEC-15) .....	44
Figura 6. Espectro sísmico elástico y reducido.....	52
Figura 7. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por edad .....	67
Figura 8. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por criterio de construcción .....	68
Figura 9. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por afinidad con el acero.....	69
Figura 10. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por costos en construcción de acero estructural.....	70
Figura 11. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por costos en construcción de hormigón armado .....	71
Figura 12. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por tiempos en construcción de acero estructural .....	72
Figura 13. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por tiempos en construcción de hormigón armado .....	73

Figura 14. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por resistencia del acero.....	74
Figura 15. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por rubros en construcción de acero. .....	75
Figura 16. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por edad de preferencias. ....	77
Figura 17. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por preferencia en construcción de acero.....	78
Figura 18. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por costos e inconvenientes en construcción en acero.....	80
Figura 19. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por tiempos e inconvenientes en construcción en acero.....	81
Figura 20. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por comparativa en costos de construcción en acero vs hormigón.....	83
Figura 21. Sección de losa tipo Deck.....	86
Figura 22. Modelo de elementos finitos, estructura en hormigón. ....	89
Figura 23. Vista en planta de modelo, estructura en hormigón. ....	89
Figura 24. Modelo de elementos finitos, estructura en acero. ....	90
Figura 25. Vista en planta de modelo, estructura en acero. ....	90
Figura 26. Numeración de columnas en modelo, estructura de hormigón. ....	94

Figura 27. Numeración de columnas en modelo, estructura de acero. ....	95
Figura 28. Diagrama de Gantt para estructura de acero.....	108
Figura 29. Diagrama de Gantt para estructura de hormigón armado.....	109

# 1. CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

## 1.1. Planteamiento del problema

En la presente investigación se desarrolla un análisis comparativo, estructural y económico entre dos sistemas de construcción, el primero desarrollado con estructuras de acero, en contraste con el segundo, desarrollado con hormigón armado para la misma edificación. En el campo de la construcción, existen diversos conceptos sobre qué tipo de estructuras se deben utilizar. Sin embargo, existen dudas al momento de definir el uso entre las estructuras de acero o de hormigón armado. Si bien se puede llegar a las mismas resistencias de fuerzas no se conoce con certeza las ventajas de cada sistema de construcción. Esta situación nos lleva a las siguientes interrogantes: ¿Cuál de los dos sistemas es más económico? ¿Cuál sistema es más eficiente en tiempos de construcción? ¿Existe alguna ventaja arquitectónica?

Se plantea desarrollar una comparación técnica y económica entre los dos sistemas constructivos aplicados a un mismo proyecto, por lo que se propone desarrollar una tabla técnica comparativa y un costeo integrado para cada sistema. Esto se debe a que, si bien cada uno por separado tiene costos diferentes en materiales para su implementación, también poseen tiempos de ejecución diferentes, los cuales afectan económicamente en forma positiva o negativa según sea el sistema implementado.

Este estudio se enfocará específicamente en el análisis de la estructura, quedando fuera de análisis mampostería y demás rubros de la edificación, permitiendo determinar con objetividad los costos en estructuras que conciernen a la investigación planteada.

## **1.2. Formulación del problema**

¿Cuáles son las ventajas técnicas y económicas para el desarrollo de una estructura al utilizar un sistema constructivo basado en acero estructural o en hormigón armado, tomando como punto de análisis la edificación ECCO en la Isla Mocolí?

## **1.3. Sistematización del problema**

- ¿Cuáles son las principales variables que se encuentran en el cálculo estructural de acero y hormigón armado?
- ¿Cuál sistema de construcción es más eficiente en costos y tiempos?

## **1.4. Objetivos**

### **1.4.1. Objetivo General**

Identificar la eficiencia estructural y económica estructural en edificaciones utilizando los sistemas constructivos basados en acero y hormigón armado, tomando como punto para identificación la edificación ECCO a realizarse en la Isla Mocoli, Ciudadela Mocolí *Gardens*, Solar 34.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Rediseñar una edificación de hormigón armado en acero estructural.
- Realizar una comparación técnica de una estructura en hormigón armado y en acero estructural para una misma edificación.
- Determinar el costo de estructuras terminadas en acero y en hormigón armado para una misma edificación.

## **1.5. Justificación**

Determinar costos en la construcción de edificaciones es una de las principales preocupaciones por parte de empresas profesionales y propietarios para poder llevar a cabo edificaciones viables y rentables. En nuestro medio, existe mucha incertidumbre sobre la construcción con estructuras de acero; por lo que con frecuencia no son usadas. Existe la percepción de que es una estructura de un alto mantenimiento con una inversión mayor al de una estructura de hormigón armado.

En el Ecuador, el desarrollo de las edificaciones muestra una preferencia hacia el uso de hormigón armado. Principalmente por el costo de los materiales al momento de realizar la adquisición, sin tomar en cuenta los tiempos para la ejecución y realización de estas obras. Al desarrollar un costeo utilizando un sistema constructivo basado en acero para las estructuras, podemos suponer un ahorro de tiempo significativo debido a que las estructuras de acero poseen varios elementos prefabricados. Lo que permite llegar a reducir los tiempos de ejecución en obra considerablemente. También se toma en cuenta las propiedades del acero que suponen una envergadura mayor en las distancias entre columnas de acero, pudiendo reducir las cantidades de columnas en una construcción. Tomar en cuenta estos factores en los costos de construcción y el diseño arquitectónico puede llegar a repercutir positivamente para el proyecto.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Marco Referencial**

#### **2.1.1. Antecedentes**

En un mundo dinámico y competitivo como el de hoy, se encuentra a menudo la disyuntiva de cómo ser cada vez más eficientes y eficaces en lo relacionado al sector profesional. Es un reto conocer las nuevas herramientas que puedan ser usadas en el ámbito de cada profesión. En la actualidad la construcción tiene nuevos enfoques que han surgido en los últimos años gracias a los sistemas informáticos y a los modelos matemáticos, que son usados para calcular y conocer variantes más complejas en menor tiempo.

En el mundo, existen varias investigaciones relacionadas a la construcción. Estas amplias gamas de investigaciones se concentran en las diferentes fases constructivas, en los tipos de suelo y los sistemas constructivos. Asimismo, hay que considerar que existen múltiples variantes que deben ser tomadas en cuenta, inclusive variantes que parecen no relacionadas a la construcción como: economía local, medio ambiente al que será sometida la estructura, cercanía de la materia prima, costos de materiales finales, mano de obra e incluso el poder adquisitivo de los clientes. Por lo que no todas las investigaciones son un referente para ser tomados en cuenta en nuestro entorno.

En América Latina, existen varios estudios desarrollados por importantes universidades, adicionando estudios de ingeniería de firmas independientes que buscan conocer las ventajas que los diferentes sistemas constructivos, para ofertar los mejores sistemas constructivos colaborando con el bienestar y seguridad de las edificaciones.

En Ecuador, con la ayuda de múltiples tecnologías se está incursionando en estudios para conocer nuevas técnicas y sistemas constructivos. En un país donde lo tradicional prima en

los gustos de las personas, poco se ha desarrollado los métodos investigativos para conocer las ventajas y desventajas que los sistemas no tradicionales poseen en el medio, sea por desconocimiento o presunciones equivocadas del mismo. No se ha invertido esfuerzo en la investigación en las estructuras de acero y su incidencia en los costos de una edificación.

Tomando en cuenta que lo primordial en todo edificio es su estructura, la presente investigación busca conocer las variantes a considerar para poder evaluar las ventajas de una estructura de acero y una de hormigón armado, para luego realizar un estudio comparativo estructural y además económico entre estos dos sistemas.

Para lograr el objetivo, este planteamiento contempla múltiples factores a considerar tomando en cuenta que los dos sistemas poseen no solamente costos económicos distintos, también poseen tiempos de ejecución muy diferentes, pudiendo afectar el resultado final del costo. Es por esto que se plantea buscar las ventajas y desventajas económicas para una misma edificación que se encontrará en la vía a Samborondón, en la isla Mocoli.

## **2.2. Hormigón armado**

“El hormigón es un material pétreo artificial, que se obtiene al mezclar en determinadas proporciones cemento, agregados gruesos y finos, con agua, el cemento y el agua forman una pasta que rodea a los agregados, dando por resultado un material de gran durabilidad que fragua y endurece, incrementando su resistencia con el paso del tiempo”. (Miguel, Cristian, & Mora Camilo, 2013).

El hormigón es un compuesto químico sencillo que se obtiene con la interacción del agua y el cemento, creando un material de consistencia pastosa que se solidifica, incrementando su rigidez con el pasar del tiempo. Típicamente el hormigón se compone de la unión de agua, cemento, arena y material pétreo, el cual permite obtener resistencias diferentes según la necesidad o

especificación. De acuerdo a la dosificación de las proporciones en arena, agregado grueso, agua y cemento el hormigón obtendrá resistencia y cualidades diferentes.

“La capacidad que tiene el hormigón para soportar cargas que se apliquen sin agrietarse o romperse, es diferente según el tipo de esfuerzos que se trate; su resistencia a la compresión es unas diez veces mayor que su resistencia a la tracción” (CONSTRUMÁTICA, 2009)

El hormigón simple posee cualidades excepcionales a la hora de comportarse con esfuerzos de compresión, no así, en el caso de esfuerzos de tracción en el cual posee pocas cualidades de resistencia, teniendo que ser compensando con refuerzos de acero estructural en los puntos que el diseñador lo especifique.

“El hormigón armado es un material estructural en el que se integran las propiedades del hormigón simple y del acero de refuerzo. Para que se produzca este trabajo integrado es necesario que ambos materiales básicos estén íntimamente unidos e interaccionen a través de las fuerzas de adherencia que se desarrollan en sus superficies de contacto”. (Proaño, 2011)

El hormigón armado a diferencia al hormigón simple posee un elemento adicional que es el acero, lo cual aumenta su capacidad de resistencia a la flexión. Con la combinación de hormigón y acero, se obtiene un material de características perfectas y bajo costo para la empresa de la construcción, el cual obtuvo como denominación hormigón armado.

Resistencia nominal a la compresión a los 28 días:  $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , para los elementos de hormigón como columnas, muros y cimientos, para losas de piso se utilizará  $f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ .

La capacidad teórica de los elementos estructurales es reducida por un factor de reducción de capacidad " $\phi$ ". Este coeficiente prevé la posibilidad de variaciones en la resistencia del material ( $f_c$ ) en la mano de obra y en las dimensiones dentro de los límites aceptables (ACI. 318-14).

El módulo de elasticidad del concreto se ha obtenido de la siguiente ecuación:

$$E_c = 15.100 \sqrt{f'_c} \quad \text{kg/cm}^2$$

El factor de reducción de capacidad "  $\phi$  " será:

Flexión en concreto reforzado con o sin tensión axial: .....	0,85
Compresión axial o flexo compresión armado con estribo.....	0,70
Cortante y torsión: .....	0,75
Aplastamiento en concreto.....	0,65

### 2.2.1. Componentes del hormigón armado

“El hormigón está constituido por materiales inertes (agregados fino y grueso) que se mantienen unidos entre sí mediante una pasta endurecida de cemento y agua, los agregados constituyen la parte pasiva de la mezcla, mientras que la pasta de cemento y agua es el elemento activo o ligante que, al endurecerse, confiere al conjunto una consistencia pétreas”  
(Ing. J. Pozzi Azzaro, 2010).

Los componentes más importantes del hormigón son los dos componentes activos que son el agua y cemento, éstos producen la reacción química y como resultado un compuesto que se va fraguando con el tiempo, el agregado fino y grueso constituyen materiales pasivos cuya función es aportar resistencia y dar volumen al compuesto.

“Todos los metales tienen su propio potencial de oxidación, que es la capacidad de entregar o liberar electrones. Mientras mayor sea este potencial de oxidación, tanto más electronegativo es un metal y, a la inversa, cuanto más electropositivo es un metal, menor es su potencial de oxidación”. (Arquitectura en Acero, 2010)

El metal es conocido por la oxidación que posee, al observar los profesionales del ramo que todo material posee un grado de oxidación se han desarrollado métodos y aditivos capaces de retardar estos procesos permitiendo una libertad al momento de su utilización.

#### **2.2.1.1. Losa**

Las losas son conocidas como los elementos estructurales que proporcionan las superficies planas y horizontales, es aplicada para las cargas en las estructuras, estas son relativamente grandes, y perpendiculares a su plano. Además, son colocadas en las instalaciones indispensables para que un edificio funcione, por lo tanto, forma parte del elemento principal en una construcción, al elegirla depende de factores como: funcionales y estructurales, de tal manera que señale las características que definan la losa, indicando la forma en que se va a establecer el espesor mínimo para algunos tipos de losas.

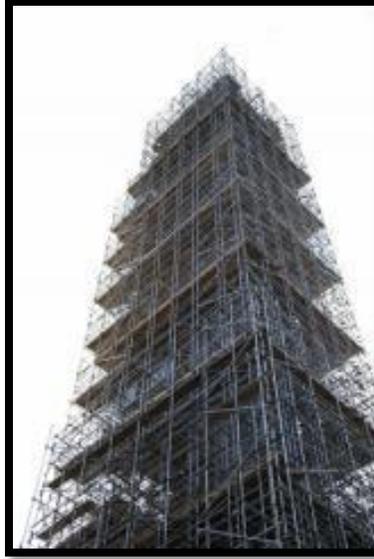
También es conocida como el sostén para los elementos, personas, maquinarias, permitiéndoles desarrollar de forma segura todas las actividades y labores, contribuyendo con la estabilidad de los edificios.

Las losas de techos y entrepiso, cumplen con funciones de seguridad, control ambiental, instalaciones, pisos o pavimentos, por ende, la losa terminada, debe estar formada por capa aislante, estructura, cielo falso, pavimento y cielo raso.

#### **2.2.1.2. Acero de refuerzo**

“Las varillas son barras de hierro, que se utilizan generalmente para la construcción de losas aligeradas de vigas, dalas, trabes. Claros, cortos, castillos, losas sólidas de claros cortos, elementos prefabricados, castillos ahogados, postes de concreto, estribos, viguetas, refuerzo horizontal para los tipos de escalerillas y tuberías hechos de concreto.” (Quiminet, 2007)

Las varillas cumplen con absorber los esfuerzos de torsión y tracción de la construcción, suelen ser de sección circular, con diámetros determinados a partir de un cuarto de pulgada, se encuentran disponibles hasta con diámetro de una pulgada.



**Figura 1. Varillas**

En el acero de refuerzo las propiedades físicas de mayor interés para el diseñador son: esfuerzo de fluencia, esfuerzo de ruptura en tensión, resistencia, ductilidad, elongación, composición química, etc.

A continuación, se presentan las características más relevantes:

- E (Módulo de elasticidad) = 2'100.000 kg/cm<sup>2</sup>
- G (Modulo de elasticidad al esfuerzo cortante) = 784.000 kg/cm<sup>2</sup>
- $\nu$  (Relación de Poisson) = 0,30
- $\alpha$  (Coeficiente de dilatación térmica) = 1,1 x 10<sup>-6</sup> por °C
- $\gamma$  (Densidad) = 7.850 kg/m<sup>3</sup>
- Fy (Esfuerzo de fluencia mínimo garantizado) = 4.200 kg/cm<sup>2</sup>

## **2.3. Acero estructural**

### **2.3.1. Componentes de acero estructural**

“El acero estructural es uno de los materiales básicos utilizados en la construcción de estructuras, tales como edificios industriales y comerciales, puentes y muelles. Se produce en una amplia gama de formas y grados, lo que permite una gran flexibilidad en su uso”.  
(Allstudies, 2014)

El acero estructural se usa ampliamente en el sector de la construcción en las diversas edificaciones que se pueden desarrollar. Este acero puede adaptarse a las exigencias de un proyecto a realizar, mediante diferentes composiciones químicas que aumentan o disminuyen las características propias del acero, por esta razón es ampliamente usado en construcción, ya sea como refuerzo para el hormigón armado o como vigas y columnas de acero estructural. La gama de grados y características que el mercado ofrece, hace idóneo para el ingeniero estructural poder contar con elementos que se adapten a su diseño. Haciendo éste junto con el hormigón simple los materiales más frecuentes y usados en el mundo.

“El acero utilizado en estructuras (barras y cables) es un material apto para resistir solicitaciones traccionantes, lo que lo convierte en el componente ideal para combinarse técnicamente con el hormigón simple, con el que conforma el hormigón armado y el hormigón pre esforzado”. (Marcelo Romo Proaño. Msc)

Al saberse que las cualidades del acero son buenas para las fuerzas en tracción a diferencia de las fuerzas de compresión y tomando en cuenta que en el hormigón sucede lo contrario, se ha implementado la forma de combinar ambas deficiencias y ventajas para maximizar el provecho estructuralmente. De esta forma se obtiene una combinación de materiales ideales para poder resistir esfuerzos de tracción y compresión en un material combinado que ayuda a la economía del

constructor a la vez que cumple con las exigencias de diseño. Este nuevo material combinado se lo conoce como hormigón armado. La combinación de materiales también puede adaptarse mejor a los diseños arquitectónicos y estructurales exigidos del proyecto tomando formas y volúmenes requeridos por los diseñadores. Las combinaciones están tan avanzadas que se ha desarrollado innovadores formas como el hormigón pre esforzado y el pos forzado en el cual se somete al acero a fuerzas de tracción. De esta forma el acero está en tracción aliviando esa presión con el hormigón armado. El acero al buscar su posición de reposo crea en el elemento una contra flecha que le da una resistencia estructural adicional al elemento desarrollado.

### **2.3.1.1. Obtención de las materias primas para acero estructural**

“El acero está fabricado con dos de los recursos naturales más abundantes de la tierra: mineral de hierro y carbón. Sin embargo, la industria del acero se preocupa por el uso de recursos naturales y su impacto en el medio ambiente”. (Asociación Paisaje Limpio, 2012)

El acero estructural, está compuesto principalmente por hierro y carbón, dos de los componentes minerales más abundantes en la corteza terrestre, por lo que su extracción y proceso de elaboración es virtualmente sencillo. De esta forma con el hierro y el carbón mezclados con otros componentes químicos se obtienen los diferentes tipos de acero que se obtienen en el mercado. Aun así, los proveedores buscan minimizar su impacto en la naturaleza haciendo que gran parte de la producción de acero estructural provenga del reciclaje de acero usado para otros propósitos, de esta forma, se minimiza en gran medida los impactos ambientales en esta industria.

“El acero se puede obtener a partir de arrabio, hierro esponja, chatarra, los materiales básicos empleados para fabricar arrabio son mineral de hierro, coque y caliza. El coque se quema como combustible para calentar el horno, y al arder libera monóxido de carbono,

que se combina con los óxidos de mineral de hierro y los reduce a hierro metálico”.  
(Amezcu Fuentes, Espinosa Figueroa, & Osuna Araiza)

La producción de acero mayormente se obtiene de la recolección y reciclaje de acero chatarra, el cual es fundido en grandes hornos (alrededor de 1.400 °C) para poder separar los componentes que no favorezcan al acero estructural y poder inyectar los químicos que mejoran las propiedades estructurales del mismo. Existen varios tipos de hornos de acero. Como lo dispone a su vez la (Corporación Aceros de Guatemala, 2012) ***“La chatarra es la materia prima utilizada para la obtención del acero a través de Horno Eléctrico de Arco”***

#### **2.3.1.2. Fabricación de acero estructural.**

“El proceso de fabricación del acero a partir del arrabio (material fundido que se consigue en el alto horno) consiste en eliminar el exceso de carbono y otras impurezas. La dificultad consiste en que para la fabricación del acero se necesita una elevada temperatura para llegar al punto de fusión, 1.400°C aproximadamente”. (Gimenez Juan José, 2011)

El proceso comúnmente utilizado en Guayaquil para la obtención de acero estructural es el conocido como arrabio, el cual consiste en la fundición de acero chatarra para obtener la materia prima eliminando componentes químicos innecesarios para agregar aquellos que mejoren las propiedades del acero, según la necesidad.

#### **2.3.1.3. Vida útil del acero estructural**

“Una estructura de acero debe ser proyectada, construida y mantenida para que sea capaz de soportar todas las acciones que la puedan solicitar durante la construcción y el periodo de vida útil previsto en el proyecto, sin requerir inversiones para su mantenimiento no previstas en la fase de proyecto”. (Álvarez & Arreaga Martitegui, 2011)

Toda edificación según los códigos de construcción de cada país debe de ser construidos pensando en todos los esfuerzos y fuerzas externas estructurales a la que la edificación va a estar sometida en el pasar del tiempo. Hay que tomar especial énfasis que en el proceso constructivo la estructura se encuentra en situaciones de alto riesgo por no estar distribuidas las cargas y esfuerzos de manera ordenada.

#### **2.3.1.4. Límite de Fluencia del acero estructural**

“El acero laminado en caliente, fabricado con fines estructurales, se denomina como acero estructural al carbono, con límite de fluencia de 250 Mpa (2.549 Kg/cm<sup>2</sup>)”. (ARQHYS ARQUITECTURA, 2010)

Normalmente todos los aceros estructurales poseen como límite de influencia los 250 Mpa.

#### **2.3.1.5. Recorrido de tensiones en los aceros (Estados Límites Últimos)**

“Los recorridos de tensiones en los aceros se mantienen en valores admisibles para la verificación del ELU (Estado Límite Últimos) de fatiga, menores de 100 Mpa en el acero activo y menor de 150 Mpa en el acero pasivo”. (Polo, Ramos, & G. Ramos, 2010)

La trayectoria de las cargas y esfuerzos estructurales siempre deben mantenerse dentro de los límites de fatiga que el acero puede soportar, según los códigos de construcciones de cada país. Estos varían conforme a las fuerzas externas que la edificación deberá estar sometida dadas las condiciones climáticas del sitio o las amenazas naturales que puedan suscitarse existiendo diferentes estados límites para los elementos activos y pasivos. Este es un factor que debe de ser determinado por los proyectistas estructurales que se rigen bajo los códigos del lugar y la experiencia del mismo.

“En la verificación a fatiga, si se apuran los valores límite de los recorridos admisibles de tensiones que producen fallo por fatiga, debe tenerse en cuenta la evidencia experimental, recogida en algunas normas, de mayor deslizamiento de la armadura activa con adherencia indirecta, que se traduce en unos mayores valores de sobretensión en el acero pasivo”.

(Ramos, Aparicio, & T. Polo, 2010)

En la verificación de los esfuerzos a los que es sometida la estructura, no solo se verifican las fuerzas internas, también se deben tomar en cuenta las fuerzas externas a la que la estructura está sometida. Esto se debe verificar y conocer con datos históricos del sitio para conocer fuerzas e intensidades con las que estas aparecen y así evitar daños. Los códigos de construcción de cada país, recogen estos datos históricos y los simplifican creando tablas y coeficientes de seguridad para calcular las estructuras con todas las fuerzas posibles a las que puedan estar sometidas las edificaciones en su vida útil.

**2.3.1.6. Detalle de materiales a considerar en el diseño.**

Acero estructural:	Planchas de acero ASTM A572, Gr 50 $F_y = 50 \text{ ksi}$ (3.523 Kg/cm <sup>2</sup> )
	Planchas de acero ASTM A36, Gr 36 $F_y = 36 \text{ ksi}$ (2.536.56 Kg/cm <sup>2</sup> )
Conexiones:	Soldaduras  Procesos: SMAW – GMAW - FCAW - SAW
Hormigón columnas y cimientos.	$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ .
Hormigón en losas	$f_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ .

En el acero estructural las propiedades físicas de mayor interés para el diseñador son: esfuerzo de fluencia, esfuerzo de ruptura en tensión, resistencia, deformación, ductilidad, elongación, tenacidad, resistencia al impacto y a choques, soldabilidad, dureza, composición química, etc.

Los aceros estructurales empleados en el diseño son: ASTM-A572. Gr.50 y ASTM A36.

A continuación, se detallan propiedades del acero tipo ASTM A36:

E (Módulo de elasticidad)	= 2'100.000 kg/cm <sup>2</sup>
G (Modulo de elasticidad al esfuerzo cortante)	= 784.000 kg/cm <sup>2</sup>
$\nu$ (Relación de Poisson)	= 0,30
$\alpha$ (Coeficiente de dilatación térmica)	= 11,7 x 10 <sup>-6</sup> por °C
$\gamma$ (Densidad)	= 7.850 kg/m <sup>3</sup>
Fy (Esfuerzo de fluencia mínimo garantizado)	= 2.530 kg/cm <sup>2</sup>
Fu (Esfuerzo mínimo de ruptura en tensión)	= 4.080 kg/cm <sup>2</sup>

A continuación, se detallan propiedades del acero tipo ASTM A572. Gr. 50:

E (Módulo de elasticidad)	= 2'039.000 kg/cm <sup>2</sup>
G (Modulo de elasticidad al esfuerzo cortante)	= 784.000 kg/cm <sup>2</sup>
$\nu$ (Relación de Poisson)	= 0,30
$\alpha$ (Coeficiente de dilatación térmica)	= 1,1 x 10 <sup>-6</sup> por °C
$\gamma$ (Densidad)	= 7.850 kg/m <sup>3</sup>
Fy (Esfuerzo de fluencia mínimo garantizado)	= 3.523 kg/cm <sup>2</sup>
Fu (Esfuerzo mínimo de ruptura en tensión)	= 4.932 kg/cm <sup>2</sup>

## 2.4. Códigos y referencias bibliográficas específicas

El análisis y diseño de los elementos de la estructura de la edificación, tiene como principal documento de apoyo las últimas ediciones de los siguientes códigos y documentos técnicos:

- Manual de Construcción de acero de AISC (American Institute of Steel Construction), - ASD/LRFD, 13va edición.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción, NEC-2015.
- ACI Standard 318-14, Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary.
- ANSI/AISC 360-10 Specification for Structural Steel Buildings.
- ANSI/AISC 341-10 Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.
- ASCE 7-10, A Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures.

## 2.5. Ventajas del acero estructural frente al hormigón armado.

El acero es considerado el más versátil de los materiales estructurales, entre sus ventajas más importante se consideran los siguientes puntos:

1. **Alta resistencia:** La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será relativamente bajo el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en edificios altos y en estructuras con condiciones deficientes en la cimentación, entre otras cosas (Fernández, 2011).
2. **Uniformidad:** Las propiedades del acero no varían apreciablemente con el tiempo, a diferencia de las estructuras de hormigón armado (Fernández, 2011).
3. **Elasticidad:** El acero como material está más cercano a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, debido a que cumple con la ley de Hooke hasta en esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero se pueden calcular exactamente mientras

que los valores obtenidos para una estructura de hormigón armado son relativamente imprecisos (Fernández, 2011).

4. **Durabilidad:** Si el mantenimiento de las estructuras es adecuado durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere mantenimiento a base de pintura (Fernández, 2011).

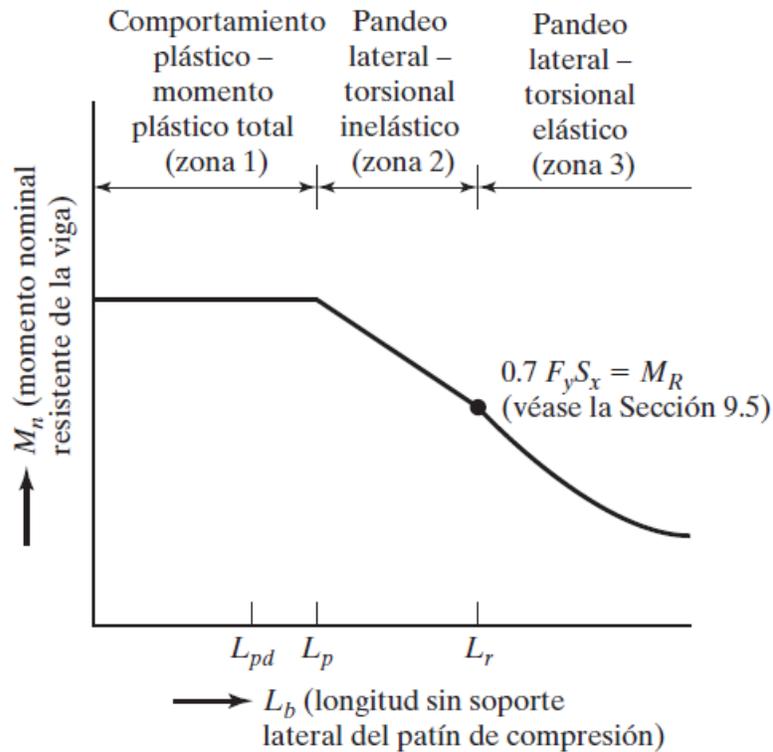
5. **Ductilidad:** Es la propiedad que tiene un material para soportar grandes deformaciones sin fallar bajo esfuerzos de tensión altos. Cuando se prueba a tensión un acero dulce o con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes que se presente la fractura. Un material que tenga esta propiedad por lo general es inaceptable y probablemente será duro, frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino (Fernández, 2011).

En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así fallas prematuras. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla (Fernández, 2011).

6. **Tenacidad:** Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. Es la propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades (Fernández, 2011).

## 2.6. Diseño de vigas de acero estructural.

Si se aplican cargas de gravedad a una viga simplemente apoyada de gran longitud, la viga se flexionará y su parte superior estará en compresión (patín superior y porción del alma) y puede ocurrir pandeo lateral del alma (DÍAZ MÁRQUEZ, 2007).



**Figura 2. Comportamiento de vigas de acero a flexión**

El pandeo lateral no ocurrirá si el patín en compresión de un miembro se soporta lateralmente o si se impide el torcimiento de la viga a intervalos frecuentes (DÍAZ MÁRQUEZ, 2007).

En la figura anterior se aprecia que las vigas tienen 3 distintos intervalos o zonas de pandeo, dependientes de sus condiciones de soporte lateral, si se tiene un soporte lateral continuo o estrechamente espaciado, las vigas se pandearán plásticamente y quedarán en la zona 1 de pandeo. Conforme se aumente la separación entre los soportes laterales, las vigas empezarán a fallar inelásticamente bajos momentos menores y quedarán en la zona 2. Finalmente, con

longitudes aún mayores sin soporte lateral, las vigas fallarán elásticamente y quedarán en la zona 3 (DÍAZ MÁRQUEZ, 2007).

### **2.6.1. Comportamiento plástico-Momento plástico total, zona 1.**

Se considerará para la presente tesis una breve reseña de las expresiones que intervienen en el diseño de vigas con respecto a su comportamiento plástico.

Si la longitud sin soporte lateral  $L_b$  del patín de compresión de un perfil compacto  $I$  o  $C$ , incluyendo los miembros híbridos, no excede a  $L_p$ , entonces la resistencia a la flexión del miembro con respecto a su eje mayor se puede determinar como sigue:

$$M_n = M_p = F_y Z$$

$$\phi_b M_n = \phi_b F_y Z \quad (\phi_b = 0.90) \quad \text{(Ecuación F2-1 AISC 360-10)}$$

Si se usa un enfoque de análisis elástico convencional para establecer las fuerzas en los miembros,  $L_b$  no deberá exceder el valor de  $L_p$  que sigue si  $M_n$  va a ser igual a  $F_y Z$ .

$$L_p = 1,76 r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad \text{(Ecuación F2-5 AISC 360-10)}$$

### **2.6.2. Secciones compactas y no compactas.**

La tipología estructural usada en la edificación diseñada es PÓRTICOS INTERMEDIOS RESISTENTES A MOMENTOS EN ACERO ESTRUCTURAL, para lo cual la especificación AISC 341-10 indica que los perfiles usados para las vigas y columnas deberán ser compactos sin llegar a ser sísmicamente compactos, estos perfiles compactos generan un comportamiento moderadamente dúctil tal como se muestra en la tabla en la parte inferior.

**TABLE D1.1**  
**Limiting Width-to-Thickness Ratios for**  
**Compression Elements For Moderately Ductile**  
**and Highly Ductile Members**

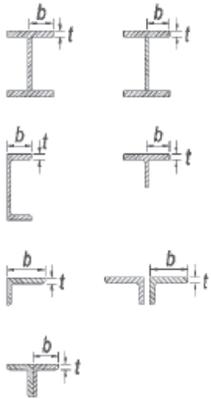
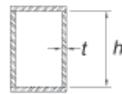
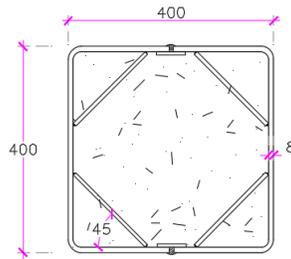
	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
			$\lambda_{hd}$ Highly Ductile Members	$\lambda_{md}$ Moderately Ductile Members	
Unstiffened Elements	Flanges of rolled or built-up I-shaped sections, channels and tees; legs of single angles or double angle members with separators; outstanding legs of pairs of angles in continuous contact	$b/t$	$0.30\sqrt{E/F_y}$	$0.38\sqrt{E/F_y}$	
Stiffened Elements	Webs of rolled or built-up I-shaped sections used as beams or columns <sup>(d)</sup>	$h/t_w$	For $C_a \leq 0.125$ $2.45\sqrt{E/F_y}(1 - 0.93C_a)$	For $C_a \leq 0.125$ $3.76\sqrt{E/F_y}(1 - 2.75C_a)$	
	Side plates of boxed I-shaped sections used as beams or columns	$h/t$	For $C_a > 0.125$ $0.77\sqrt{E/F_y}(2.93 - C_a)$ $\geq 1.49\sqrt{E/F_y}$	For $C_a > 0.125$ $1.12\sqrt{E/F_y}(2.33 - C_a)$ $\geq 1.49\sqrt{E/F_y}$	
	Webs of built-up box sections used as beams or columns	$h/t$	where $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$ (LRFD) $C_a = \frac{\Omega_c P_a}{P_y}$ (ASD)	where $C_a = \frac{P_u}{\phi_c P_y}$ (LRFD) $C_a = \frac{\Omega_c P_a}{P_y}$ (ASD)	

Tabla 1. D1.1 del AISC 341-10

## Diseño de columnas compuestas.



**Figura 3. Ilustración de columnas compuestas**

Las columnas compuestas de la edificación se construyen con perfiles laminados o armados de acero con concreto colocado dentro del tubo. Los miembros resultantes son capaces de soportar cargas considerablemente mayores que las de hormigón reforzado de las mismas dimensiones.

### 2.6.3. Ventajas de las columnas compuestas.

Durante mucho tiempo se han usado los perfiles estructurales de acero en combinación con concreto simple o reforzado. Originalmente el concreto se usaba para proporcionar protección contra el fuego y la corrosión en el acero sin considerar sus efectos estructurales favorables, sin embargo, ya en los códigos actualizados se permite la consideración del aporte del hormigón en los cálculos.

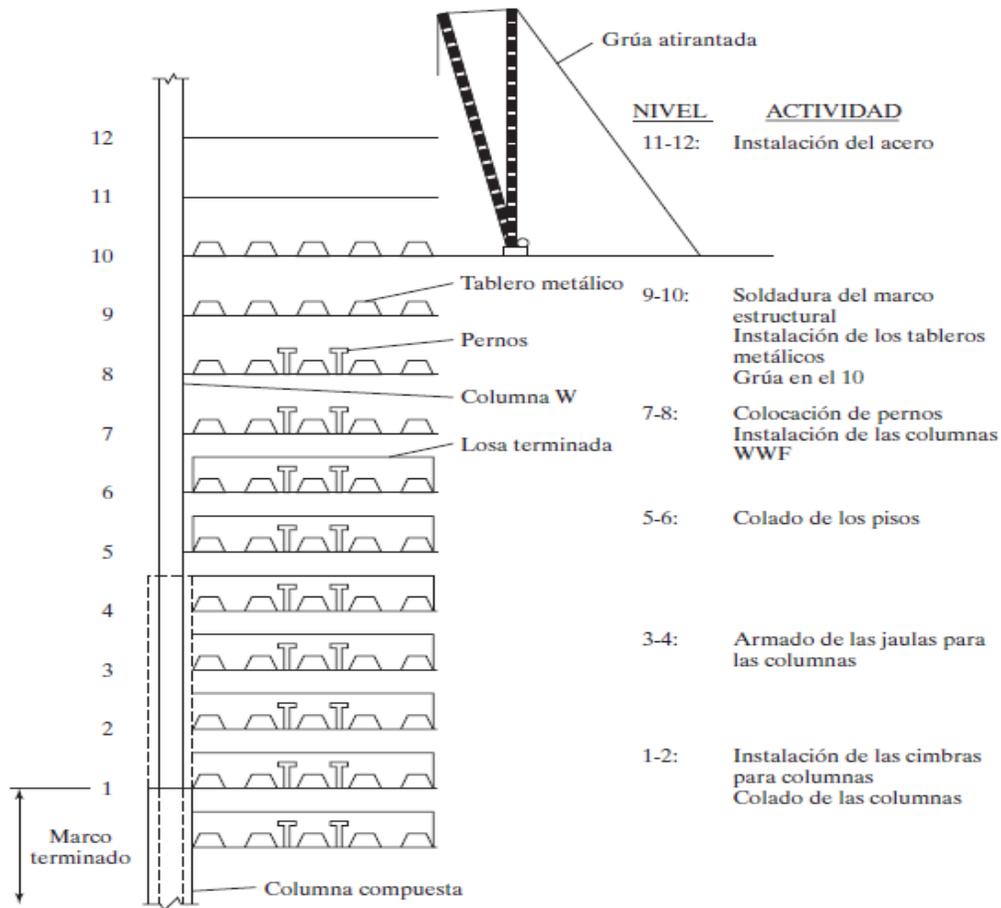
En edificios altos los tamaños de las columnas compuestas son considerablemente menores que los requeridos para columnas de hormigón armado sometidas a las mismas cargas. Los resultados que se logran con el diseño compuesto son ahorros apreciables de espacio en las columnas inferiores del edificio.

En la construcción compuesta, las secciones de acero sin revestimiento soportan las cargas iniciales, incluido el peso de la estructura, las cargas de gravedad y laterales que ocurren durante la construcción y además el hormigón que se funde dentro de las formas tubulares. El

hormigón y el acero se combinan en forma tal que las ventajas de ambos materiales se usan en las secciones compuestas. Por ejemplo, el concreto reforzado permite reducir más fácilmente las deflexiones laterales; al mismo tiempo lo ligero y resistente del acero permite usar cimentaciones más pequeñas y de menor peso.

Las estructuras compuestas de gran altura se montan de manera muy eficiente. Se puede trabajar en un gran número de frentes distribuidos verticalmente al mismo tiempo tal como se ilustra en la siguiente figura y se describe a continuación.

1. Un grupo de trabajadores puede encontrarse montando las columnas y vigas de acero de uno o dos pisos en la parte superior de la estructura.
2. Dos o tres pisos abajo, otro grupo estará colocando las cubiertas metálicas para los pisos.
3. Unos pisos más abajo, otro grupo estará vaciando el hormigón para las losas de piso.
4. Esta operación continuará conforme bajamos en el edificio; un grupo se encontrará amarrando en forma de jaula el acero de refuerzo para las columnas, mientras que otros grupos más abajo estarán colando el concreto de las columnas.



**Figura 4. Representación de proceso constructivo en edificios de acero**

#### 2.6.4. Especificaciones para columnas compuestas.

Las secciones I1 e I2 de la Especificación del AISC proporcionan los requisitos detallados acerca de las áreas de las secciones transversales de los perfiles de acero, las resistencias de concreto entre otros. Esta información se lista a continuación para columnas rellenas de hormigón:

1. El área transversal del perfil de las secciones estructurales huecas (HSS) debe constituir no menos del 1% de la sección transversal del miembro total compuesto.
2. Las columnas compuestas rellenas se clasifican como compactas, no compactas o esbeltas (AISC 360-10 I1.4). Son compactas si la relación ancho-espesor no excede a  $\lambda_p$ . Si la

relación excede a  $\lambda_p$  pero no a  $\lambda_r$  el perfil es no compacto. Si la relación excede a  $\lambda_r$  el perfil es esbelto. En la tabla D1.1 de la especificación AISC 341-10 se especifican las relaciones ancho-espesor máximas permitidas para perfiles rellenos.

<p style="text-align: center;"><b>TABLE D1.1 (CONTINUED)</b>  <b>Limiting Width-to-Thickness Ratios for</b>  <b>Compression Elements For Moderately Ductile</b>  <b>and Highly Ductile Members</b></p>					
	Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	Limiting Width-to-Thickness Ratio		Example
			$\lambda_{hd}$ Highly Ductile Members	$\lambda_{md}$ Moderately Ductile Members	
Composite Elements	Walls of rectangular filled composite members	$b/t$	$1.4\sqrt{E/F_y}$	$2.26\sqrt{E/F_y}$	
	Walls of round filled composite members	$D/t$	$0.076E/F_y$	$0.15E/F_y$	

**Tabla 2. D1.1 AISC 341-10**

### 2.6.5. Resistencias de diseño de columnas cargadas compuestas cargadas axialmente.

Si una columna compuesta estuviera cargada axialmente y en forma perfecta y totalmente arriostrada lateralmente, su resistencia nominal sería igual a la suma de las resistencias axiales del perfil de acero y del hormigón tal como está dado por:

$$P_{no} = A_s * F_y + 0.85f'_c A_c \quad (\text{Ecuación I2- AISC 360-10})$$

En donde:

$A_s$ = área de la sección de acero,

$A_c$ = área de la sección de hormigón,

Desafortunadamente, estas condiciones ideales no están presentes en las columnas compuestas en la práctica. La contribución de cada componente de una columna compuesta a su resistencia total es difícil, si no es imposible de determinar. La cantidad de agrietamiento por flexión en el hormigón varía a lo largo de la altura de la columna. El hormigón no es tan homogéneo como el acero; además el módulo de elasticidad del hormigón varía con el tiempo.

Por estas y otras razones es difícil desarrollar una fórmula teórica útil para el diseño de columnas compuestas. En consecuencia, la especificación AISC 360-10 presenta un conjunto de ecuaciones empíricas para perfiles rellenos de hormigón (AISC 360-10, I2.2).

a) Para perfiles compactos:

$$P_{no} = P_p \quad \text{(Ecuación I2-9a del AISC)}$$

$$P_p = A_s F_y + C_2 f'_c \left[ A_c + A_{sr} \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \right] \quad \text{(Ecuación I2-9b del AISC)}$$

$C_2 = 0.85$  para perfiles rectangulares y  $0.95$  para circulares

Para todos los perfiles:

$$EI_{efe} = E_s I_s + E_s I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad \text{(Ecuación I2-12 del AISC)}$$

$$C_3 = 0.6 + 2 \left( \frac{A_s}{A_c + A_s} \right) \leq 0.9 \quad \text{(Ecuación I2-13 del AISC)}$$

$P_e$  y  $P_n$  se determinan con las Ecuaciones I2-2, I2-3 e I2-5 del AISC, como con los perfiles ahogados en concreto.

b) Para perfiles no compactos:

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_y}{(\lambda_r - \lambda_p)^2} (\lambda - \lambda_p)^2 \quad \text{(Ecuación I2-9c del AISC)}$$

$\lambda, \lambda_p, \lambda_r$  son relaciones de esbeltez de la Tabla I1.1a

$P_p$  se toma de la Ecuación I2-9b

$$P_y = A_s F_y + 0.7 f'_c \left( A_c + A_{sr} \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \right) \quad (\text{Ecuación I2-9d del AISC})$$

c) Para perfiles esbeltos:

$$P_{no} = A_s F_{cr} + 0.7 f'_c \left[ A_c + A_{sr} \left( \frac{E_s}{E_c} \right) \right] \quad (\text{Ecuación I2-9e del AISC})$$

Para perfiles rectangulares rellenos:  $F_{cr} = \frac{9E_s}{(bt)^2}$  (Ecuación I2-10 del AISC)

o

Para perfiles redondos rellenos:  $F_{cr} = \frac{0.72F_y}{\left[ \left( \frac{D}{t} \right) \left( \frac{F_y}{E_s} \right) \right]^{0.2}}$  (Ecuación I2-11 del AISC)

## 2.7. Detalle de Cargas sísmicas aplicadas a la estructura.

La respuesta de una estructura tipo edificación a solicitaciones sísmicas del suelo se caracteriza por aceleraciones, velocidades y desplazamientos de sus elementos, en particular de los pisos en el caso de edificios o viviendas de más de un piso.

Los requisitos presentados por el NEC-15 se basan en el comportamiento elástico lineal y no lineal de estructuras tipo edificación. Los procedimientos y requisitos descritos en la normativa se determinan considerando:

•La zona sísmica del Ecuador donde se va a construir la estructura: el factor de zona Z correspondiente.

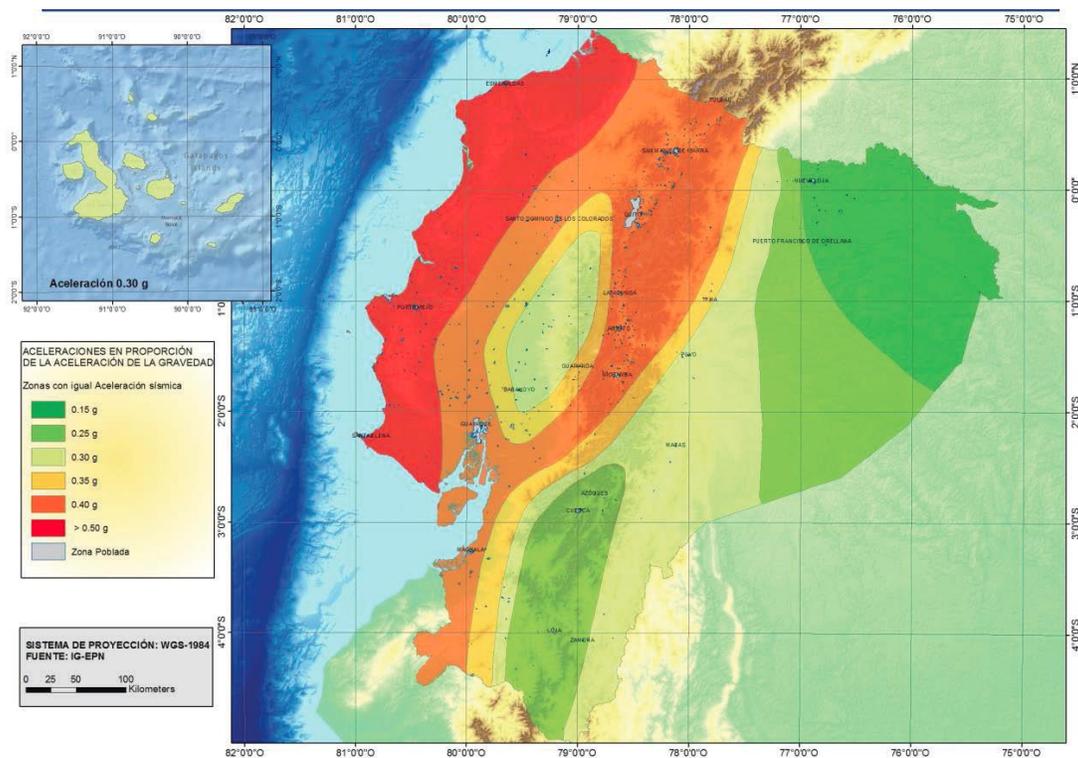


Figura 5. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño (NEC-15)

•Las características del suelo del sitio de emplazamiento.

En la tabla 6 se presentan los valores del coeficiente **Fa** que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio (NEC).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

**Tabla 3. Tipo de suelo y factores de sitio Fa (NEC-15)**

En la tabla 7 se presentan los valores del coeficiente **Fd** que amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio (NEC).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

**Tabla 4. Tipo de suelo y factores de sitio Fd (NEC-15)**

En la tabla 8 se presentan los valores del coeficiente  $F_s$ , que consideran el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período de sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos (NEC).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

**Tabla 5. Tipo de suelo y factores de sitio  $F_s$ . (NEC-15)**

- Las estructuras de uso normal deberán diseñarse para una resistencia tal que puedan soportar los desplazamientos laterales inducidos por el sismo de diseño, considerando la respuesta inelástica, la redundancia, la sobre resistencia estructural inherente y la ductilidad de la estructura.

### 2.7.1. Factor de Reducción de Resistencia Sísmica $R$ .

Para la definición del factor de reducción de resistencia  $R$ , se tomaron como criterios, tanto las recomendaciones de los códigos UBC-94 y UBC-97, que incluyen aspectos de agrupamiento de estructuración, diferencias entre realidades constructivas y de calidad entre los materiales y la construcción en los Estados Unidos y el Ecuador, así como penalizaciones dirigidas hacia cierto tipo de estructuras que no permiten disponer de ductilidad apropiada para soportar las deformaciones inelásticas requeridas por el sismo de diseño.

Si bien se conoce claramente que los factores de reducción de resistencia R dependen realmente de muchas variables, entre otras, del tipo de estructura, del tipo de suelo, del período de vibración considerado y de los factores de ductilidad, sobre-resistencia, redundancia y amortiguamiento de una estructura en condiciones límite, se ha simplificado a un parámetro constante dependiente únicamente de la tipología estructural (NEC-15).

Sistemas Estructurales de Ductilidad Limitada	R
<b>Pórticos resistentes a momento</b>	
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> , limitados a viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.	3
Hormigón Armado con secciones de dimensión menor a la especificada en la <a href="#">NEC-SE-HM</a> con armadura electrosoldada de alta resistencia	2.5
Estructuras de acero conformado en frío, aluminio, madera, limitados a 2 pisos.	2.5
<b>Muros estructurales portantes</b>	
Mampostería no reforzada, limitada a un piso.	1
Mampostería reforzada, limitada a 2 pisos.	3
Mampostería confinada, limitada a 2 pisos.	3
Muros de hormigón armado, limitados a 4 pisos.	3

**Tabla 6. Coeficiente R para sistemas estructurales de ductilidad limitada (NEC-15)**

Para fines de analizar sísmicamente a estructura de acero, puede emplearse un factor de reducción de la fuerza sísmica elástica  $R=4,5$  que corresponde con los pórticos intermedios resistentes a momento.

### 2.7.2. Peso reactivo de sismo en la estructura.

Según el NEC-15 capítulo 2, en el artículo 6.7.1, la carga sísmica W, representa la carga reactiva por sismo y es igual a la carga muerta total de la estructura.

La carga muerta D se desglosa en la carga por peso propio (D) calculado por el programa y la carga muerta sobrepuesta (DS).

$$\text{PESO REACTIVO} = D + DS.$$

Para casos especiales se le incluirá un 25% de la carga viva (bodegas y almacenaje)

### 2.7.3. Categoría de la edificación y coeficiente de importancia I.

La estructura a diseñarse se clasificará en una de las categorías que establecen en la tabla de la tabla 11 y se adoptará el correspondiente factor de importancia I.

El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para estructuras que por sus características de utilización o de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después de la ocurrencia del sismo de diseño (NEC-15).

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

**Tabla 7, Tipo de uso, destino e importancia de la estructura (NEC-15)**

Para la estructura en estudio se utilizará un factor de importancia **I=1** debido a que corresponde a una residencia unifamiliar y no se encuentra categorizada como *edificaciones esenciales o de ocupación especial*.

### 2.7.4. Regularidad/ configuración estructural.

Se debe procurar según diseños arquitectónicos y estructurales que las configuraciones de las estructuras sean simples y regulares para lograr un adecuado desempeño sísmico. La tabla 12 del NEC-15 muestra configuraciones estructurales recomendadas.

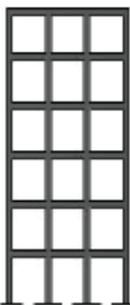
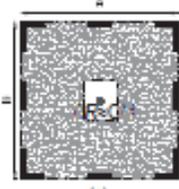
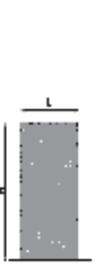
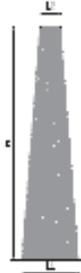
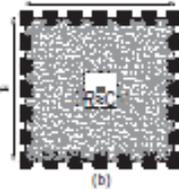
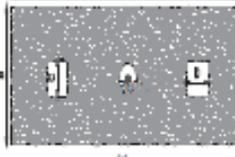
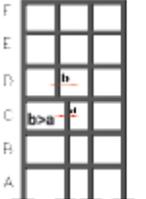
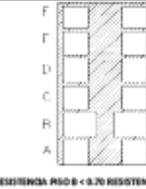
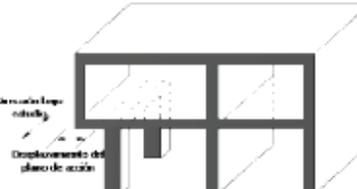
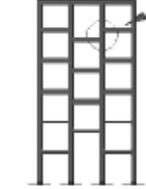
CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN $\phi_E=1$		CONFIGURACIÓN EN PLANTA $\phi_P=1$	
La altura de entrepiso y la configuración vertical de sistemas aporricados, es constante en todos los niveles. $\phi_E=1$		La configuración en planta ideal en un sistema estructural es cuando el Centro de Rigidez es semejante al Centro de Masa. $\phi_P=1$	
La dimensión del muro permanece constante a lo largo de su altura o varía de forma proporcional. $\phi_E=1$	 		 

Tabla 8. Configuraciones estructurales recomendadas (NEC)

IRREGULARIDADES EN ELEVACIÓN		IRREGULARIDADES EN PLANTA
<p><b>Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas.</b> La estructura se considera irregular no recomendada cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales del sistema resistente, dentro del mismo plano en el que se encuentran, y estos desplazamientos son mayores que la dimensión horizontal del elemento.</p>		<p><b>Desplazamiento de los planos de acción de elementos vertical.</b></p> <p>Una estructura se considera irregular no recomendada cuando existen discontinuidades en los ejes verticales, tales como desplazamientos del plano de acción de elementos verticales del sistema resistente.</p>
<p><b>Piso débil-Discontinuidad en la resistencia.</b> La estructura se considera irregular no recomendada cuando la resistencia del piso es menor que el 70% de la resistencia del piso inmediatamente superior, (entendiéndose por resistencia del piso la suma de las resistencias de todos los elementos que comparten el cortante del piso para la dirección considerada).</p>	 <p>RESISTENCIA PISO B &lt; 0.70 RESISTENCIA PISO C</p>	
<p><b>Columna corta</b> Se debe evitar la presencia de columnas cortas, tanto en el diseño como en la construcción de las estructuras.</p>		

**Tabla 9. Configuraciones estructurales no recomendadas (NEC)**

Cabe mencionar que para el trabajo de investigación realizado se ha tomado en consideración una estructura que no presenta irregularidades en planta ni en elevación.

### 2.7.5. Espectro elástico e inelástico utilizado para el análisis sísmico de la estructura.

A continuación, se presentan los valores usados para calcular el espectro elástico y el inelástico para ingresar en el modelo de elementos finitos y posteriormente ejecutar un análisis pseudo-estático de carga.

**Población:** Guayaquil

**Cantón:** Guayaquil

**Provincia:** Guayas

**Región:** Costa

**Zona sísmica:** V

**Factor de Zona** 0,40

**Sísmica Z:**

**Amenaza sísmica:** Alta

**Tipo de suelo:** D

#### **Tipo de Estructura a utilizar:**

Pórticos intermedios en acero estructural resistente a momentos.

*Coeficientes de amplificación dinámica del perfil Fa:* 1,20

*Coeficientes de amplificación dinámica del perfil Fd:* 1,19

*Coeficientes de amplificación dinámica del perfil Fs:* 1,28

*Coeficiente de reducción de respuesta estructural R:* 4,5

*Categoría:* Estructura no esencial ni especial

*Coeficiente de importancia (I):* 1

**Tipo de Irregularidad en planta:**

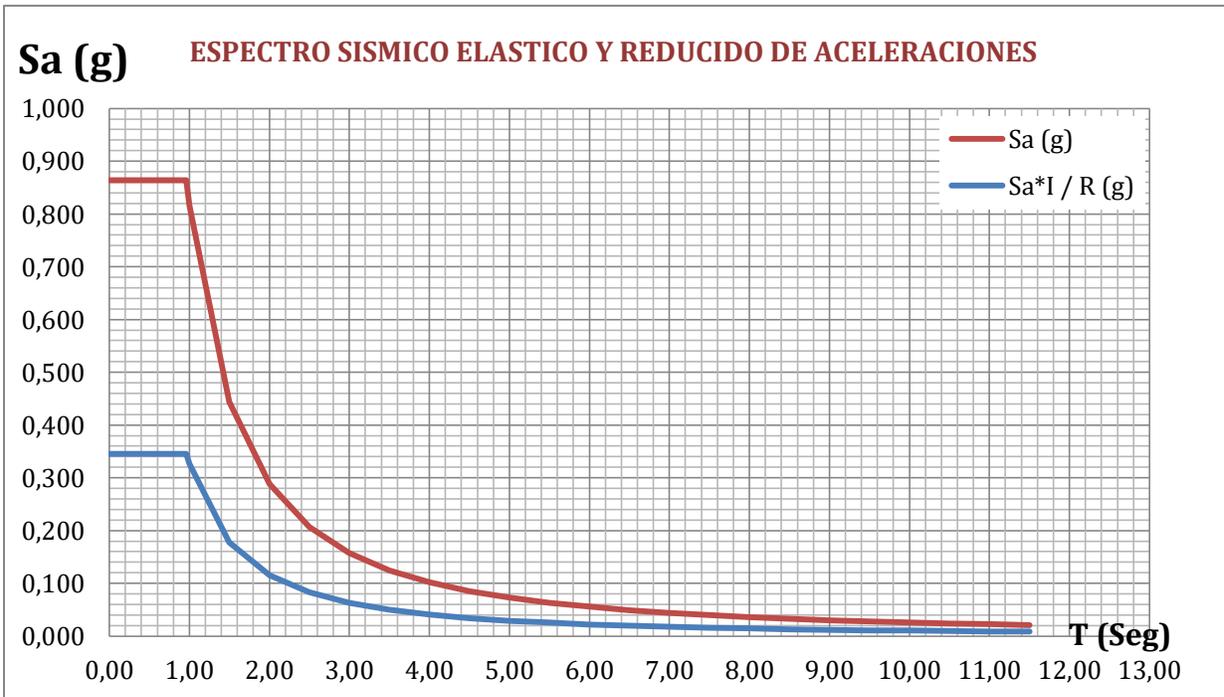
*No hay irregularidades en planta*

**Coefficiente de configuración estructural en planta ( $\Phi_p$ ):** 1

**Tipo de Irregularidad en elevación:**

*No hay irregularidades en elevación*

**Coefficiente de configuración estructural en elevación ( $\Phi_e$ ):** 1



**Figura 6. Espectro sísmico elástico y reducido**

### 2.7.6. Control de la deriva de piso (derivadas inelásticas máximas de piso $\Delta M$ ).

En toda estructura diseñada para resistir fuerzas horizontales ocasionadas por un sismo, se debe realizar un control de deformaciones a través de las derivadas inelásticas máximas de piso.

Para la revisión de las derivadas de piso se deberá utilizar el valor de la respuesta máxima inelástica en desplazamientos  $\Delta M$  de la estructura proporcionado por la NEC-15\_SE\_DS, dicho desplazamiento causado por el sismo de diseño.

Las derivadas obtenidas como consecuencia de la aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas por el método DBF (Diseño Basado en Fuerzas) sean estáticas o dinámicas, para cada dirección de aplicación de las fuerzas laterales, se calcularán, para cada piso, realizando un análisis elástico de la estructura sometida a las fuerzas laterales calculadas (*NEC-15 Peligro Sísmico*).

La deriva máxima inelástica  $\Delta M$  de cada piso debe calcularse mediante:

$$\Delta M = 0,75 * R * \Delta E.$$

Donde:

$\Delta M$  Deriva máxima inelástica.

$\Delta E$  Desplazamiento obtenido en aplicación de las fuerzas laterales de diseño reducidas.

$R$  Factor de reducción de resistencia.

Se verificará que:

$$\Delta_M < \Delta_M \text{ Máxima}$$

Siendo  $\Delta_M$  *Máxima* tal como se indica en la tabla siguiente:

Estructuras de:	$\Delta_M$ máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

**Tabla 10. Derivas máximas de piso**

### 2.7.7. Análisis espectral modal de la estructura.

Se usará el espectro sísmico de respuesta elástico en aceleraciones para obtener un análisis dinámico aproximado que describa el comportamiento de la estructura frente al sismo de diseño.

Se deben considerar en el análisis:

- Todos los modos de vibración que contribuyan significativamente a la respuesta total de la estructura mediante los períodos de vibración.
- Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos 90% de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales.
- En ningún caso se reducirán los parámetros de respuesta elástica a valores tales que el cortante basal de diseño reducido sea menor que cortante basal de respuesta elástica dividido para R.
- El valor de R podrá ser aplicado en el cálculo del cortante basal, siempre y cuando la estructura sea diseñada cumpliendo con todos los requisitos de diseño sismo resistente.

- Las estructuras deben diseñarse para resistir fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección horizontal. Debe asumirse que las fuerzas sísmicas de diseño actúan de manera no concurrente en la dirección de cada eje principal de la estructura (*NEC-15 Peligro Sísmico*).

Como alternativa, se podrán calcular los efectos ortogonales del siguiente modo:

$$E_h = \pm \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

Dónde:

E Efectos del sismo

$E_h$  Componente horizontal de la fuerza sísmica

$E_x$  Componente horizontal de la fuerza sísmica según el axis x

$E_y$  Componente horizontal de la fuerza sísmica de dirección perpendicular a  $E_x$

### 2.7.8. Cálculo y ajuste del cortante basal.

El cortante basal total de diseño  $V$ , a nivel de cargas últimas, aplicado a una estructura en una dirección especificada, se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{I * Sa(Ta)}{R * \phi_P * \phi_E} W$$

Donde:

**Sa (Ta)** Espectro de diseño en aceleración.

$\phi_P$  y  $\phi_E$  Coeficientes de configuración en planta y elevación

**I** Coeficiente de importancia.

**R** Factor de reducción de resistencia sísmica.

**V** Cortante basal total de diseño

**W** Carga sísmica reactiva

**Ta** Período de vibración.

El valor del cortante dinámico total en la base obtenida por cualquier método de análisis dinámico, no debe ser:

- < 80% del cortante basal  $V$  obtenido por el método estático (estructuras regulares).
- < 85% del cortante basal  $V$  obtenido por el método estático (estructuras regulares)

## **2.8. Características que inciden en los sistemas estudiados**

### **2.8.1. Nivel en mano de obra**

La mano de obra constituye un rubro de gran importancia al desarrollar construcciones según sea el caso del proyecto y su trascendencia. Dentro de la obra se necesita personal calificado y no calificado para las diversas funciones, actividades y oficios que se desarrollan. En las estructuras de hormigón armado se llevan a cabo con un mínimo de personal calificado cuya consigna es dirigir obra y una gran cantidad de personal no calificado que cumple con metas específicas. En estructuras de acero por complejidad del desarrollo se requiere de mayor personal calificado cuyos estándares son determinados de acuerdo a normas y reglamentos vigentes y menor cantidad de personal no calificado.

### **2.8.2. Mantenimiento estructural**

La estructura en un edificio sea esta de acero o de hormigón armado, sostiene el peso de todo lo que en el edificio se encuentre y transfiere estos esfuerzos hacia su base. Conociendo como elementos estructurales lo que son vigas, columnas y/o arriostres, los que están en el interior o recubiertos en el exterior de la edificación, los cuidados que se deben evitar son la sobrecarga y perforación de los elementos estructurales, siendo indispensable cuidar la estructura del contacto directo y el exceso de humedad.

### **2.8.3. Tiempos de ejecución de estructura en obra**

Para determinar los tiempos de construcción en obra se ha documentado ciertos elementos o aspectos que son categóricos y que inciden en el obrero al momento de cumplir su meta, teniendo los siguientes:

- Economía. (Cantidad de obras cercanas, demanda de obreros)
- Condiciones laborales (Contrato, salarios, relaciones, seguridad)
- Clima (Época del año, temperatura ambiente)
- Tipo de actividad (Dificultad, riesgo, discontinuidad)
- Equipamiento (Herramientas, equipos, materia prima)
- Supervisión (Preparación, idoneidad, gestión, seguimiento)
- Situación del trabajador (Conocimiento, situación personal, competencia, condiciones físicas, ritmo de trabajo)

### **2.8.4. Factores medio ambientales**

Las estructuras de los edificios subsisten de forma pasiva por mucho tiempo, siendo afectado por factores determinantes como son las sustancias agresivas del interior o exterior en la edificación.

Los factores ambientes como los cloruros y anhídrido carbónico del aire controlan la velocidad de la corrosión de las estructuras de hormigón, el proceso de corrosión por la presencia de humedad en el medio neutro y alcalino reduce el oxígeno de la estructura. La temperatura como factor ambiental que deteriora el hormigón armado juega un papel fundamental movilizando moléculas y facilitando el transporte de sustancias en toda la estructura.

### **2.8.5. Percepción de la ciudadanía**

Los profesionales del país critican tanto de la arquitectura contemporánea como la moderna, sus estructuras y diseños, diferenciando ubicaciones con mayor atracción y lugar del terreno donde se construyó, considerándolos como inmuebles de la sociedad que generan ingresos económicos. Una estructura representa las relaciones sociales y culturales de la ciudadanía, y nuestro país cuenta con varias industrias constructoras inmobiliarias que llevan a cabo un tipo de arquitectura moderna. A pesar que no existe un programa masivo en construcción para el país sus proyectos tanto de obra pública como privada, han sido aceptados por la ciudadanía.

### **2.8.6. Tratamientos para mejorar capacidad**

Existen múltiples tratamientos que modifican la capacidad de las estructuras en los edificios o la construcción de hormigón armado, las modificaciones con que cuentan son exclusivamente dependientes de cada compañía desarrolladora de las estructuras. A nivel mundial se han implementado normas adecuadas y precisas para la elaboración, protección y uso de cada estructura.

## 2.8.7. Características de los sistemas investigados

Cuadro Comparativo de las características en los sistemas investigados.

HORMIGÓN ARMADO	ACERO ESTRUCTURAL
Material monolítico producido con material de cantera.	Material producido industrialmente bajo explotación en minas.
Se fabrica en obra	Se obtienen perfiles normalizados
El control de calidad se debe hacer en obra. Depende de la calidad del material y de la habilidad de los operarios. Se requiere ensayos para certificar calidad.	El control de calidad de la materia prima se efectúa en taller. La certificación de origen satisface los requerimientos del interventor.
El resultado es una construcción maciza. La simulación de la acción estructural es incierta.	La forma es un esqueleto. La acción estructural se aproxima a las idealizaciones lineales.
Las piezas son rígidas	Las piezas son esbeltas
No hay limitaciones en cuanto a formas y tamaños que se pueden obtener.	Las formas y tamaños están limitados por las facilidades de transporte entre fábrica y obra.
Al aumentar la exigencia se aumenta el tamaño o la calidad de los materiales	Al aumentar la exigencia se puede controlar la respuesta mediante variación en la proporción general.
Los asentamientos diferenciales son perjudiciales.	Es menos sensible a los asentamientos diferenciales.
La acción sísmica es de cuidado debido a su rigidez.	Tolera la acción sísmica debido a su flexibilidad.
La conducta del comportamiento es más desconocida y su respuesta es aleatoria.	Se conoce mejor la conducta y es más conocido el comportamiento.
Una falla de estabilidad puede llevar al colapso.	Una falla de estabilidad puede llevar a deformación permanente.
La disponibilidad generalizada de materia prima lo hace fácil de usar en cualquier lugar.	El uso de algunos elementos puede ser prohibido en algunas partes.
La conducta en tracción es deficiente. Debe usarse hacer de refuerzo para mejorarla.	La capacidad bruta en todos los estados de tensión es equivalente. Debe controlarse la esbeltez para la compresión.
El ajuste de la estructura en condición de falla es impredecible.	La estructura es propicia a redistribuir cargas en condición de falla.
No influye por separado la resistencia en las uniones.	La resistencia en las uniones afecta la capacidad general.
La reducción de capacidad por esbeltez es moderada.	La reducción de capacidad por esbeltez es apreciable.
El límite de resistencia puede estar entre 200 y 400 MPa.	El límite de resistencia puede estar entre 200 y 600 MPa.

Tabla 11. Comparación técnica del acero estructural y el hormigón armado, Fuente: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1739/11577>

<b>HORMIGÓN ARMADO(o Estructural)</b>	<b>ACERO ESTRUCTURAL</b>
El costo en la mano de obra no esta relacionada con especialización, es decir, la mano de obra es no calificada.	El costo asociado con mano de obra esta relacionado con la especialización, es decir, debe ser personal formado técnicamente.
La mano obra calificada es ofrecida en el mercado laboral generalmente.	La mano de obra por ser especializada es necesario buscarla.
Con relación al efecto del ambiente es casi invulnerable, solamente lo afectan algunos medios ácidos.	El material utilizado es muy susceptible al efecto del ambiente.
El mercado ofrece el comportamiento y el uso de los materiales con frecuencia, incluso asesoría gratuita para su uso.	Es escaso el ofrecimiento de de materiales para su uso y las asesoría para la implementación son un poco costosas.
El costo del material utilizado es el resultado de la interacción de insumos ofrecidos en el mercado en abundancia.	El costo del material es producto del mercado externo controlado por oferta y demanda ajena.
Los costos de inversión al inicio de la ejecución son determinantes en la obra.	Los costos de inversión y los costos operacionales ayudan a tomar la decisión.
La disponibilidad de material no es limitante del uso.	La disponibilidad de material limita la posibilidad de uso.
El costo del transporte es negociable por ser de libre oferta.	Es necesario transporte especializado por su carácter técnico de diseño.
La tasa de interés de oportunidad es relativamente moderada por estar asociada a bajo riesgo.	La tasa de interés de oportunidad es relativamente alta por estar asociada al riesgo por su exclusividad.
En economías de escala es de fácil utilización para disminuir costos.	No disminuye costos relativamente en economías de escala pero incrementa el rendimiento.
La calidad del material impone relaciones altas entre longitudes de las piezas y su sección transversal.	La mejor calidad permite obtener menores relaciones entre longitud y la sección.
El tiempo es mas largo en la construcción por ser fruto de varias etapas.	El tiempo es menor por su fácil aplicación en la obra.
Aumenta costos en mano de obra por requerir más tiempo.	Los costos en mano de obra con relación al tiempo son menores.
Los costos en el ahorro de diseño es muy común.	No se pueden ahorrar costos en el diseño.

**Tabla 12. Comparación financiera del acero estructural y el hormigón armado, Fuente:** <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/1739/11577>

## **2.9. Formulación de hipótesis**

El cálculo del costo de las estructuras de acero a simple vista puede ser mayor. Pero al agregar el factor tiempo y mano de obra, éste puede verse reducido debido a los cortos tiempos de ejecución de obra y por el poco volumen de mano de obra.

## **2.10. Definiciones conceptuales**

### **Costos**

Nos referiremos a costo como la representación económica que representa la fabricación de algún componente o servicio en la construcción.

### **Costos directos**

Son la representación económica del material, equipos, servicios y mano de obra que se necesitan para la fabricación de un proceso productivo.

### **Costos directos preliminares**

Al igual que el costo directo, es la representación económica del material, equipos y mano de obra para la realización de un subproducto.

### **Costos directos finales**

Es la representación económica del material, equipos y mano de obra para la realización de un producto.

### **Costos indirectos**

Es la representación económica de materiales, equipos, servicios y mano de obra que no poseen relación atribuible a algún componente o servicio en la construcción.

### **Costos indirectos de operación**

Representación económica que ocurren solo en función a gastos que sean independientes a una obra.

### **Costos indirectos de obra**

Representación económica que ocurren solo en función a gastos que sean dependientes a una obra.

### **Obra**

Es la unidad de producción en la actividad de la Construcción.

### **Producción**

Se lo puede definir como una combinación de elementos que mediante procedimientos definidos se busca obtener un bien o servicio.

### **Programación**

Tiempo y secuencia de ejecución de una obra.

### **Ejecución**

Momento en cual se realiza lo planificado.

### **Método constructivo**

Es la técnica o diferentes técnicas que se emplea para ejecutar la obra.

### **Mano de obra**

El costo total que representa el esfuerzo físico y mental que se pone al servicio para la obtención de un bien o servicio

### **Maquinaria**

Conjuntos de piezas que ayudan a realizar un trabajo con un fin determinado.

## **Equipo**

Grupo de personas unidas para lograr un objetivo en común.

## **Productividad de los materiales**

En la construcción la productividad de los materiales se refiere a un correcto uso de los materiales para de esta manera evitar pérdidas del mismo. Haciendo más eficiente el uso de aquellos.

## **Productividad de la mano de obra**

Es el factor que más incide en la construcción puesto que es el que pone el ritmo y tiempo de la obra, de este factor depende los demás recursos de la obra.

## **Productividad de maquinaria:**

Se refiere al rendimiento sobre el costo de utilización que posee la máquina. En la construcción algunas maquinarias poseen un alto costo de producción.

## **Presupuesto de obra**

Es aquel que por medio de mediciones y valoraciones se da conocer el costo de una obra a ejecutar.

## **Sistema Constructivo**

Conjuntos de elementos y unidades de una edificación que forman una organización funcional con una misión constructiva común, sea ésta de sostén estructural o protección de espacios ante la intemperie.

### **Sistema Estructural de hormigón armado**

Se centra en la disposición de elementos estructurales verticales como columnas, muros y pilares combinados con elementos estructurales horizontales como vigas, cadenas y losas, que comprenden la unión de hormigón con acero.

### **Sistema estructural de acero**

Se centra en la disposición de elementos estructurales verticales como columnas, muros y pilares combinados con elementos estructurales horizontales como vigas, cadenas y losas, que comprenden en su gran mayoría elementos de acero.

### 3. CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

#### 3.1. Diseño de la investigación

En esta investigación se aplicará el método descriptivo con la finalidad de dar a conocer las características que abarca el tema u objeto a estudiar, además se aplicara el método analítico dando a conocer mediante estadísticas y gráficos, que serán tomados por medio de encuestas, dando un mejor análisis del fenómeno desconocido, dando una investigación más completa.

#### 3.2. Población y muestra

La muestra será tomada de los ingenieros civiles de Guayaquil, que según datos del colegio de Ingenieros Civiles del Ecuador en el Guayas existen 2672 ingenieros civiles, cantidad que será tomada como población y de la cantidad de alumnos que siguen la carrera de ingeniería civil en la Universidad Espíritu Santo.

**Cálculo de Muestras para Poblaciones Finitas**

$$n = \frac{P \cdot Q \cdot Z^2 \cdot N}{N \cdot E^2 + Z^2 \cdot P \cdot Q}$$

INGRESO DE PARAMETROS	
Tamaño de la Población (N)	2.672
Error Muestral (E)	0,05
Proporción de Éxito (P)	0,5
Proporción de Fracaso (Q)	0,5
Valor para Confianza (Z) (1)	1,65

Tamaño de Muestra	
Fórmula	247
Muestra Optima	226

(1) Si:

Confianza el 99%	2,32
Confianza el 97.5%	1,96
Confianza el 95%	1,65
Confianza el 90%	1,28

## Encuestas

### 1. Edad

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
24 a 35	34	15%
35 a 50	138	61%
50 en adelante	54	24%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

Tabla 13. Resultados de encuesta por Edad.

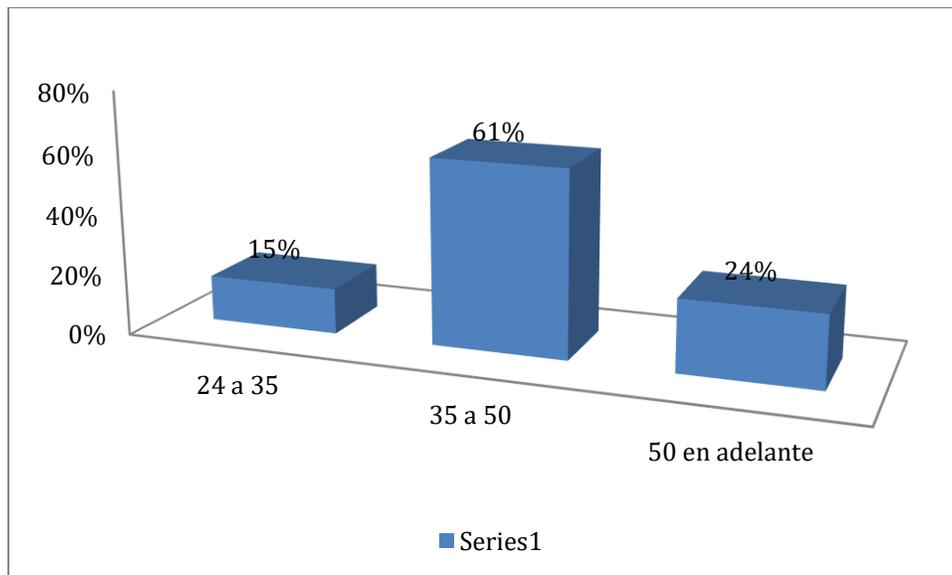


Figura 7. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por edad

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

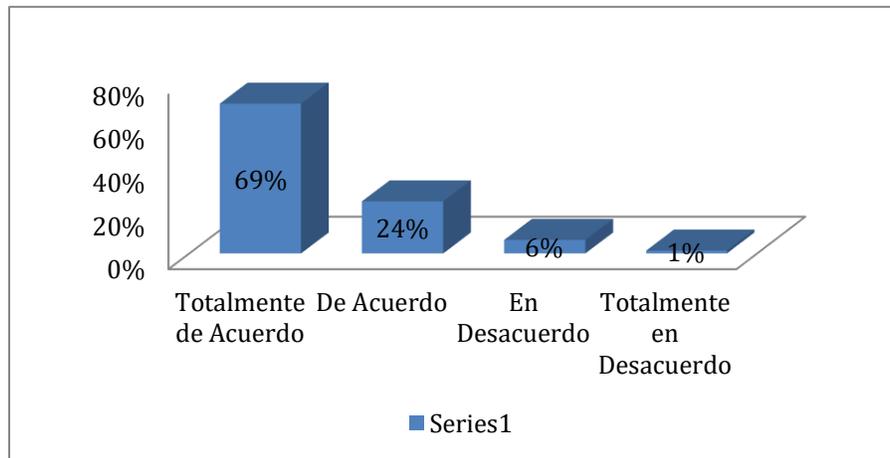
**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según indican las estadísticas el 61% de los ingenieros civiles encuestados están en la edad entre 35 a 50 años, el 24% tiene 50 años en adelante, y el 15% de 24 a 35 años.

2. **¿Prefiere realizar construcciones de hormigón armado y acero a otros sistemas constructivos?**

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Totalmente de Acuerdo	155	69%
De Acuerdo	54	24%
En Desacuerdo	14	6%
Totalmente en Desacuerdo	3	1%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

**Tabla 14. Resultados de encuesta por criterio de construcción.**



**Figura 8. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por criterio de construcción**

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según las estadísticas el 69% de los encuestados indicaron que están totalmente de acuerdo con realizar construcciones de hormigón armado y acero, mientras que el 24% está de acuerdo, el 6% en desacuerdo, y el 1% totalmente en desacuerdo.

3. ¿Sus preferencias podrían ser por las construcciones de acero?

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Totalmente de Acuerdo	77	34%
De Acuerdo	132	58%
En Desacuerdo	14	6%
Totalmente en Desacuerdo	3	1%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

Tabla 15. Resultados de encuesta por afinidad con el acero estructural

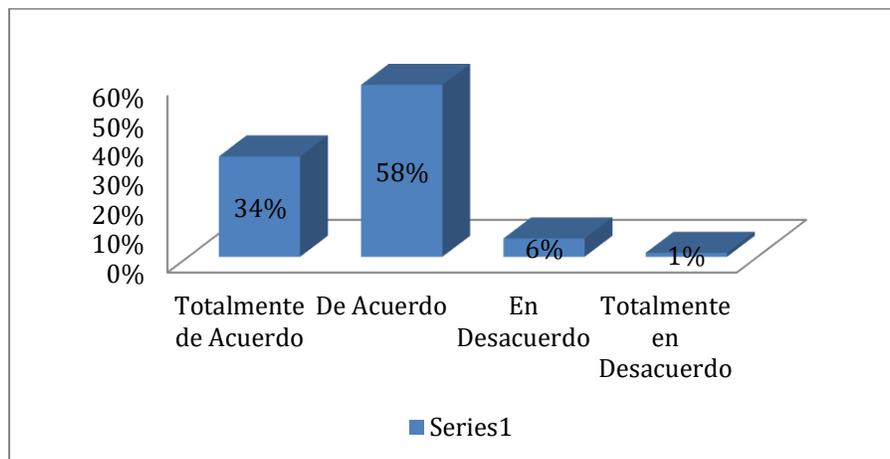


Figura 9. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por afinidad con el acero

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según las estadísticas el 58% de los encuestados indicaron que están de acuerdo con las construcciones de acero, el 34% indicaron que están totalmente de acuerdo, el 6% en desacuerdo, y el 1% totalmente en desacuerdo.

4. ¿Tiene conocimiento sobre los costos de las construcciones hechas de acero?

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	208	92%
NO	18	8%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

Tabla 16. Resultados de encuesta por costos en construcción de acero

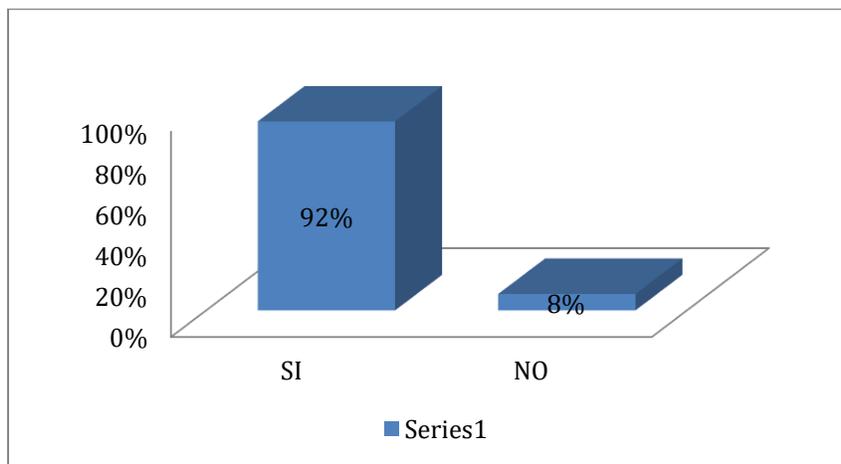


Figura 10. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por costos en construcción de acero estructural

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

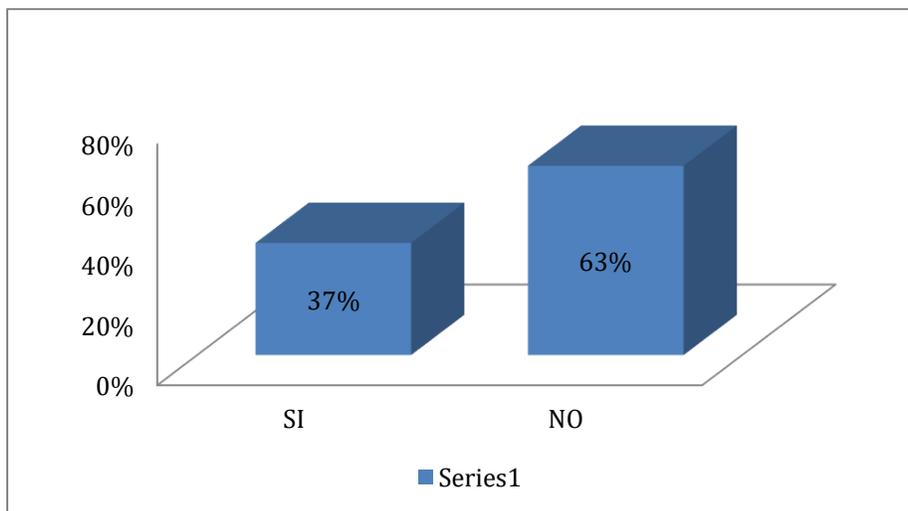
**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según las estadísticas el 92% de los encuestados tienen conocimiento sobre los costos para la construcción en base de acero, mientras que el 8% no tiene conocimiento.

**5. ¿Conoce algún conflicto relacionado con las construcciones hechas de hormigón armado?**

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	84	37%
NO	142	63%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

**Tabla 17. Resultados de encuesta por costos en construcción de hormigón armado**



**Figura 11. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por costos en construcción de hormigón armado**

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según las estadísticas el 63% de los encuestados no conocen algún conflicto relacionado con las construcciones hechas de hormigón armado, mientras que el 37% si tiene conocimiento.

6. ¿Sabe sobre los tiempos de construcción en acero?

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	213	94%
NO	4	2%
TAL VEZ	9	4%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

Tabla 18. Resultados de encuesta por tiempos en construcción de acero estructural.

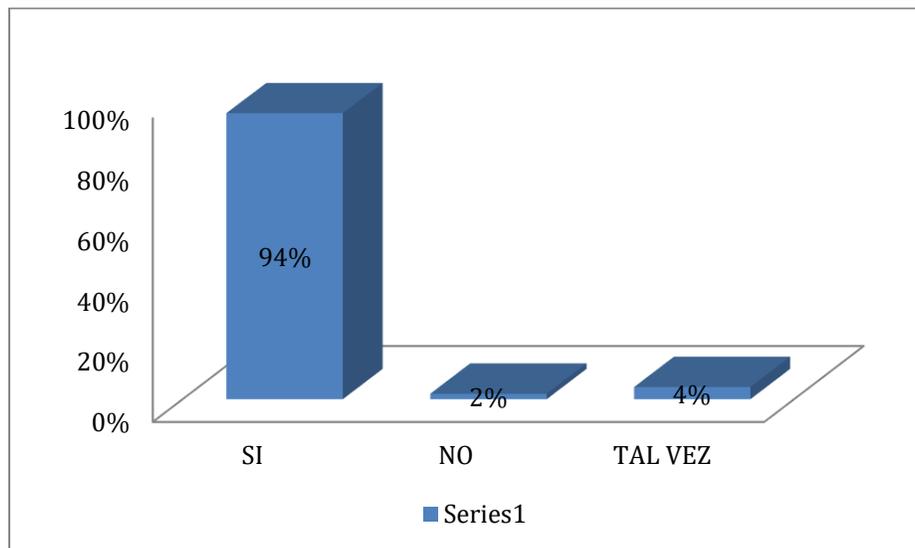


Figura 12. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por tiempos en construcción de acero estructural

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según las estadísticas el 94% de los encuestados indicaron que, si tienen conocimiento sobre el tiempo en que se demora una construcción hecha de acero, mientras que el 4% indicaron que tal vez, y el 2% indicaron que no tenían conocimiento.

7. Cree usted que la construcción de hormigón es más económica que la construcción de acero.

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Totalmente de Acuerdo	174	77%
De Acuerdo	39	17%
En Desacuerdo	9	4%
Totalmente en Desacuerdo	4	2%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

Tabla 19. Resultados de encuesta por tiempos en construcción de hormigón armado

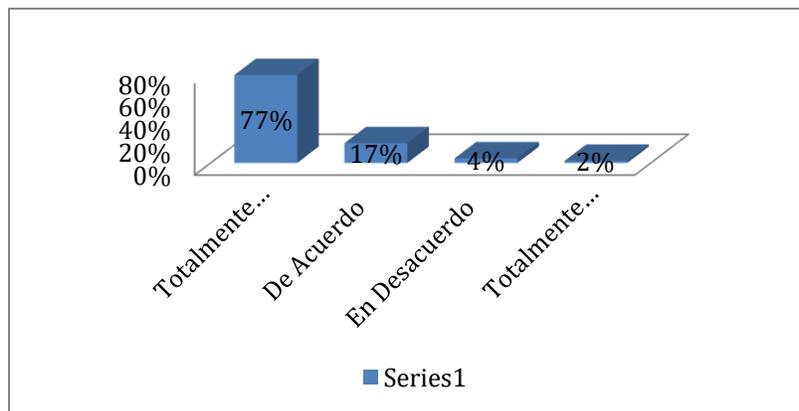


Figura 13. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por tiempos en construcción de hormigón armado

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

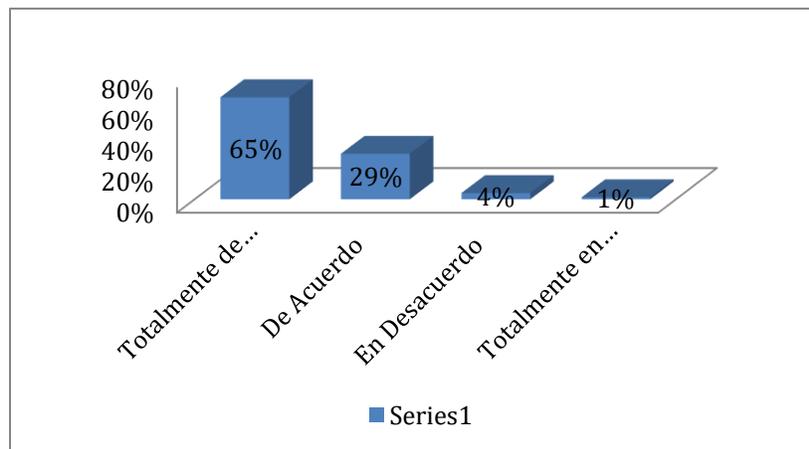
**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según las estadísticas el 77% indicó que está totalmente de acuerdo con que la construcción de hormigón es más económica que la construcción de acero, mientras que el 17% indicaron que están de acuerdo, el 4% en desacuerdo, y el 2% totalmente en desacuerdo.

8. **¿Considera usted que las construcciones hecha en base de acero ayuda a prevenir daños ocasionado por fenómenos naturales?**

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
Totalmente de Acuerdo	148	65%
De Acuerdo	66	29%
En Desacuerdo	9	4%
Totalmente en Desacuerdo	3	1%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

**Tabla 20. Resultados de encuesta por resistencia de acero estructural.**



**Figura 14. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por resistencia del acero.**

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

Según las estadísticas el 65% de los encuestados indicaron que están totalmente de acuerdo con que las construcciones hecha en base de acero ayuda a prevenir daños ocasionado por fenómenos naturales, mientras que el 29% indicaron un de acuerdo, 4% en desacuerdo y el 2% totalmente en desacuerdo.

9. ¿Conoce usted los rubros que intervienen en la construcción de la estructura de acero?

DESCRIPCION	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	172	76%
NO	54	24%
<b>TOTAL</b>	<b>226</b>	<b>100%</b>

Tabla 21. Resultados de encuesta por rubros en construcción de acero.

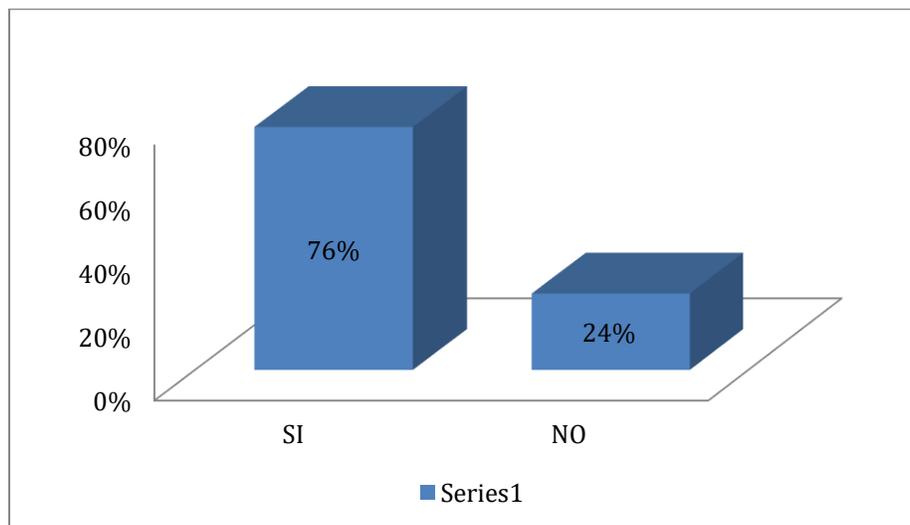


Figura 15. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por rubros en construcción de acero.

**Fuente:** Investigación de Mercados, Encuesta

**Elaborado por:** Pablo Baquerizo

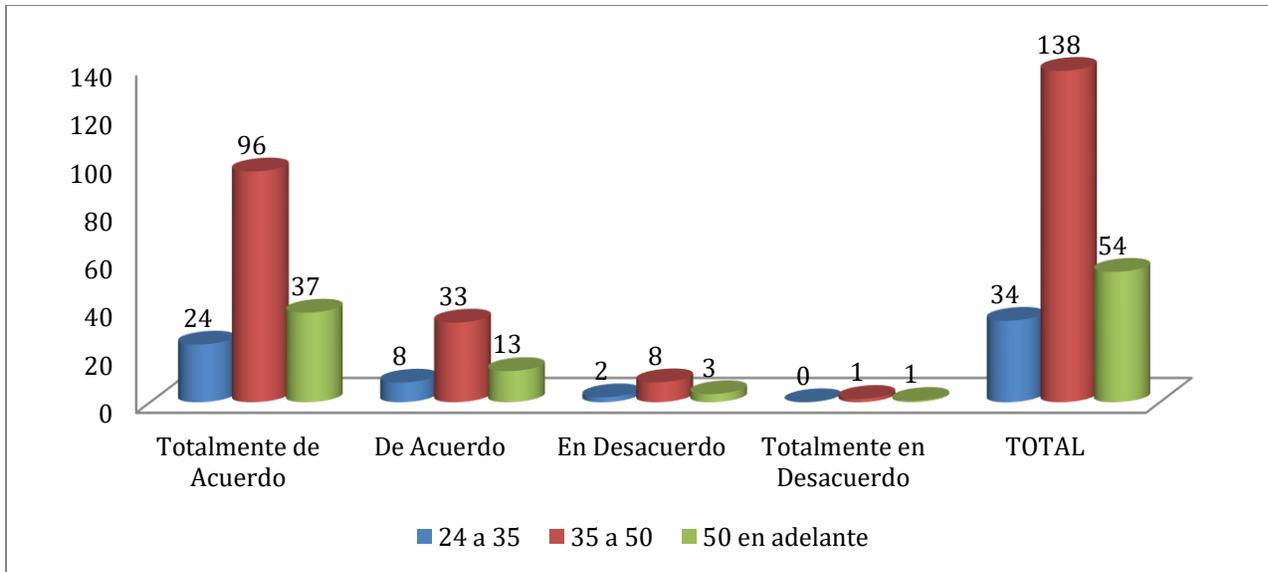
Según las estadísticas el 76% de los encuestados tienen conocimiento sobre los **rubros** que hay en un plano estructural de acero, mientras que el 24% no tiene conocimiento sobre dicho tema.

### 3.3. Conceptualización de las variables

#### 1. Edad y las preferencias en realizar construcciones de hormigón armado y acero a otros sistemas constructivos.

CRITERIO	24 a 35	35 a 50	50 en adelante
<b>Totalmente de Acuerdo</b>	24	96	37
<b>De Acuerdo</b>	8	33	13
<b>En Desacuerdo</b>	2	8	3
<b>Totalmente en Desacuerdo</b>		1	1
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>138</b>	<b>54</b>

Tabla 22. Resultados de encuesta por edad de preferencia en sistemas constructivos.



**Figura 16. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por edad de preferencias.**

**Fuente:** Investigación de Mercado, Encuestas

**Elaborado por:** Pablo, Baquerizo

**Análisis.**

Según las estadísticas indican que las personas encuestadas que están entre 24 a 35 años, 24 de ellos están totalmente de acuerdo con realizar construcciones en base de hormigón armado y acero, 8 están de acuerdo, 2 en desacuerdo, 0 en totalmente en desacuerdo, de los que se encuentran de 35 a 50 años, 96 están totalmente de acuerdo, 33 de acuerdo, 8 en desacuerdo, 1 en totalmente en desacuerdo; de los que tiene 50 años en adelante 37 están totalmente de acuerdo; 13 de acuerdo, 3 en desacuerdo, y 1 totalmente en desacuerdo.

## 2. Edad y preferencias por las construcciones de acero

	24 a 35	35 a 50	50 en adelante
<b>Totalmente de Acuerdo</b>	12	47	18
<b>De Acuerdo</b>	20	81	32
<b>En Desacuerdo</b>	2	8	3
<b>Totalmente en Desacuerdo</b>	0	2	1
<b>TOTAL</b>	<b>34</b>	<b>138</b>	<b>54</b>

Tabla 23. Resultados de encuesta por edad de preferencia en construcción en acero.

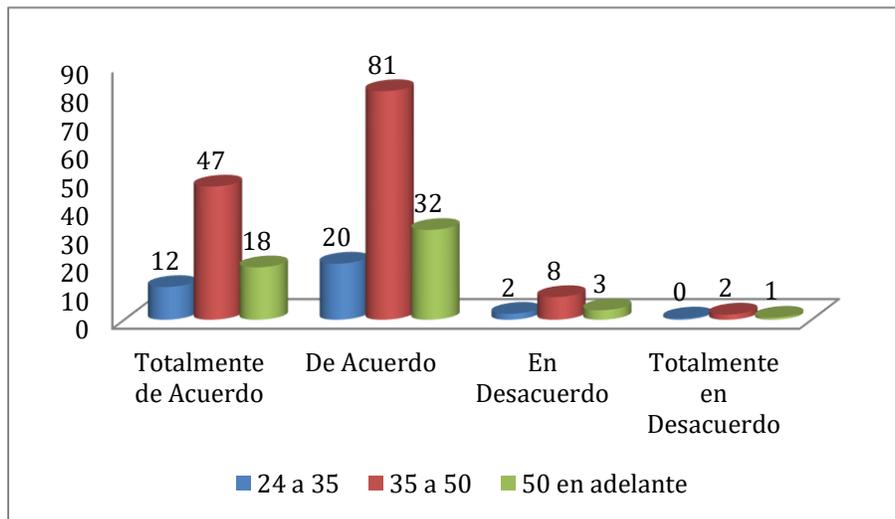


Figura 17. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por preferencia en construcción de acero.

**Fuente:** Investigación de Mercado, Encuestas

**Elaborado por:** Pablo, Baquerizo

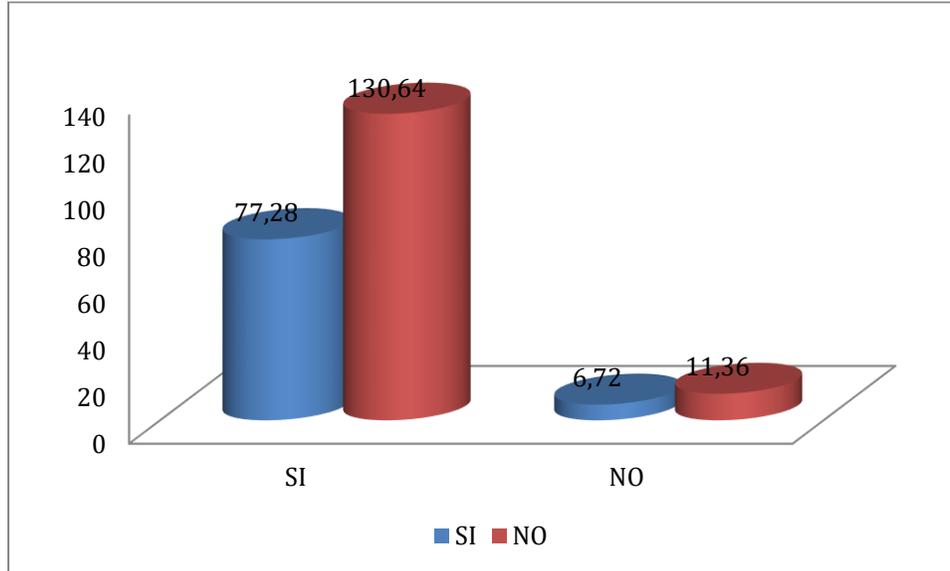
**Análisis**

Según las estadísticas de los 226 encuestados de los que tienen 24 a 35 años, 12 de ellas están totalmente de acuerdo con las construcciones de acuerdo, 20 está de acuerdo, 2 en desacuerdo; de 35 a 50 años, 47 de ellos están totalmente de acuerdo, 81 están de acuerdo, 8 en desacuerdo, 2 están totalmente en desacuerdo; de los que tienen 50 años en adelante 18 de ellos están totalmente de acuerdo, 32 están de acuerdo, 3 están en desacuerdo, y 1 en totalmente en desacuerdo.

**3. Conocimiento sobre los costos de las construcciones hechas de acero y sobre algún conflicto relacionado con las construcciones hechas de acero.**

	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>SI</b>	77	7
<b>NO</b>	131	11
<b>TOTAL</b>	<b>208</b>	<b>18</b>

**Tabla 24. Resultados de encuesta por costos e inconvenientes en construcción en acero.**



**Figura 18. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por costos e inconvenientes en construcción en acero.**

**Fuente:** Investigación de Mercado, Encuestas

**Elaborado por:** Pablo, Baquerizo

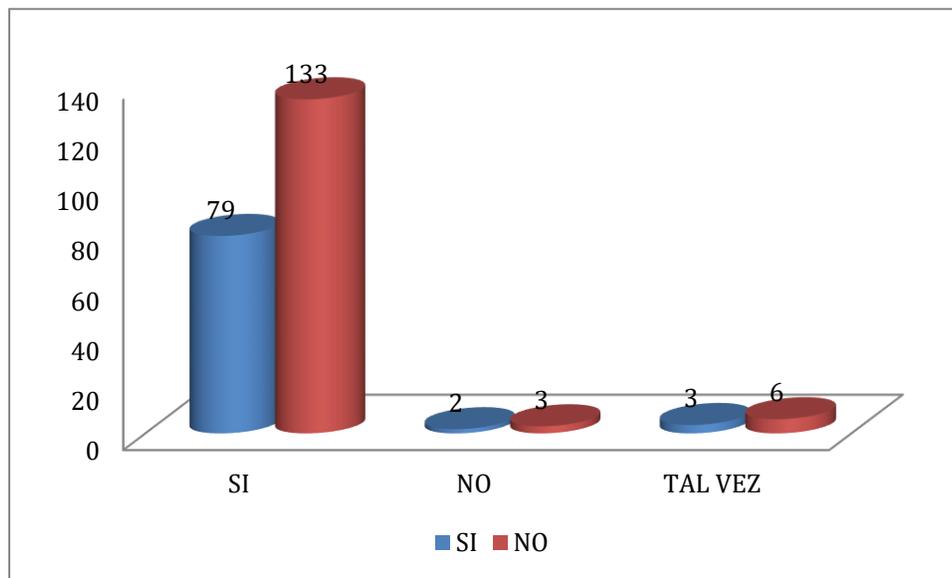
### **Análisis**

Las estadísticas muestran que de las personas que indicaron que si conocían los costos de las construcciones hechas de aceros, 77 de ellos indicaron que tenían conocimiento sobre conflictos relacionado con las construcciones hechas de acero, y 131 indicaron que no; de los que indicaron que no tenían conocimiento sobre los costos, 7 indicaron de ellos indico que si tenían conocimiento sobre conflictos relacionado con las construcciones hechas de acero, y 11 de ellos indicaron que no tenían conocimiento.

**4. Conocimiento sobre el tiempo de demora una construcción hecha de acero y conflicto relacionado con las construcciones hechas de acero.**

	SI	NO	TAL VEZ
SI	79	2	3
NO	133	3	6
TOTAL	212	5	9

**Tabla 25. Resultados de encuesta por tiempos e inconvenientes en construcción en acero.**



**Figura 19. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por tiempos e inconvenientes en construcción en acero.**

**Fuente:** Investigación de Mercado, Encuestas

**Elaborado por:** Pablo, Baquerizo

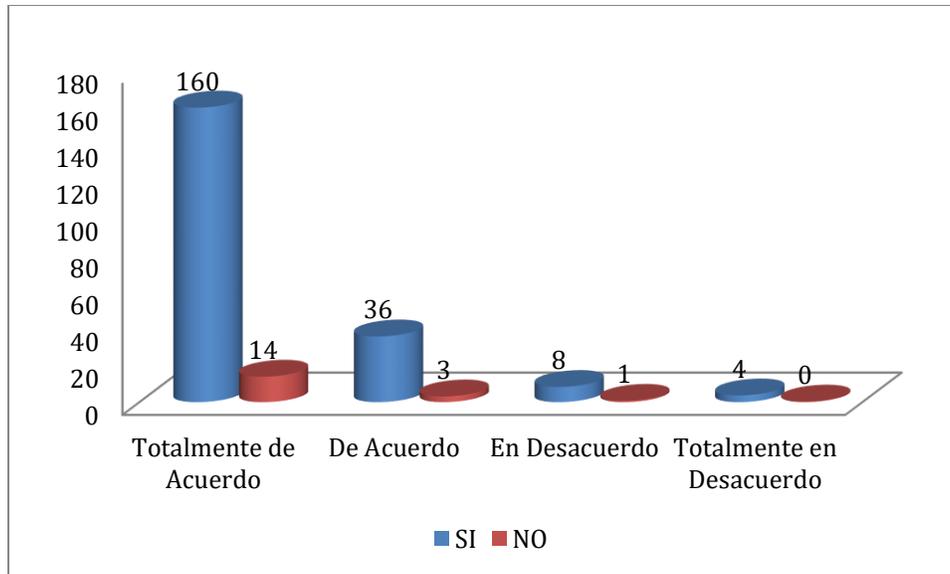
## Análisis

Las estadísticas muestran que de las personas encuestadas que indicaron que si tenían conocimiento sobre el tiempo de demora una construcción hecha de acero, 79 de ellas indicaron que también tienen conocimiento sobre los conflictos relacionados con las construcciones hechas de acero, mientras que 133 de ellas indicaron que no tenían conocimiento sobre dicho tema; de los que indicaron que no tenían conocimiento sobre el tiempo de una construcción a base de acero, 2 de ellos indicaron que si tenían conocimiento sobre los conflictos de las construcciones de acero, 3 indicaron que no tenían conocimiento sobre dicho tema; de los que indicaron que tal vez sabían algo sobre el tiempo de construcción de acero, 3 de ellos indicaron que si tenían conocimiento sobre los conflictos de las construcciones de acero, mientras que 6 tampoco tenían conocimiento sobre el tema.

### 5. Conocimiento sobre los costos de las construcciones hechas de acero y sobre costos más económicos entre la construcción de hormigón y acero.

	SI	NO
<b>Totalmente de Acuerdo</b>	160	14
<b>De Acuerdo</b>	36	3
<b>En Desacuerdo</b>	8	1
<b>Totalmente en Desacuerdo</b>	4	0
<b>TOTAL</b>	<b>208</b>	<b>18</b>

**Tabla 26. Resultados de encuesta por comparativa en costos de construcción en acero vs hormigón.**



**Figura 20. Gráfico de barras a partir de resultados de encuesta por comparativa en costos de construcción en acero vs hormigón.**

**Fuente:** Investigación de Mercado, Encuestas

**Elaborado por:** Pablo, Baquerizo

### **Análisis**

Según indica el gráfico de los ingenieros civiles que fueron encuestados, de los que si tenían conocimiento sobre los costos de las construcciones hechas de acero, 160 de ellos esta de totalmente de acuerdo sobre que la construcción de hormigón es más económica que la construcción hecha de acero, 36 de ellos indicaron que están de acuerdo, 8 en desacuerdo, y 4 que están totalmente en desacuerdo; y de los que indicaron que no tenían conocimiento sobre los costos de las construcciones hechas de acero, 14 de ellos indico que está totalmente de acuerdo con que la construcción hecha a base de hormigón es más económica que la construcción de acero, 3 están de acuerdo, 1 está en desacuerdo y ninguno estuvo totalmente en desacuerdo.

## **4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS.**

### **4.1. Modelo matemático de los sistemas considerados.**

Para conocer el comportamiento del edificio tanto en acero estructural como de hormigón armado frente a cargas gravitacionales y horizontales se modeló cada estructura en conformidad a su pre diseño mediante el método de elementos finitos utilizando el software ETABS. Por medio del modelo se puede conocer el comportamiento de las estructuras diferenciando entre sistemas, considerando que las fuerzas internas y desplazamientos estén entre los límites admisibles de resistencia y serviciabilidad.

#### **4.1.1. Consideraciones generales de carga gravitacionales para el modelado.**

La estructura en su totalidad fue diseñada para resistir el total del peso propio de los elementos del edificio; la carga permanente generada por mampostería, instalaciones etc., la carga viva generada por la ocupación y adicionalmente se consideran las cargas por la acción sísmica en la estructura.

##### **4.1.1.1. Cargas permanentes.**

El peso propio es considerado como parte de la carga permanente D y el peso de cada elemento es calculado directamente por el programa de análisis estructural en función de sus dimensiones, sección transversal y propiedades de los materiales.

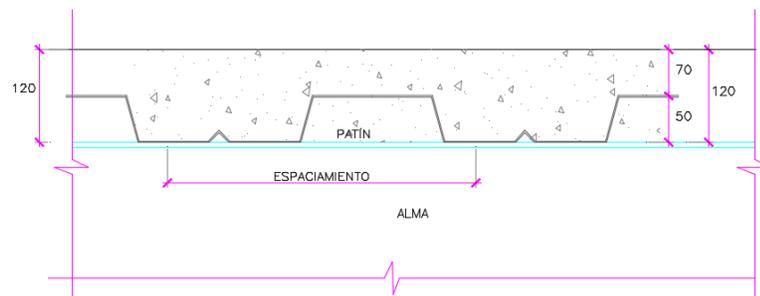
Peso unitario del concreto..... 2.400 Kg/m<sup>3</sup>

Peso unitario del acero..... 7.850 Kg/m<sup>3</sup>

ELEMENTO	CARGA MUERTA (Kg/m <sup>2</sup> )
Losa (D)	240
Sobreimpuestas oficinas (DS).	240

**Tabla 27. Detalle de cargas permanentes en pisos.**

- La carga permanente se subdivide para este caso en carga muerta D y la carga muerta sobreimpuesta DS.
- La carga muerta D está compuesta del peso propio de los elementos de acero y el peso propio de la losa de hormigón. El peso propio de cada elemento es calculado por el programa en función de su área, longitud y peso específico del material. El peso propio de la losa es calculado por el programa en función del tipo de losa. En este caso se utiliza un DECK metálico. La losa con el deck tiene una altura de 0,12m.
- Cantidad de hormigón en la losa:
  - El hormigón sobre la onda del Steel Deck tiene un espesor de 0,07m. sobre las losas.
  - La onda del Steel Deck tiene una altura de 0,05m. Como aquí existen ondas y vacíos, el espesor promedio macizo será de 0,025m.
  - En losas:  $e = 0,07 + 0,025 = 0,095\text{m}$ .



### Figura 21. Sección de losa tipo Deck

Con estos espesores promedio, la carga muerta D en losas será  $0,10\text{m} * 2.400\text{kg}/\text{m}^3 = 240 \text{ kg}/\text{m}^2$ .

(Espesor \* Peso Volumétrico del Concreto).

- La carga muerta sobreimpuesta DS es debida a las cargas posteriores a la fundición de la losa. Estas cargas son las siguientes:

○ Paredes de Mampostería:	150 kg/m <sup>2</sup> .
○ Recubrimiento de Piso: $0,03\text{m} * 2000\text{kg}/\text{m}^3 =$	60 kg/m <sup>2</sup> .
○ Instalaciones:	20 kg/m <sup>2</sup> .
○ Tumbado:	<u>10 kg/m<sup>2</sup>.</u>
Suman:	240 kg/m <sup>2</sup> .

#### 4.1.1.2. Carga no permanente.

Según el NEC-15, las sobrecargas de uso dependen de la ocupación a la que va a estar destinada la edificación y está conformada por los pesos de las personas, muebles, equipos, accesorios móviles o temporales, mercadería en transición y otras.

Según la Tabla 9 del NEC-15.- Sobrecargas Mínimas uniformemente distribuidas:

Residencias:..... 2.00 KN/m<sup>2</sup> = 240 kg/m<sup>2</sup>.

Terraza: ..... 4.80 KN/m<sup>2</sup> = 480 kg/m<sup>2</sup>

#### 4.1.2. Combinaciones de carga:

Las estructuras y sus diversos elementos que la componen deben ser diseñadas para que su resistencia sea igual o exceda los efectos de las cargas factoradas en las siguientes combinaciones propuestas por la NEC:

Nota: D (incluye la carga muerta por peso propio).

COMBO 1:  $1.4 D$

COMBO 2:  $1.2D + 1.6L$

COMBO 3:  $1.2D + 0.5L + 1.0E_x + 0.30E_y$

COMBO 4:  $1.2D + 0.5L + 1.0E_x - 0.30E_y$

COMBO 5:  $1.2D + 0.5L - 1.0E_x + 0.30E_y$

COMBO 6:  $1.2D + 0.5L - 1.0E_x - 0.30E_y$

COMBO 7:  $1.2D + 0.5L + 0.30E_x + 1.0E_y$

COMBO 8:  $1.2D + 0.5L + 0.30E_x - 1.0E_y$

COMBO 9:  $1.2D + 0.5L - 0.30E_x + 1.0E_y$

COMBO 10:  $1.2D + 0.5L - 0.30E_x - 1.0E_y$

COMBO 11:  $0.9D + 1.0E_x + 0.30E_y$

COMBO 12:  $0.9D + 1.0E_x - 0.30E_y$

COMBO 13:  $0.9D - 1.0E_x + 0.30E_y$

COMBO 14:  $0.9D - 1.0E_x - 0.30E_y$

COMBO 15:  $0.9D + 0.30E_x + 1.0E_y$

COMBO 16:  $0.9D + 0.30E_x - 1.0E_y$

COMBO 17:  $0.9D - 0.30E_x + 1.0E_y$

COMBO 18:  $0.9D - 0.30E_x - 1.0E_y$

ENVE: Envolverte de todas las combinaciones.

D (CARGA PESO PROPIO).

L (CARGA VIVA).

Ex (SISMO REDUCIDO EN SENTIDO X).

Ey (SISMO REDUCIDO EN SENTIDO Y).

En ningún momento la resistencia del elemento a diseñar será menor que la resistencia requerida. De igual forma, se deben de cumplir las restricciones de deformación admisible.

#### **4.1.3. Modelo de elementos finitos para análisis de alternativas.**

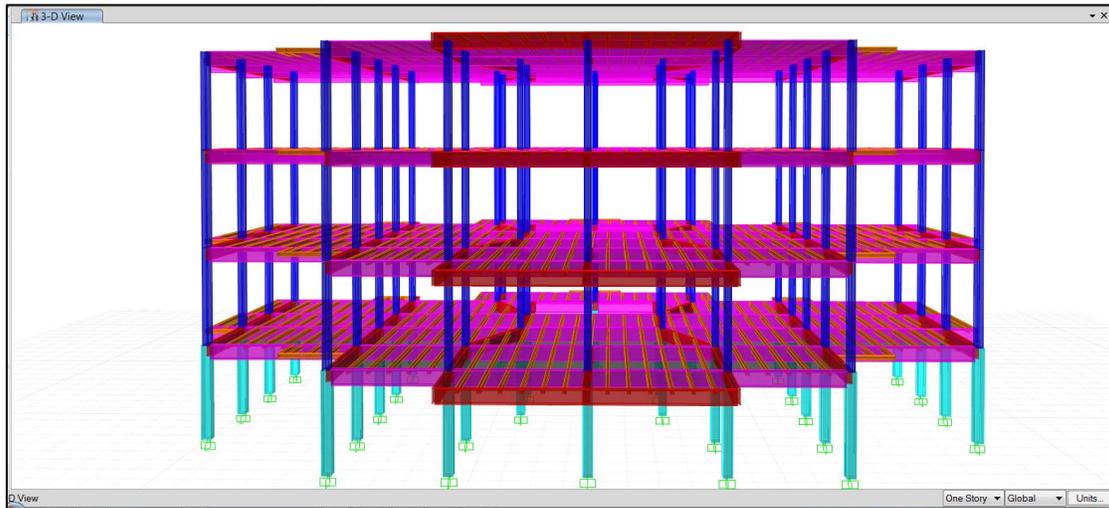
Para comparar el comportamiento de las 2 alternativas (acero estructural VS hormigón armado) se ha tomado como referencia una estructura tipo edificación para modelado en elementos finitos (ETABS), se ingresaron los datos necesarios (materiales, cargas, secciones), para conocer el comportamiento de dicha edificación modificándola con las alternativas propuestas para el desarrollo del trabajo investigativo.

Se han realizado 2 modelos matemáticos que consisten en lo siguiente:

1. Modelo de la estructura en acero estructural (pórticos intermedios resistentes a momento)
2. Modelo de la estructura en hormigón armado (pórticos intermedios resistentes a momento).

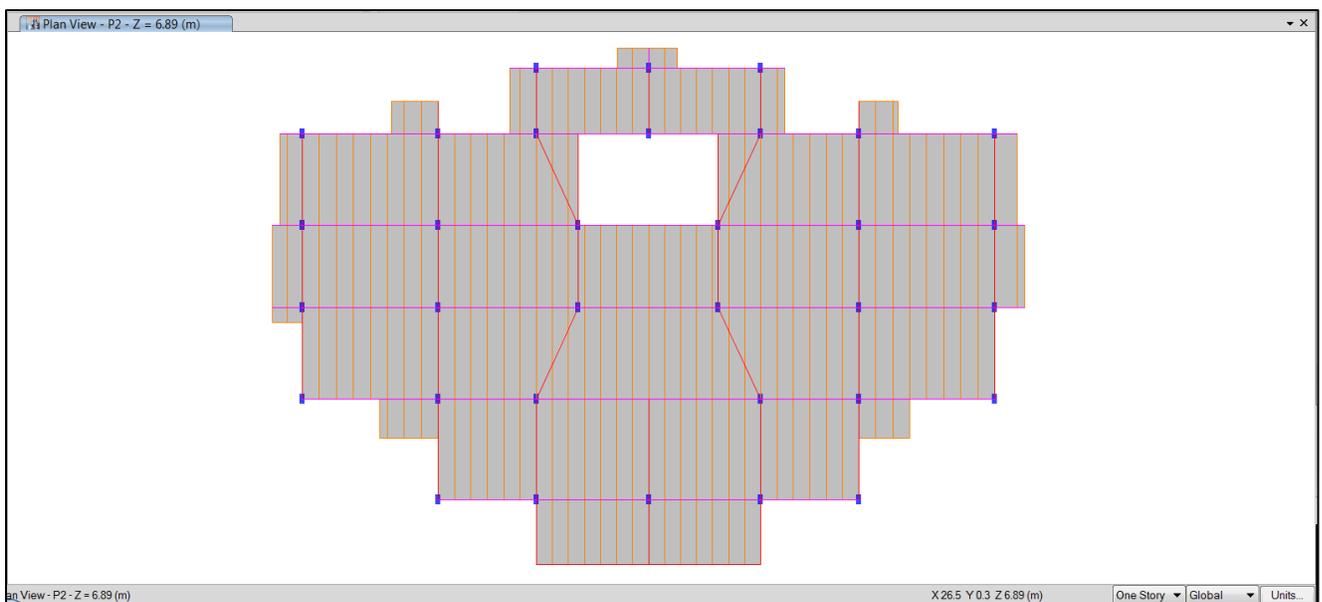
Los 2 modelos son comparativos en donde se calculan las deformaciones horizontales y con ello las derivas. Se hará una breve comparación también de períodos naturales en la estructura frente a fuerzas sísmicas.

#### 4.1.3.1. Modelo de la estructura en hormigón armado.



**Figura 22. Modelo de elementos finitos, estructura en hormigón.**

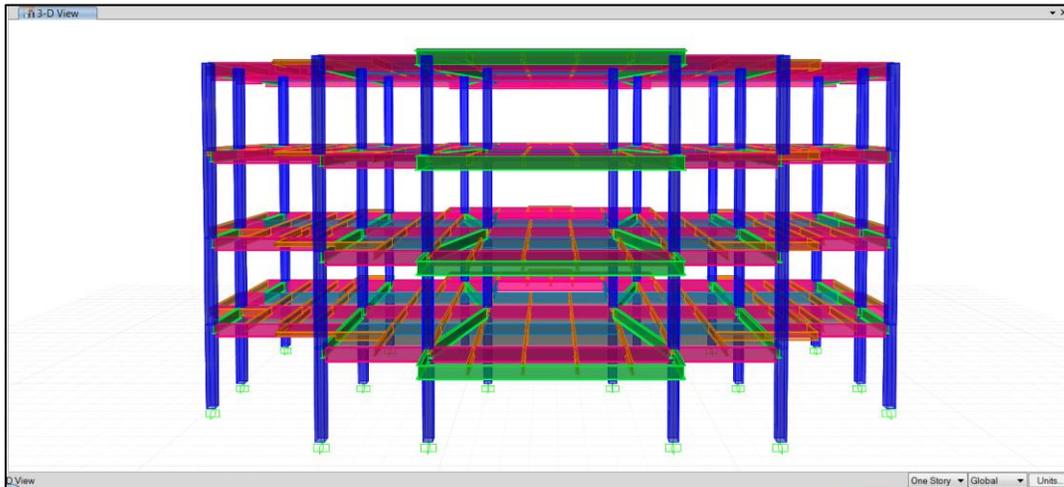
A continuación, se presenta el modelo de elementos finitos correspondiente a la edificación en hormigón armado:



**Figura 23. Vista en planta de modelo, estructura en hormigón.**

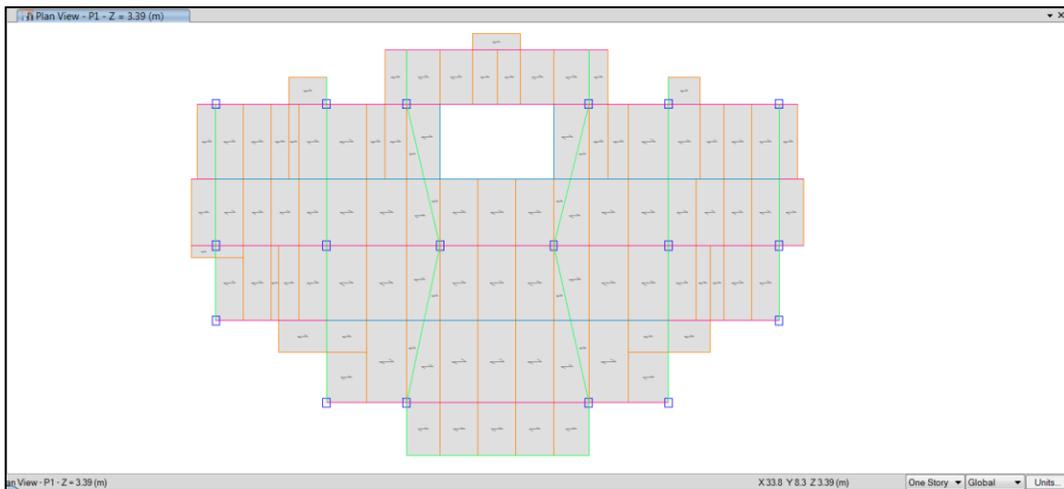
La estructura está compuesta por pórticos intermedios resistentes a momento en hormigón armado y un sistema de piso tipo losa nervada  $H= 20$  cm.

#### 4.1.3.2. MODELO DE LA ESTRUCTURA EN ACERO ESTRUCTURAL.



**Figura 24. Modelo de elementos finitos, estructura en acero.**

A continuación, se presenta el modelo de elementos finitos correspondiente a la estructura en acero estructural.



**Figura 25. Vista en planta de modelo, estructura en acero.**

La estructura está compuesta por pórticos intermedios resistente a momento en acero estructural y un sistema de piso tipo Steel Deck H= 12 cm apoyado sobre un sistema de vigas secundarias o nervios.

Como se puede observar en los modelos se ha hecho una reducción del número de columnas gracias a una de las múltiples ventajas que presenta el acero estructural frente al hormigón armado, que es que se pueden alcanzar mayores luces con secciones de igual peralte

#### **4.2. Análisis de periodos estructurales frente a carga sísmica**

En las gráficas a continuación se presentan las comparaciones entre los períodos de la estructura y se puede observar que la estructura de hormigón armado presenta períodos de vibración menores a los períodos de vibración que corresponden a la estructura de acero sin embargo la estructura de hormigón cuenta con un mayor número de columnas y luces mucho menores que las que se presentan en la estructura de acero.

Períodos de vibración menores indican una mayor rigidez de la estructura en conjunto

## ESTRUCTURA DE ACERO

<b>TABLE: Modal Participating Mass Ratios</b>								
<b>Case</b>	<b>Mode</b>	<b>Period</b>	<b>UX</b>	<b>UY</b>	<b>Sum UX</b>	<b>Sum UY</b>	<b>RZ</b>	<b>Sum RZ</b>
		sec						
Modal	1	0.822	0.000	0.779	0.000	0.779	0.000	0.000
Modal	2	0.807	0.793	0.000	0.793	0.779	0.003	0.003
Modal	3	0.675	0.003	0.000	0.795	0.779	0.784	0.787
Modal	4	0.251	0.126	0.000	0.921	0.779	0.000	0.787
Modal	5	0.239	0.000	0.132	0.921	0.911	0.000	0.787
Modal	6	0.204	0.000	0.000	0.921	0.911	0.127	0.915
Modal	7	0.135	0.045	0.000	0.966	0.911	0.000	0.915
Modal	8	0.118	0.000	0.055	0.966	0.965	0.000	0.915
Modal	9	0.105	0.000	0.000	0.966	0.965	0.050	0.965

**Tabla 28. Análisis modal de la estructura en acero.**

## ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ARMADO

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
Case	Mode	Period	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ	Sum RZ
		sec						
Modal	1	0.825	0.762	0.000	0.762	0.000	0.014	0.014
Modal	2	0.72	0.000	0.765	0.762	0.765	0.001	0.016
Modal	3	0.682	0.014	0.001	0.776	0.766	0.752	0.768
Modal	4	0.277	0.128	0.000	0.904	0.766	0.002	0.769
Modal	5	0.223	0.000	0.130	0.904	0.897	0.001	0.770
Modal	6	0.218	0.002	0.001	0.905	0.898	0.128	0.898
Modal	7	0.163	0.045	0.000	0.950	0.898	0.000	0.898
Modal	8	0.118	0.000	0.001	0.950	0.898	0.055	0.953
Modal	9	0.116	0.000	0.057	0.950	0.956	0.001	0.954

**Tabla 29. Análisis modal de la estructura en hormigón armado.**

Mediante el análisis modal ejecutado se obtienen periodos de vibración muy similares para cada tipo de estructura (hormigón armado y acero estructural). Se busca igualar períodos de vibración de tal forma que el comportamiento de estructural para cada caso sea parecido y realizar una comparación del tipo más bien económica.

# NUMERACIÓN DE LAS COLUMNAS EN ESTRUCTURA DE HORMIGÓN ÁRMADO

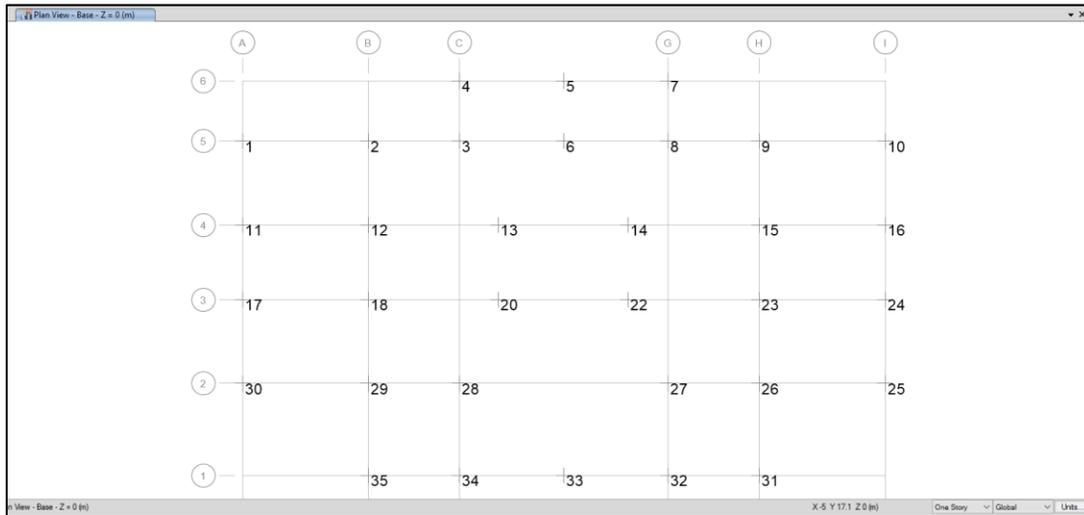
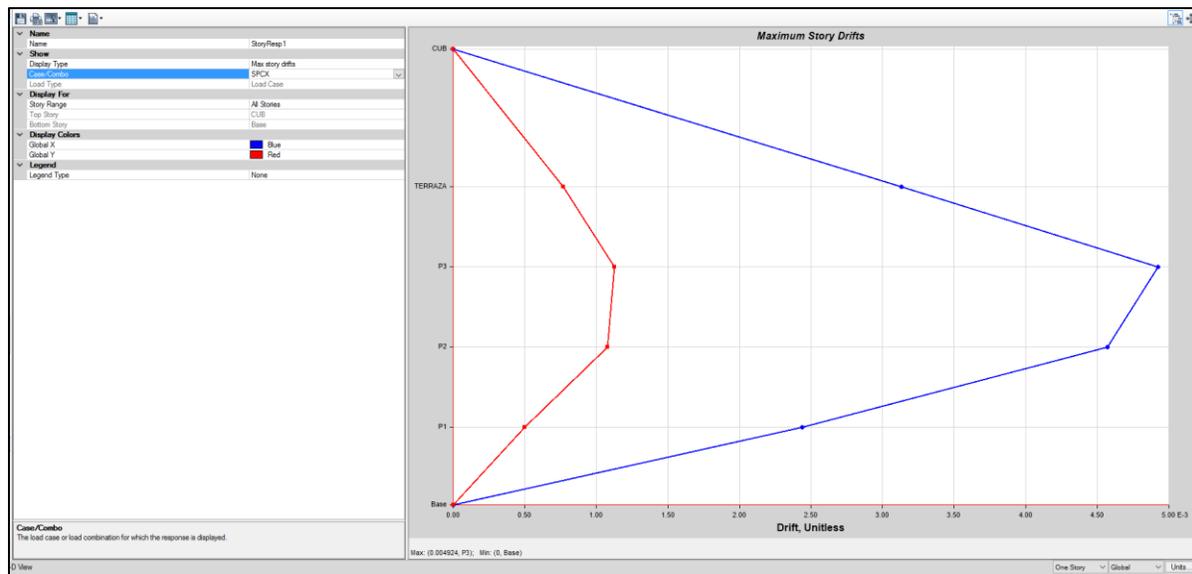


Figura 26. Numeración de columnas en modelo, estructura de hormigón.

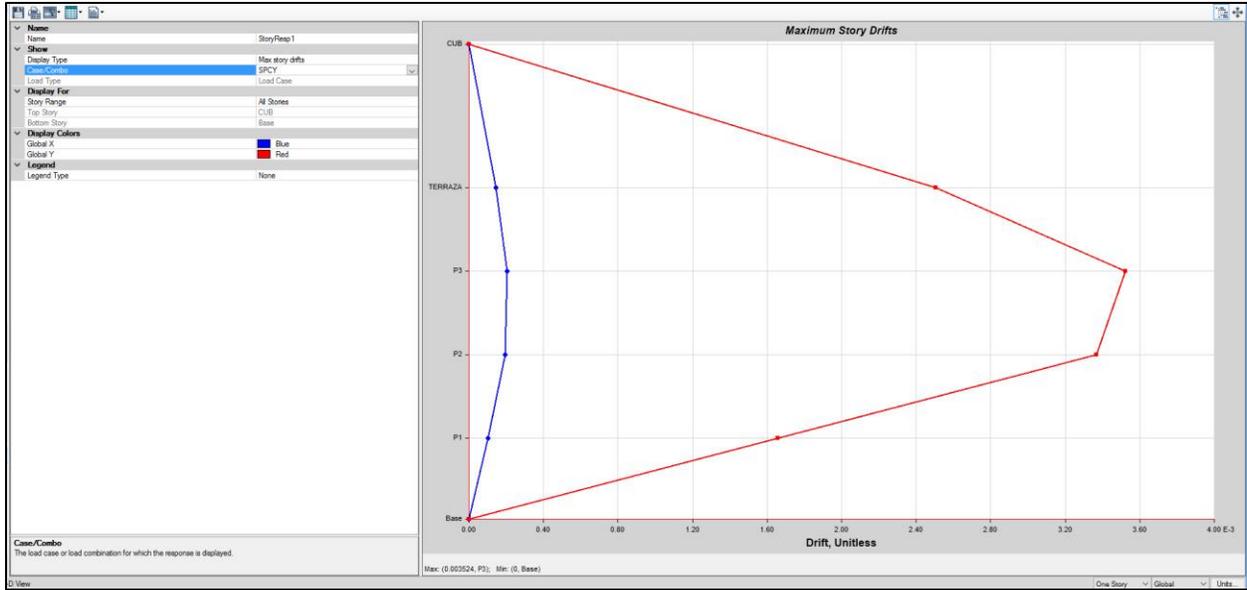
## ANÁLISIS DE DERIVAS DE PISO FRENTE A CARGA SÍSMICA, R=5

### ESTRUCTURA DE HOMIRGÓN ARMADO



### SISMO EN X

$$\Delta E = 0.00492, \Delta M = \Delta E * 0.75 * R = 0.00492 * 0.75 * 5 = 0.0183 < 0.02, \text{ok}$$



### SISMO EN Y

$$\Delta E = 0.00352, \Delta M = \Delta E * 0.75 * R = 0.00352 * 0.75 * 5 = 0.0132 < 0.02, \text{ ok}$$

### NUMERACIÓN DE LAS COLUMNAS EN ESTRUCTURA DE ACERO

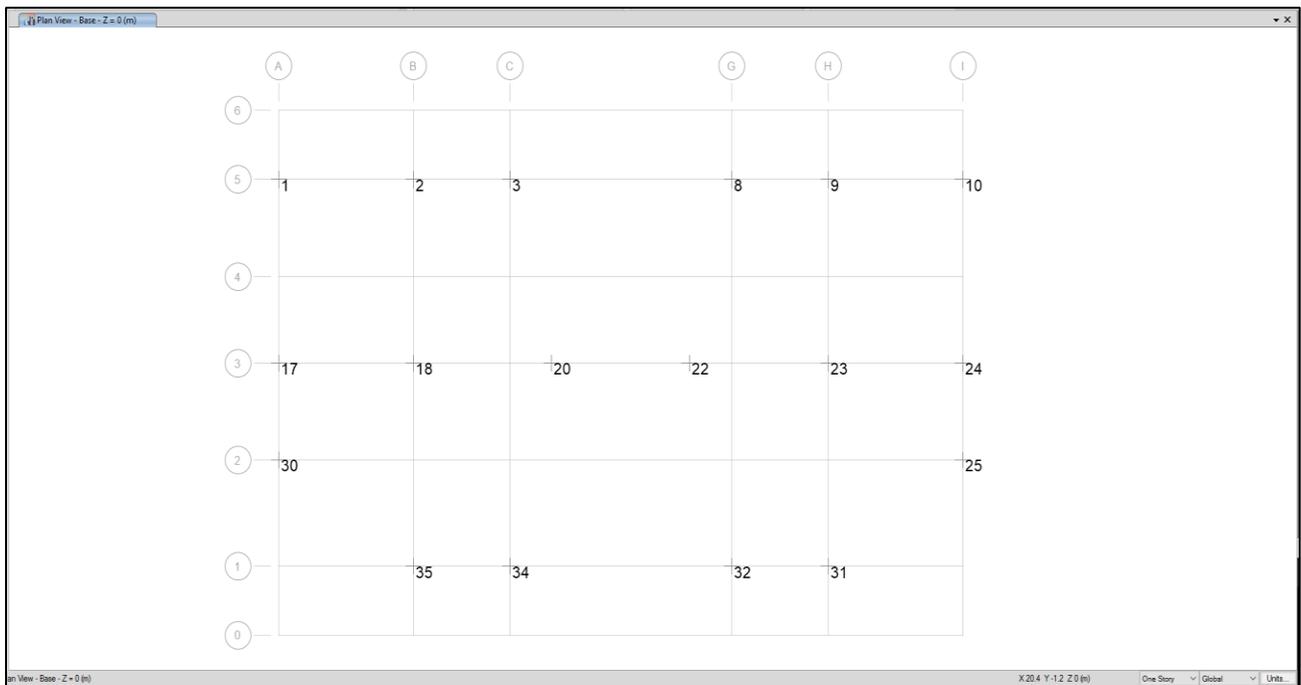
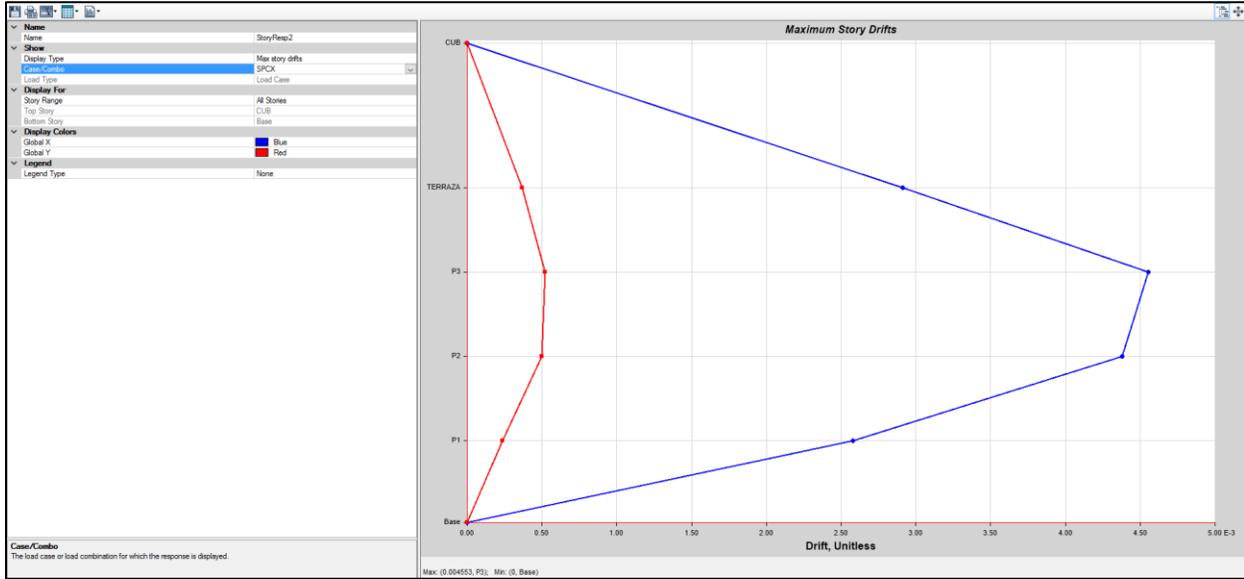


Figura 27. Numeración de columnas en modelo, estructura de acero.

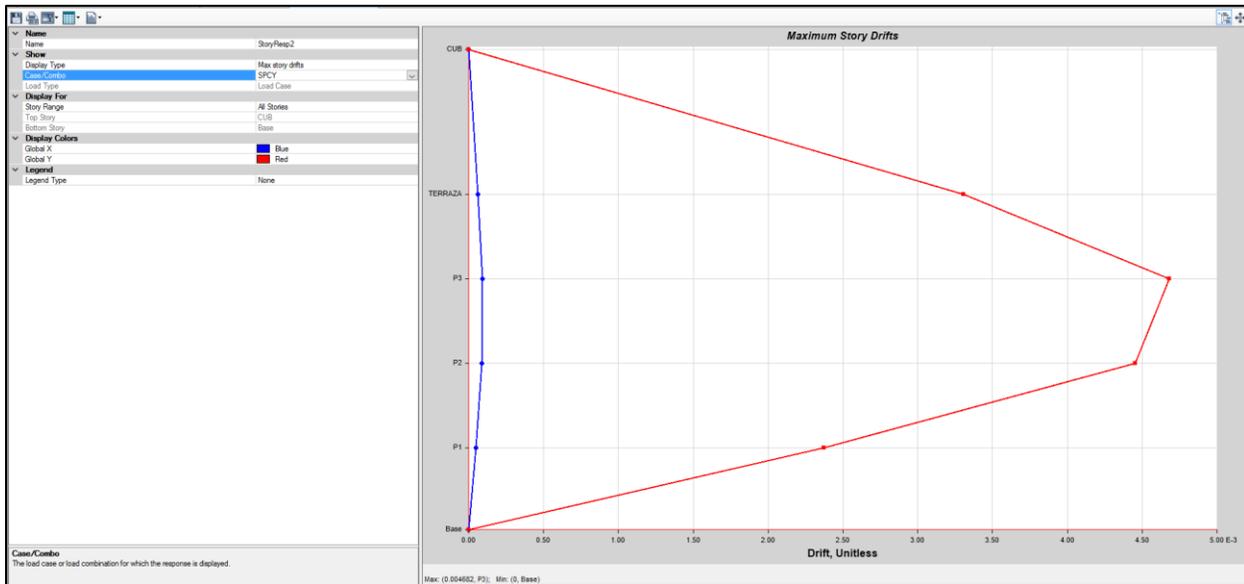
# ANÁLISIS DE DERIVAS DE PISO FRENTE A CARGA SÍSMICA, R=4.5

## ESTRUCTURA DE ACERO



### SISMO EN X

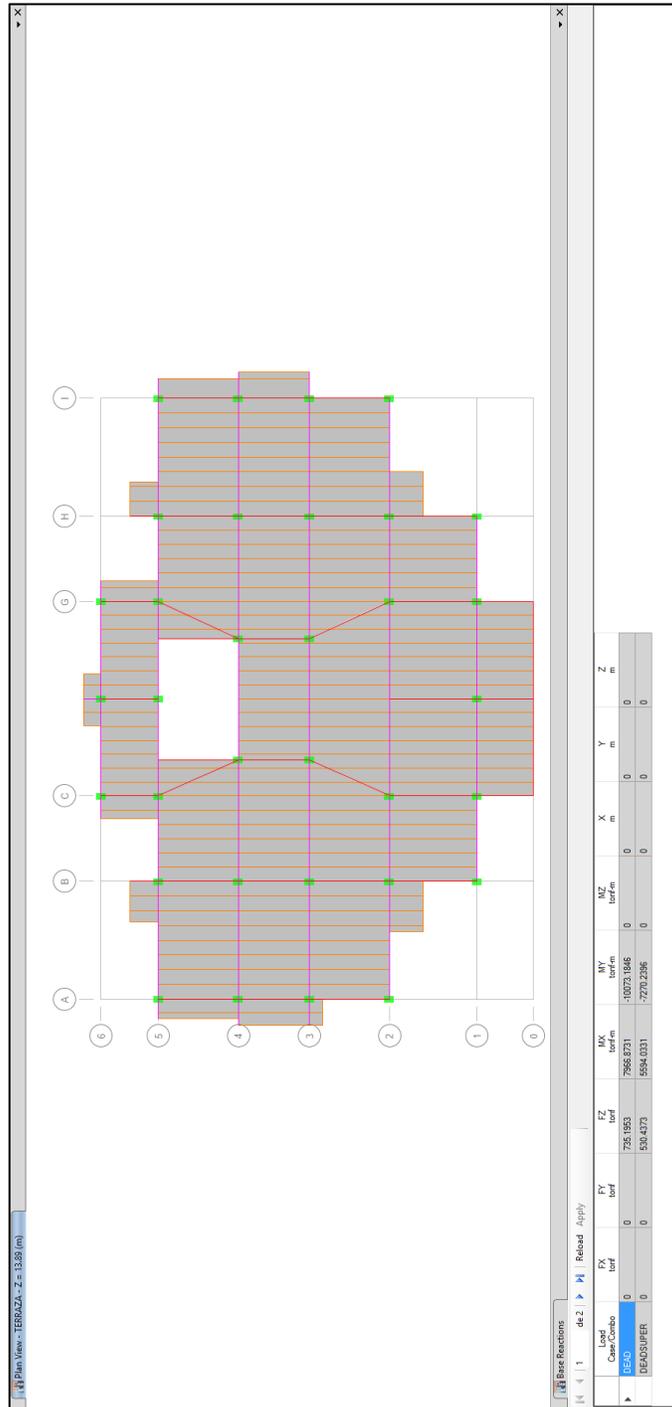
$$\Delta E = 0.00455, \Delta M = \Delta E * 0.75 * R = 0.00455 * 0.75 * 4.5 = 0.0153 < 0.02, \text{ ok}$$



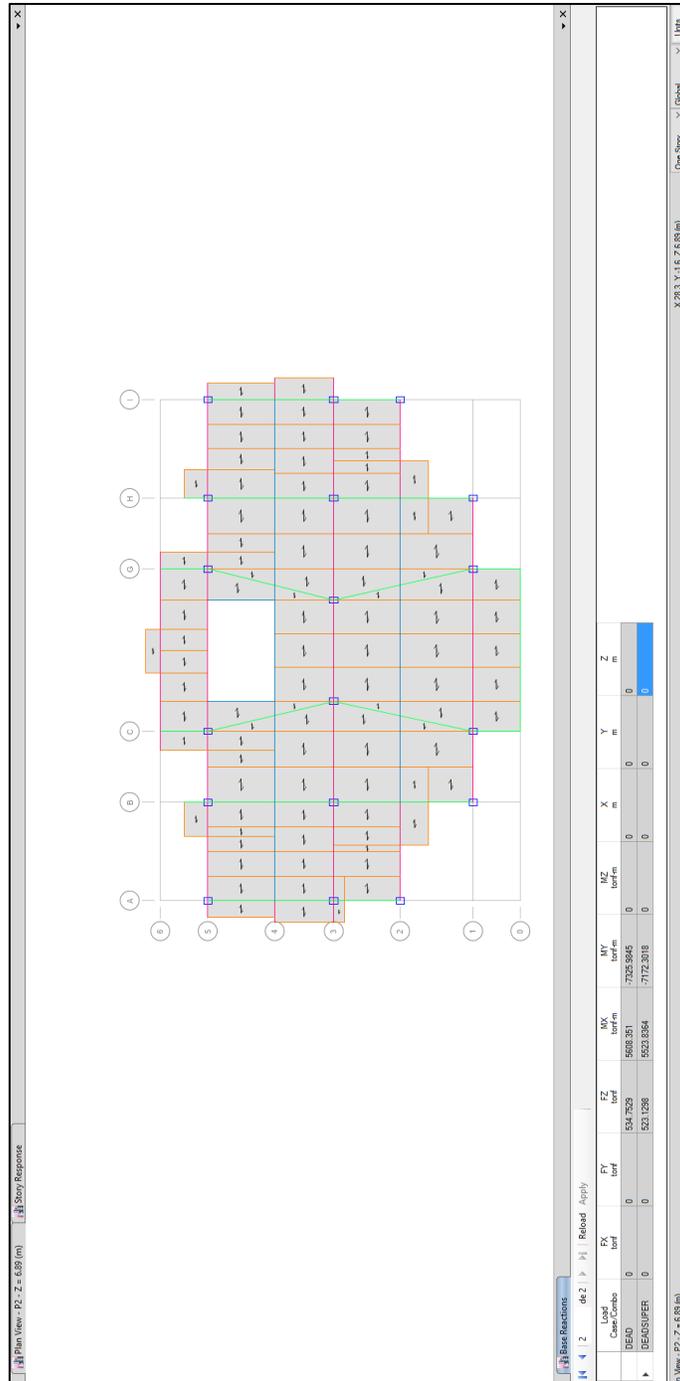
### SISMO EN Y

$$\Delta E = 0.00468, \Delta M = \Delta E * 0.75 * R = 0.00468 * 0.75 * 4.5 = 0.0158 < 0.02, \text{ ok}$$

## ANÁLISIS DE PESO DE LA ESTRUCTURA



Peso de la estructura en hormigón armado: **1.265,62 T**



Peso de la estructura en acero estructural: **1.057,88 T**

### Diferencia de peso entre hormigón armado y acero estructural:

Estructura en hormigón armado	1.265,62 T
Estructura en acero	1.057,88 T
Obteniendo una diferencia de	207.44 T

Por lo que la estructura de acero es 207,44 T más ligera que la estructura de hormigón armado.

Es decir un 16% más ligera.

### ANALISIS DE RELACIÓN ANCHO/ESPESOR PARA VIGAS

NOMBRE	SECCION	PATIN				ALMA			
		Dimensiones (mm)	Material	Relación b/t	Clasificación	Dimensiones (mm)	Material	Relación b/t	Clasificación
VX-VY	I 150x12x500x8	150x12	A572 Gr50.	6.25	Sísmicamente compacto	500x8	A36	62.50	Sísmicamente compacto
VX2-VY1	I 120x6x400x4	120x6	A36	10	Compacto	400x4	A36	100.00	Compacto
VLX-VLY	I 130x8x400x5	130x8	A572 Gr50.	8.125	Compacto	400x5	A36	80.00	Compacto
VS	I 100x5x250x3	100x5	A36	10	Compacto	250x3	A36	83.33	Compacto
VS	I 100x5x300x3	100x5	A36	10	Compacto	300x3	A36	100.00	Compacto
VB	I 120x6x300x3	120x6	A36	10	Compacto	500x6	A36	100.00	Compacto

Tabla 309. Relaciones ancho/espesor para vigas de piso metálicas.

### ANALISIS DE RELACIÓN ANCHO/ESPESOR PARA VIGAS

NOMBRE	SECCION	PATIN/ALMA			
		Dimensiones (mm)	Material	Relación b/t	Clasificación
	□ 400x300x12	400x12/300x12	A572 Gr50.	30.33/22	Sísmicamente compacto
	□ 400x350x15	400x15/350x15	A572 Gr50.	23.66/20.33	Sísmicamente compacto

Tabla 31. Relaciones ancho/espesor para columnas metálicas.

### ANALISIS DE PRINCIPALES DIFERENCIAS ESTRUCTURALES ENTRE HORMIGON ARMADO Y ACERO ESTRUCTURAL

	Hormigón Armado	Acero Estructural	Diferencia	Diferencia %
# Columnas	33	18	15	45 %
Periodo Natural	0.825	0.822	0,003	
Peso de estructura	1265,62	1057,88	207.74	16 %
Deriva Máxima X	0,0183	0,0153	0,003	
Deriva Máxima Y	0,0132	0,0158	0,0026	

Tabla 32. Resumen de análisis de estructura de acero vs estructura de hormigón.

### 4.3. Listas de materiales estructurales a usar en la construcción y su valoración económica

#### ACERO ESTRUCTURAL

NOMBRE		ANCHO		ESPESOR		LARGO	PESO UNIT	CALIDAD	CANTIDAD	PESO TOT
		mm		mm		mm	KG		(U)	KG
<b>VX</b>										
PATIN	FL	150	X	12	X	6000	84.78	ASTM A572	52.0	4,408.56
ALMA	FL	500	X	8	X	6000	188.40	ASTM A36	52.0	9,796.80
AT	FL	70	X	5	X	6000	16.49	ASTM A36	20.0	329.70
PC	FL	500	X	8	X	6000	188.40	ASTM A36	2.00	376.80
<b>VX2</b>										
PATIN	FL	120	X	6	X	6000	33.91	ASTM A572	30.0	1,017.36
ALMA	FL	400	X	4	X	6000	75.36	ASTM A36	30.0	2,260.80
AT	FL	50	X	4	X	6000	9.42	ASTM A36	11.0	103.62
PC	FL	400	X	4	X	6000	75.36	ASTM A36	1.00	75.36
<b>VLX</b>										
PATIN	FL	130	X	8	X	6000	48.98	ASTM A572	3.0	146.95
ALMA	FL	400	X	5	X	6000	94.20	ASTM A36	3.0	282.60
AT	FL	60	X	4	X	6000	11.30	ASTM A36	5.0	56.52
PC	FL	400	X	5	X	6000	94.20	ASTM A36	1.00	94.20
<b>VY</b>										
PATIN	FL	150	X	12	X	6000	84.78	ASTM A572	51.0	4,323.78
ALMA	FL	500	X	8	X	6000	188.40	ASTM A36	51.0	9,608.40
AT	FL	70	X	5	X	6000	16.49	ASTM A36	16.0	263.76
PC	FL	500	X	8	X	6000	188.40	ASTM A36	2.00	376.80
<b>VY1</b>										
PATIN	FL	120	X	6	X	6000	33.91	ASTM A572	6.0	203.47
ALMA	FL	400	X	4	X	6000	75.36	ASTM A36	6.0	452.16
AT	FL	50	X	4	X	6000	9.42	ASTM A36	3.0	28.26
PC	FL	400	X	4	X	6000	75.36	ASTM A36	1.00	75.36
<b>VLY</b>										
PATIN	FL	130	X	8	X	6000	48.98	ASTM A572	4.0	195.94
ALMA	FL	400	X	5	X	6000	94.20	ASTM A36	4.0	376.80
AT	FL	60	X	5	X	6000	14.13	ASTM A36	5.0	70.65
PC	FL	400	X	5	X	6000	94.20	ASTM A36	1.00	94.20
<b>VS</b>										
PATIN	FL	100	X	5	X	6000	23.55	ASTM A36	165.0	3,885.75
ALMA	FL	300	X	3	X	6000	42.39	ASTM A36	165.0	6,994.35
AT	FL	45	X	3	X	6000	6.36	ASTM A36	60.0	381.51
L50X50X4	FL	100	X	4	X	6000	18.84	ASTM A36	50.00	942.00
<b>VS1</b>										
PATIN	FL	100	X	5	X	6000	23.55	ASTM A36	13.0	306.15
ALMA	FL	300	X	3	X	6000	42.39	ASTM A36	13.0	551.07
AT	FL	45	X	3	X	6000	6.36	ASTM A36	7.0	44.51
L50X50X4	FL	100	X	4	X	6000	18.84	ASTM A36	6.00	113.04
<b>VB</b>										
PATIN	FL	120	X	6	X	6000	33.91	ASTM A36	34.0	1,153.01
ALMA	FL	350	X	4	X	6000	65.94	ASTM A36	34.0	2,241.96
AT	FL	55	X	4	X	6000	10.36	ASTM A36	18.0	186.52
L50X50X4	FL	100	X	4	X	6000	18.84	ASTM A36	16.00	301.44
									<b>SUMA</b>	<b>37,208.29</b>
									<b>Area</b>	<b>1,700.44</b>
									<b>kg/m2</b>	<b>21.88</b>

Tabla 33. Lista de materiales usados en vigas de estructura metálica.

<b>COLUMNAS</b>										
<b>1. PLACAS DE ANCLAJE</b>										
MARCA		ANCHO MM		ESPEJOR MM		LARGO MM	PESO UNIT KG	CALIDAD	CANTIDAD (U)	PESO TOT KG
PB1	PL	650	X	20	X	500	51.03	ASTM A36	16.00	816.40
RG	FL	100	X	10	X	100	0.79	ASTM A36	160.00	125.60
TUERCAS							0.40	Grado 5	160.00	64.00
ANILLOS	PL	50	X	5	X	50	0.098	ASTM A36	160.00	15.70
<b>1,021.70 kg</b>										
<b>2. VARILLAS DE ANCLAJE</b>										
				ESPEJOR MM		LARGO MM	PESO UNIT KG	CALIDAD FY	TOTAL	PESO TOT KG
VA		Ø		20	X	6000	14.797	4200 kg/cm2	16.0	236.75
<b>236.75 kg</b>										
									SUMAN 1+2:	<b>1,258.45 kg</b>
<b>1. PERFILERIA PARA LAS COLUMNAS</b>										
MARCA		ANCHO MM		ESPEJOR MM		LARGO MM	PESO UNIT KG	CALIDAD	CANTIDAD (U)	PESO TOT KG
CL1	U	450X175	X	15	X	6000	449.81	TM A572 Gr	48.0	21,590.64
CL2	U	400X150	X	12	X	6000	395.64	Fy= 50 ksi	28.0	11,077.92
MC4/CL1	FL	180	X	5	X	6000	42.39	ASTM A36	16.0	678.24
MC4/CL2	FL	160	X	5	X	6000	37.68	ASTM A36	13.0	489.84
R LONG	FL	50	X	6	X	6000	14.13	ASTM A36	76.0	1,073.88
<b>34,910.52 kg</b>										
<b>2. CONECTORES DE CORTE EN EL INTERIOR DE LAS COLUMNAS.</b>										
CONECTORES DE CORTE										
				ESPEJOR MM		LARGO MM	PESO UNIT KG	CALIDAD FY	TOTAL	PESO TOT KG
MC2 /	PT	40	X	4	X	6000	7.54	ASTM A36	18.3	138.16
<b>138.16 kg</b>										
									<b>TOTAL KG:</b>	<b>36,307.13 kg</b>
									AREA	<b>1,700.44 m2</b>
									RELACION	<b>21.35 kg/m2</b>

**Tabla 34. Lista de materiales usados en columnas de estructura metálica.**

ZAPATAS DE CIMENTACION						ANALISIS CIMENTACION			
DESCRIPCION	az	d	H	h	b	AREA	AREA	LARGO	VOLUMEN
				h=80-H		FORMULA	A	L	V1 = A*L*0,0001
	CM	CM	CM	CM	CM		CM2	M	M3
ZA	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	10100.00	12.30	12.42
ZI	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	10100.00	12.30	12.42
ZB	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	8840.00	17.50	15.47
ZH	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	8840.00	17.50	15.47
Z(C-D)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	7500.00	21.60	16.20
Z(F-G)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	7500.00	21.60	16.20
Z1	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	8840.00	19.50	17.24
Z2	190.00	15.00	32.00	48.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	4635.00	16.00	7.42
Z3	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	3260.00	31.40	10.24
Z5	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	3260.00	30.30	9.88
Z6	130.00	12.00	22.00	58.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	2310.00	11.30	2.61
<b>TOTAL VOLUMEN ZAPATA DE CIMENTACIÓN</b>									<b>135.56</b>

Tabla 35. Volumen de hormigón armado para zapatas de edificio en acero.

VIGAS DE CIMENTACION						ANALISIS CIMENTACION			
DESCRIPCION	az	d	H	h	b	AREA	AREA	LARGO	VOLUMEN
				h=80-H		FORMULA	A	L	V1 = A*L*0,0001
	CM	CM	CM	CM	CM		CM2	M	M3
ZA	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	$b*h$	600.00	11.00	0.66
ZI	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	$b*h$	600.00	11.00	0.66
ZB	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$b*h$	680.00	16.40	1.12
ZH	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$b*h$	680.00	16.40	1.12
Z(C-D)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	$b*h$	700.00	20.10	1.41
Z(F-G)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	$b*h$	700.00	20.10	1.41
Z1	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$b*h$	680.00	17.00	1.16
Z2	190.00	15.00	32.00	48.00	20.00	$b*h$	960.00	11.20	1.08
Z3	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	$b*h$	1040.00	31.40	3.27
Z5	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	$b*h$	1040.00	29.60	3.08
Z6	130.00	12.00	22.00	58.00	20.00	$b*h$	1160.00	9.10	1.06
<b>TOTAL VOLUMEN VIGAS DE CIMENTACIÓN</b>									<b>16.00</b>
<b>TOTAL</b>									<b>151.56</b>

Tabla 36. Volumen de hormigón armado para vigas de cimentación de edificio en acero.

RESUMEN DE RUBROS Y COSTOS UNITARIOS EN ACERO						
1. SUPERESTRUCTURA. PARA UN EDIFICIO.						
	RENDIMIENTO (Kg/m2)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO DIRECTO	VALOR	TOTAL (\$)	
<b>1. CONTRATISTA METÁLICO: Perfilera de acero</b>						
1a. PERFLERÍA METÁLICA- LOSAS:	21,88	37.208,29 kg	2,18 \$/kg	\$ 81.262,91		
1b. PERFLERÍA METÁLICA- COLUMNAS/PLACAS BASE	21,35	36.307,13 kg	2,18 \$/kg	\$ 79.294,77		
<b>2. CONTRATISTA METÁLICO: Steel Deck + Conectores+ Malla Elec.</b>						
2a. STEEL PANEL DE PISO. e=0.76mm.		1.700,44 m2	12,17 \$/m2	\$ 20.690,95		
2b. CONECTORES DE CORTE EN VIGAS:		1.700,44 m2	2,81 \$/m2	\$ 4.774,84		
2c. MALLA ELECTROSOLDADA Ø5.5 C/150/150mm		1.700,44 m2	4,68 \$/m2	\$ 7.958,06		
<b>3. OBRA CIVIL: Acero de Refuerzo + Volumen de Hormigón</b>						
3a. ACERO DE REFUERZO CONEXIÓN DADO- COLUMNA		229,65 kg	2,18 \$/kg	\$ 501,55		
3b. ACERO DE REFUERZO NEGATIVO EN LOSAS: Ø 10c/0.30	1,00 kg/m2	1.700,44 kg	2,18 \$/kg	\$ 3.713,76		
3c. ACERO DE REFUERZO EN CIMENTO		5.554,32 kg	2,18 \$/kg	\$ 12.130,64		
3d. HORMIGÓN EN CIMENTACIÓN $f_c=280\text{kg/cm}^2$		151,16 m3	212,00 \$/m3	\$ 32.045,92		
3e. HORMIGÓN EN LOSAS, $f_c=280\text{kg/cm}^2$ :	0,100 m3/m2	170,04 m3	218,13 \$/m3	\$ 37.091,70		
3f. HORMIGÓN EN COLUMNAS, $f_c=280\text{kg/cm}^2$ : Piedra 1/2". Rev.=15cm		26,65 m3	524,47 \$/m3	\$ 13.975,99		
	Suman:	<b>73.515,42 kg</b>	<b>1. COSTO SUPERESTRUCTURA:</b>		<b>\$ 293.441,10</b>	
		<b>43,23 kg/m2</b>		<b>\$/m2</b>	<b>\$ 172,57</b>	

Los precios fueron tomados de la revista de la cámara de la construcción edición marzo 2017 y del mercado.

Tabla 37. Resumen de rubros para la estructura del edificio de acero

### HORMIGÓN ARMADO

VOLUMEN DE HORMIGON EN COLUMNAS							
	L1	L2	H	VOLUMEN	VOLUMEN V	TOTAL COLUM	VOLUMEN TOTAL
	ML	ML	ML	FORMULA	M3	U	T= V * U
<b>Planta Baja</b>	0.40	0.60	3.50	$L1*L2*H$	0.84	33.00	27.72
<b>1er Piso Alto</b>	0.35	0.55	3.50	$L1*L2*H$	0.67	33.00	22.23
<b>2do Piso Alto</b>	0.30	0.50	3.50	$L1*L2*H$	0.53	33.00	17.33
<b>3er Piso Alto</b>	0.30	0.45	3.50	$L1*L2*H$	0.47	33.00	15.59
<b>Penthouse</b>	0.25	0.30	3.50	$L1*L2*H$	0.26	33.00	8.66
<b>TOTAL VOLUMEN DE HORMIGON EN COLUMNAS</b>							<b>91.53</b>

Tabla 38. Volumen de hormigón armado en columnas de edificio en hormigón.

<b>VOLUMEN DE HORMIGON EN VIGAS</b>					
	<b>L1</b>	<b>L2</b>	<b>L3</b>	<b>VOLUMEN</b>	<b>VOLUMEN</b>
	<b>ML</b>	<b>ML</b>	<b>ML</b>	<b>FORMULA</b>	<b>M3</b>
<b>Planta Baja</b>	0.25	0.50	150.61	$L1*L2*L3$	18.83
	0.20	0.45	99.17	$L1*L2*L3$	8.93
<b>1er Piso Alto</b>	0.25	0.50	146.51	$L1*L2*L3$	18.31
	0.20	0.45	96.72	$L1*L2*L3$	8.71
<b>2do Piso Alto</b>	0.25	0.50	146.51	$L1*L2*L3$	18.31
	0.20	0.45	96.72	$L1*L2*L3$	8.71
<b>3er Piso Alto</b>	0.25	0.50	146.51	$L1*L2*L3$	18.31
	0.20	0.45	96.72	$L1*L2*L3$	8.71
<b>Penthouse</b>	0.25	0.50	146.51	$L1*L2*L3$	18.31
	0.20	0.45	96.72	$L1*L2*L3$	8.71
<b>TOTAL VOLUMEN DE HORMIGON EN COLUMNAS</b>					<b>135.83</b>

**Tabla 39. Volumen de hormigón armado en vigas de edificio en hormigón**

ZAPATAS DE CIMENTACION						ANALISIS CIMENTACION			
DESCRIPCION	az	d	H	h	b	AREA	AREA	LARGO	VOLUMEN
				h=80-H		FORMULA	A	L	V1 = A*L*0,0001
	CM	CM	CM	CM	CM		CM2	M	M3
ZA	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	10100.00	12.30	12.42
ZI	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	10100.00	12.30	12.42
ZB	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	8840.00	17.50	15.47
ZH	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	8840.00	17.50	15.47
Z(C-D)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	7500.00	21.60	16.20
Z(F-G)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	7500.00	21.60	16.20
Z(E-D)	190.00	15.00	32.00	48.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	4635.00	8.78	4.07
Z1	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	8840.00	19.30	17.06
Z2	190.00	15.00	32.00	48.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	4635.00	30.30	14.04
Z3	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	3260.00	31.40	10.24
Z4	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	3260.00	31.40	10.24
Z5	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	3260.00	30.30	9.88
Z6	130.00	12.00	22.00	58.00	20.00	$(az*d) + (((az+b)/2)*H-d)$	2310.00	11.30	2.61
<b>TOTAL VOLUMEN ZAPATA DE CIMENTACIÓN</b>									<b>156.32</b>

Tabla 40. Volumen de hormigón armado para zapatas de edificio en hormigón.

VIGAS DE CIMENTACION						ANALISIS CIMENTACION			
DESCRIPCION	az	d	H	h	b	AREA	AREA	LARGO	VOLUMEN
				h=80-H		FORMULA	A	L	V1 = A*L*0,0001
	CM	CM	CM	CM	CM		CM2	M	M3
ZA	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	b*h	600.00	16.00	0.96
ZI	280.00	20.00	50.00	30.00	20.00	b*h	600.00	16.00	0.96
ZB	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	b*h	680.00	16.40	1.12
ZH	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	b*h	680.00	16.40	1.12
Z(C-D)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	b*h	700.00	20.96	1.47
Z(F-G)	240.00	15.00	45.00	35.00	20.00	b*h	700.00	20.96	1.47
Z(E-D)	190.00	15.00	32.00	48.00	20.00	b*h	960.00	5.95	0.57
Z1	260.00	20.00	46.00	34.00	20.00	b*h	680.00	17.00	1.16
Z2	190.00	15.00	32.00	48.00	20.00	b*h	960.00	27.80	2.67
Z3	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	b*h	1040.00	31.40	3.27
Z4	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	b*h	1040.00	31.40	3.27
Z5	155.00	12.00	28.00	52.00	20.00	b*h	1040.00	29.80	3.10
Z6	130.00	12.00	22.00	58.00	20.00	b*h	1160.00	9.20	1.07
<b>TOTAL VOLUMEN VIGAS DE CIMENTACIÓN</b>									<b>22.18</b>
Total									<b>178.50</b>

Tabla 41. Volumen de hormigón armado para vigas de cimentación de edificio en hormigón.

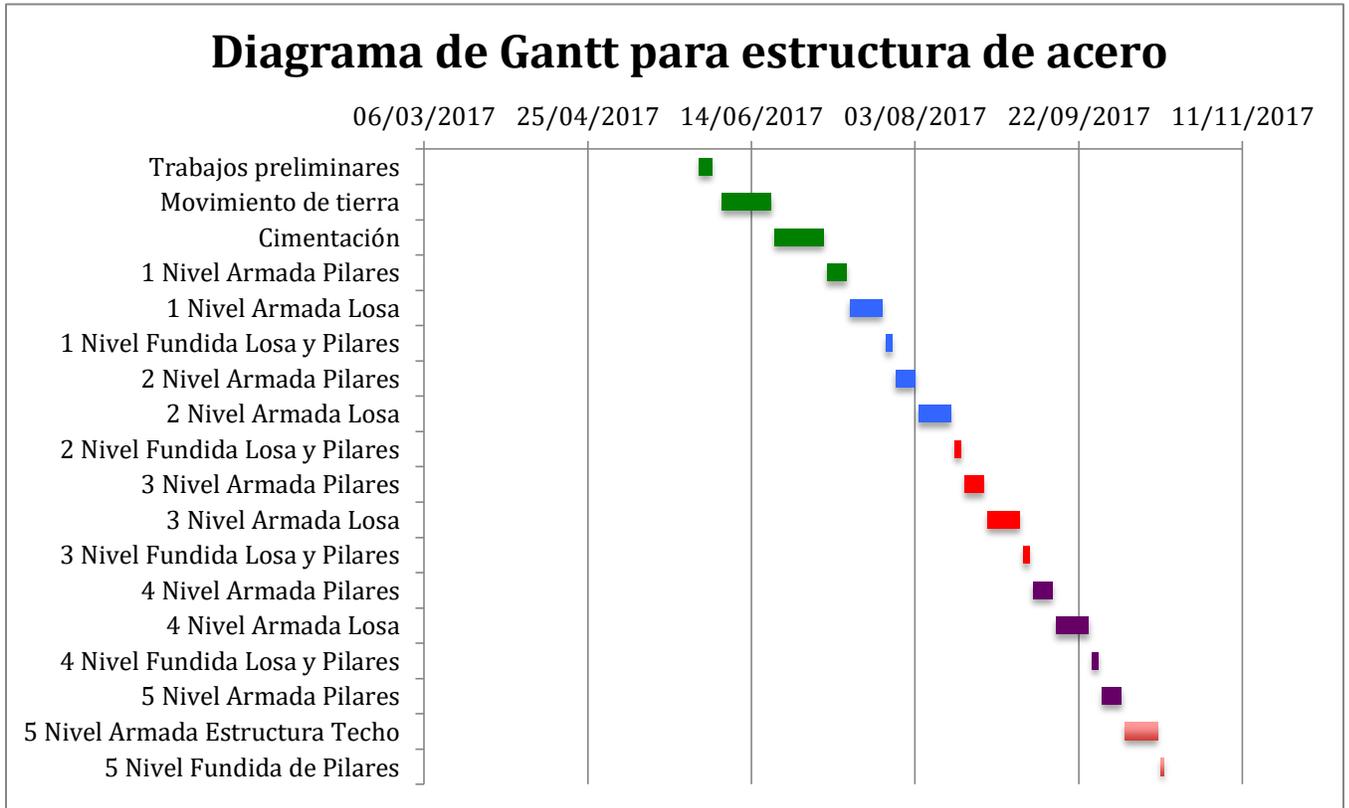
RESUMEN DE RUBROS Y COSTOS UNITARIOS EN HORMIGÓN ARMADO						
<b>1. SUPERESTRUCTURA. PARA UN EDIFICIO.</b>						
	RENDIMIENTO (Kg/m2)	CANTIDAD	COSTO UNITARIO DIRECTO	VALOR	TOTAL (\$)	
<b>1. CONTRATISTA:</b>						\$ 130.402,29
1a. VOLUMEN COLUMNAS DE HORMIGON ARMADO		91,53 m3	524,47 \$/m3	\$ 48.006,71		
1b. VOLUMEN VIGAS DE HORMIGON ARMADO		135,83 m3	606,63 \$/m3	\$ 82.395,58		
<b>2. CONTRATISTA:</b>						\$ 50.623,74
2a. VOLUMEN DE HORMIGÓN EN LOSAS, $f_c=280\text{kg/cm}^2$ :	0,08 m3	136,04 m3	218,13 \$/m3	\$ 29.673,36		
2b. MALLA ELECTROSOLDADA $\phi 5.5\text{ C}/200\text{mm}$		1.700,44 m2	4,56 \$/m2	\$ 7.759,11		
2c. ACERO DE REFUERZO DE NERVIOS EN LOSAS: $\phi 12$	3,55 kg/m2	6039,96 kg	2,18 \$/kg	\$ 13.191,28		
<b>3. OBRA CIVIL: Acero de Refuerzo + Volumen de Hormigón</b>						\$ 51.458,24
3a. ACERO DE REFUERZO EN CIMENTACION		6.234,54 kg	2,18 \$/kg	\$ 13.616,23		
3b. HORMIGÓN DE CIMENTACIÓN $f_c=280\text{kg/cm}^2$		178,50 m3	212,00 \$/m3	\$ 37.842,02		
			<b>1. COSTO SUPERESTRUCTURA:</b>			<b>\$ 232.484,27</b>
				<b>\$/m2</b>		<b>\$ 136,72</b>

**Tabla 42. Resumen de rubros para la estructura del edificio de hormigón**

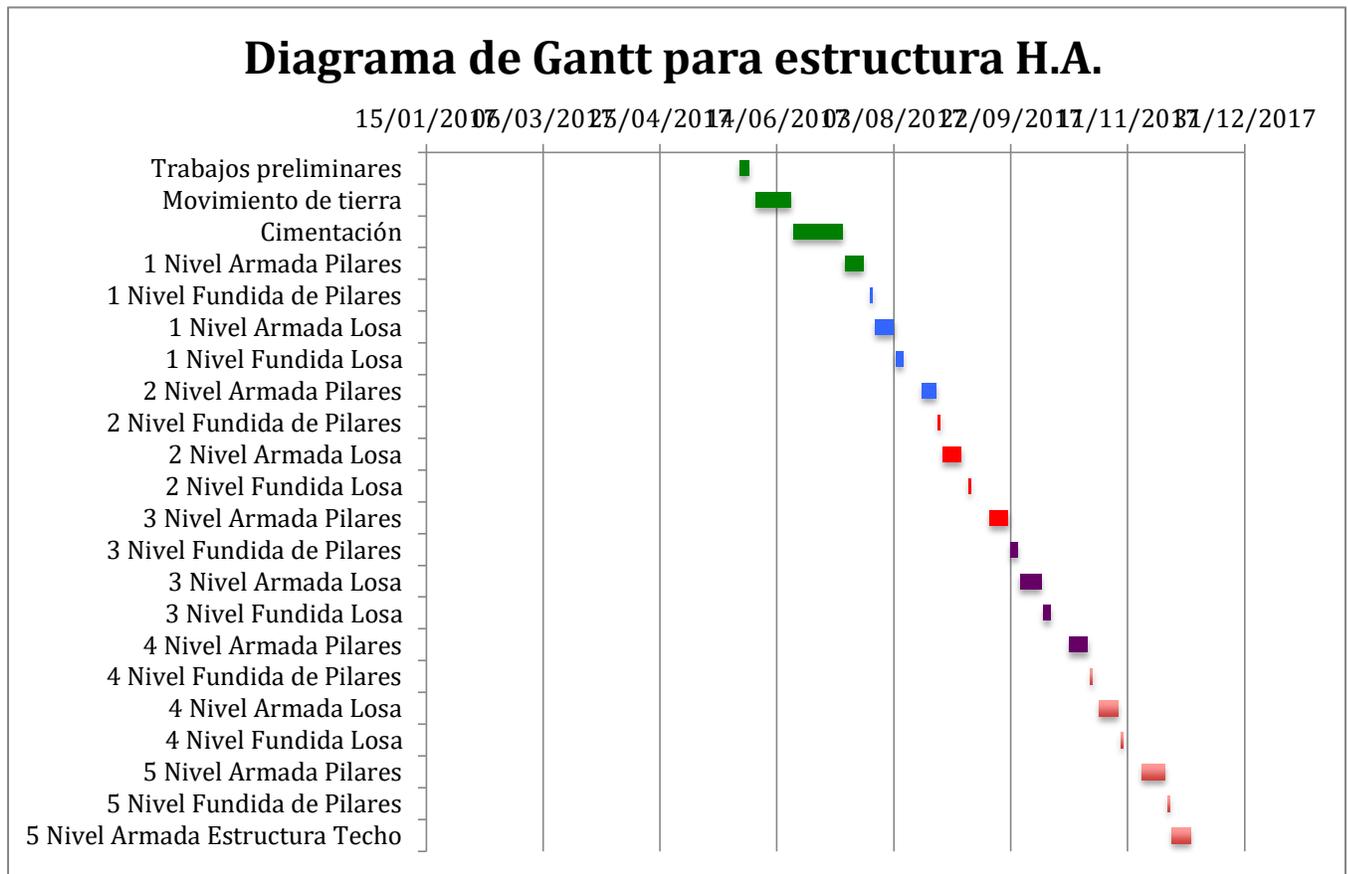
Los precios fueron tomados de la revista de la cámara de la construcción edición marzo 2017 y del mercado.

## TIEMPO DE EJECUCION DE OBRA

Se ha realizado un análisis estimativo en los tiempos de construcción a partir de rubros típicos considerados en una edificación tanto de acero como de hormigón armado, a continuación se presentan los cronogramas de cada uno:



**Figura 28. Diagrama de Gantt para estructura de acero.**



**Figura 29. Diagrama de Gantt para estructura de hormigón armado.**

Según esta valoración de tiempos de ejecución de obra, obtenemos que los meses promedio para la estructura de acero es de 4 meses de ejecución y para el de hormigón armado es de 6 meses de ejecución evidenciando una gran diferencia en tiempos de ejecución en la infraestructura.

## VALORACIÓN ECONÓMICA Y DE TIEMPOS

RUBROS	COSTO CONSTRUCCION	FACTOR TIEMPO
Estructura acero, fabricación y montaje	\$ 293.441,10	4 MESES
Estructura hormigón armado y mano de obra	\$ 232.484,27	6 MESES

**Tabla 43. Valoraciones finales**

		Hormigon Armado		Acero Estructural	Diferencia Acero	% Diferencia
<b>Super Estructura</b>		\$181.026,03		\$ 249.264,54	\$ 68.238,51	137,70%
<b>Cimentación</b>		\$ 51.458,24		\$ 44.176,56	\$ -7.281,68	85,85%
<b>Administrativo</b>	9,00%	\$ 20.923,58	7,13%	\$ 20.923,58	\$ -	
<b>Utilidad</b>	10,00%	\$ 23.248,43	7,92%	\$ 23.248,43	\$ -	
<b>Imprevistos</b>	3,00%	\$ 6.974,53	2,00%	\$ 5.868,82	\$ -1.105,71	
<b>SUMA TOTAL</b>		\$283.630,82		\$ 343.481,93	\$ 59.851,11	121,10%

**Tabla 44. Cuadro de precios finales de acero y hormigón armado**

Según este cuadro encontramos que hay un 21.10 % más de costo final en la estructura de acero versus la estructura de hormigón armado. Tomando en cuenta tener una misma utilidad y costos administrativos.

## 5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1. Conclusiones

Mediante los resultados obtenidos en los análisis realizados (método de elementos finitos) se concluye lo siguiente:

1. La estructura metálica es más ligera que la estructura de hormigón armado, lo que permite una reducción de dimensiones en la cimentación del edificio, cuyo beneficio se verá representado en una disminución del costo de la cimentación y del tiempo de construcción de la estructura requerida.
2. El comportamiento frente a cargas sísmicas de la estructura de acero es en la práctica igual al comportamiento de la estructura de hormigón armado bajo las mismas cargas (espectro sísmico), según el análisis modal presentado.
3. Un beneficio adicional de la estructura metálica frente a la estructura de hormigón armado, son los espacios que se ganan en los distintos ambientes propuestos en los planos arquitectónicos, todo esto gracias a que se ve reducida la cantidad de columnas en la estructura.
4. Luces más largas se pueden alcanzar con la estructura metálica (8.00 a 10.00 mts generalmente), mientras que en hormigón armado se requieren luces más cortas (6.00 a 7.50 mts generalmente) para evitar reducciones de entrepisos por el peralte requerido de las vigas para cubrir dichas luces.
5. Los tiempos de ejecución de la estructura metálica son mucho más cortos que los tiempos de ejecución de una estructura de hormigón armado debido a que no se requiere esperar que los elementos alcancen cierta resistencia para continuar con la construcción de los pisos restantes, condición que si es obligatoria en el hormigón.

## **5.2. Recomendaciones**

Mediante los resultados obtenidos y el planteamiento de las conclusiones se recomienda lo siguiente:

- Tomar en consideración para proyectos de edificación de gran escala plantear como alternativa el uso de estructura metálica gracias a que presenta múltiples ventajas frente a la estructura de hormigón armado tal como se ha expuesto en las conclusiones.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Allstudies, E. G. (2014). Arquitectura y Construcción. *Allstudies.com*, 1. From Acero Estructural.
- Álvarez, A., & Arreaga Martitegui. (2011). *Estructuras de Acero Bases de Cálculo - Estados Límites*. Castilla: Universidad de Castilla - La Mancha.
- Amezcu Fuentes, C. A., Espinosa Figueroa, H. H., & Osuna Araiza, J. E. (n.d.). Materias primas para producir Acero. *Producción del Acero*, 1.
- ARQHYS ARQUITECTURA. (2010). Utilizar Acero Estructural en un edificio . *Arqhys Arquitectura*, 1-2.
- Arquitectura en Acero. (2010). Oxidación Galvánica. *Arquitectura+Acero libertad y diseño*, 1-2.
- Asociación Paisaje Limpio. (2012). EL ACERO. *Paisaje Limpio*, 1-2.
- CONSTRUMÁTICA. (2009). *Hormigón: Propiedades*. CONSTRUMÁTICA Arquitectura, Ingeniería y Construcción.
- Corporación Aceros de Guatemala. (2012). Fabricación de palanquilla de acero. *AG Corporación Aceros de Guatemala*, 1-2.
- Gimenez Juan José. (2011). Fabricación del Acero Estructural. *Arquitectura y Construcción*, 12.
- Ing. J. Pozzi Azzaro. (2010). *MANUAL DE CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO*. Rosario: Norma DIN 1045.

Marcelo Romo Proaño. Msc. (n.d.). *El Acero estructural en el hormigón armado*. Quito - Ecuador: Universidad Politécnica del Ejército.

Miguel, A., Cristian, J., & Mora Camilo. (2013). *Hormigón Armado*. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador.

Polo, T. ..., Ramos, C., & G. Ramos. (2010). Hormigon y Acero. *Revista trimestral de Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural*, 62.

Proaño, M. M. (2011). *Comportamiento del hormigón armado*. Quito - Ecuador: Universidad Politécnica del Ejército.

Quiminet. (2007). *La varilla de acero corrugada*. Quminet.com.

Ramos, C., Aparicio, A. C., & T. Polo. (2010). Estado Límite Último de fatiga. *Revista trimestral de Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural*, 67.

*Serpell B., Alfredo (2da Edición). (2002). Administración de operaciones de construcción. México: Editorial Alfa Omega*

*De Solminihac H. y Thenoux G. (2da Edición). (2002). Procesos y Técnicas de construcción. México. Editorial AlfaOmega*

*Murillo R., Gabriel. Procedimientos de Edificación. Guayaquil*

*Rodríguez C., Walter (2006). Gerencia de construcción y del tiempo (Planeamiento*

*estratégico táctico, operativo y de contingencia) para ingenieros y arquitectos. Lima:  
Editorial Macro*

*Rojas L., Miguel (2008). Gerencia de la construcción Guía para profesionales. Bogotá:  
Editorial Ecoe*

*González F., Hernando (2001). El presupuesto y su control en un proyecto arquitectónico.  
Bogotá: Editorial Ecoe*

*Baquerizo A., Cesar (2005). Gerencia de proyectos para constructoras inmobiliarias (teoría  
y ejemplo práctico). Guayaquil: Editorial Talleres Gráficos de los archivos históricos del  
Guayas*

*Chudley R. y Greeno R. (2da Edición). (2007). Manual de construcción de edificios.  
Barcelona: Editorial Gustavo Gili*