



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Análisis comparativo entre hormigones de alta y convencional
resistencia para su eficiente uso en edificios de gran altura.**

AUTOR:

Caamaño Salazar Manuel Eduardo

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

ING. MARCO VINICIO SUÁREZ RODRÍGUEZ

Guayaquil, Ecuador

6 de marzo del 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Caamaño Salazar Manuel Eduardo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Ing. Marco Vinicio Suárez Rodríguez

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas

Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2020



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Caamaño Salazar Manuel Eduardo**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis comparativo entre hormigones de alta y convencional resistencia para su eficiente uso en edificios de gran altura**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2020

EL AUTOR

f. _____
Caamaño Salazar Manuel Eduardo



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Caamaño Salazar Manuel Eduardo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis comparativo entre hormigones de alta y convencional resistencia para su eficiente uso en edificios de gran altura**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 6 días del mes de marzo del año 2020

EL AUTOR:

f. _____
Caamaño Salazar Manuel Eduardo



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

URKUND

Urkund Analysis Result

Analysed Document: Caamaño_Manuel_FINAL.pdf (D64565339)
Submitted: 2/28/2020 3:44:00 AM
Submitted By: claglas@hotmail.com
Significance: 2 %

Sources included in the report:

<https://docplayer.es/74626942-Universidad-de-guayaquil-facultad-de-ciencias-matematicas-y-fisicas-carrera-de-ingenieria-civil.html>
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17274/1/UPS-ST004098.pdf>
<https://docplayer.es/147768729-Analisis-de-la-eficiencia-del-empleo-de-encofrados-metalicos-y-madera-en-la-construccion-de-edificios-de-la-ciudad-del-cusco.html>

Instances where selected sources appear:

8

AGRADECIMIENTO

Primero que nada quiero agradecer a mi tutor, el Ing. Marco Suarez Rodríguez, quien para mí es y espero siga siendo un modelo de admiración como profesional, siendo el ingeniero más cercano y de mayor confianza que tengo, espero poder seguir aprendiendo de él.

Al Ing. Carlos León por haber ayudado y guiado este trabajo con su conocimiento y experiencia, gracias a él se pudieron tener varios criterios, y es tan responsable de este trabajo como yo.

A mi madre, quien ha sido la persona que cogió a cargo una responsabilidad que me correspondía a mí, y gracias a su ayuda pudo seguir adelante y poder llegar hasta donde he llegado.

Quiero agradecer de una forma especial a mis amigos Wladimir Robalino, José Argudo, Luigi Reinoso, Alexis Peñaloza, Jim Freire, Enrique Toscano, David Vaca y Ángel Guizado, por estar siempre conmigo en las buenas y en las malas, y que hayan estado preocupados constantemente por la realización de este trabajo de titulación; dicen que la familia no se escoge, pero a los amigos sí.

A mis hermanos Michael Caamaño y Mario Caamaño por estar siempre a mi lado y compartir una linda hermandad.

A HOLCIM por permitirme usar sus instalaciones para poder realizar los ensayos necesarios para la elaboración de este trabajo.

Al Ing. Daniel Petroche, por haber guiado mi tiempo en HOLCIM y así realzar de forma efectiva y correcta las actividades necesarias para esta trabajo.

Por ultimo a mis compañeros Fabricio Chasiguasin y Julio Vergara quienes me ayudaron bastante con su experiencia en el centro de innovación.

Manuel Caamaño Salazar.

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a 3 personas:

A mi padre, Manuel Caamaño Baidal, amigo, compañero y principal razón por la cual obtendré el título de Ingeniero Civil, su esfuerzo, dedicación y más importante, infinito amor hacia mí y mi familia, y por ser mi columna de apoyo en los peores momentos de mi vida, muchas gracias padre.

A Lucy Cevallos, por su constante apoyo y amor brindado, ya que ella es uno de mis principales motores a querer seguir adelante, y quien me dio una mano en una de las peores fases de mi carrera universitaria dejando muchas veces su propia felicidad por encontrar la mía.

Por ultimo pero más importante, a mi hija, Victoria Caamaño Albán, la razón por la que deseo ser alguien en la vida, la razón y mi motivación principal para crecer y ser objeto de su admiración, razón por la que culmino mi carrera universitaria, siendo ella pilar principal en la vida, no sé dónde estaría ahora si no fuera por ella.

Manuel Caamaño Salazar.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

f. _____

Ing. Marco Vinicio Suárez Rodríguez
TUTOR

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

Ing. Stefany Esther Alcívar Bastidas
DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

Ing. José Barros Cabezas
DOCENTE DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Jaime Hernández Barredo
OPONENTE

Índice.

1. Capítulo 1: Introducción.	2
1.1. Antecedentes.	2
1.2. Planteamiento del problema.	2
1.3. Justificación del estudio.	2
1.4. Objetivo general.	3
1.5. Objetivos específicos.	3
1.6. Hipótesis.	3
1.7. Alcance.	4
1.8. Metodología.	4
2. Capítulo 2: Marco Teórico.	5
2.1. Diseño estructural de edificios de gran altura.	5
2.1.1. Consideraciones arquitectónicas.	6
2.1.2. Coordinaciones arquitectónicas con las ingenierías.	9
2.2. Hormigón	11
2.2.1. Tipos de hormigón.	12
2.2.2. Componentes del hormigón armado.	18
2.2.3. Resistencias del hormigón.	32
2.2.4. Hormigón de alta resistencia.	35
2.2.5. Encofrado y apuntalamiento.	36
3. Capítulo 3. Desarrollo.	42
3.1. Elementos existentes.	42
3.1.1. Muros.	42
3.1.2. Columnas.	45
3.1.3. Vigas y losas.	45
3.2. Diferencias de módulos de elasticidad entre el hormigón de alta resistencia y resistencia convencional.	48

3.2.1.	Módulo de elasticidad convencional.	48
3.2.2.	Módulo de elasticidad real.	48
3.3.	Propuesta del nuevo dimensionamiento.	61
3.3.1.	Redimensionamiento de muros y columnas.	62
3.3.2.	Redimensionamiento de vigas y losas.	65
4.	Capítulo 4: Análisis comparativo.	70
4.1.	Cambio de volumen y comparación técnica.	70
4.1.1.	Comparación volumétrica de los elementos.	70
4.2.	Análisis de precios unitarios y análisis comparativo económico.	71
4.2.1.	APUs de elementos con $f^c = 350 \text{ Kg/cm}^2$	72
4.2.2.	APUs de elementos con $f^c = 600 \text{ Kg/cm}^2$.	85
4.2.3.	Comparación entre los precios de las diferentes resistencias.	99
5.	Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.	100
5.1.	Conclusiones.	100
5.2.	Recomendaciones.	101
6.	Bibliografía.	102
7.	Anexos.	104

Índice de Figuras.

Figura 1. Problemas estructurales en edificios altos debido a acciones de la naturaleza. Flexión, desplazamiento, vuelco y cortadura.	6
Figura 2. Problemas estructurales en edificios altos debido a acciones de la naturaleza. Doblado, ruptura, torsión, vibración.	6
Figura 3. Fotos de edificaciones diferentes, de acuerdo al entorno físico del lugar. ...	7
Figura 4. Ejemplo de hormigón en masa.	14
Figura 5. Foto de columna de hormigón armado.	14
Figura 6. Funcionamiento del hormigón pretensado.	15
Figura 7. Armadura de un hormigón postesado con vainas para su posterior tensado.	15
Figura 8. Funcionamiento del hormigón postesado.	16
Figura 9. Hormigón liviano.	16
Figura 10. Colocación de un hormigón de tipo ciclópeo.	17
Figura 11. Preparación de un hormigón seco compactado con rodillo.	17
Figura 12. Componentes del hormigón basados en pesos.	18
Figura 13. Cambios ocurridos dentro del horno rotatorio.	20
Figura 14. Esquema del proceso de fabricación húmedo del Cemento Portland.	21
Figura 15. Esquema del proceso de fabricación en seco del Cemento Portland.	22
Figura 16. Muestra de una roca ígnea.	23
Figura 17. Clasificación de las rocas ígneas según su velocidad de consolidación y localización.	23
Figura 18. Muestra de una roca sedimentaria.	24
Figura 19. Agentes que transportan y depositan las rocas sedimentarias.	24
Figura 20. Muestra de una roca metamórfica.	25
Figura 21. Muestra de piedra triturada.	25
Figura 22. Foto de tamices que se usan en el ensayo de granulometría.	26
Figura 23. Ejemplo de un análisis granulométrico.	26
Figura 24. Ejemplo de una curva granulométrica.	26
Figura 25. Ejemplo de cálculo de módulo de finura del agregado grueso.	27
Figura 26. Ejemplo de cálculo de módulo de finura del agregado fino.	28
Figura 27. Ilustración de ubicación del agua en la pasta.	30
Figura 28. Curva típica de relación A/C y la resistencia del hormigón en diferentes días.	32

Figura 29. Grafica de contenido de cemento vs resistencia a la compresión del cemento a los 28 días.....	33
Figura 30. Ilustración de la resistencia del hormigón dependiendo del tamaño del agregado.....	35
Figura 31. Esquema de los diferentes elementos que tienen los encofrados.	37
Figura 32. Diferencia entre tableros con y sin traviesas.	38
Figura 33. Distintos tipos de cepos.	38
Figura 34. Separación de sepas según el tipo de columnas a construirse.	39
Figura 35. Ilustración de los codales.....	39
Figura 36. Representación gráfica de camones y su colocación en una columna.....	40
Figura 37. Foto de apuntalamientos.	41
Figura 38. Esquema de las guías en una cuadrícula, guías superiores e inferiores...	41
Figura 39. Fórmula para obtener el Modulo de Elasticidad del hormigón.	51
Figura 40. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 1.....	53
Figura 41. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 2.....	54
Figura 42. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 3.....	56
Figura 43. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 4.....	57
Figura 44. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 5.....	59
Figura 45. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 6.....	60
Figura 46. Elemento bxh.....	62
Figura 47. Elemento BxH hueco.....	63
Figura 48. Viga VP-1.....	66
Figura 49. Ensayo de Compresión.....	104
Figura 50. Ensayo de Compresión.....	104
Figura 51. Ruptura del elemento.....	105
Figura 52. Peso de elemento.....	105
Figura 53. Peso de elemento.....	106
Figura 54 .Peso de elemento.....	106

Índice de Tablas.

Tabla 1. Áreas de los muros M1.	43
Tabla 2. Vista en planta de los muros M1.....	43
Tabla 3. Volúmenes de muros M1.	44
Tabla 4. Volúmenes de muros M2.	44
Tabla 5. Vista en planta de los muros M2.....	44
Tabla 6. Tabla de volúmenes totales por piso y volumen total de columnas.....	45
Tabla 7. Tabla de volúmenes totales por piso.	46
Tabla 8. Tabla de volúmenes totales de vigas de acople por piso.....	46
Tabla 9. Tabla de volúmenes de losas por piso y total de volumen de losas.	47
Tabla 10. Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.	49
Tabla 11. Aditivos para Hormigón de $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.....	49
Tabla 12. Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.	49
Tabla 13. Aditivos para Hormigón de $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	50
Tabla 14. Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días	50
Tabla 15. Aditivos para Hormigón de $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	50
Tabla 16. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 1.	52
Tabla 17. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 1.....	52
Tabla 18. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 2.	53
Tabla 19. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 2.....	54
Tabla 20. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 3.	55
Tabla 21. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 3.....	55
Tabla 22. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 4.	56
Tabla 23. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 4.....	57
Tabla 24. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 5.	58
Tabla 25. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 5.....	58
Tabla 26. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 6.	59
Tabla 27. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 6.....	60

Tabla 28. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes días.....	61
Tabla 29. Valores promedio de los módulos de diferentes días.....	61
Tabla 30. Propuesta de espesores para muros M1.	64
Tabla 31. Propuesta final de espesores para muros M1.	64
Tabla 32. Propuesta de espesores para muros M2.	65
Tabla 33. Propuesta de diámetro de columnas.....	65
Tabla 34. Propuesta de disminución de vigas.	67
Tabla 35. Propuesta final de disminución de vigas.....	68
Tabla 36. Propuesta de disminución de losa.	69
Tabla 37. % de cambio de volúmenes.....	70
Tabla 38. Peso de los cilindros de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$	70
Tabla 39. Comparación entre pesos de hormigón.....	71
Tabla 40. APU de losas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.....	73
Tabla 41. APU de losas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	74
Tabla 42. APU de losas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.....	75
Tabla 43. APU de vigas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.	76
Tabla 44. APU de vigas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.	77
Tabla 45. APU de vigas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.	78
Tabla 46. APU de columnas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.....	79
Tabla 47. APU de columnas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	80
Tabla 48. APU de columnas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.....	81
Tabla 49. APU de muros de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.....	82
Tabla 50. APU de muros de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	83
Tabla 51. APU de muros de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.....	84
Tabla 52. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días..	85
Tabla 53. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días..	85
Tabla 54. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.	85
Tabla 55. APU de losas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.....	86
Tabla 56. APU de losas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	87
Tabla 57. APU de losas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.....	88
Tabla 58. APU de vigas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.	89
Tabla 59. APU de vigas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.	90
Tabla 60. APU de losas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.....	91
Tabla 61. APU de columnas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.....	92

Tabla 62. APU de columnas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	93
Tabla 63. APU de columnas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.....	94
Tabla 64. APU de muros de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.....	95
Tabla 65. APU de muros de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.....	96
Tabla 66. APU de muros de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.....	97
Tabla 67. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días..	98
Tabla 68. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días..	98
Tabla 69. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.	98
Tabla 70. % de ahorro de los elementos entre los costos de los dos tipos de hormigón de 3 días.....	99
Tabla 71. % de ahorro de los elementos entre los costos de los dos tipos de hormigón de 7 días.....	99
Tabla 72. . % de ahorro de los elementos entre los costos de los dos tipos de hormigón de 28 días.....	99

RESUMEN

En este trabajo de titulación se realizó una comparación entre dos hormigones de resistencias diferentes, uno de $f'c$ de 350 Kg/cm² y otro de 600 Kg/cm², para poder demostrar que podría existir un ahorro a la hora de construir edificios de gran altura, el cual se usó como ejemplo a realizar el redimensionamiento a La Torre The Point, tratando de llegar a un resultado positivo. Se tuvo que realizar ensayos de módulos de elasticidad para los hormigones de alta resistencia y así poder tener un criterio válido para poder realizar el cambio de secciones de los elementos estructurales, dando como resultado elementos más pequeños y, por lo tanto, una disminución en el volumen total del edificio. Con los nuevos volúmenes de los elementos de secciones menores, se pudo obtener el costo final de los dos edificios con diferentes tipos de hormigones usando los análisis de precios unitarios que se tuvieron que elaborar para este trabajo.

Palabras Clave: Hormigón de Alta Resistencia, Análisis de Precios Unitarios, Redimensionamiento, Modulo de Elasticidad, Costos, Comparación

ABSTRACT

In this titration work a comparison was made between two concretes of different resistances, one with f_c of 350 Kg/cm² and another with 600 Kg/cm², to be able to demonstrate that there could be savings when building high-rise buildings, which for this research was used as an example to resize The Point Tower, trying to reach a positive result. It was necessary to carry out tests of elasticity modules for high strength concretes and with that be able to have a valid criterion to be possible to change sections of the structural elements that will result in smaller elements and therefore a decrease in the total volume of the whole building. With the new volumes of the elements of smaller sections, the final cost of the two kinds of buildings with different types of concrete could be obtained using the unit price analyzes that had to be prepared for this work.

Keywords: *High Strength Concrete, Unit Price Analysis, Resizing, Elasticity Module, Costs, Comparison*

1. Capítulo 1: Introducción.

1.1. Antecedentes.

En la actualidad el hormigón armado es el material de construcción más usado en el país, a tal punto que el saco de cemento debe tener un precio estandarizado en todos los sitios de venta en los que se pueda adquirir. Sabiendo que en el Ecuador no se conoce el caso de un edificio alto que se haya diseñado y construido con un hormigón de alta resistencia, por lo cual esta trabajo tratará de demostrar que una estructura de este tipo tendría un mejor impacto económico a la hora de llevar a cabo la obra.

Es conocido que actualmente se podría estar realizando haciendo trabajos de diseño de edificios de gran altura sin tener un estudio preliminar que indique si es ventajoso trabajar con hormigón de resistencia mayor a la convencional. Debido a esto, en esta trabajo va a descifrar las ventajas que tendrá esta mayor resistencia, comparando todos los elementos estructurales que estén actuando en La Torre The Point, ubicada en la ciudad de Guayaquil, al pie del río Guayas, en el sector del Puerto Santana, así como también encontraremos las desventajas de esta misma.

1.2. Planteamiento del problema.

Actualmente las obras civiles se diseñan y construyen con hormigón de convencional resistencia, debido a que no existe una investigación adecuada del impacto que podría tener el aumento justificado de la resistencia de este elemento, como podría ser un costo menor de la construcción de estas o la disminución del peso del edificio, sabiendo así que se podrían construir edificios de mayor altura. También se podría obtener un mejor resultado en la arquitectura de los edificios, ya que se disminuirían las secciones de los elementos y daría mejor uso de las áreas para el aprovechamiento y un mejor diseño arquitectónico.

1.3. Justificación del estudio.

Actualmente el Ecuador está pasando por una crisis económica, por lo que se necesita urgentemente saber qué impacto económico podría tener la reducción de las áreas de los elementos estructurales para los futuros edificios que se estarían diseñando

y construyendo más adelante, sabiendo así cuan mejor podría ser el precio unitario del hormigón con el que se va a trabajar, y una mejor vida útil para estas edificaciones.

1.4. Objetivo general.

Comprobar a través de un análisis comparativo técnico y económico, que consiste en la relación de las características de los elementos estructurales de un diseño existente y otro que habría que redimensionar sus elementos con dos valores de resistencia distintos, su efecto en la arquitectura del proyecto, el proceso constructivo y su consecuencia en los costos, qué alternativa se escogería entre estos hormigones, pudiendo depender de uno o más factores.

1.5. Objetivos específicos.

- Tratar de mantener un equilibrio armónico entre el aspecto arquitectónico y estructural, a través de dimensiones adecuadas en los elementos estructurales principales para ambos diseños estructurales.
- Comprobar las características físicas y mecánicas de los hormigones con sus diferentes resistencias.
- Investigar la metodología constructiva en la implementación de ambos hormigones.
- Comparar costos beneficios entre ambos hormigones con el objetivo de lograr una clara definición diseño construcción del proyecto.

1.6. Hipótesis.

La hipótesis de esta trabajo radica en comprobar, con base a comparaciones técnicas y economías, que los elementos estructurales no tendrán un mal efecto en al aumentar de resistencia, sabiendo que el módulo de elasticidad del hormigón cambia al momento de tener una mayor resistencia. Además, el cambio de secciones de los elementos tendrá un impacto económico positivo al momento de disminuirlas.

1.7. Alcance.

El desarrollo de este trabajo es muy importante, y está dirigido a todos los involucrados en un Proyecto de Ingeniería, sean estos, el contratante, diseñadores, el contratista o el fiscalizador. La debida investigación del tema debe permitir tener una clara conclusión en el manejo del proyecto y metodología constructiva.

1.8. Metodología.

Tomar como modelo un edificio de 35 pisos y partir de un diseño estructural existente, con una resistencia determinada, para posteriormente dimensionar los elementos estructurales para una resistencia mayor, sin entrar en detalle de cálculo. Luego de ello, se encontrarán ventajas arquitectónicas y comerciales de los hormigones de mayor resistencia al bajar dimensiones de elementos estructurales y posibles desventajas en aspectos constructivos y económicos. Lo propio con hormigones de menor resistencia, aunque el efecto ventaja-desventaja podría ser contrario.

Conseguir información de los proveedores del cemento, del hormigón, entre los materiales más importantes, para poder establecer cuáles son las características físicas y mecánicas de ellos, base para una acertada metodología constructiva, especialmente en el transporte y el vaciado.

Investigar esta metodología constructiva a través de requerimientos reales de equipos, sistema de bombeo para gran altura, implementación adicional, sistema de encofrado, herramientas.

Obtener conclusiones y plantear las debidas recomendaciones que permitan sobre todo a diseñadores y constructores encontrar la alternativa más adecuada entre estos hormigones, para edificios de gran altura.

2. Capítulo 2: Marco Teórico.

2.1. Diseño estructural de edificios de gran altura.

Para comenzar con este trabajo se debe tener conocimiento de lo que es un edificio. Según Gómez (2011) el edificio es una construcción hecha por el humano con diversos usos y fines, que pueden tener cualquier forma que este le quiera dar, con diferentes tipos de materiales y con necesidades de la época.

También se necesita conocer lo que significa diseño estructural, el cual, Meli (1985) explica: “El diseño estructural abarca las diversas actividades que desarrolla el proyectista para determinar la forma, dimensiones y características detalladas de una estructura (...)” (p 15).

Por otro lado se debe entender también que los edificios de gran altura son diferentes; Gómez (2011) Indica: “Un edificio alto no está definido por su altura o número de pisos, sino que es “alto” cuando su altura crea condiciones diferentes en el diseño, construcción y uso, con respecto a los que existen en “edificios comunes” (...)” (p 11).

Antiguamente, lo único que importaba en una obra de construcción de un edificio alto era la resistencia, dejando a un lado la estabilidad, pero cuando acciones de la naturaleza derribaban la estructura, lo que se procedía a hacer es reconstruir la estructura aumentando la resistencia, incrementando paredes o cimientos más profundos (Gómez, 2011). Pero se debe entender que actualmente las estructuras de edificios altos enfrentan diferentes factores que pueden llevar al colapso a la estructura.

En los edificios altos los elevadores tienen el importantísimo papel de representar el transporte vertical primordial, y están estrechamente vinculados con el sistema estructural. Respecto a la estructura, esta debe poseer además de resistencia y estabilidad, la rigidez para mantenerse dentro de ciertos niveles y límites permisibles de deformaciones y desplazamientos, que son derivados de las acciones producidas por un sismo o por el viento. (Gómez, 2011, p 15)

En la figura 1 y 2 se puede observar esquemas de los problemas que podrían presentar los edificios altos y que se tienen que tomar en cuenta a la hora de un diseño.

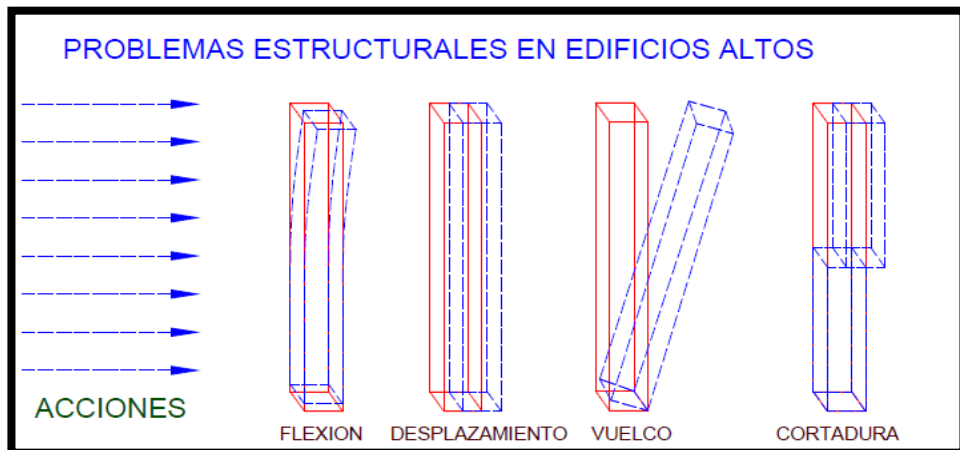


Figura 1. Problemas estructurales en edificios altos debido a acciones de la naturaleza. Flexión, desplazamiento, vuelco y cortadura.

Fuente: Diseño estructural de edificios altos tipo torre empleando Concreto de alta resistencia. Miguel Ángel Gómez Martínez.

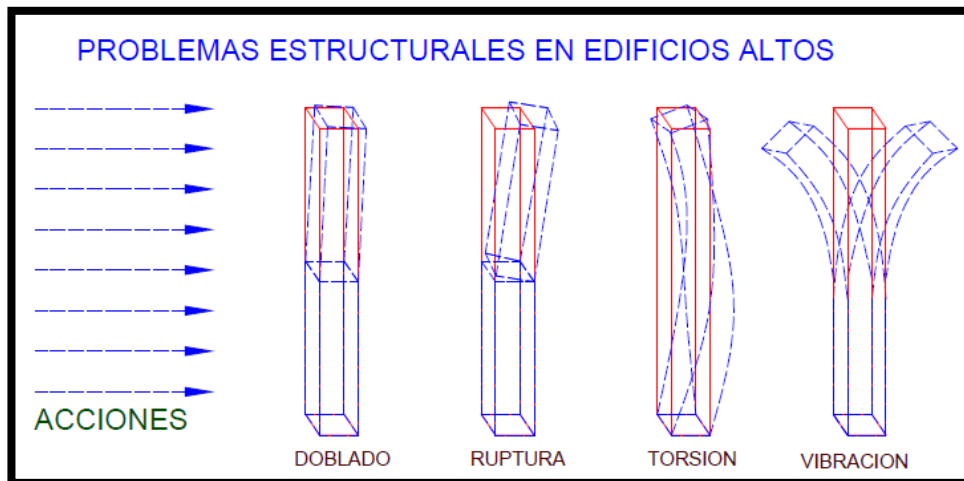


Figura 2. Problemas estructurales en edificios altos debido a acciones de la naturaleza. Doblado, ruptura, torsión, vibración.

Fuente: Diseño estructural de edificios altos tipo torre empleando Concreto de alta resistencia. Miguel Ángel Gómez Martínez.

2.1.1. Consideraciones arquitectónicas.

La arquitectura es el inicio de toda obra civil, ya que es la primera idea que se genera al momento de querer solucionar una necesidad, la cual De La Rosa (2012)

define a la arquitectura como: “Es la creación de espacios habitables, pero estos espacios han de cumplir una función. Una obra arquitectónica que no sea habitable o que no tenga función alguna no puede considerarse arquitectura” (p.14).

Según Aschner (2009), existen cinco criterios que debe considerar el arquitecto al momento de realizar una obra arquitectónica, la cuales son:

2.1.1.1. Entorno físico.

Aschner (2009) indica que esta consideración maneja las variables que determinarán la ubicación de una edificación y que dependen del clima, teniendo en cuenta la humedad del aire, temperatura del sitio, velocidades del viento, precipitaciones; además de también tomar en cuenta la luz, los sonidos, olores y rasgos no benignos sean el polvo, insectos, animales y personas que habitan la localidad, es decir que el entorno físico determina el carácter de una obra.

También nos indica todas las posibilidades que el sitio podría proveer para la facilidad de la ejecución de la obra, tales como los materiales que se usarán y la facilidad de acceso a estos, además el entorno nos indicará, junto al constructor, la técnica de construcción que se debería manejar según el espacio natural lo permita (Aschner, 2009). Esto se puede observar de mejor manera en las siguientes imágenes:



Figura 3. Fotos de edificaciones diferentes, de acuerdo al entorno físico del lugar.

Fuente: ¿Cómo concebir un proyecto arquitectónico? Juan Pablo Aschner
Rosselli.

Como podemos apreciar en la imagen 3, en ambos ambientes se presentan entornos, condiciones y materiales disímiles que condicionan la construcción de diferentes edificaciones, y con esto desigual técnica de construcción, ya que ambas obras no se llevarían de la misma manera.

2.1.1.2. Formalización de la actividad.

Para poder saber cómo se debe manejar el espacio en una edificación, según el criterio del arquitecto primero se debe saber que actividad se va a realizar en el espacio a diseñar. Aschner (2009) nos indica que la distribución de los espacios está condicionada por las actividades que se vayan a realizar en estos, además estas actividades están conectadas entre sí, de modo que para realizar la formalización de la actividad hay que entender la actividad humana que sucederá en dichos espacios. Un ejemplo es el denominado “shopping” ya que inciden sobre la arquitectura y la modelan en base de la actividad ya mencionada.

Hay actividades que necesitan especial estudio, por ejemplo las actividades hospitalarias o las actividades en los aeropuertos, ya que llegan a tal grado de especificidad de lo que se realizará en estos espacios, que el arquitecto está obligado a dejar a un lado ciertas variables el entorno físico, y deberá generar espacios para la correcta funcionalidad de las actividades que se requerirán por obligación en estas edificaciones especiales (Aschner, 2009).

2.1.1.3. Simbolización cultural e ideológica.

Para Aschner (2009) la arquitectura abarca toda parte de una obra civil que no tiene que ver con la construcción, es decir que se enfoca únicamente en lo estético. Esto significa que la arquitectura al ser artística produce una explosión semántica, por lo cual se puede decir que el proyecto tiene que representar la ideología y cultura del sitio en el cual se llevará a cabo la obra.

2.1.1.4. Medio Social.

Según Aschner (2009) el conocimiento de variables, tanto sociales como culturales, que la arquitectura es bien valorada por los individuos a los que esta se dirige. Aunque esta, según el sitio donde se llevará a cabo la obra, tenga ciertas

limitaciones regionales, no se puede caracterizar a una edificación como “típica” del lugar, debido a que las variables físicas no nos dirige a solo una solución, sino que hay múltiples opciones que varían según el arquitecto.

Es de suma importancia que los arquitectos tengan conocimiento de las variables socio-políticas y las variables económicas, ya que de esto se puede orientar al arquitecto y definir una idea que sea bien recibida y valorada por el grupo de personas que irán a ocupar el sitio a construirse.

2.1.1.5. Arquitectura como forma.

Para Aschner (2009) la arquitectura, al ser el primer paso a la obra, se debe tener en cuenta como una solución formal a cualquier necesidad que se deba solucionar en una comunidad, y el proceso que conlleva un proyecto arquitectónico puede gestarse de forma abstracta e independiente.

Por otro lado se tiene que entender que la primera idea de proyecto arquitectónico normalmente nace de la mente del arquitecto, en la cual no participa ningún usuario, por lo que estas solo pueden considerarse ideas mas no el proyecto establecido, en tanto el arquitecto llevará una idea que generará similitud con el entorno físico que existe, que se valora desde la estética, pero al final lo que cuenta es el resultado (Aschner, 2009).

2.1.2. Coordinaciones arquitectónicas con las ingenierías.

A lo largo de los siglos, los edificios que se llevan a cabo no son iguales a los más antiguos, ya que se busca nuevas formas de construcción, por lo que Saavedra (2015) afirma: “Los proyectos de edificación se han complejizado debido al mayor número de especialidades involucradas. Para desarrollarlos con éxito, el proceso de coordinación e integración entre ellas se vuelve fundamental” (p.32).

En toda construcción, se lleva a cabo un proceso de diseño, pero de varios campos, por lo que Saavedra (2015) nos dice:

En edificios de oficinas hay que abordar ingeniería estructural, arquitectura, ingeniería de revestimientos, de instalaciones eléctricas, de gas, de agua, aire acondicionado, calefacción, ascensores y son muchas más en recintos como hospitales de alta complejidad, donde el confort y seguridad juegan un rol relevante. (p.33)

Saavedra (2015) explica que en una obra civil, en su etapa de diseño, uno de los primeros profesionales en involucrarse es el arquitecto, porque es quien visualiza el proyecto en su imaginación. El arquitecto, mediante planos, transmite las ideas de forma que los demás profesionales puedan entender su perspectiva. Por tanto es primordial coordinar con el diseñador estructural, porque es necesario contar con el ‘esqueleto’ de la obra y que este en base a las normativas del estado donde se vaya a construir.

Los dueños de las obras solicitan a los profesionales que sus proyectos tengan el menor costo posible, por esto Saavedra (2015) afirma: “Los mandantes también están solicitando proyectos con mejores prestaciones en cuanto a optimizar los costos de construcción, optimizar la funcionalidad y bajar los costos de operación y mantención” (p.34).

El arquitecto debe tener una visión clara cuando proyecta su idea al constructor, debido que este debe entenderla en el momento que se está armando la obra. Todo va ligado en la obra por tanto debe haber una coordinación excepcional entre profesiones (Saavedra, 2015).

Por tanto el arquitecto debe estar siempre comunicado con el ingeniero estructurista, por lo que Saavedra (2015) nos dice: “Normalmente el arquitecto, con la asesoría directa del especialista, define la ubicación de equipos y ductos de entrada y salida de las distintas instalaciones en cada recinto” (p.35). Saavedra también nos dice que las distintas especialidades ingenieriles deben tener comunicación con el arquitecto ya que es importante que las instalaciones no se estorben entre ellas, ya que Saavedra (2015) nos afirma: “Debido a que los proyectos de especialidades son desarrollados por profesionales con conocimientos técnicos específicos, cada una de las instalaciones se va realizando en forma paralela e independiente” (p.35).

Saavedra (2015) nos afirma que el arquitecto al ser el que domina los espacios, debe saber todo lo que las ingenierías tengan pensado realizar, por lo que debe trabajar con las demás especialidades, porque necesita tener información de los temas que son ajenos a su conocimiento.

En una obra civil pueden existir algunas especialidades como el calculista estructural, el ingeniero especialista en mecánica de suelos, el ingeniero sanitario, el ingeniero eléctrico, etc., como también están los encargados de las instalaciones, es decir los obreros que trabajan para cada una de las especialidades, sean los albañiles o gasfiteros. También están los sistemas de seguridad, sistemas de control y combate de incendio, sistema de transporte, etc. (Saavedra, 2015)

Según Saavedra (2015) se le puede llamar proyecto como tal solo si las especialidades han podido ser integradas al diseño, ya que si no son integradas y el arquitecto empieza solo, la probabilidad de tener que hacer un nuevo diseño para corregir la falla ya que podría tener al momento de colocar algo; las especialidades estas deben ser sumadas al proyecto según el impacto que vayan a tener en la obra. Además siempre se tendría que tener reuniones periódicas para ver el avance según todas las especialidades.

2.2. Hormigón

McCormac et al. (2011) indica que el hormigón es: “Una mezcla de arena, grava, roca triturada u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua” (p 1). También expresa que el hormigón puede cambiar ciertas características como la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado con el uso de aditivos en la mezcla.

Como ya se dijo anteriormente, el agua juega un papel importante en la mezcla del hormigón, ya que, Jiménez, García y Moran (2001) aseguran: “El agua de amasado juega un doble papel en el hormigón. Por un lado, practica en las reacciones de hidratación del cemento; por otro, confiere al hormigón la trabajabilidad necesaria para una correcta puesta en obra” (p 27). También tenemos que tener en cuenta que el agua tiene una relación de resistencia con el cemento.

También se debe saber que el hormigón se le llama concreto hidráulico ya que Romero y Hernández (2014) definen al hormigón de la siguiente manera:

El Hormigón o concreto hidráulico es la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland), un material de relleno (agregados), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un sólido compacto y después de cierto tiempo puede soportar grandes esfuerzos de compresión. (p.6)

2.2.1. Tipos de hormigón.

Una parte importante del diseño y construcción de una obra civil es la selección del tipo de hormigón que se va a usar en el proyecto. Para este trabajo se va a hacer énfasis en el hormigón armado, ya que esta se va a desarrollar en base a este de hormigón, pero se necesitará conocer otros tipos para poder diferenciar y saber porque se construirá con este mismo. Como esta trabajo va dirigida estrictamente a edificios de gran tamaño, se van a obviar algunos tipos de hormigones que no tienen nada que ver con la construcción de un edificio.

Según la Institución Española del Hormigón Estructural (EHE) existen los siguientes tipos de hormigón:

- Hormigón en masa.- Es un hormigón que no lleva armadura en su interior, y es usada específicamente para resistir únicamente esfuerzos de compresión.
- Hormigón Pretensado.- Es el hormigón que dentro de sí, lleva una armadura activa, es decir, que el acero de refuerzo lleva una fuerza de compresión, la cual hace que el hormigón resista más esfuerzos de tracción. Son normalmente usados en puentes, pero también es sabido que se lo puede usar en centros comerciales que necesitan vigas que se podrían denominar como largas.
- Hormigón de alta resistencia.- Son hormigones que tiene que tener una resistencia mínima de $50 \frac{N}{mm^2}$ ($500 \frac{Kg}{cm^2}$).

- Hormigón armado.- Es el hormigón que lleva una armadura metálica, para que así entre el hormigón y el acero puedan resistir esfuerzos a tensión, los cuales son esfuerzos de tensión y compresión simultáneos.

También existen clasificaciones de otros autores, por ejemplo, según Nilson (2001) existen tres tipos de hormigón, el hormigón simple, el hormigón armado y el hormigón pretensado, los cuales se definen de la siguiente manera:

- Hormigón simple.- Es un tipo de hormigón que únicamente lleva arena, piedra, agua y cemento.
- Hormigón armado.- Es la combinación de una armadura, la cual está constituida por varillas redondas de acero con deformaciones superficiales las cuales hacen que la adherencia sea más óptima, y que se coloca antes en el encofrado para posteriormente la puesta del hormigón. Cuando la mezcla se encuentra endurecida se la puede llamar hormigón armado.
- Hormigón pretensado.- Este tipo de hormigón tiene la característica del acero que esta embebido en el hormigón se encuentra bajo un esfuerzo de tensión extremadamente grande, producido por maquinas conocidas como gatos, el cual al ser cortado genera un tremendo esfuerzo de compresión en el hormigón que son equilibradas a la resistencia de este mismo. El acero de este tipo de elemento, generalmente se los encuentra en forma de cables. Este tipo de hormigón tiene la característica de que no se espera que de forma natural se produzcan fisuras en él.

Otra excelente clasificación de los tipos de hormigón fue dada por Polanco y Setién (2016):

- Hormigón en masa.- Sirve únicamente para resistir esfuerzos de compresión.

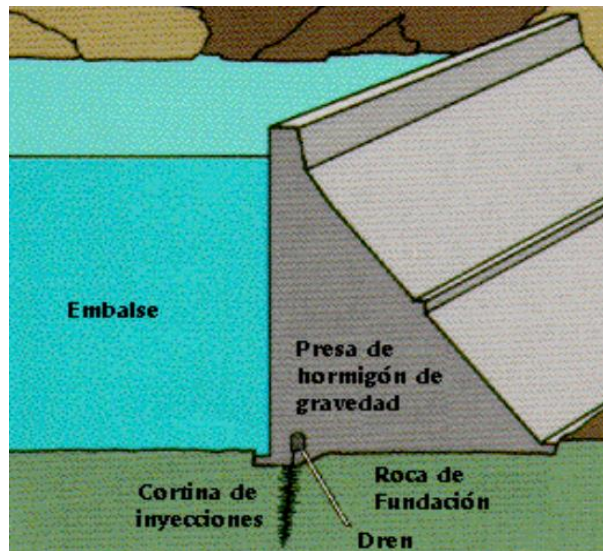


Figura 4. Ejemplo de hormigón en masa.

Fuente: Dpto. de ciencia e ingeniería del terreno y de los materiales de la UC.

- Hormigón armado.- Con una armadura de acero, debidamente dimensionada, este hormigón sirve para resistir esfuerzos, tanto de compresión como de tensión.



Figura 5. Foto de columna de hormigón armado.

Fuente: Internet.

- Hormigón pretensado.- Hormigón que, previo a su endurecimiento, la armadura de acero de alta resistencia está sometida a altos esfuerzos de tracción.

Todo esto para poder soportar esfuerzos de tracción muy elevados, los cuales, el hormigón armado no podría.

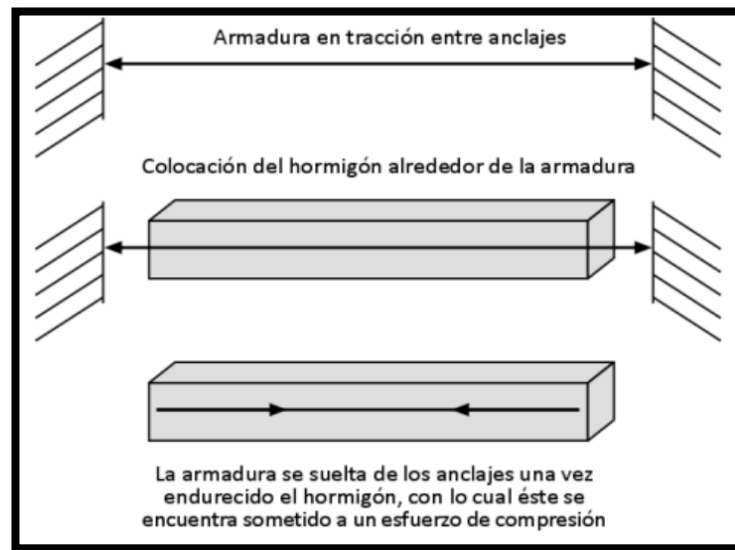


Figura 6. Funcionamiento del hormigón pretensado.

Fuente: Dpto. de ciencia e ingeniería del terreno y de los materiales de la UC.

- Hormigón postesado.- Estos elementos tienen el mismo fin que el hormigón pretensado, diferenciándose en su elaboración; se vierte la masa en el encofrado donde se han colocado previamente unas vainas por donde pasará el acero de alta resistencia, una vez endurecido el elemento, el acero es tensado con un gran esfuerzo.



Figura 7. Armadura de un hormigón postesado con vainas para su posterior tensado.

Fuente: Internet.

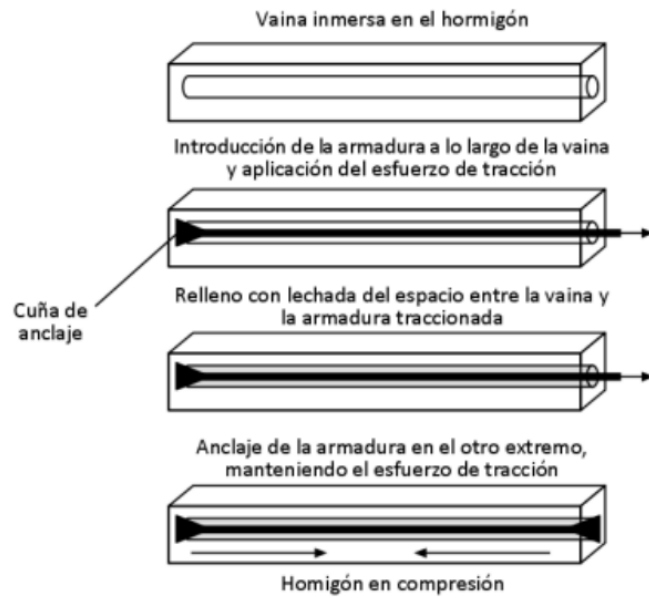


Figura 8. Funcionamiento del hormigón postesado.

Fuente: Dpto. de ciencia e ingeniería del terreno y de los materiales de la UC.

- Hormigón ligero.- Son elementos de densidad muy baja, la cual se encuentra entre los 1000 y 2000 $\frac{Kg}{m^3}$, gracias a la baja densidad de sus áridos.



Figura 9. Hormigón liviano.

Fuente: Internet.

- Hormigón ciclópeo.- Colocando en primer lugar piedras con una dimensión superior a los 30 cm, para posteriormente colocar el hormigón

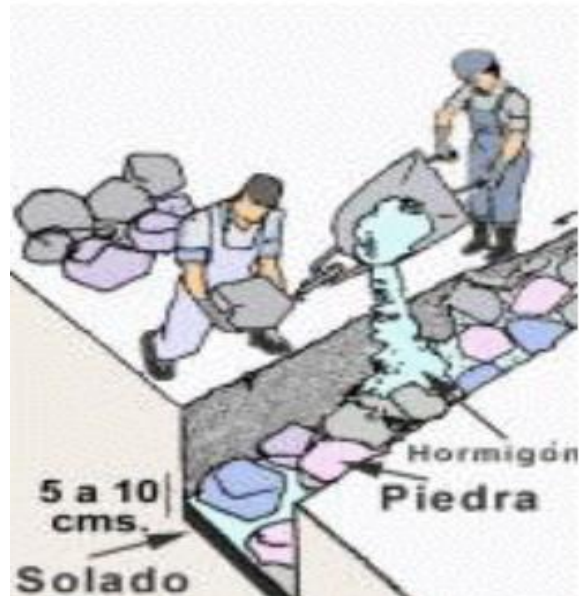


Figura 10. Colocación de un hormigón de tipo ciclópeo.

Fuente: Dpto. de ciencia e ingeniería del terreno y de los materiales de la UC.

- Hormigón seco compactado con rodillo.- Este hormigón no necesita de agua de amasado, solo necesita la necesaria para su reacción química; el endurecimiento se lo adquiere por medio de la compactación de un rodillo vibratorio.



Figura 11. Preparación de un hormigón seco compactado con rodillo.

Fuente: Dpto. de ciencia e ingeniería del terreno y de los materiales de la UC.

2.2.2. Componentes del hormigón armado.

Como ya se dijo anteriormente, en este trabajo vamos a hacer énfasis en el hormigón armado, ya que, a base de este elemento se va a realizar todo el desarrollo que viene adelante en el trabajo. Para referirnos a este tipo de hormigón vamos a tomar la definición del Polanco y Setién (2016).

Pero referirse esta definición no es suficiente para conocer lo que es el hormigón armado. Para esto vamos a dar definiciones de los dos elementos principales que actúan en el hormigón armado, que son el acero de refuerzo y el hormigón.

2.2.2.1. Componentes del hormigón.

Habiendo dejado en claro la definición de hormigón armado, hay que hablar ahora de sus elementos, y cuáles son los componentes debemos hablar de solo el hormigón, el cual, Romero y Hernández (2014) aseguran:

Los componentes principales o materia prima para hacer concreto hidráulico son: Agregados (pueden ser finos o gruesos), cemento (comúnmente es Portland), agua (especialmente limpia) y en ocasiones aditivos. (...). (p.10).

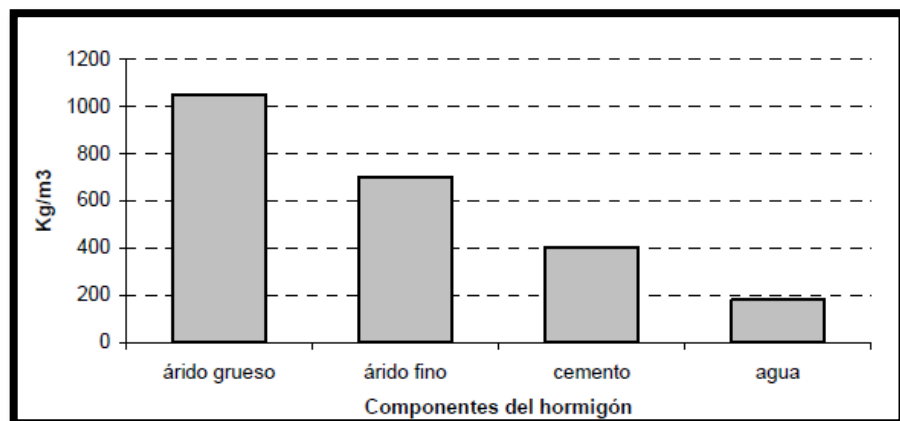


Figura 12. Componentes del hormigón basados en pesos.

Fuente: Hormigón armado y pretensado. Concreto reforzado y pre-esforzado. Fig. 3.1.

2.2.2.1.1. Cemento.

Como se dijo anteriormente, el cemento más común usado en la elaboración de hormigón armado es el Cemento Portland y sabiendo que existen otros tipos, que para efectos prácticos de la trabajo, nos vamos a enfocar solo en este tipo en específico.

El Cemento Portland es una mezcla de varios materiales, el cual Niño (como se citó en Terreros y Carvajal, (2016) define: “El cemento Portland es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso” (p.8). Se sabe que este tipo de cemento es llamado así por la similitud con una piedra que abunda en la Isla de Portland en Inglaterra.

Hoy en día se fabrican diversos tipos de cemento dependiendo del propósito que este tenga que cumplir, los cuales son:

- El cemento Portland tipo 1 conocido Normal.
- Cemento Portland tipo 2 que sirve para resistir moderadamente el ataque de los sulfatos.
- El Cemento Portland tipo 3 el cual se lo requiere cuando se necesita que la resistencia inicial del hormigón sea alta.
- El Cemento Portland tipo 4 el cual tiene la característica de tener un bajo calor de hidratación.
- El Cemento Portland tipo 5 con el propósito de resistir de mejor manera la presencia elevada de los sulfatos.
- El Cemento Portland blanco que sirve solamente con el propósito arquitectónico, que tiene características similares al Cemento Portland tipo 1.
- El Cemento Portland con incorporadores de aire.

2.2.2.1.1.1. Fabricación del Cemento Portland.

Como Terreros y Carvajal (2016) afirman este cemento es el más usado en las obras, pero no debe enastar expuesto a factores agresivos como la presencia de sulfatos. Como se dijo antes, este cemento está compuesto por materiales minerales calcáreos, como la caliza, alúmina y sílice. En algunas ocasiones se le puede agregar otros productos para mejorar la composición química de los materiales principales.

Existen dos procesos para poder obtener el cemento, el proceso húmedo y el proceso en seco, los cuales se definen:

- **Proceso de fabricación húmedo.**

Este proceso consiste, según Rivera (2013) en triturar la materia prima finamente y dispersarla en un molino de lavado, este molino contendría agua, este molino puede romper los aglomerados de la materia sólida que aún se encuentre en el polvo. La arcilla pasa por el mismo proceso.

Posteriormente se tiene que bombear las dos mezclas para combinarlas en proporciones determinadas para posteriormente pasen a través de una serie de Cribas. Al material resultante que se le emplea la caliza se debe barrenar, triturar, normalmente en dos máquinas siendo una maquina más pequeña que la otra, para depositarse en un molino con agua.

Temperatura	Proceso	Reacción
Hasta 100°C	Evaporación de agua libre.	Endotérmica
Por encima de 500°C	Deshidratación de los minerales arcillosos.	Endotérmica
800°C	Liberación de CO ₂	Exotérmica
Por encima de 900°C	Cristalización de los productos minerales descompuestos	Exotérmica
	Descomposición del carbonato	Endotérmica
De 900°C a 1.200°C	Reacción del CaO con los silicoaluminatos.	Exotérmica
De 1.250°C a 1.280°C	Se inicia la formación de líquidos.	Endotérmica
Por encima de 1.280°C (hasta 1.500°C)	Formación de líquidos y de los compuestos del cemento (clinkerización)	Endotérmica

Figura 13. Cambios ocurridos dentro del horno rotatorio.

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Diego Sánchez de Guzmán.

El molido continuará hasta que la caliza tenga un grado de finura de harina, y la lechada restante se bombea a varios estanques de almacenamiento. El proceso se puede apreciar en la siguiente imagen:

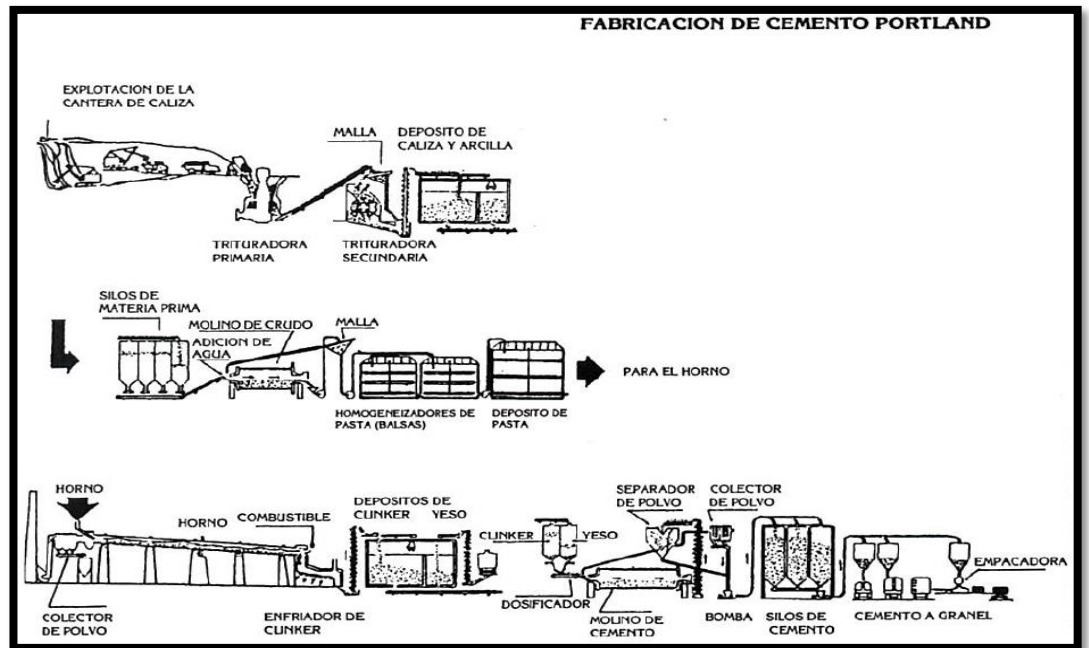


Figura 14. Esquema del proceso de fabricación húmedo del Cemento Portland.

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Diego Sánchez de Guzmán.

- **Proceso de fabricación seco.**

Según Rivera (2013) este proceso comienza cuando la materia prima se tritura hasta tener el tamaño de partícula de un polvo fino conocido como grano molido crudo, el cual se introduce en molinos de mezclado, donde se mezcla y seca los materiales. El polvo una vez seco se bombea al nuevamente a un mezclador donde se reajustará la proporción de la materia prima según el tipo de cemento que se preparará.

Para obtener una mezcla uniforme se usa aire comprimido como proceso de mezclado, el cual se bombea sobre cada cuadrante del silo, para que el material haga un movimiento ascendente, y así el material más pesado de los cuadrantes no aireados, se muevan hacia los cuadrantes aireados. De este modo el material aireado tiende a comportarse como un líquido el cual se completa alrededor de una hora, obteniendo así una mezcla uniforme.

El grano molido pasa por un tamiz para luego ser depositado en el granulador, donde se le va a agregando agua la cual sería un 12% de la masa del grano, obteniendo así pastillas duras de 15 mm de diámetro. Luego las pastillas se meten en el horno para después seguir con el proceso posterior que se dan en el método húmedo, teniendo en cuenta que el horno es considerablemente más pequeño, ya que el agua pasó de ser un 40% a un 12%.

Este proceso se lo puede ver mejor en la siguiente imagen, la cual nos muestra el proceso en seco:

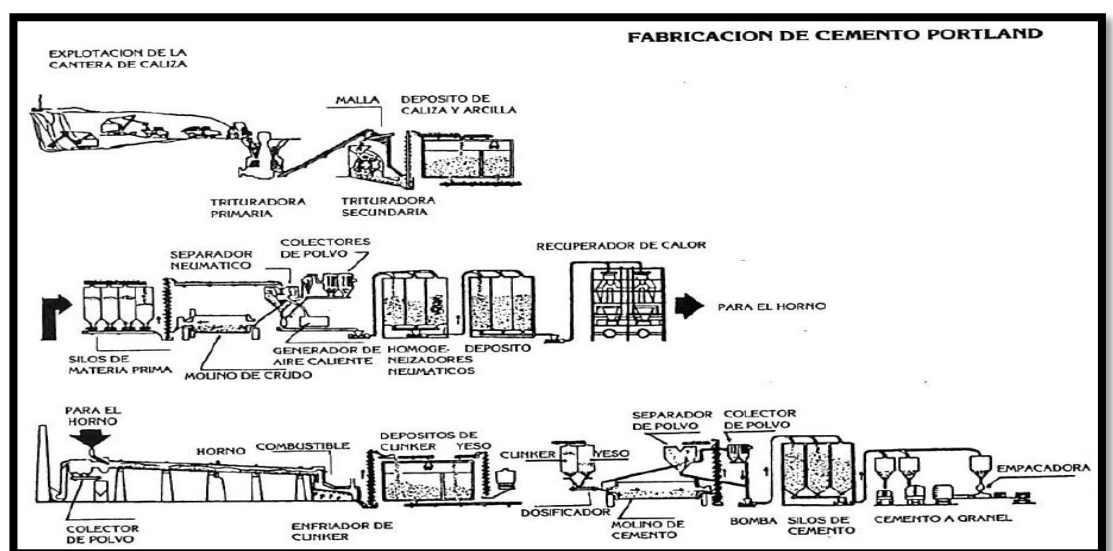


Figura 15. Esquema del proceso de fabricación en seco del Cemento Portland.

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Diego Sánchez de Guzmán.

2.2.2.1.2. Agregados.

Los agregados gruesos son aproximadamente del 60 al 75 por ciento del peso final de un hormigón convencional, el cual, Rivera (2013) define como: “Los agregados también llamados áridos son aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento Portland en presencia de agua forman un todo compacto (piedra artificial), conocido como mortero o concreto” (p.).

Una buena definición de lo que son los agregados gruesos fue dada por Romero y Hernández (2014), indicando: “Los agregados son partículas pétreas que dan una resistencia mecánica y textura superficial, que garantiza la adherencia a la pasta de

cemento; controlan los cambios volumétricos que comúnmente se presentan durante el fraguado del concreto” (p.10).

2.2.2.1.2.1. Origen de los agregados.

De acuerdo con la procedencia de fuentes naturales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- Rocas ígneas.- López, Ascanio y Guerrero (2003): “Las rocas ígneas o magmáticas son aquellas que se han formado por solidificación del material rocoso caliente y móvil llamado magma” (p.6).

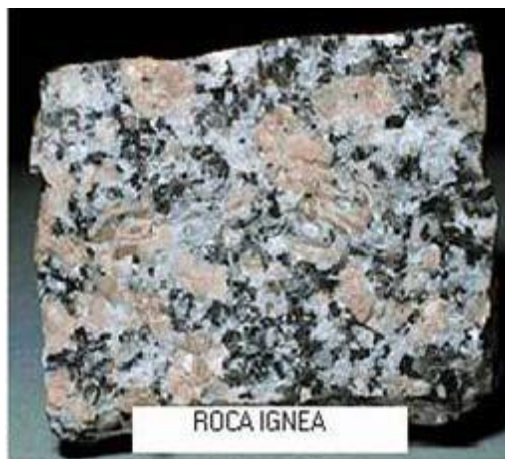


Figura 16. Muestra de una roca ígnea.

Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

Además se sabe que las rocas ígneas tendrán una clasificación según la velocidad con la que se solidifican, que podremos ver en la Figura 13:

DENOMINACIÓN	VELOCIDAD DE SOLIDIFICACIÓN	LOCALIZACIÓN
Intrusivas, abisales o plutónicas.	Lenta	Consolidadas a gran profundidad
Filonianas o hipoabisales	Media	Consolidadas a profundidad media
Extrusivas, efusivas o volcánicas	Rápida	Consolidación cerca o sobre la superficie (por alguna erupción).

Figura 17. Clasificación de las rocas ígneas según su velocidad de consolidación y localización.

Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

- Rocas sedimentarias.- Estas rocas son aproximadamente el 75% de las que conforman la superficie de la tierra. Estas están formadas de la descomposición física o química de las rocas ígneas ya existentes en la superficie de la tierra (López, Ascanio y Guerrero, 2003).



Figura 18. Muestra de una roca sedimentaria.

Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

AGENTE	TRANSPORTE	DEPÓSITO
Agua	Río Lago Mar	Depósitos aluviales de canto rodado, grava, arcilla, limo, etc. Depósitos lacustres de estratos horizontales. Depósitos marinos que dependen de vientos y mareas.
Hielo	Glaciar	Mezcla de toda clase de materiales y tamaños por su sistema de formación.
Aire	Viento	Dunas o barbajanes (Arena), Loess (Limo).

Figura 19. Agentes que transportan y depositan las rocas sedimentarias.

Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

- Rocas metamórficas.- Este tipo de roca es el resultado de un modificaciones físicas o químicas, en las rocas ígneas o sedimentarias, debido a las grandes presiones y energía termina que existe en estratos más profundos de la corteza terrestre (López, Ascanio y Guerrero, 2003).

Rivera (2013), especifica: “Ellas provienen de rocas ígneas y sedimentarias, las cuales experimentan modificaciones en sólido debido a grandes presiones que sufren los estratos profundos, temperaturas elevadas que hay en el interior, y emanaciones de los gases del magma;(…)” (p.44).

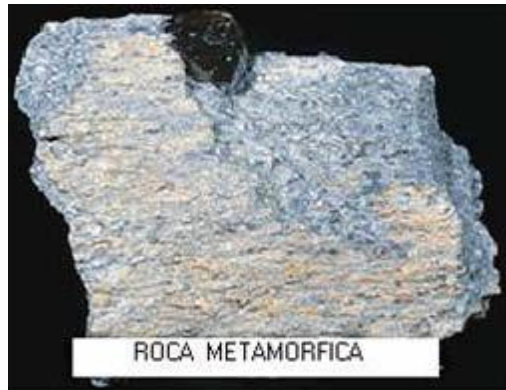


Figura 20. Muestra de una roca metamórfica.

Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

- Agregados artificiales.- Son agregados que provienen de la transformación de los agregados naturales, y volverlos en el árido que se requiere, como el hormigón reciclado o la piedra triturada; estos agregados son producto de dos formas de prepararlos, los cuales son los agregados triturados y la escoria siderúrgica (Quiroz, Salamanca, 2006).



Figura 21. Muestra de piedra triturada.

Fuente: Internet.

2.2.2.1.2.2. Propiedades físicas del agregado.

- **Granulometría.**

Es la forma de distribuir por medio del tamaño a las partículas de los agregados, que esta expresado por medio de la curva granulométrica (Alconz, 2006). Esta se determina por medio de un análisis granulométrico, el cual, según Rivera (2013) consiste en: “Hacer pasar el agregado a través de una serie de tamices que tienen aberturas cuadradas y cuyas características deben de ajustarse a la norma NTC 32” (p.56).



Figura 22. Foto de tamices que se usan en el ensayo de granulometría.

Fuente: Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

TAMIZ mm - pulg.	MASA RETENIDA g	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% PASA
9,51 - 3/8"	0	0	0	100
4,76 - No. 4	127,8	6	6	94
2,38 - No. 8	575,1	27	33	67
1,19 - No. 16	617,7	29	62	38
0,595 - No. 30	277,0	13	75	25
0,297 - No. 50	276,8	13	88	12
0,149 - No. 100	149,1	7	95	5
0,074 - No. 200	85,2	4	99	1
Fondo	21,3	1	100	0
TOTAL	2130	100	---	---

Figura 23. Ejemplo de un análisis granulométrico.

Fuente: Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

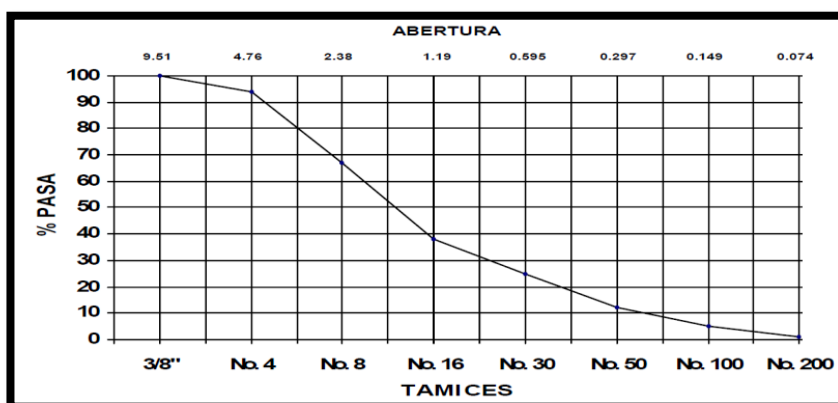


Figura 24. Ejemplo de una curva granulométrica.

Fuente: Fuente: Concreto Simple. Ing. Gerardo A. Rivera L.

- Módulo de finura.- Este módulo es usado para tener conocimiento del espesor del agregado. Para esto, Quiroz y Salamanca (2006) estipulan que:

El módulo de finura, también llamado módulo granulométrico por algunos autores, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el termino de Modulo de Finura. (p.39)

El módulo de finura se obtiene dividiendo para 100 la sumatoria de todos los porcentajes retenidos acumulados en los tamices, que dependerá del agregado al que se le esté calculando, ya que, si es agregado grueso no pasará más allá del tamiz #4. Los tamices que se deben usar son: No. 100, No. 50, No. 30, No. 16, No, 8, No. 4, 3/8”, 3/4”, 1/2”, 3” y de 6”.

$$MF = \frac{\sum \% \text{retenido acumulado}}{100}$$

Esta fórmula se la explicará con las figuras que vienen a continuación:

Tamiz No.	Abertura [mm]	Peso retenido [g]	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje que Pasa	Requisito de % que Pasa [#]
1 1/2	37.5	0	0	0	100	100
1	25	1.2	4	4	96	95 a 100
3/4"	19	9.3	30	34	66	-
1/2"	12.5	6.8	22	56	44	25 a 60
3/8 "	9.5	4.3	14	70	30	-
4	4.75	8.4	27	97	3	0 a 10
8	2.36	0.9	3	100	0	0 a 5
bandeja		0	0	0		
total		30.9	100	360.8		

$$MF = \frac{(0 + 34 + 70 + 97 + 100 + 100 + 100 + 100 + 100)}{100} = \frac{701}{100} = 7.01$$

Figura 25. Ejemplo de cálculo de módulo de finura del agregado grueso.

Fuente: Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “Tecnología del Hormigón”. Mariela Quiroz Crespo y Lucas Salamanca Osuna.

Tamiz No.	Abertura [mm]	Peso retenido [g]	Porcentaje Retenido	Porcentaje Acumulado	Porcentaje que Pasa	Requisito de % que Pasa [#]
3/8 "	9.525	0	0.0	0.0	100.0	100
4	4.75	22	4.1	4.1	95.9	95 a 100
8	2.36	65	12.0	16.1	83.9	80 a 100
16	1.18	103	19.0	35.1	64.9	50 a 85
30	0.6	119	22.0	57.0	43.0	25 a 60
50	0.355	157	29.0	86.0	14.0	10 a 30
100	0.15	60	11.1	97.0	3.0	2 a 10
bandeja		16	3.0			
total		542	100	295.2		

$$MF = \frac{0 + 4.1 + 16.1 + 35.1 + 57 + 86 + 97}{100} = \frac{295.2}{100} = 2.95$$

Figura 26. Ejemplo de cálculo de módulo de finura del agregado fino.

Fuente: Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “Tecnología del Hormigón”. Mariela Quiroz Crespo y Lucas Salamanca Osuna.

- **Densidad.**

La densidad del agregado, según la norma ASTM, designación C125- 15b (2016) es: “Masa por unidad de volumen de un material” (p.4). Esto se puede tomar como la relación que hay entre el volumen del material y los poros que existen, ya que Rivera (2013) afirma: “Las partículas del agregado están conformadas por masa del agregado, vacíos que se comunican con la superficie llamados poros permeables o saturables y vacíos que no se comunican con la superficie (...)” (p.64).

Sabiendo lo anterior Rivera (2013) se puede clasificar las densidades en las siguientes:

- Densidad real.- Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo sus poros permeables o saturables y los no saturables o impermeables.
- Densidad nominal: Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, excluyendo únicamente los poros permeables o saturables.
- Densidad aparente: Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas del agregado, incluyendo tanto poros permeables o saturables como poros impermeables o no saturables (volumen aparente o absoluto).

De las densidades mencionadas anteriormente la importante sería la densidad aparente, ya que es la usada en las fórmulas para el diseño de las mezclas porque el material dentro de la masa absorbe el agua que tiene que reaccionar con el cemento, para evitar perder cantidad de agua que debería usarse para su trabajabilidad (Rivera 2013).

- Porosidad.

Es la forma de medir cuánta agua un material puede absorber por medio de los poros que tiene la partícula, la cual puede hallarse por medio del ensayo de absorción de agua (Terrerros, Carvajal, 2016).

2.2.2.1.3. Agua.

El agua, en términos de lo que es para el hormigón, el agua para el hormigón es definido, según Sánchez (2001) como: “Aquel componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas que le dan la propiedad de fraguar y endurecer para formar un sólido único con los agregados.” (p.57).

2.2.2.1.3.1. Clasificación del agua.

Algunos autores han clasificado de varias maneras los tipos de agua para el hormigón, en esta trabajo trataremos de tomar en cuenta los tipos más importantes según sus autores.

- **Agua de mezclado.**

Según Sánchez (2001) es la cantidad necesaria por volumen unitario de concreto que requiere el cemento para poder hidratarse correctamente, pudiendo lubricar a los agregados durante el estado plástico de la mezcla.

- **Agua de hidratación.**

Algunos autores denominan este tipo de agua como la que realiza el proceso químico posible en el hormigón, el cual Sánchez (2001) define: “Es aquella parte del agua original de mezclado que reacciona químicamente con el cemento para pasar a formar parte de la fase sólida del gel” (p.57).

Aproximadamente, los autores de varios libros han estipulado que el agua de hidratación necesaria para el cemento es alrededor del 22 al 25% del peso del cemento. Para esto, Sánchez (2001) afirma: “El agua que el cemento necesita para su completa hidratación representa, como término medio aproximado, un 23% de su peso.” (p.59).

- **Agua evaporable.**

Este tipo no es más que un sobrante del agua que no tuvo paso en la reacción del cemento. Sánchez (2001) afirma:

El agua restante que existe en la pasta, es agua que puede evaporarse a 0% de humedad relativa del ambiente y 110°C de temperatura, pero no se encuentra libre en su totalidad. El gel de cemento cuya característica sobresaliente es un enorme desarrollo superficial interno, ejerce atracción molecular sobre una parte del agua evaporable y la mantiene atraída. En la siguiente imagen podemos observar que el agua evaporable puede estar en tres condiciones distintas, de acuerdo con su proximidad a la superficie del gel. (p.58)

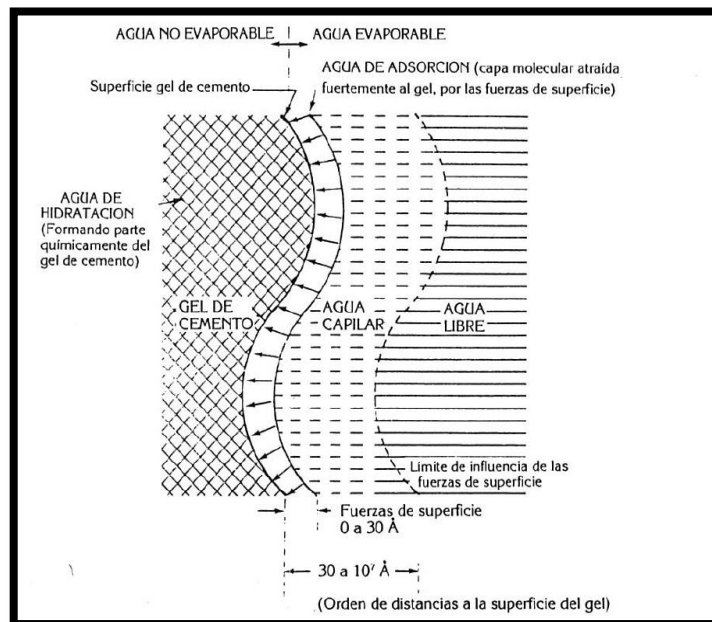


Figura 27. Ilustración de ubicación del agua en la pasta.

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Diego Sánchez de Guzmán.

- **Agua de adsorción.**

Es una capa de agua que se encuentra por encima del gel de cemento, la cual está siendo atraída por la fuerza de atracción intermolecular que genera el gel (Sánchez, 2001).

- **Agua capilar.**

Esta tipo de agua es la que llena los poros de la pasta, la cual se encuentra entre 30 a 10^7 \AA ($\text{\AA}=0.0000001 \text{ mm}$), la cual aún está sujeta, muy débilmente, por la atracción que genera el gel de cemento (Sánchez, 2001).

- **Agua libre.**

Es el agua que no está sujeta a las fuerzas de atracción del gel de cemento y tiene movilidad total y facilidades para evaporarse (Sánchez, 2001).

- **Agua de curado.**

El curado del hormigón son condiciones que debe tener para que se pueda hidratar sin ningún tipo de pérdida del agua de hidratación. Según Sánchez (2011) el agua de curado se lo puede definir como: “Constituye el suministro adicional de agua para hidratar eficientemente el cemento.” (p.59).

El agua de hidratación, ósea la no evaporable, tiene una densidad mayor al agua capilar, lo que indica que en algún momento el espacio libre dejado por los poros puede ser mayor que los contribuidos por el agua capilar, lo que nos puede llevar a un hormigón de menor resistencia (Sánchez, 2001).

2.2.2.2. Acero de refuerzo.

Es el elemento del hormigón armado que resistirá los esfuerzos a tensión del elemento que se va a diseñar, el cual, según McCormac y Brown (2011) afirma: “Puede ser en forma de varillas o de malla soldada de alambre. Las varillas pueden ser lisas o corrugadas. (...). El alambre corrugado es dentado y no con protuberancias por laminado. (...)” (p.21).

2.2.3. Resistencias del hormigón.

El hormigón tiene como principal atributo la resistencia a la compresión, la cual según Quiroz y Salamanca (2006), definen: “La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un hormigón. Su determinación se efectúa mediante el ensayo de probetas, según métodos estandarizados” (p.115). Esta resistencia es comúnmente llamada $F'c$.

La resistencia del hormigón dependerá de algunos factores, como podrían ser la relación agua cemento (a/c) o la cantidad la calidad del agregado que se usará. Entre todo esto se hablará de los siguientes factores.

2.2.3.1. Relación agua/cemento (A/C).

Se sabe que esta relación es la que más afecta la resistencia del hormigón, la cual Sánchez (2001), define: “Es la cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento” (p.127). Una mayor relación A/C puede dar menor resistencia, lo que quiere decir que la resistencia será buena o mala según la cantidad de agua que se le agregue a la mezcla (Quiroz, Salamanca, 2006).

La siguiente imagen muestra una curva típica de una relación A/C vs la resistencia a la compresión que esta tendría:

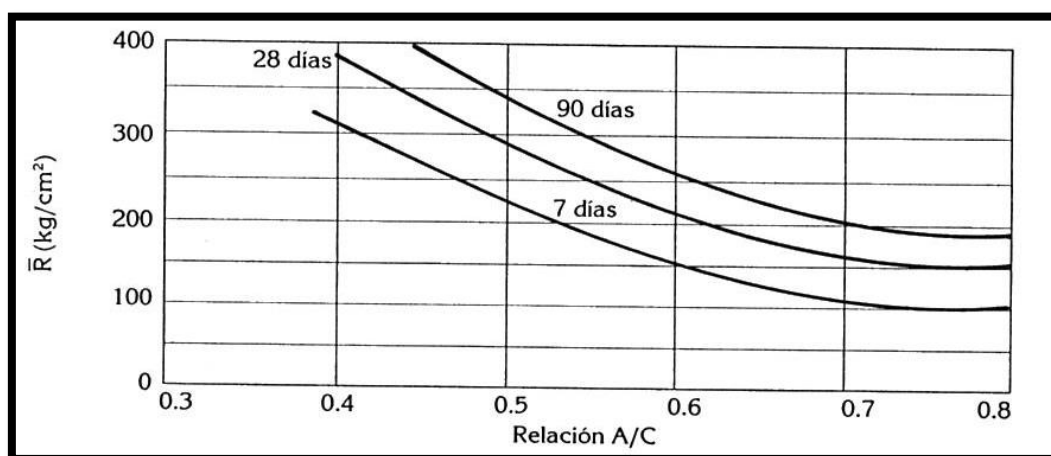


Figura 28. Curva típica de relación A/C y la resistencia del hormigón en diferentes días.

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Diego Sánchez de Guzmán.

2.2.3.2. Contenido de cemento.

Quiroz y Salamanca (2006), afirman: “La resistencia del hormigón aumenta con la proporción de cemento en la mezcla, hasta que se alcanza la resistencia del cemento o el agregado, según el que sea más débil” (p.118). Estos también afirman:

Los cementos finamente molidos resultan convenientes en cuanto a que aumentan la resistencia, en especial en los primeros días de envejecimiento, y también aumentan la trabajabilidad. Pueden no ser convenientes debido a que contribuyen al agrietamiento y tienen una resistencia menor a la congelación y el deshielo. (p.118)

Esto se podrá ver de mejor manera en la siguiente imagen:

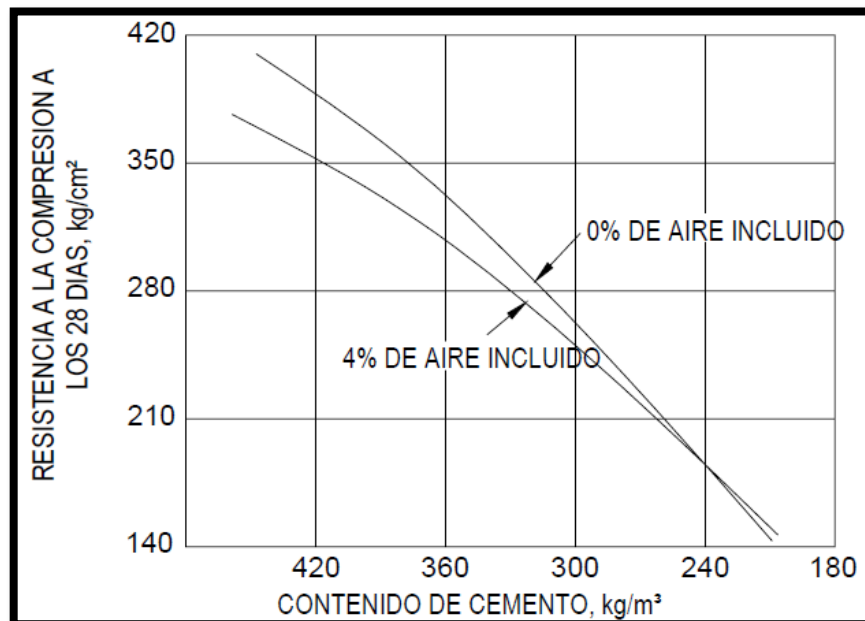


Figura 29. Gráfica de contenido de cemento vs resistencia a la compresión del cemento a los 28 días.

Fuente: Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de “Tecnología del Hormigón”. Mariela Quiroz Crespo y Lucas Salamanca Osuna.

2.2.3.3. Tipo de agregado.

De acuerdo con Sánchez (2001) la granulometría incide en los estados fresco y endurecido del hormigón, ya que al ser continua permite una máxima densidad en el estado endurecido lo que nos llevará a una mejor resistencia.

La forma y textura también son determinantes en el hormigón, ya que dependiendo de la superficie, ya que los agregados que son rugosos y rectangulares tienen la capacidad de adherirse entre sí en comparación con los agregados redondos y lisos. (Sánchez, 2001)

También la resistencia de las partículas que conforman los agregados va a influenciar la resistencia final de la mezcla, tal como dice Sánchez (2001):

La resistencia y rigidez de las partículas del agregado también inciden en la resistencia del concreto, ya que es muy diferente la resistencia y módulo de elasticidad de un agregado de baja densidad y poroso, a la de un agregado de baja porosidad y muy denso. (p.133)

2.2.3.4. Tamaño máximo del agregado grueso.

Quiroz y Salamanca (2006), afirman: “Conforme se aumenta el tamaño máximo del agregado en una mezcla de hormigón de un revenimiento dado, se disminuyen los contenidos de agua y de cemento, en kg/m³ de hormigón” (p.120), lo que nos quiere decir que mientras más agregado de mayor tamaño haya en la mezcla, mejor será su resistencia por motivo de la disminución de la relación A/C que esta tendrá.

Por otro lado tampoco se puede utilizar cualquier tamaño de agregado, ya que la cantidad de cemento que se debería usar también se vería afectada, ya que Sánchez (2001), afirma:

En términos generales, al utilizar tamaños mayores se reduce el área superficial y los vacíos en el agregado grueso. De manera que se requiere menos mortero (y por tanto menos cemento en una pasta de relación agua/cemento fija), para obtener una manejabilidad dada. Esto es válido para resistencias hasta del orden de $250 \frac{Kg}{cm^2}$, ya que investigaciones han indicado que el menor consumo de cemento para una resistencia dada se obtiene con agregados de menor tamaño. (p.133)

La siguiente imagen explica esto con una gráfica:

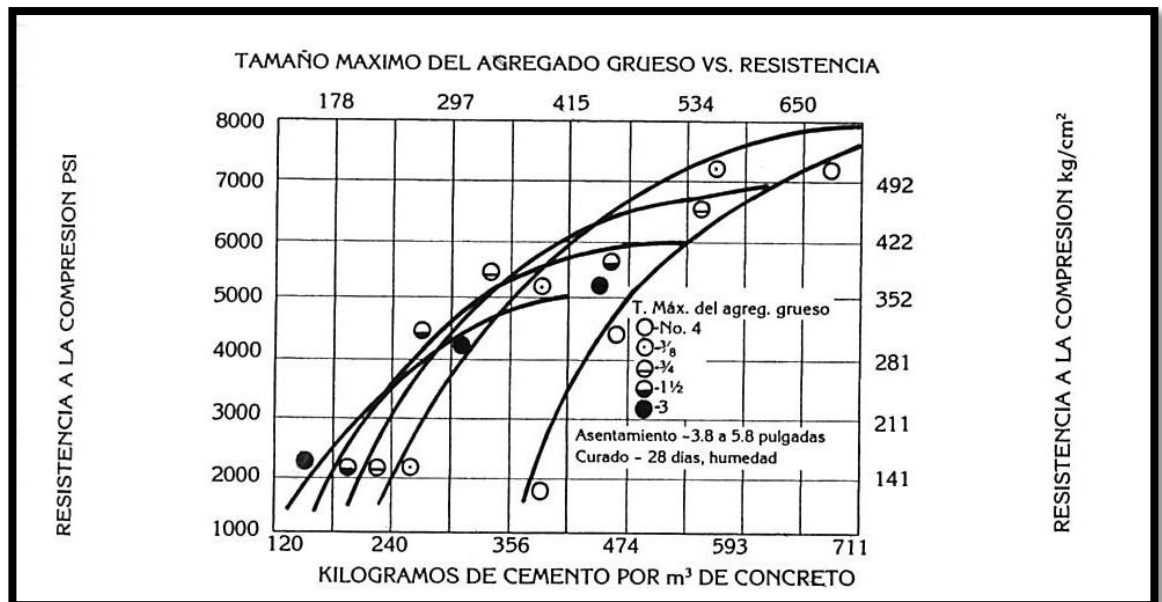


Figura 30. Ilustración de la resistencia del hormigón dependiendo del tamaño del agregado.

Fuente: Tecnología del concreto y mortero. Diego Sánchez de Guzmán.

2.2.4. Hormigón de alta resistencia.

El hormigón de alta resistencia en edificios altos no es algo nuevo en el mundo, ya que Gómez (2011), afirma: “El uso del Concreto de Alta Resistencia tiene poco más de 50 años, fue utilizado por primera vez en 1968 en las columnas inferiores del edificio Lake Point Tower en Chicago, Illinois, teniendo una resistencia de $520 \frac{Kg}{cm^2}$ ” (p.20). Gómez (2011) también nos dice que el ACI describe que el concreto de alta resistencia aquel que tiene una resistencia a la compresión mayor o igual a los $420 \frac{Kg}{cm^2}$.

2.2.4.1. Requisitos para que el hormigón sea de alta resistencia.

Gómez (2011) en su trabajo nos dice que estas podrían ser las razones, entre una o varias los componentes que pueden dar al hormigón la capacidad de tener una alta resistencia:

- El cemento debe ser del tipo 1 o 2 con alto contenido de silicato tricálcico con un módulo de finura alto.

- El agregado grueso debe tener una alta resistencia a la compresión con una baja porosidad, densidad alta y de tamaño pequeño; la superficie debe ser muy rugosa para tener una gran adherencia.
- El agregado fino debería tener muy poco material plástico fino, el cual el módulo de finura este cerca de 3.
- La relación A/C debería estar baja, entre 0.25 y 0.35. La revolvedora debería ser de alta velocidad y el empleo de agregados cementantes.
- El periodo de curado debería ser más largo de lo ordinario.

También se recomienda el uso de aditivos como podrían ser súper fluidificantes y retardantes. Se puede usar aditivos minerales, tales como:

- **Cenizas Volantes.**- Son un subproducto de los hornos que emplean carbón mineral como combustible para la generación de energía.
- **Escorias Molidas de Alto Horno.**- Son productos no metálicos producidos en un alto horno, producto del hierro.
- **Humo de Sílice.**- Es un material puzolánicos de alta reactividad y es un subproducto de la producción de metal silíceo o ferro-silíceo.

2.2.5. Encofrado y apuntalamiento.

2.2.5.1. Encofrados.

El encofrado es el molde que da forma, generalmente al hormigón, el cual OSALAN (2007) define: “Un Encofrado es un molde para contener el hormigón, generalmente armado, de una estructura ejecutada in situ” (p.15). También hay que tener en cuenta las características que deberían tener los encofrados, las cuales deberían ser resistentes a las cargas y que el hormigón ejerce sobre estos, evitando así las pérdidas de material.

También se tiene que tomar en cuenta el tipo de encofrado a usarse según la necesidad y del elemento que se vaya a construir, que según Faustino (1995) indica: “En un encofrado van a existir una serie de elementos, los cuales dependiendo de la función que cumplan dentro del conjunto, reciben diferentes nombre” (p.3). El siguiente esquema nos muestra los tipos de elementos y encofrados que el autor clasifica:

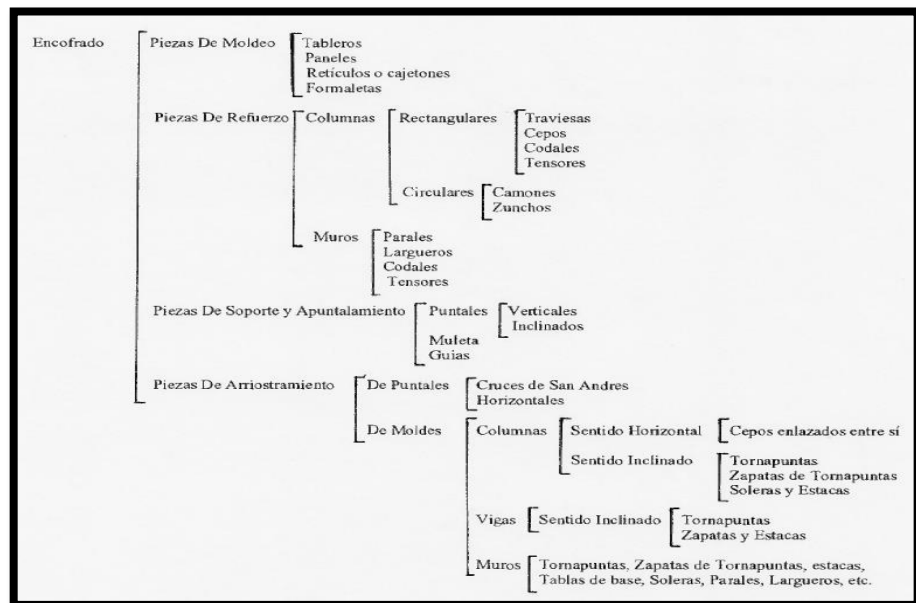


Figura 31. Esquema de los diferentes elementos que tienen los encofrados.

Fuente: Manual de Encofrados para Estructuras de Concreto Armado. Gabriel Faustino.

- **Piezas de moldeo.-** Este tipo de encofrado es el que interactúa directamente con el hormigón, dándole la forma al elemento, el cual se puede fabricar con madera, aglomerado, plástico, fibra metal, etc. (Faustino, 1995).
- **Piezas de refuerzo.-** Faustino (1995) define a las piezas de refuerzo como: “Su función es la de contrarrestar la presión ejercida por el concreto sobre las piezas de moldeo, evitando que éstas se deformen de una manera importante” (p.4). este tipo de encofrado tiene varios elementos que trabajan de forma uniforme, las cuales son:

- **Traviesas.-** Estos elementos van por encima de las piezas de moldeo, la cuales dan rigidez al encofrado, que a su vez impiden las deformaciones transversales, longitudinales o ambas (Faustino, 1995). La diferencia de un encofrado con traviesas se puede observar en la siguiente imagen:

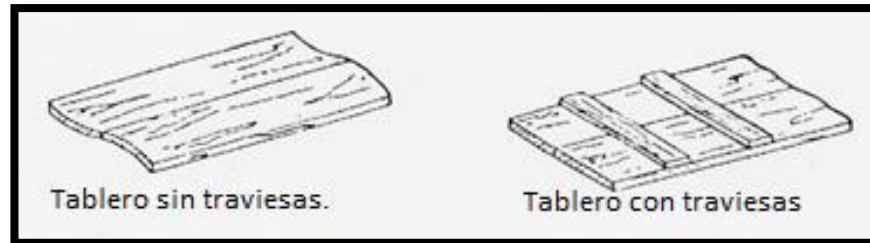


Figura 32. Diferencia entre tableros con y sin traviesas.

Fuente: Manual de Encofrados para Estructuras de Concreto Armado. Gabriel Faustino.

- **Cepos.-** Estos elementos se apoyan sobre las traviesas, las cuales se usan normalmente en encofrados para columnas, con el fin de reforzar y contrarrestar el empuje del concreto, y así evitar la flexión del encofrado, teniendo en cuenta que en la parte inferior de la columna debería colocarse los cepos más juntos, ya que el vaciado del hormigón genera esfuerzos que podrían separar los tableros (Faustino, 1995). Existen varios tipos de cepos los cuales son cepos de tabla sencilla, de tabla doble, de cuartón y tabla doble y cepos metálicos.

Los tipos de cepos se podrán apreciar de mejor manera en la siguiente imagen:

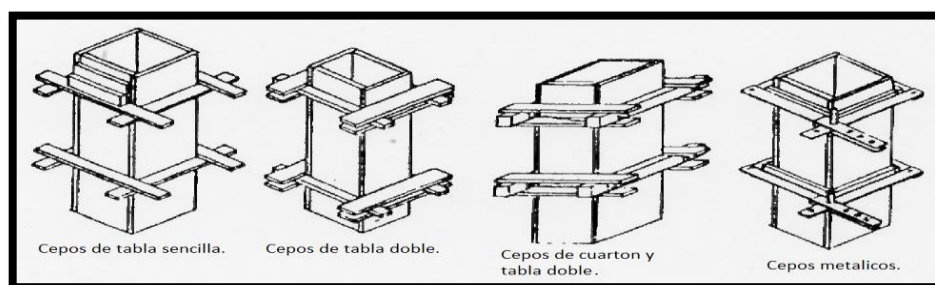


Figura 33. Distintos tipos de cepos.

Fuente: Manual de Encofrados para Estructuras de Concreto Armado. Gabriel Faustino.

Faustino (1995) explica que las columnas ligeras son aquellas que tienen un área transversal menos a 0.24 m^2 , las columnas normales son aquellas que tienen un área transversal igual a 0.24 m^2 y entiendo que las columnas de un área trasversal mayor a 0.24 m^2 se consideran pesadas, se pueden aplicar una separación de cepos diferente, las cuales se podrán expresar en la siguiente imagen:

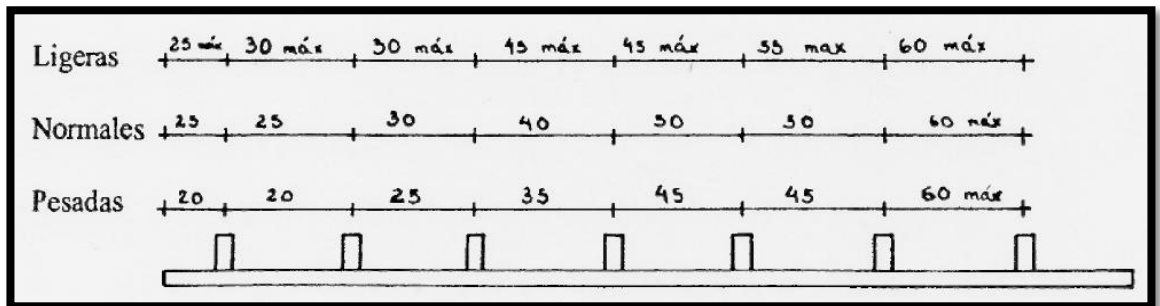


Figura 34. Separación de sepa según el tipo de columnas a construirse.

Fuente: Manual de Encofrados para Estructuras de Concreto Armado. Gabriel Faustino.

- **Codales.-** Según Faustino (1995) son piezas plásticas que van dentro del encofrado o fuera de este mismo, y sirven para separar los tableros de los encofrados la distancia que se necesite. Cuando están dentro del encofrado, estos elementos terminan atrapados en el concreto después de su vaciado.

La siguiente imagen ilustra los codales:

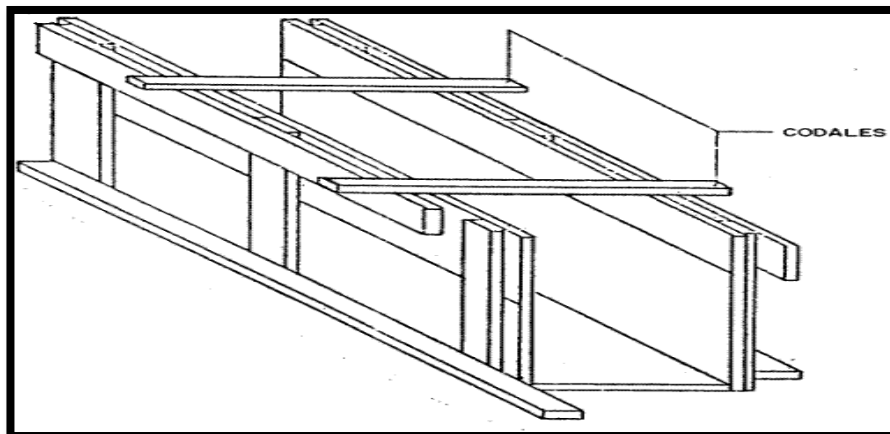


Figura 35. Ilustración de los codales.

Fuente: Internet.

- **Tensores.-** Faustino (1995) dice que estos elementos son de resistencia y trabajan con las traviesas, cepos y demás partes del encofrado, colocándolos con un codal en el interior de los tableros, y así evitar que se deformen debido a la tensión excesiva que estos podrían provocar.
- **Camones.-** Son maricos para las columnas y otros encofrados curvos, compuesta por dos tablas que se mantendrán fijas por medio de traviesas, además sabiendo que estos elementos no son de resistencia no se colocan a una corta separación, teniendo en cuenta que como mínimo se usaran 3 por columna (Faustino, 1995).

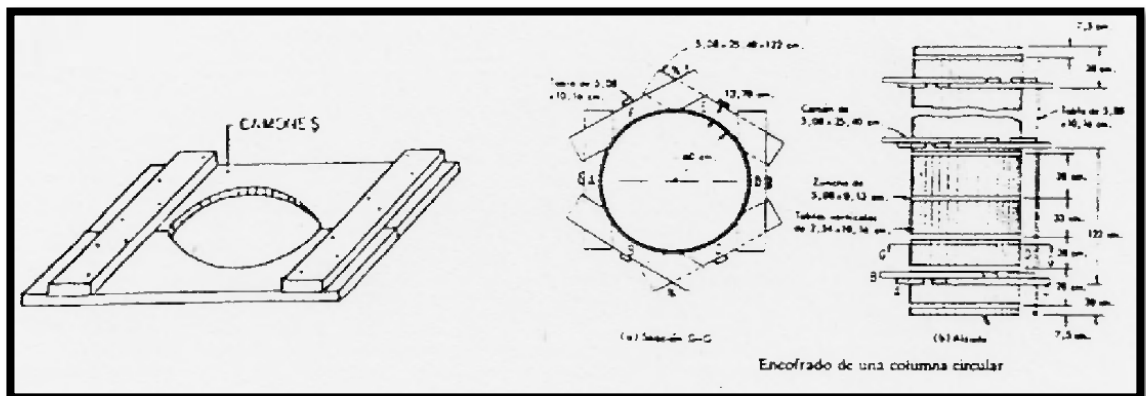


Figura 36. Representación gráfica de camones y su colocación en una columna.

Fuente: Manual de Encofrados para Estructuras de Concreto Armado. Gabriel Faustino.

2.2.5.2. Apuntalamiento.

Por otro lado el apuntalamiento es un sistema de postes, el cual Faustino (1995) nos explica que son soportes, los cuales sus funciones son de apoyo para los encofrados, soportando las cargas que se generarán por los moldes así como por el peso del hormigón. Estos son soportes pueden ser de diferentes tipos:

- **Puntales.-** Faustino (1995) nos explica: “Son elementos esbeltos de madera o metal, que se orientan verticalmente. Se utilizan para transmitir las cargas a un estrato firme. Soportan fuerza axial. Se utilizan principalmente en losas y vigas” (p.14).

Normalmente cuando se quiere soportar vigas se le coloca dos piezas de arrostramiento que lo refuerzan. Los apuntalamientos se mostrarán en la siguiente imagen:



Figura 37. Foto de apuntalamientos.

Fuente: Internet.

- **Guías.-** Faustino (1995) explica que son perfiles que metálicos o cuartones que se colocan, generalmente, formando una cuadrícula en la que descansará el molde para el vaciado de las losas. Estos elementos se colocan a una separación de entre 40 y 60 cm, dividiéndose en guías superiores e inferiores. Esto se vera de mejor manera en la siguiente imagen:

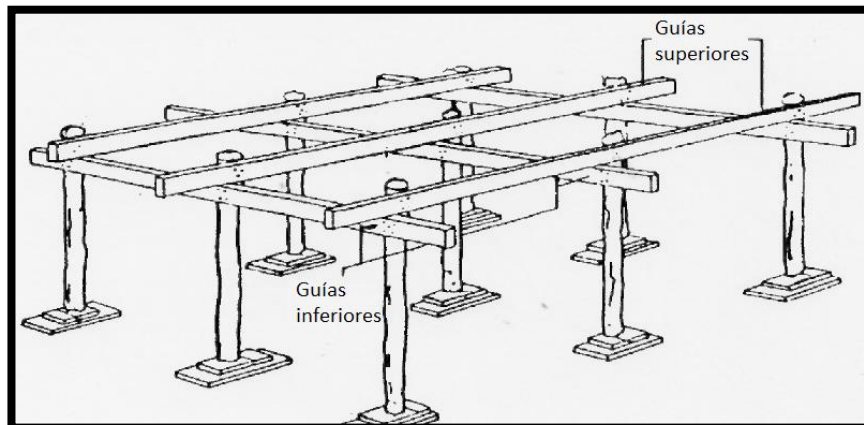


Figura 38. Esquema de las guías en una cuadrícula, guías superiores e inferiores.

Fuente: Manual de Encofrados para Estructuras de Concreto Armado. Gabriel Faustino.

3. Capítulo 3. Desarrollo.

3.1. Elementos existentes.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el edificio con el que se va a realizar la comparación será la Torre The Point, edificio que tiene una estructura que es formada principalmente por muros cortantes, que son los que controlarán las derivas de la estructura. Aún así, se necesitará tomar en cuenta todos los elementos estructurales que conforman la torre, para poder sacar el mejor provecho posible al momento de buscar la disminución de los elementos, y así tener un mejor resultado en el ahorro de la estructura.

Las características principales para el desarrollo de este trabajo serán el módulo de elasticidad del hormigón, la resistencia a la compresión de este mismo y el dimensionamiento de los elementos estructurales (muros cortantes, columnas, vigas, losas) para poder hacer la comparación entre el hormigón convencional y el de alta resistencia.

La Torre The Point es un edificio de gran altura, que tiene 36 pisos, con una altura de 137 m desde la base hasta la última planta, que tiene la particularidad de que en cada la losa de cada piso fueron rotando para tomar la forma que tiene, como de un tornillo, dándole mejor aspecto a la estructura.

3.1.1. Muros.

Los muros se componen a su vez por dos columnas de muros, con un hormigón de resistencia $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$. Los muros M1 de un espesores de 60 cm entre la planta baja hasta el piso 9, y desde este mismo piso hasta el 19 un espesor de 50 cm y desde el este piso hasta la azotea con 40 cm de espesor, los cuales están unidos entre sí con vigas de acople; los muros M2 son de un espesor de 30 cm que tienen la forma de dos c, los cuales van desde la planta baja hasta la azotea del edificio.

3.1.1.1. Tablas de volúmenes de muros del edificio.

Los elementos que se presentarán en la siguiente tabla, fueron obtenidos a partir de los planos estructurales proporcionados por el Ing. Carlos León, el cual fue el autor intelectual de los mismos.

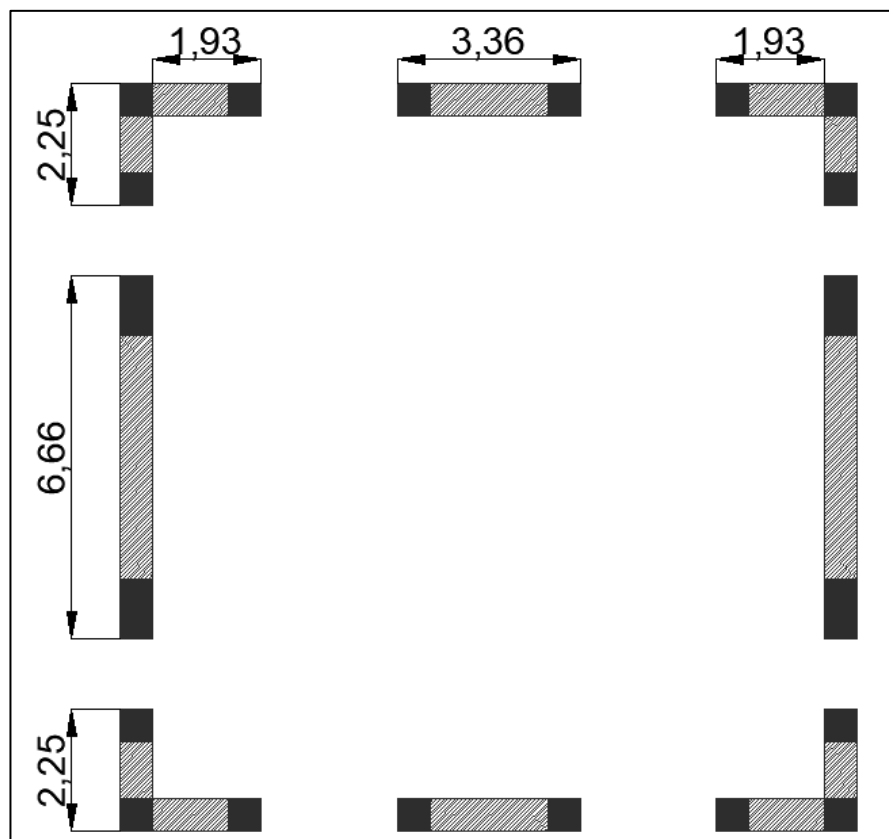
Al tener una altura de 4.2 m de altura por piso, podremos obtener los volúmenes de los muros, con las áreas de cada uno de los espesores de los muros, serían los siguientes:

Tabla 1. Áreas de los muros M1.

Pisos	e de muro (m)	Área del muro M1 (m ²)
De la PB al P9	0,6	22,06
Del P9 al P19	0,5	18,38
Del P19 al P36	0,4	14,71

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 2. Vista en planta de los muros M1.



Fuente: Plano estructural del Ing. Carlos León Rodríguez.

Estas áreas se pueden multiplicar por la altura de piso y a su vez por la cantidad de pisos que existen dependiendo del espesor del muro, esto nos daría como resultado lo siguiente:

Tabla 3. Volúmenes de muros M1.

Pisos	Cantidad de pisos	Área del muro M1 (m ²)	Volúmenes de muros (m ³)
De la PB al P9	9	22,06	833,72
Del P9 al P19	10	18,38	771,81
Del P19 al P36	17	14,71	1050,14

Fuente: Manuel Caamaño.

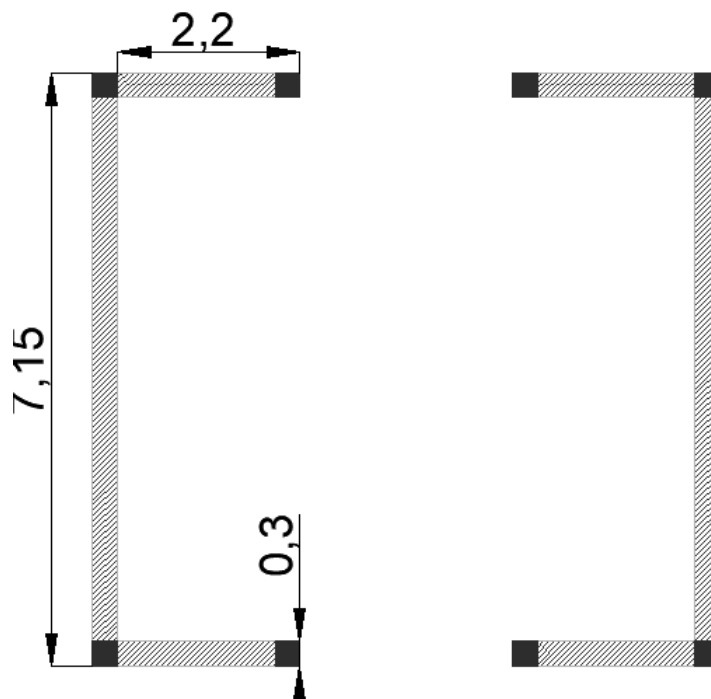
Los muros M2 tienen la particularidad que el muro, a lo largo de la edificación, consta del mismo espesor, que es de 0.3 m, con esto nos quedaría un volumen total de:

Tabla 4. Volúmenes de muros M2.

Pisos	Cantidad de pisos	Área del muro M2 (m ²)	Volúmenes de muros (m ³)
De la PB al P36	36	6,93	1047,69

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 5. Vista en planta de los muros M2.



Fuente: Plano estructural del Ing. Carlos León Rodríguez.

Total de volumen de muros: 3703,36 m³

3.1.2. Columnas.

Este edificio cuenta principalmente con un total de 16 columnas circulares desde la planta baja, hasta la azotea de este mismo, las cuales tienen un diámetro de: 120 cm desde la planta baja hasta el piso 6, 110 cm hasta el piso 10, 100 cm hasta el 14, 90 cm hasta el piso 17 y de 80 cm hasta la corona de la torre; desde la planta baja hasta el piso 9 existen 4 columnas extras, 1 de 80 cm de diámetro y 3 rectangulares de 50x80 cm.

3.1.2.1. Tabla de volúmenes de columnas del edificio.

Tabla 6. Tabla de volúmenes totales por piso y volumen total de columnas.

Pisos	Volumen Total de Columnas por Piso	
De PB al P6	498,92	m3
Del P6 al P10	276,91	m3
Del P10 al P14	211,12	m3
Del P14 al P17	128,25	m3
Del P17 a la Corona	675,57	m3
Volumen Total de Columnas	1790,75	m3

Fuente: Manuel Caamaño.

3.1.3. Vigas y losas.

En su mayoría, las vigas de este edificio tienen un dimensionamiento de 40x80 cm, las cuales son las que principalmente soportan las cargas transmitidas desde la losa, la cual es de una dirección con una lámina de hormigón de 5 cm y nervios de 9x25 separados cada 70 cm.

3.1.3.1. Tabla de volúmenes de vigas del edificio.

Tabla 7. Tabla de volúmenes totales por piso.

Volúmenes totales de vigas por piso	
Pb	116,85 m3
P1	136,07 m3
P2 y P3	218,54 m3
P4 y P5	218,54 m3
P6 y P7	220,85 m3
P8	118,14 m3
P9	102,04 m3
P10 y P11	202,82 m3
P12 y P14	200,53 m3
P15 y P16	198,48 m3
P17 y P18	198,09 m3
P19 y P20	200,91 m3
P21 y P22	203,24 m3
P23 y P24	205,26 m3
P25 y P26	204,52 m3
P27 y P28	202,23 m3
P29 y P30	199,63 m3
P31 y P32	197,98 m3
P33 y P34	199,82 m3
P35	103,44 m3
P36	107,32 m3

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 8. Tabla de volúmenes totales de vigas de acople por piso.

Volúmenes totales de vigas de acople por piso	
Viga de Acople PB	90,76 m3
Viga de Acople P1	145,21 m3
Vigas de Acople del P2 al P9	76,84 m3
Vigas de Acople del P10 al P20	76,84 m3
Vigas de Acople del P21 al P26	76,84 m3
Vigas de Acople del P27 al P34	76,84 m3
Vigas de Acople del P35 y P36	69,58 m3

Fuente: Manuel Caamaño.

Total de volumen de Vigas = 4368,19 m3

3.1.3.2. Tabla de volúmenes de losas del edificio.

Tabla 9. Tabla de volúmenes de losas por piso y total de volumen de losas.

Pisos	Características	Losa
PB	Dimensión de nervios (cm)	10x25
	Dimensión de losa (cm)	5x100
	Área en Planta (m2)	877,96
	Volumen (m3)	87,80
	Volumen Total	87,80
P1	Dimensión de nervios (cm)	10x25
	Dimensión de losa (cm)	5x100
	Área en Planta (m2)	630,97
	Volumen (m3)	63,10
	Volumen Total	63,10
P2 al P8	Dimensión de nervios (cm)	10x25
	Dimensión de losa (cm)	5x100
	Área en Planta (m2)	567,873
	Volumen (m3)	56,79
	Volumen Total	397,51
P9	Dimensión de nervios (cm)	10x25
	Dimensión de losa (cm)	5x100
	Área en Planta (m2)	586,55
	Volumen (m3)	58,66
	Volumen Total	58,66
P10 al P34	Dimensión de nervios (cm)	10x25
	Dimensión de losa (cm)	5x100
	Área en Planta (m2)	574,01
	Volumen (m3)	57,40
	Volumen Total	1435,03
P35	Dimensión de nervios (cm)	10x25
	Dimensión de losa (cm)	5x100
	Área en Planta (m2)	549,85
	Volumen (m3)	54,99
	Volumen Total	54,99
P36	Dimensión de nervios (cm)	10x25
	Dimensión de losa (cm)	5x100
	Área en Planta (m2)	380,03
	Volumen (m3)	38
	Volumen Total	38

Fuente: Manuel Caamaño.

Total de Volumen de Losas: 2135,07 m3

3.2. Diferencias de módulos de elasticidad entre el hormigón de alta resistencia y resistencia convencional.

Según la NEC 2015 el módulo de elasticidad es la relación entre el esfuerzo normal y la deformación unitaria para esfuerzos de tracción o compresión menor al esfuerzo de fluencia del elemento, el cual es usado para el diseño de los elementos estructurales normalmente calculado con la ecuación del ACI 318S-14, que está relacionado con el $f'c$ y el peso unitario del material, que tiene que ser de un peso denominado normal, en el rango de 1440 y 2560 Kg/m³.

3.2.1. Módulo de elasticidad convencional.

La fórmula para poder calcular el Modulo de Elasticidad (E_c) del hormigón según el ACI 318S-14 es la siguiente:

$$E_c = w_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f'c} \quad (\text{en Mpa})$$

Pero esto se puede simplificar a:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c} \quad (\text{en Mpa})$$

Esta fórmula es la comúnmente usada para poder realizar los trabajos de diseño estructural, y debido a esto no es diferente al caso del diseño del edificio que estamos comparando. Para este caso el resultado tuvo que ser el siguiente:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$$

$$F'c = 35 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{35}$$

$$E_c = 27805.58 \text{ MPa}$$

3.2.2. Módulo de elasticidad real.

Para poder realizar la disminución de los elementos estructurales, como se busca en esta trabajo, se necesitará hacer un aumento de esta característica del material, tomando como base la resistencia, la cual será de un $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$. Habiendo realizado la investigación en los laboratorios de Holcim, se logró un mezclado especial para poder llegar a una resistencia tan alta como la ya mencionada, teniendo como dosificaciones para diferentes días las siguientes:

Tabla 10. Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ 3d						
Material	Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
	x m3	%Absorción	%Humedad	x m3	x m3	22 lt
	Kg			Kg	Kg	Kg
Cemento	620,00	---	---	620,00	620,00	13,64
Cemento	0,00	---	---	0,00	0,00	0,00
Piedra 1	0,00	2,0	0,9	0,00	0,00	0,00
Piedra 2	870,00	2,2	2,9	851,27	875,96	19,27
Piedra 3	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Arena 1	687,00	2,6	3,1	669,39	690,15	15,18
Arena 2	169,00	2,7	9,2	164,54	179,66	3,95
Arena 3	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Agua	137,00	---	---	177,79	117,23	2,58

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 11. Aditivos para Hormigón de $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

	%	Kg
Aditivo Superplastificante	0,80	4,96
Aditivo Acelerante	0,80	4,96

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 12. Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.

Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ 7d						
Material	Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
	x m3	%Absorción	%Humedad	x m3	x m3	22 lt
	Kg			Kg	Kg	Kg
Cemento	600,00	---	---	600,00	600,00	13,20
Cemento	0,00	---	---	0,00	0,00	0,00
Piedra 1	0,00	2,0	0,9	0,00	0,00	0,00
Piedra 2	870,00	2,2	2,9	851,27	875,96	19,27
Piedra 3	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Arena 1	687,00	2,6	3,1	669,39	690,15	15,18
Arena 2	169,00	2,7	9,2	164,54	179,66	3,95
Arena 3	0,00	0,0	0,0	0,00	0,00	0,00
Agua	157,00	---	---	197,79	137,23	3,02

Fuente: El autor.

Tabla 13. Aditivos para Hormigón de $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.

	%	Kg
Aditivo superplastificante	0,80	4,80
Aditivo Acelerante	0,80	4,80

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 14. Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días

<i>Dosificación para $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ 28d</i>						
Materiales	Pesos S.S.S	Condiciones de los Materiales		Pesos secos	Pesos reales	Batch
	x m3			x m3	x m3	22 lt
	Kg	%Absorción	%Humedad	Kg	Kg	Kg
Cemento	560,00	---	---	560,00	560,00	12,32
Cemento	0,00	---	---	0,00	0,00	0,00
Piedra 1	0,00	2,00	0,90	0,00	0,00	0,00
Piedra 2	870,00	2,20	2,90	851,27	875,96	19,27
Piedra 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Arena 1	720,00	2,63	3,10	701,55	723,30	15,91
Arena 2	180,00	2,71	9,19	175,25	191,36	4,21
Arena 3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agua	153,00	---	---	194,93	132,39	2,91

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 15. Aditivos para Hormigón de $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.

	%	Kg
Aditivo superplastificante	0,80	4,48
Aditivo Acelerante	0,80	4,48

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Con estas dosificaciones se realizaron varios ensayos de resistencia y de módulo de elasticidad, para comparar que estas mismas dieran la resistencia deseada y verificar si los módulos de elasticidad eran similares a los calculados con la fórmula del ACI 318S-14, las cuales deberían ser de la siguiente manera:

$$E_c = 4700 \sqrt{f'c}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{60}$$

$$E_c = 36406.04 \text{ MPa}$$

Una vez culminados los ensayos, se pudo notar que las resistencias eran las deseadas, pero los resultados del ensayo ASTM C-469 para módulos de elasticidad del hormigón estuvieron alejados de la realidad, debido a la diferencia que existe entre el módulo teórico y el módulo real de los elementos, obteniendo los siguientes resultados:

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0,000050}$$

Figura 39. Fórmula para obtener el Modulo de Elasticidad del hormigón.

Fuente: ASTM Designación: C 469 – 94.

E = Modulo de elasticidad.

S1 = Esfuerzo para el 40% de la carga última.

S2 = Esfuerzo para una deformación longitudinal de 50 millonésimos.

ϵ_2 = Deformación longitudinal para S2.

- **Elemento 1.**

Fecha moldeo:	6/1/2020
Fecha ensayo:	9/1/2020
Muestra:	Elemento 1
Edad:	3 días
Diámetro:	101 mm
Longitud:	202 mm
Resistencia máx.:	62,0 MPa
Carga 40 % :	198,6 KN
Resistencia (f' c) 40% :	24,8 MPa

Tabla 16. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 1.

Lectura 1	Lectura 2	Promedio Lectura	Carga	Promedio
			KN	Deformación mm
0	0	0,0	0	0,0000E+00
15	15	15,0	21	8E-03
41	38	39,5	40	2E-02
90	90	90,0	80	5E-02
130	128	129,0	120	6E-02
170	174	172,0	160	9E-02
208	205	206,5	195	1E-01

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 17. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 1.

Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,00	0,00000
2,6	0,00004
5,0	0,00010
10,0	0,00023
15,0	0,00032
20,0	0,00043
24,3	0,00052

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

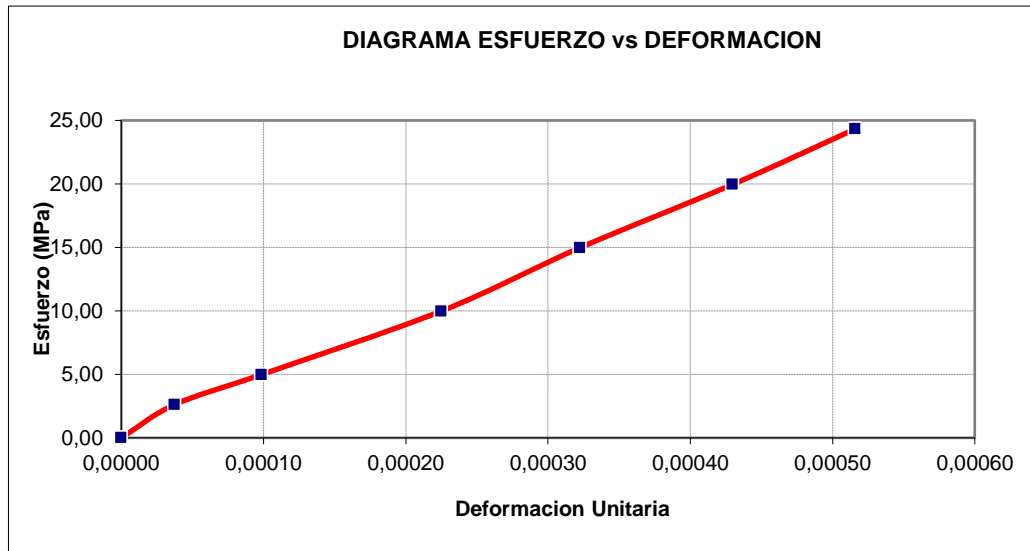


Figura 40. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 1.

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

$$E_1 = \frac{24,3 - 2,6}{0,00052 - 0,00005}$$

$$E_1 = 46579,82 \text{ Mpa}$$

- **Elemento 2.**

Fecha moldeo:	6/1/2020
Fecha ensayo:	9/1/2020
Muestra:	Elemento 2
Edad:	3 días
Diámetro:	101 mm
Longitud:	202 mm
Resistencia máx.:	60,1 MPa
Carga 40 % :	198,6 KN
Resistencia (f' c) 40% :	24,0 MPa

Tabla 18. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 2.

Lectura 1	Lectura 2	Promedio Lectura	Carga KN	Promedio Deformación mm
0	0	0,0	0	0,0000E+00
15	15	15,0	19	8E-03
40	43	41,5	40	2E-02
85	86	85,5	80	4E-02
132	130	131,0	120	7E-02
175	174	174,5	160	9E-02
210	210	210,0	195	1E-01

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 19. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 2.

Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,00	0,00000
2,3	0,00004
5,0	0,00010
10,0	0,00021
15,0	0,00033
20,0	0,00044
24,3	0,00053

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

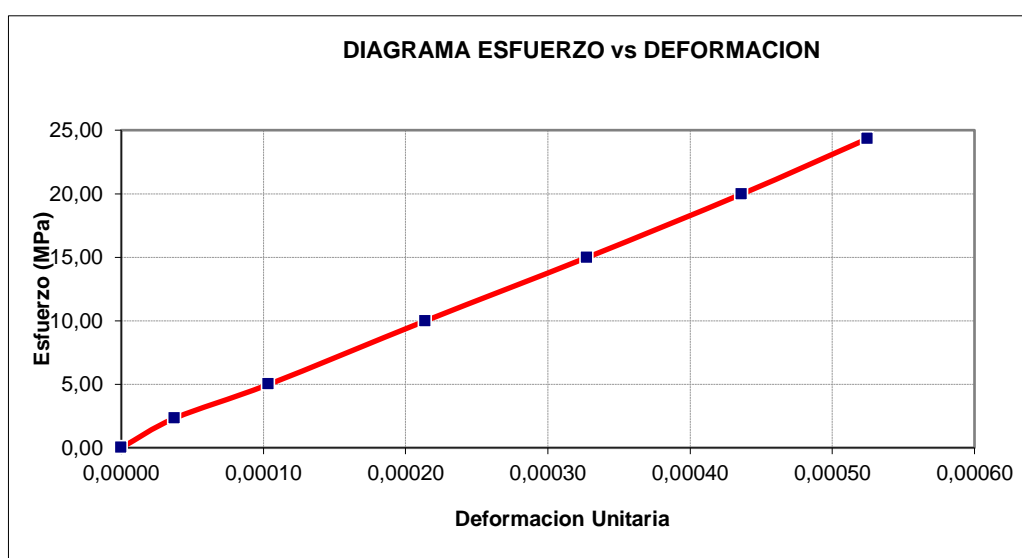


Figura 41. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 2.

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

$$E_2 = \frac{24,3 - 2,6}{0,00053 - 0,00005}$$

$$E_2 = 46352,4 \text{ Mpa}$$

- **Elemento 3.**

Proyecto	Trabajo de Resistencia
Fecha moldeo:	6/1/2020
Fecha ensayo:	13/1/2020
Muestra:	Elemento 3
Edad:	7 días
Diámetro:	101 mm
Longitud:	202 mm
Resistencia máx.:	62,0 MPa
Carga 40 % :	195,0 KN
Resistencia (f' c) 40% :	24,8 MPa

Tabla 20. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 3.

Lectura 1	Lectura 2	Promedio	Carga	Promedio
		Lectura	KN	Deformación mm
0	0	0,0	0	0,0000E+00
15	15	15,0	20	8E-03
34	36	35,0	40	2E-02
76	78	77,0	80	4E-02
118	120	119,0	120	6E-02
164	164	164,0	160	8E-02
206	206	206,0	195	1E-01

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 21. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 3.

Esfuerzo	Deformación
MPa	Unitaria
0,00	0,00000
2,5	0,00004
5,0	0,00009
10,0	0,00019
15,0	0,00030
20,0	0,00041
24,3	0,00052

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

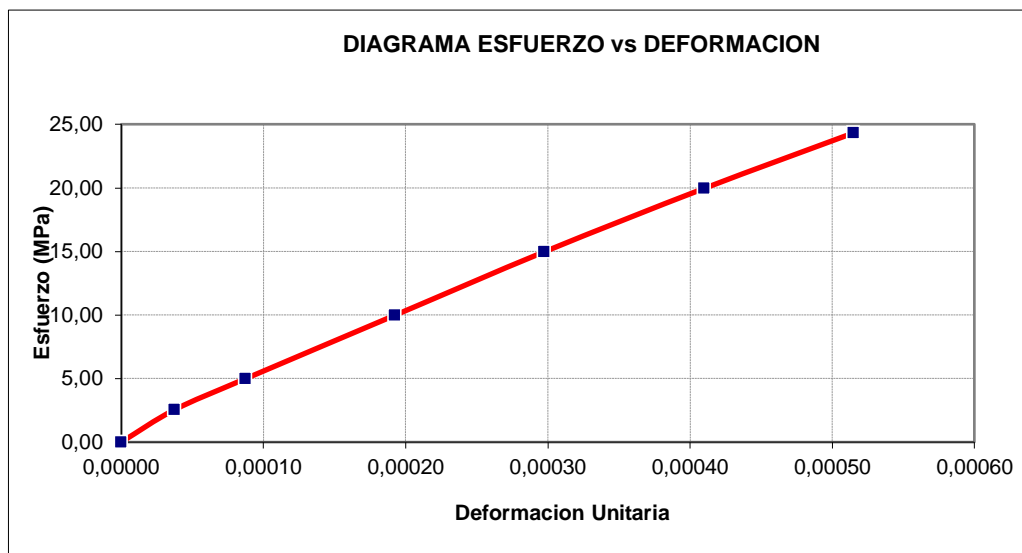


Figura 42. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 3.

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

$$E_3 = \frac{24,3 - 2,5}{0,00052 - 0,00005}$$

$$E_3 = 46866,08 \text{ Mpa}$$

- **Elemento 4.**

Proyecto	Trabajo de Resistencia
Fecha moldeo:	6/1/2020
Fecha ensayo:	20/1/2020
Muestra:	Elemento 4
Edad:	7 días
Diámetro:	101 mm
Longitud:	202 mm
Resistencia máx.:	62,0 MPa
Carga 40 % :	198,6 KN
Resistencia (f'c) 40% :	24,8 MPa

Tabla 22. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 4.

Lectura 1	Lectura 2	Promedio Lectura	Carga	Promedio
			kN	Deformación mm
0	0	0,0	0	0,0000E+00
15	15	15,0	16	8E-03
40	40	40,0	40	2E-02
84	84	84,0	80	4E-02
126	126	126,0	120	6E-02
166	166	166,0	160	8E-02
202	204	203,0	195	1E-01

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 23. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 4.

Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,00	0,00000
1,9	0,00004
5,0	0,00010
10,0	0,00021
15,0	0,00032
20,0	0,00042
24,3	0,00051

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

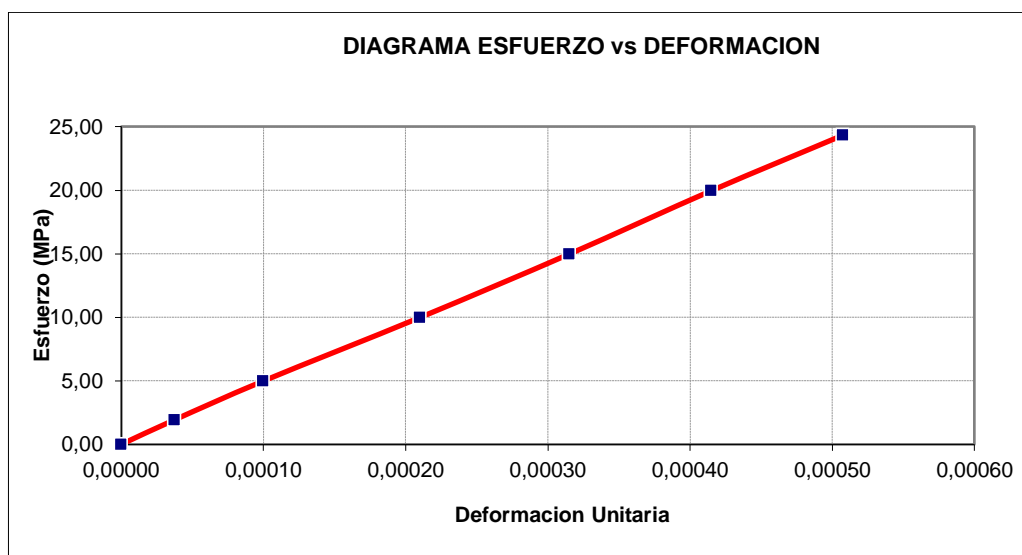


Figura 43. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 4.

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

$$E_4 = \frac{24,3 - 1,9}{0,00051 - 0,00005}$$

$$E_4 = 48971,2 \text{ Mpa}$$

- **Elemento 5.**

Proyecto	Trabajo de Resistencia
Fecha moldeo:	6/1/2020
Fecha ensayo:	3/2/2020
Muestra:	Elemento 5
Edad:	28 días
Diámetro:	101 mm
Longitud:	202 mm
Resistencia máx.:	61,0 MPa
Carga 40 % :	198,6 KN
Resistencia (f' c) 40% :	24,4 MPa

Tabla 24. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 5.

Lectura 1	Lectura 2	Promedio Lectura	Carga	Promedio
			kN	Deformación mm
0	0	0,0	0	0,0000E+00
15	15	15,0	22	8E-03
40	36	38,0	40	2E-02
81	77	79,0	80	4E-02
125	125	125,0	120	6E-02
171	165	168,0	160	8E-02
206	198	202,0	195	1E-01

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 25. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 5.

Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,00	0,00000
2,8	0,00004
5,0	0,00010
10,0	0,00020
15,0	0,00031
20,0	0,00042
24,3	0,00051

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

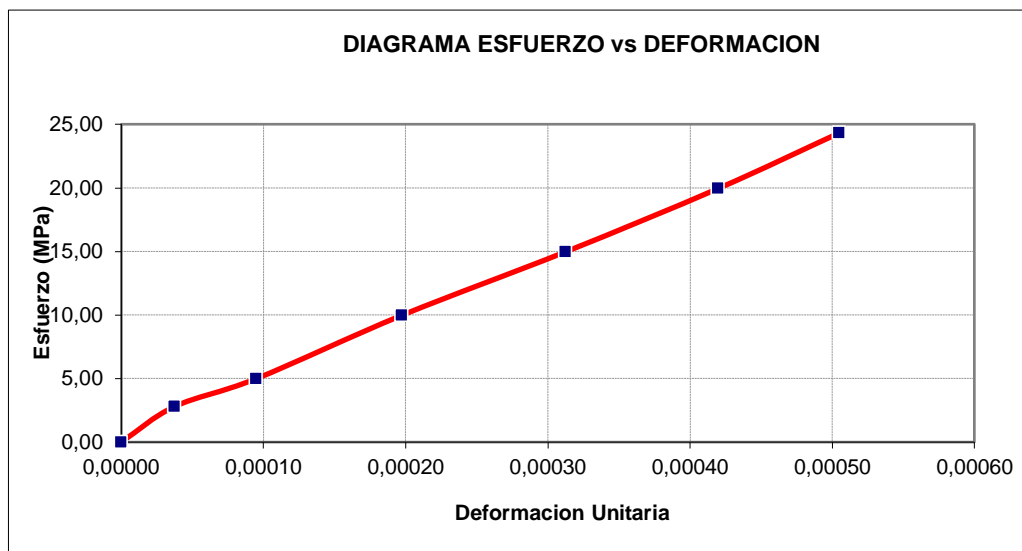


Figura 44. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 5.

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

$$E_5 = \frac{24,3 - 2,8}{0,00051 - 0,00005}$$

$$E_5 = 47347,47 \text{ Mpa}$$

• Elemento 6.

Proyecto	Trabajo de Resistencia
Fecha moldeo:	6/1/2020
Fecha ensayo:	3/2/2020
Muestra:	Elemento 6
Edad:	28 días
Diámetro:	101 mm
Longitud:	202 mm
Resistencia máx.:	61,7 MPa
Carga 40 % :	198,6 KN
Resistencia (f' c) 40% :	24,7 MPa

Tabla 26. Datos tomados de lectura de prensa del elemento 6.

Lectura 1	Lectura 2	Promedio	Carga	Promedio Deformación
		Lectura	kN	mm
0	0	0,0	0	0,0000E+00
15	15	15,0	25	8E-03
44	42	43,0	40	2E-02
85	85	85,0	80	4E-02
130	131	130,5	120	7E-02
170	170	170,0	160	9E-02
205	204	204,5	195	1E-01

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

Tabla 27. Cuadro de Esfuerzos y deformaciones unitarias para la gráfica del elemento 6.

Esfuerzo MPa	Deformación Unitaria
0,00	0,00000
3,1	0,00004
5,0	0,00011
10,0	0,00021
15,0	0,00033
20,0	0,00043
24,3	0,00051

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

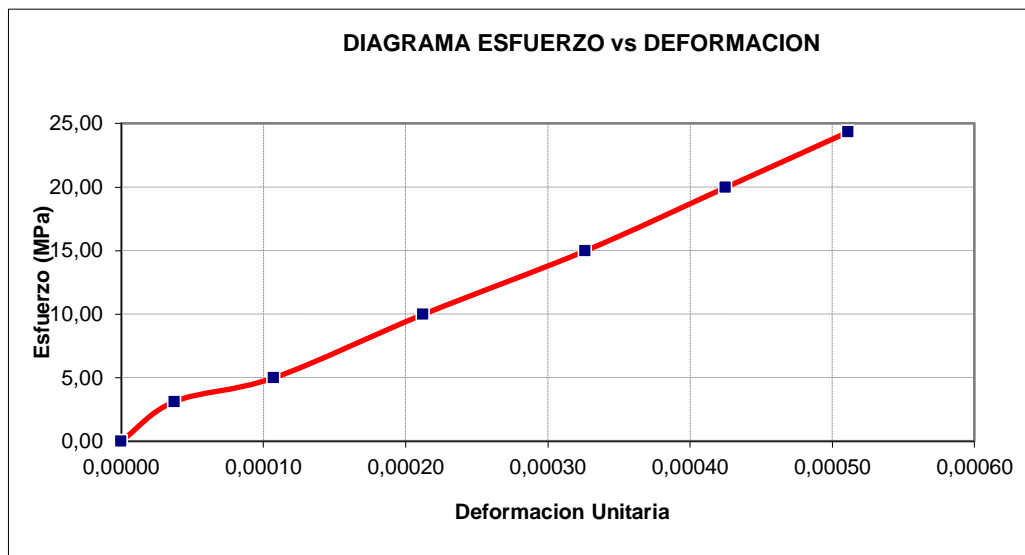


Figura 45. Diagrama Esfuerzo vs Deformación del elemento 6.

Fuente: Manuel Caamaño en colaboración con Holcim.

$$E_6 = \frac{24,3 - 3,1}{0,00051 - 0,00005}$$

$$E_6 = 46002,3 \text{ Mpa}$$

Con los módulos obtenidos a diferentes días, se pudo demostrar que la fórmula del ACI no necesariamente funciona para hormigones de alta resistencia, por lo cual se propondrá un módulo más real para este caso, el cual se obtendrá por medio un promedio de los promedios de todos los módulos obtenidos en laboratorio a diferentes días, el cual será el siguiente:

Tabla 28. Promedio de módulos de elasticidad a diferentes días.

	E (Mpa)	Promedios
3d	46579,82	46466,11
	46352,41	
7d	46866,08	47918,64
	48971,20	
28d	47347,47	46674,90
	46002,34	

Fuente: Manuel Caamaño.

Con los promedios obtenidos de los elementos de la misma edad, sean 3, 7 y 28 días, se promedian para sacar el módulo que se usará, el cual se verá en la siguiente tabla:

Tabla 29. Valores promedio de los módulos de diferentes días

K	Promedios K
3d	46466,11
7d	47918,64
28d	46674,90
Promedio	47019,89

Fuente: Manuel Caamaño.

Con el resultado obtenido, podremos realizar los redimensionamientos, el cual será usado como:

$$E_c = 47019,89 \text{ MPa}$$

3.3. Propuesta del nuevo dimensionamiento.

El módulo de elasticidad de este tipo de hormigón, junto con su alta resistencia, nos brindan lo necesario para poder dimensionar nuevamente La Torre The Point, pudiendo disminuir sus secciones con un criterio de diseño aceptable para el caso.

3.3.1. Redimensionamiento de muros y columnas.

Para el redimensionamiento de los muros y columnas usaremos el criterio de la rigidez de un elemento y se mide teóricamente con la siguiente fórmula:

$$R = \frac{KL}{EI}$$

Como los elementos del edificio ya están diseñados, nosotros queremos llegar al mismo valor de R, pero para este análisis como el único valor que se demostró que varía por el aumento de la resistencia es precisamente el módulo de elasticidad, se podrá hacer una disminución de la inercia de los elementos.

Para un elemento b x h, la inercia es fácilmente calculable como:

$$I = \frac{bh^3}{12}$$

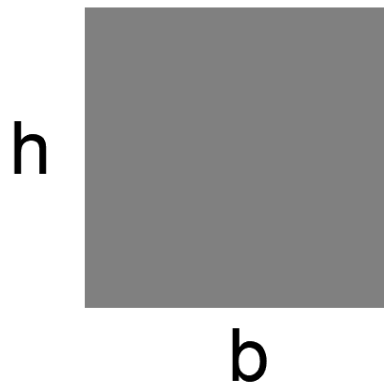


Figura 46. Elemento b x h.

Fuente: Manuel Caamaño.

A los elementos huecos, se tiene que eliminar la inercia faltante del teniendo como resultado lo siguiente:

$$I = \frac{BH^3}{12} - \frac{bh^3}{12}$$

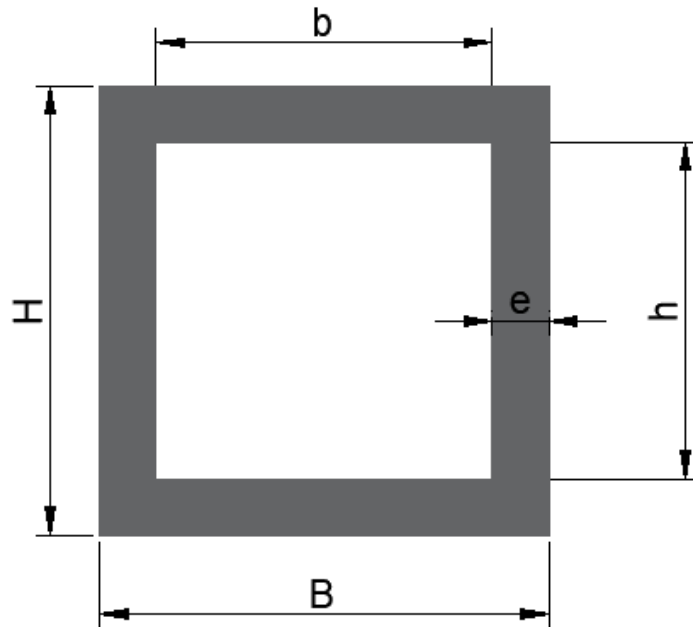


Figura 47. Elemento $B \times H$ hueco.

Fuente: Manuel Caamaño.

Para evitar que el redimensionamiento de los elementos se tenga que hacer en una escala cubica, solamente se modificará el e , ya que los valores b y h dependen del espesor, y este caso es parecido a los muros cortantes M1 y M2 del edificio The Point.

Ahora bien, para poder saber cuánto se podrá disminuir el espesor, se deberá saber en qué porcentaje aumento el módulo de elasticidad, ya que se usará este valor para el nuevo espesor:

$$E_{350} = 27805.58 \text{ MPa}$$

$$E_{600} = 47019.89 \text{ MPa}$$

Para saber qué porcentaje de I que se le puede quitar a los elementos:

$$\frac{E_{350}}{E_{600}} = \frac{27805.58}{47019.89} = 0,5914$$

Sabiendo esto, también se podrá hacer una comparación de resistencias para poder quedarse en un rango bastante aceptable de disminución, ya que, mientras módulo se relaciona con la inercia, la resistencia se puede relacionar con el área.

$$\frac{F'c_{350}}{F'c_{600}} = \frac{350}{600} = 0,5833$$

Con esto se puede decir que un rango de disminución aceptable de estos elementos sería hasta un 40% del área e inercia de los elementos, pero aun así, se propone solamente una disminución del 35%, para poder estar en un rango seguro y evitar el tener que revisar resistencias, ya que hay que recordar que la disminución de área de elementos también influye al peso del edificio, y sumando el aumento de resistencia, no será necesario revisar esta característica.

Para los muros M1 la disminución de los espesores queda de la siguiente manera:

Tabla 30. Propuesta de espesores para muros M1.

	e real (m)	Disminución del 35%	e propuesto (m)
De la PB al P9	0,6	0,39	0,4
Del P9 al P19	0,5	0,325	0,35
Del P19 al P36	0,4	0,26	0,25

Fuente: Manuel Caamaño.

Ahora bien, en la realidad del muro es que al bajarle la sección, se puede crear problemas de derivas, ya que la carga viva y la carga muerta no estructural se mantiene y no permite que la carga baje proporcionalmente a la masa del edificio, por tanto podría aumentar dichas derivas, por lo que la disminución de la sección del muro M1 se manejará con un 20% de disminución, con lo que nos lleva al siguiente resultado:

Tabla 31. Propuesta final de espesores para muros M1.

	e real (m)	Disminución del 20%	e propuesto (m)
De la PB al P9	0,6	0,42	0,5
Del P9 al P19	0,5	0,35	0,4
Del P19 al P36	0,4	0,28	0,3

Fuente: Manuel Caamaño.

Debido a que los muros M2 tienen una menor importancia en las derivas, se podrá disminuir el 35% inicial que se propuso, por tanto queda de la siguiente manera:

Tabla 32. Propuesta de espesores para muros M2.

	e real (m)	disminución del 35%	e propuesto (m)
De la PB al P36	0,3	0,19	0,2

Fuente: Manuel Caamaño.

Este mismo criterio se puede emplear para las columnas, que en este caso son de tipo circular, que al disminuirle el 35% de la inercia podremos tener las siguientes disminuciones:

Tabla 33. Propuesta de diámetro de columnas.

Ø actual (cm)	Inercia (cm ⁴)	disminución del 35% de la inercia (cm ⁴)	Ø resultante (cm)	Ø propuesto (cm)
120	10178760,2	6616194,128	107,75	110
110	7186884,069	4671474,645	98,77	100
100	4908738,521	3190680,039	89,79	90
90	3220623,344	2093405,173	80,81	80
80	2010619,298	1306902,544	71,83	70

Fuente: Manuel Caamaño.

3.3.2. Redimensionamiento de vigas y losas.

Esta parte se va a basar en la resistencia del hormigón para poder disminuir las secciones; con lo dicho anteriormente acerca de la relación de resistencias entre el hormigón convencional y de alta resistencia, se puede hacer una disminución de alrededor de 45% del área de los elementos.

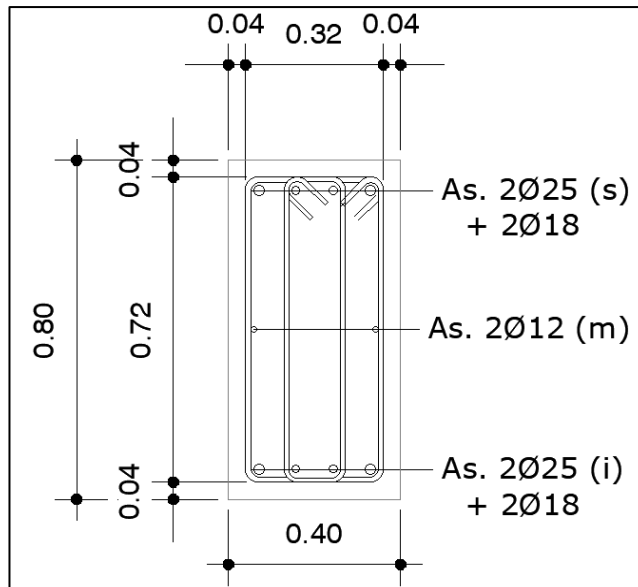


Figura 48. Viga VP-1.

Fuente: Plano estructural del Ing. Carlos León Rodríguez.

Para calcular el momento resistente de esta viga, podemos usar la fórmula de la NEC-15:

$$Mn = \phi * As * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

Donde:

Mn = Momento resistente de la viga

ϕ = Factor de reducción a flexión.

$\phi = 0,9$

As = Área de acero a tensión.

Fy = Esfuerzo de fluencia del acero.

Fy = 4200 Kg/cm²

d = Distancia desde el extremo del elemento hasta el centro del As.

a = Altura del esfuerzo a compresión.

$$a = \frac{As * fy}{0,85 * f'c * b}$$

Para este elemento tenemos que el Mn sería igual a:

$$a = \frac{14,91 * 4200}{0,85 * 350 * 40}$$

$$a = 5,26 \text{ cm}$$

$$Mn = 0,9 * 14,91 * 4200 * (76 - \frac{5,26}{2})$$

$$Mn = 4134211,85 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Ahora, al momento de realizar la disminución de la sección, de un espesor de 40 cm a 25 cm, esto quedaría de la siguiente manera:

$$a = \frac{14,91 * 4200}{0,85 * 600 * 25}$$

$$a = 4,91 \text{ cm}$$

$$Mn = 0,9 * 14,91 * 4200 * (76 - \frac{4,92}{2})$$

$$Mn = 4144093,85 \text{ Kg} - \text{cm}$$

Esto nos demuestra que al aumentar el f'c y disminuir la sección con el hormigón de alta resistencia, no solo no afecta de forma negativa el elemento, sino que también mejora de manera mínima su resistencia a la flexión, dando como resultado un criterio bastante aceptable para poder realizar la disminución de todas las vigas.

Para todas las vigas, daremos la siguiente propuesta:

Tabla 34. Propuesta de disminución de vigas.

Dimensión de Vigas (cm)	Disminución del 35% de la base	Dimensión propuesta (cm)
45x80	29,25	30x80
60x70	39	40x70
40x80	26	25x80
Vigas de acople 60 cm de base	39	40

Fuente: Manuel Caamaño.

Ahora se debería también hacer un chequeo del cortante resistente, debido a que este factor es el que más se ve afectado por el cambio de sección.

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b_w d$$

Donde:

V_c = Esfuerzo resistente nominal al cortante del hormigón.

$$V_{c_{350}} = 0.53 * \sqrt{350} * 40 * 76$$

$$V_c = 30142.8 \text{ Kg}$$

$$V_{c_{600}} = 0.53 * \sqrt{600} * 25 * 76$$

$$V_c = 24666.36 \text{ Kg}$$

Como se puede ver, realmente esta disminución de la sección perjudicó en cortante al elemento, por tanto se bajará un porcentaje aún menor del propuesto, el cual será solamente de un 25% de la base, dando como resultado la siguiente tabla:

Tabla 35. Propuesta final de disminución de vigas.

Dimensión de Vigas (cm)	disminución del 25% de la base	Dimensión propuesta (cm)
45x80	33,75	35x80
60x70	45	45x70
40x80	30	30x80
Vigas de acople 60 cm de base	45	45

Fuente: Manuel Caamaño.

Con esto podemos revisar nuevamente el cortante:

$$V_{c_{350}} = 30142.8 \text{ Kg}$$

$$V_{c_{600}} = 0.53 * \sqrt{600} * 30 * 76$$

$$V_{C600} = 29599.53 \text{ Kg}$$

Para las losas, se tomará este mismo criterio, debido a que al ser una losa nervada en una dirección, se puede asumir que cada nervio es una viga pequeña, debido a esto se podrá disminuirle alrededor 35% del área a las losas. Estas disminuciones podemos verlas en la siguiente tabla:

Tabla 36. Propuesta de disminución de losa.

Elemento	Dimensión actual (cm)	Reducción del 35%	Dimensión Propuesta (cm)
Parte superior del nervio	10	No se disminuirá	7
Parte inferior del nervio	10	6,5	8
Altura del nervio	25	16,25	20

Fuente: Manuel Caamaño.

Con las tablas presentadas se realizará el cálculo del costo de los elementos del edificio, tanto los volúmenes reales como los volúmenes con las dimensiones propuestas en esta parte de la trabajo.

3.4. Proceso constructivo.

El proceso constructivo de una edificación está basado en la correcta planificación del proyecto, seleccionando los materiales con los que el diseñador trabajo, o a veces buscando alternativas técnicas sin que se altere en lo más mínimo la esencia del mismo. Además se requiere de la utilización práctica de equipos, materiales, así como la selección de la mano de obra más idónea posible.

En este contexto no existe mayor diferencia al escoger el tipo de material con el que se va a trabajar, ya que el método constructivo para ambos hormigones es idéntico, lo que sí es importante es contar con la empresa distribuidora del hormigón de alta resistencia, ya que los proveedores deben ser garantizados y de disponibilidad total, que tengan los recursos necesarios para el mezclado del mismo y sujeta a toda prueba de carácter técnico en el sitio de obra.

4. Capítulo 4: Análisis comparativo.

Como se dijo anteriormente, se tendrá que realizar el cambio de volúmenes con las dimensiones propuestas, para poder comparar el precio de los elementos con los APUs que se realizarán más adelante, tanto para el hormigón convencional como para el hormigón de alta resistencia.

4.1. Cambio de volumen y comparación técnica.

Al haber propuesto secciones diferentes de los elementos estructurales, estos tendrán una variación significativa en los volúmenes, lo cual nos darán algunas ventajas a la hora del diseño y construcción del edificio.

4.1.1. Comparación volumétrica de los elementos.

Con las secciones propuestas podemos realizar la siguiente comparación:

Tabla 37. % de cambio de volúmenes.

Elemento	Volumen total		% de disminuido
	350 Kg/cm ²	600 Kg/cm ²	
Muros	3703,36	3075,90	16,94%
Columnas	1790,75	1438,20	19,69%
Vigas	4368,19	3602,47	17,53%
Losas	2135,07	1836,16	14,00%
Total	11997,37	9952,72	17,04%

Fuente: Manuel Caamaño.

El hormigón que se ensayó tenía los siguientes pesos:

Tabla 38. Peso de los cilindros de $f_c = 600 \text{ Kg/cm}^2$

Elementos	Peso (Kg)
Cilindro 1	3840
Cilindro 2	3866
Cilindro 3	3863
Cilindro 4	3855
Cilindro 5	3873
Cilindro 6	3862
Promedio	3860

Fuente: Manuel Caamaño.

Sabiendo el peso promedio de los cilindros de hormigón de alta resistencia y que estos tienen un volumen de 1602,37 cm³, ya que las dimensiones eran de 10 cm de diámetro con 20 cm de altura, estos tendrían un peso específico aproximado de 2408,93 Kg/m³, además que el peso específico del hormigón esta entre 2200 y 2400 Kg/m³, podemos decir que el peso de la estructura cambiaba significativamente, pudiendo así realizar la siguiente comparación:

Tabla 39. Comparación entre pesos de hormigón.

Hormigón	Volumen (m ³)	Peso específico (Kg/m ³)	Peso de la estructura (T)	% de disminución
f'c = 350 Kg/cm ²	12518,53	2300	28792,63	13,07%
f'c = 600 Kg/cm ²	10390,40	2409	25029,79	

Fuente: Manuel Caamaño.

Con esto queda claro que al realizar el cambio de secciones de los elementos tendremos una disminución de 18% de la carga muerta estructural, lo cual podría ayudar a un mejor dimensionamiento y detallamiento del elemento, puesto que podría ser que al momento de diseñar con una carga menor, podría existir otra mejora del diseño.

Otra gran ventaja de este cambio de secciones es que el diseño arquitectónico de la estructura se vería bastante mejorada, puesto que las columnas del edificio son menores a las ya diseñadas, dándole más espacio al arquitecto para mejorar su diseño.

Otra gran ventaja es en la parte constructiva del edificio, puesto que como también se propuso una disminución de las losas, nos deja con un mejor manejo de los espacios para poder trabajar de manera más efectiva el paso de las tuberías que comprenderían las demás ingenierías, como la sanitaria o la eléctrica.

4.2. Análisis de precios unitarios y análisis comparativo económico.

Para poder analizar esta sección se necesitó generar APUs de cada elemento, los cuales se generaron a partir de la experiencia del tutor de esta trabajo, ya que saber de APUs es saber de rendimientos y cantidad de materiales, debido a que las tarifas de

los elementos se pueden encontrar simplemente en catálogos o preguntando a vendedores, por eso nos da como resultado un total de 24 APU.

En los equipos, solo se coloca únicamente el vibrador, puesto que el hormigón es premezclado y bombeable, no hay necesidad de ningún otro tipo equipo en este rubro. La tarifa se la obtiene de la revista de la Cámara de la Construcción y esta es multiplicada por la cantidad de equipos que se usarán en el rubro, en este caso serían dos vibradores, los cuales tendrán un rendimiento de 0.5 h/m³.

Siempre se tiene que tener un maestro de obra, que es la persona que dirige a los obreros, el cual es bien sabido que su rendimiento por rubro es un 0.2 debido a que este no se encontrará en una sola labor, sino que en un máximo de 5 actividades a la vez. Los sueldos de todos los trabajadores se encuentran en la tabla de sueldos de la Contraloría General del Estado.

Los precios unitarios de los materiales fueron obtenidos de la revista de la cámara de la construcción del año 2019, pero la única que no se usará será la del agua, debido a que por experiencia se puede decir que el agua tiene un precio unitario de \$3, porque un tanquero tiene aproximadamente 7 m³ de agua con un valor aproximado de \$21, con esto podemos sacar el resultado el precio del agua.

Los APUs fueron los siguientes:

4.2.1. APUs de elementos con $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$

Se generaron APUs de este hormigón porque se necesita llevar el costo de los elementos a la actualidad, puesto que el edificio se comenzó a construir en el año 2010, los sueldos de los trabajadores y los precios de los elementos fueron cambiando con los años, a razón de esto se crearon los siguientes APUs:

- **Losas.**

Tabla 40. APU de losas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	1 de 24
Rubro:	Losas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m ³
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
- Hormigón Bombeable	m ³	1,05	\$ 157,04	\$ 164,89	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,77	\$ 20,030	\$ 15,42	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Gl _v	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua de curado	m ³	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 214,75
Total de Costo Directo					\$ 355,24
Costos Indirectos (20%)					\$ 71,05
Costo del Rubro					\$ 426,29

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 41. APU de losas de f'c = 350 Kg/cm2 a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	2 de 24
Rubro:	Losas de hormigón F'c = 350 Kg/cm2 a 7 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 147,35	\$ 154,72	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,77	\$ 20,03	\$ 15,42	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 204,57
Total de Costo Directo					\$ 345,07
Costos Indirectos (20%)					\$ 69,01
Costo del Rubro					\$ 414,08

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 42. APU de losas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	3 de 24
Rubro:	Losas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 121,23	\$ 127,29	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,77	\$ 20,03	\$ 15,42	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 177,15
Total de Costo Directo					\$ 317,64
Costos Indirectos (20%)					\$ 63,53
Costo del Rubro					\$ 381,17

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

- **Vigas.**

Tabla 43. APU de vigas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	4 de 24
Rubro:	Vigas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 157,04	\$ 164,89	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,60	\$ 20,03	\$ 12,02	
-Cuarterones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 211,34
Total de Costo Directo					\$ 351,84
Costos Indirectos (20%)					\$ 70,37
Costo del Rubro					\$ 422,20

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 44. APU de vigas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	5 de 24
Rubro:	Vigas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	\$ 1,05	\$ 147,35	\$ 154,72	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	\$ 0,60	\$ 20,03	\$ 12,02	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	\$ 6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	\$ 4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	\$ 2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	\$ 2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	\$ 1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	\$ 0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 201,17
Total de Costo Directo					\$ 341,66
Costos Indirectos (20%)					\$ 68,33
Costo del Rubro					\$ 410,00

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 45. APU de vigas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	6 de 24
Rubro:	Vigas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 121,23	\$ 127,29	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,60	\$ 20,03	\$ 12,02	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 173,74
Total de Costo Directo					\$ 314,24
Costos Indirectos (20%)					\$ 62,85
Costo del Rubro					\$ 377,08

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

- **Columnas.**

Tabla 46. APU de columnas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios					
Obra	Edificio The Point			Hoja:	7 de 24
Rubro:	Columnas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 157,04	\$ 164,89	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 207,34
Total de Costo Directo					\$ 392,23
Costos Indirectos (20%)					\$ 78,45
Costo del Rubro					\$ 470,68

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 47. APU de columnas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	8 de 24
Rubro:	Columnas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 147,35	\$ 154,72	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
- Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 197,16
Total de Costo Directo					\$ 382,06
Costos Indirectos (20%)					\$ 76,41
Costo del Rubro					\$ 458,47

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 48. APU de columnas de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	9 de 24
Rubro:	Columnas de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	\$ 1,05	\$ 121,23	\$ 127,29	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	\$ 0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	\$ 6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	\$ 4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	\$ 2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	\$ 2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	\$ 1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
Agua	m3	\$ 0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 169,74
Total de Costo Directo					\$ 354,63
Costos Indirectos (20%)					\$ 70,93
Costo del Rubro					\$ 425,56

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

- **Muros.**

Tabla 49. APU de muros de $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios					
Obra	Edificio The Point			Hoja:	10 de 24
Rubro:	Muros de hormigón $F'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 157,04	\$ 164,89	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	GlV	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 207,34
Total de Costo Directo					\$ 392,23
Costos Indirectos (20%)					\$ 78,45
Costo del Rubro					\$ 470,68

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 50. APU de muros de f'c = 350 Kg/cm2 a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	11 de 24
Rubro:	Muros de hormigón F'c = 350 Kg/cm2 a 7 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 147,35	\$ 154,72	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 197,16
Total de Costo Directo					\$ 382,06
Costos Indirectos (20%)					\$ 76,41
Costo del Rubro					\$ 458,47

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 51. APU de muros de f'c = 350 Kg/cm2 a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	12 de 24
Rubro:	Muros de hormigón F'c = 350 Kg/cm2 a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 121,23	\$ 127,29	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 169,74
Total de Costo Directo					\$ 354,63
Costos Indirectos (20%)					\$ 70,93
Costo del Rubro					\$ 425,56

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tomando estos APUs y los volúmenes reales que tenemos en el capítulo 3, se puede obtener el costo del hormigón actual del edificio, el cual se verá reflejado en las siguientes tablas:

Tabla 52. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=350$ Kg/cm² a 3 días.

Elemento	APU 3 días	Volúmenes	Costo de los Elementos
Muros	\$ 470,68	3703,36	\$ 1.743.103,69
Columnas	\$ 470,68	1790,75	\$ 842.875,21
Vigas	\$ 422,20	4368,19	\$ 1.844.267,94
Losas	\$ 426,29	2135,07	\$ 910.160,36

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 53. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=350$ Kg/cm² a 7 días.

Elemento	APU 7 días	Volúmenes	Costo de los Elementos
Muros	\$ 458,47	3703,36	\$ 1.697.887,91
Columnas	\$ 458,47	1790,75	\$ 821.011,19
Vigas	\$ 410,00	4368,19	\$ 1.790.935,00
Losas	\$ 414,08	2135,07	\$ 884.092,43

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 54. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=350$ Kg/cm² a 28 días.

Elemento	APU 28 días	Volúmenes	Costo de los Elementos
Muros	\$ 425,56	3703,36	\$ 1.576.005,94
Columnas	\$ 425,56	1790,75	\$ 762.075,34
Vigas	\$ 377,08	4368,19	\$ 1.647.172,76
Losas	\$ 381,17	2135,07	\$ 813.824,72

Fuente: Manuel Caamaño.

4.2.2. APUs de elementos con $f'c = 600$ Kg/cm².

También se generó APUs del hormigón del hormigón de $f'c = 600$ Kg/cm² porque se necesita llegar al costo por metro cubico de los elementos, tomando como precio del hormigón el precio que fue facilitado por Holcim, donde dio como resultado lo siguiente:

- **Losas.**

Tabla 55. APU de losas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	13 de 24
Rubro:	Losas de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora $C=A*B$	Rendimiento R	Costo $D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora $C=A*B$	Rendimiento R	Costo $D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo $C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 180,36	\$ 189,38	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,77	\$ 20,03	\$ 15,42	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 239,23
Total de Costo Directo					\$ 379,73
Costos Indirectos (20%)					\$ 75,95
Costo del Rubro					\$ 455,67

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 56. APU de losas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	14 de 24
Rubro:	Losas de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días			Unidad:	m ³
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
				Subtotal M:	\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
				Subtotal N:	\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m ³	1,05	\$ 170,06	\$ 178,56	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,77	20,03	\$ 15,42	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Gl ^v	1,00	1,80	\$ 1,80	
-Agua	m ³	0,10	3,00	\$ 0,30	
				Subtotal O:	\$ 228,42
				Total de Costo Directo	\$ 368,91
				Costos Indirectos (20%)	\$ 73,78
				Costo del Rubro	\$ 442,70

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 57. APU de losas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	15 de 24
Rubro:	Losas de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 164,35	\$ 172,57	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,77	\$ 20,03	\$ 15,42	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 222,42
Total de Costo Directo					\$ 362,92
Costos Indirectos (20%)					\$ 72,58
Costo del Rubro					\$ 435,50

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

- **Vigas.**

Tabla 58. APU de vigas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	16 de 24
Rubro:	Vigas de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 180,36	\$ 189,38	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,60	\$ 20,03	\$ 12,02	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 235,83
Total de Costo Directo					\$ 376,32
Costos Indirectos (20%)					\$ 75,26
Costo del Rubro					\$ 451,59

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 59. APU de vigas de f'c = 600 Kg/cm2 a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	17 de 24
Rubro:	Vigas de hormigón F'c = 600 Kg/cm2 a 7 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
				Subtotal M:	\$ 3,75
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	C=A*B	R	D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
				Subtotal N:	\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 170,06	\$ 178,56	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,60	\$ 20,03	\$ 12,02	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
				Subtotal O:	\$ 225,01
				Total de Costo Directo	\$ 365,51
				Costos Indirectos (20%)	\$ 73,10
				Costo del Rubro	\$ 438,61

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 60. APU de losas de $f_c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	18 de 24
Rubro:	Vigas de hormigón $F_c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	0,5	\$ 3,75
Subtotal M:					\$ 3,75
Mano de Oobra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	3,7	\$ 2,99
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	3,7	\$ 27,01
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	3,7	\$ 13,51
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	3,7	\$ 93,24
Subtotal N:					\$ 136,74
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 164,35	\$ 172,57	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,60	\$ 20,03	\$ 12,02	
-Cuarterones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 219,02
Total de Costo Directo					\$ 359,51
Costos Indirectos (20%)					\$ 71,90
Costo del Rubro					\$ 431,42

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

- **Columnas.**

Tabla 61. APU de columnas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios					
Obra	Edificio The Point			Hoja:	19 de 24
Rubro:	Columnas de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Oobra					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 180,36	\$ 189,38	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	GlV	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 231,82
Total de Costo Directo					\$ 416,72
Costos Indirectos (20%)					\$ 83,34
Costo del Rubro					\$ 500,07

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 62. APU de columnas de f'c = 600 Kg/cm2 a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	20 de 24
Rubro:	Columnas de hormigón F'c = 600 Kg/cm2 a 7 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 170,06	\$ 178,56	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	GlV	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 221,01
Total de Costo Directo					\$ 405,91
Costos Indirectos (20%)					\$ 81,18
Costo del Rubro					\$ 487,09

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 63. APU de columnas de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	21 de 24
Rubro:	Columnas de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 164,35	\$ 172,57	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuarterones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 215,01
Total de Costo Directo					\$ 399,91
Costos Indirectos (20%)					\$ 79,98
Costo del Rubro					\$ 479,89

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

- **Muros.**

Tabla 64. APU de muros de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	22 de 24
Rubro:	Muros de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 3 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora C=A*B	Rendimiento R	Costo D=C*R
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo C=A*B	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 180,36	\$ 189,38	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 231,82
Total de Costo Directo					\$ 416,72
Costos Indirectos (20%)					\$ 83,34
Costo del Rubro					\$ 500,07

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 65. APU de muros de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	23 de 24
Rubro:	Muros de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 7 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora $C=A*B$	Rendimiento R	Costo $D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad A	Tarifa B	Costo Hora $C=A*B$	Rendimiento R	Costo $D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad A	Precio Unitario B	Costo $C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 170,06	\$ 178,56	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuarterones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	Glv	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 221,01
Total de Costo Directo					\$ 405,91
Costos Indirectos (20%)					\$ 81,18
Costo del Rubro					\$ 487,09

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Tabla 66. APU de muros de $f'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días.

Análisis de Precios Unitarios

Obra	Edificio The Point			Hoja:	24 de 24
Rubro:	Muros de hormigón $F'c = 600 \text{ Kg/cm}^2$ a 28 días			Unidad:	m3
Equipos					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Vibrador	2	\$ 3,75	\$ 7,50	1	\$ 7,50
Subtotal M:					\$ 7,50
Mano de Obra					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendimiento	Costo
	A	B	$C=A*B$	R	$D=C*R$
Maestro Mayor	0,2	\$ 4,04	\$ 0,81	4,8	\$ 3,88
Carpintero	2	\$ 3,65	\$ 7,30	4,8	\$ 35,04
Albañil	1	\$ 3,65	\$ 3,65	4,8	\$ 17,52
Peón	7	\$ 3,60	\$ 25,20	4,8	\$ 120,96
Subtotal N:					\$ 177,40
Materiales					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo	
		A	B	$C=A*B$	
-Hormigón Bombeable	m3	1,05	\$ 164,35	\$ 172,57	
-Plywood Para Encofrado e:15mm	u	0,40	\$ 20,03	\$ 8,01	
-Cuartones de 2x3 pulg	u	6,00	\$ 3,00	\$ 18,00	
-Tiras de 1x3 pulg	u	4,00	\$ 1,50	\$ 6,00	
-Clavos 2 1/2 pulg	Kg	2,50	\$ 1,65	\$ 4,13	
-Alambre galvanizado #18	Kg	2,25	\$ 1,87	\$ 4,21	
-Desmoldante	GlV	1,00	\$ 1,80	\$ 1,80	
-Agua	m3	0,10	\$ 3,00	\$ 0,30	
Subtotal O:					\$ 215,01
Total de Costo Directo					\$ 399,91
Costos Indirectos (20%)					\$ 79,98
Costo del Rubro					\$ 479,89

Fuente: Ing. Marco Suarez Rodríguez.

Una vez obtenido los APUs del hormigón de alta resistencia y los volúmenes nuevos con las secciones propuestas, podemos obtener el costo del hormigón actual del edificio, el cual se verá reflejado en las siguientes tablas:

Tabla 67. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=600$ Kg/cm² a 3 días.

Elemento	APU 3 días	Volúmenes	Costo de los Elementos
Muros	\$ 500,07	3075,90	\$ 1.538.147,78
Columnas	\$ 500,07	1438,20	\$ 719.193,41
Vigas	\$ 451,59	3602,47	\$ 1.626.831,15
Losas	\$ 455,67	1836,16	\$ 836.690,08

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 68. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=600$ Kg/cm² a 7 días.

Elemento	APU 7 días	Volúmenes	Costo de los Elementos
Muros	\$ 487,09	3075,90	\$ 1.498.228,81
Columnas	\$ 487,09	1438,20	\$ 700.528,46
Vigas	\$ 438,61	3602,47	\$ 1.580.078,29
Losas	\$ 442,70	1836,16	\$ 812.860,39

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 69. Costo final de los elementos con hormigón de $f'c=600$ Kg/cm² a 28 días.

Elemento	APU 28 días	Volúmenes	Costo de los Elementos
Muros	\$ 431,42	3075,90	\$ 1.326.987,70
Columnas	\$ 479,89	1438,20	\$ 690.181,19
Vigas	\$ 431,42	3602,47	\$ 1.554.159,96
Losas	\$ 435,50	1836,16	\$ 799.649,96

Fuente: Manuel Caamaño.

4.2.3. Comparación entre los precios de las diferentes resistencias.

Los costos finales se podrán apreciar en las siguientes tablas:

Tabla 70. % de ahorro de los elementos entre los costos de los dos tipos de hormigón de 3 días.

Elemento	Costo final de 3 días		% de ahorro
	350 Kg/cm ²	600 Kg/cm ²	
Muros	\$ 1.743.103,69	\$1.538.147,78	11,76%
Columnas	\$ 842.875,21	\$ 719.193,41	14,67%
Vigas	\$ 1.844.267,94	\$1.626.831,15	11,79%
Losas	\$ 910.160,36	\$ 836.690,08	8,07%
Total	\$ 5.340.407,20	\$4.720.862,42	11,60%

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 71. % de ahorro de los elementos entre los costos de los dos tipos de hormigón de 7 días.

Elemento	Costo final de 7 días		% de ahorro
	350 Kg/cm ²	600 Kg/cm ²	
Muros	\$ 1.697.887,91	\$1.498.228,81	11,76%
Columnas	\$ 821.011,19	\$ 700.528,46	14,67%
Vigas	\$ 1.790.935,00	\$1.580.078,29	11,77%
Losas	\$ 884.092,43	\$ 812.860,39	8,06%
Total	\$ 5.193.926,54	\$4.591.695,96	11,59%

Fuente: Manuel Caamaño.

Tabla 72. . % de ahorro de los elementos entre los costos de los dos tipos de hormigón de 28 días.

Elemento	Costo final de 28 días		% de ahorro
	350 Kg/cm ²	600 Kg/cm ²	
Muros	\$ 1.576.005,94	\$1.326.987,70	15,80%
Columnas	\$ 762.075,34	\$ 690.181,19	9,43%
Vigas	\$ 1.647.172,76	\$1.554.159,96	5,65%
Losas	\$ 813.824,72	\$ 799.649,96	1,74%
Total	\$ 4.799.078,76	\$4.370.978,80	8,92%

Fuente: Manuel Caamaño.

5. Capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones.

5.1. Conclusiones.

- Con el trabajo se pudo concluir que el espacio ganado para un mejor proyecto arquitectónico es evidente, puesto que con la disminución de los elementos estructurales da cabida a un diseño arquitectónico de mejor calidad gracias al área de trabajo mayor que se le brinda al arquitecto. Además se trabaja de una manera más agradable con la disminución de un típico problema entre los arquitectos e ingenieros que son las columnas, las cuales suelen causar dificultades a los arquitectos, y debido a esta disminución el diseño arquitectónico será mejor.
- Como se pudo evidenciar, el incremento de resistencia provocó un aumento significativo en el módulo de elasticidad de los elementos, los cuales se comprobaron en el laboratorio, y debido a esta característica se pudieron realizar todos los cambios de sección de cada elemento estructural del edificio, dando como resultado un cambio volumétrico lo suficientemente aceptable para poder realizar la comparación entre precios.
- Al final no existe diferencia entre el método constructivo de ambos hormigones, debido a que los aditivos usados permiten que la trabajabilidad del elemento sea de la misma manera que si se usará un hormigón convencional.
- Con el trabajo quedó evidenciado que el costo final de los dos edificios le da una clara ventaja al hormigón de alta resistencia debido al redimensionamiento, ya que aunque los análisis de precios unitarios del hormigón de mayor resistencia eran más elevados a los de resistencia convencional, la disminución de los elementos estructurales fue una gran ayuda para que le dé un menor costo total al momento de obtener el precio de cada rubro.

5.2. Recomendaciones.

- Realizar un estudio correcto de las características de los elementos de alta resistencia, debido que al momento de diseñar los elementos estructurales con este hormigón se utilizan las normas y estas no necesariamente dan resultados en un rango real.
- Tomar en cuenta los requerimientos arquitectónicos al momento de diseñar los elementos estructurales, puesto que al realizar diseños estructurales con los elementos propuestos por los arquitectos, se puede llegar a un mejor resultado diseñando con este hormigón, ya que las dimensiones de los elementos serán mejores para ambas carreras.
- Realizar un segundo trabajo, donde se pueda hacer un correcto análisis estructural y diseño del edificio, debido a que todo el cambio de secciones fue netamente teórico, debido a esto no se conoce el verdadero comportamiento estructural de la edificación.

6. Bibliografía.

- Alconz, W. (2006). *Material de Apoyo Didáctico Para la Enseñanza y Aprendizaje de La Asignatura Materiales de Construcción (Guía de Las Prácticas de Campo y Normas de Calidad)* [Tesis de Pre-Grado]. Universidad Mayor de San Simón, México D. F., México.
- Aschner, J. (2009). ¿Cómo concebir un proyecto arquitectónico? *Dearq*, Recuperado de <https://doi.org/10.18389/dearq5.2009.03>
- ASTM C 125-15b Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates
- De La Rosa, E. (2012). *Introducción a la Teoría de la Arquitectura*. México D. F., México: Red Tercer Milenio.
- EHE 08 Instrucción de Hormigón Estructural.
- Faustino, G. (1995). *Manual de Encofrados para Estructuras de Concreto Armado* [Tesis de Pre-Grado]. Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela.
- Gómez, M. (2011). *Diseño Estructural de Edificios Altos Tipo Torre Empleando Concreto de Alta Resistencia* [Tesis de Pre-Grado]. Universidad Nacional Autónoma de México, México D. F., México.
- Jiménez, P., García Meseguer, Á., & Morán, F. (2004). *Hormigón armado*. Barcelona, España: Gustavo Gili.
- López, V., Ascanio, G., & Guerrero, V. (2003). *Rocas Industriales de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Fundacite Aragua.
- McCormac, J., Brown, H., & Arriola, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México D. F., México: Alfaomega Grupo Editor.
- Meli, R. (1985). *Diseño Estructural*. México D. F., México: Grupo Noriega Editores.

- Nilson, A. (2001). *Diseño de estructuras de concreto*. Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Polanco, J., & Setién, J. (2016). *Morteros y Hormigones*. OpenCourseWare, Recuperado de https://ocw.unican.es/pluginfile.php/811/course/section/868/3_Morteros_hormigones1.pdf
- Quiroz Crespo, M. V., & Salamanca Osuna, L. E. (2006). *Apoyo Didáctico para la Enseñanza y Aprendizaje en la Asignatura de “Tecnología del Hormigón”* [Tesis de Pre-Grado]. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- Rivera, G. (2013). *Concreto Simple*. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2013/08/28/libro-de-tecnologia-del-concreto-y-mortero-ing-gerardo-a-rivera-l/>
- Romero, A., & Hernández, J. (2014). *Diseño de Mezclas de Hormigón por El Método A.C.I. y Efectos de la Adición de Cenizas Volantes de Termotasajero en la Resistencia a la Compresión* [Tesis de Pre-Grado]. Universidad Santo Tomás, Bogotá D. C., Colombia.
- Saavedra, A. (septiembre de 2015). Coordinación e Integración de Especialidades. *BIT* (104), p. 32–39.
- Sánchez, D. (2001). *Tecnología del concreto y del mortero*. Bogotá, Colombia: Bhandar Editores.
- Terreros, L., & Carvajal, I. (2016). *Análisis de las Propiedades Mecánicas de un Concreto Convencional Adicionando Fibra de Cáñamo* [Tesis de Pre-Grado]. Universidad Católica de Colombia. Bogotá, Colombia.

7. Anexos.



Figura 49. Ensayo de Compresión.

Fuente: Manuel Caamaño.



Figura 50. Ensayo de Compresión.

Fuente: Manuel Caamaño.



Figura 51. Ruptura del elemento.

Fuente: Manuel Caamaño.



Figura 52. Peso de elemento.

Fuente: Manuel Caamaño.



Figura 53. Peso de elemento.

Fuente: Manuel Caamaño.



Figura 54 .Peso de elemento.

Fuente: Manuel Caamaño.



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Caamaño Salazar, Manuel Eduardo**, con C.C: # **0704818236** autor del trabajo de titulación: **Análisis comparativo entre hormigones de alta y convencional resistencia para su eficiente uso en edificios de gran altura**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 6 de marzo de 2020

f. _____

Nombre: **Caamaño Salazar Manuel Eduardo**

C.C: **0704818236**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Análisis comparativo entre hormigones de alta y convencional resistencia para su eficiente uso en edificios de gran altura		
AUTOR(ES)	Manuel Eduardo Caamaño Salazar		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Marco Vinicio Suárez Rodríguez		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	6 de marzo de 2020	No. DE PÁGINAS:	124
ÁREAS TEMÁTICAS:	Hormigón, Costos, Redimensionamiento.		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Hormigón de Alta Resistencia, Análisis de Precios Unitarios, Redimensionamiento, Modulo de Elasticidad, Costos, Comparación		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):	<p>En este trabajo de titulación se realizó una comparación entre dos hormigones de resistencias diferentes, uno de $f'c$ de 350 Kg/cm² y otro de 600 Kg/cm², para poder demostrar que podría existir un ahorro a la hora de construir edificios de gran altura, el cual se usó como ejemplo a realizar el redimensionamiento a La Torre The Point, tratando de llegar a un resultado positivo. Se tuvo que realizar ensayos de módulos de elasticidad para los hormigones de alta resistencia y así poder tener un criterio válido para poder realizar el cambio de secciones de los elementos estructurales, dando como resultado elementos más pequeños y por tanto una disminución en el volumen total del edificio. Con los nuevos volúmenes de los elementos de secciones menores, se pudo obtener el costo final de los dos edificios con diferentes tipos de hormigones usando los análisis de precios unitarios que se tuvieron que elaborar para este trabajo.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTORES:	Teléfono: +593-986532860	E-mail: mcaamanos92@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Clara Glas Cevallos		
	Teléfono: +593-4-2206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			