



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA
CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TEMA

**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE
COLUMNAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y/O ARMADO EMBEBIDAS EN UN
TUBO DE PVC DE 6 PLG**

AUTOR 1: HIDALGO SUQUILLO, JOHNNY PATRICIO

AUTOR 2: LÓPEZ MORALES, MARICELA MARIBEL

DIRECTOR

ING. PRO ZAMBRANO, RAÚL ERNESTO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE COLUMNAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y/O ARMADO EMBEBIDAS EN UN TUBO DE PVC DE 6 PLG**” realizado por los señores: *Hidalgo Suquillo, Johnny Patricio y López Morales, Maricela Maribel* el mismo que ha sido realizado en su totalidad, analizado por las herramientas de verificación de similitud de contenido, por lo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 23 de Agosto del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Ernesto Pro', written over a horizontal line.

Ing. Ernesto Pro

C.C. 1704743317



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, Hidalgo Suquillo, Johnny Patricio, declaro que este trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE COLUMNAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y/O ARMADO EMBEBIDAS EN UN TUBO DE PVC DE 6 PLG** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 23 de Agosto del 2018

Johnny Patricio Hidalgo Suquillo

C.C. 1721853404



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, López Morales, Maricela Maribel, declaro que este trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE COLUMNAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y/O ARMADO EMBEBIDAS EN UN TUBO DE PVC DE 6 PLG** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 23 de Agosto del 2018

Maricela Maribel López Morales

C.C. 1726764838



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

*Yo, Hidalgo Suquillo, Johnny Patricio, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE COLUMNAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y/O ARMADO EMBEBIDAS EN UN TUBO DE PVC DE 6 PLG** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 23 de Agosto del 2018



Johnny Patricio Hidalgo Suquillo

C.C. 1721853404

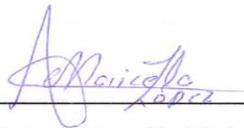


**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA CONSTRUCCIÓN
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

*Yo, López Morales, Maricela Maribel, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE COLUMNAS DE HORMIGÓN SIMPLE Y/O ARMADO EMBEBIDAS EN UN TUBO DE PVC DE 6 PLG** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.*

Sangolquí, 23 de Agosto del 2018



Maricela Maribel López Morales

C.C. 1726764838

DEDICATORIA

Por todo su esfuerzo, cariño y el amor que nos tienen a mis hermanos y a mí, les dedico este trabajo y este logro que estoy consiguiendo a mi padre y madre. A mi padre, Armando Hidalgo que con tanto sacrificio se levanta en la madrugada día a día para conseguir el sustento para el hogar, y mi madre María Suquillo que con todo su cariño de madre y paciencia hace que nunca falte por lo menos un vaso de agua en la mañana.

Johnny Hidalgo

DEDICATORIA

Todo el esfuerzo y sacrificio para lograr esta meta va dedicado al pilar de mi vida que son mis padres, Betty y Eduardo, a todos los sacrificios que a lo largo de mi vida han realizado por sacarme adelante, a todos los correctivos y recompensas que me han formado como persona.

También dedico este trabajo al amor de mi vida, Eduardito, que ha sido mi fuente de inspiración para ser mejor persona y a mi hermana Lizeth que ha sido mi amiga y compañera de vida.

Maricela López

AGRADECIMIENTO

A Dios por haberme dado la oportunidad de vivir. A mis padres por hacer todo el esfuerzo para que nunca nos falte nada, a mis hermanos Santiago y Diego con los cuales hemos compartido momentos inolvidables desde nuestra infancia, a mi abuelita Micaela Paucar que le considero como mi segunda madre, a mis compañeros de colegio que a pesar de que cada uno cogió rumbos diferentes han estado ahí cuando uno se los necesita, a mis compañeros y amigos que he formado en mi vida universitaria con los cuales he vivido experiencias inolvidables, y a mi Universidad por haberme dado la oportunidad de ser parte de ella.

A mi tutor de tesis el ing. Ernesto Pro por su dedicación que nos brindó en la elaboración de este proyecto.

A la doctora Ana Haro que sin tener ningún lazo con el tema nos brindó su apoyo, dedicación y fue una guía en la elaboración del proyecto.

A los ingenieros Luis Navas y Juan Haro que nos brindaron sus conocimientos, tiempo y mano de obra para la ejecución del proyecto.

Johnny Hidalgo

AGRADECIMIENTO

Desde de los más profundo de mi corazón y con la toda la convicción de mi ser agradezco a Dios por darme la oportunidad de vivir rodeada de personas maravillosas que me han brindado su amor y amistad a lo largo de toda mi vida.

A mis padres por haber cambiado una etapa de su vida irrecuperable por traerme al mundo y darme la oportunidad de vivir su amor, les agradezco por sus enseñanzas, sus noches de desvelo, por sus correctivos e incentivos que han hecho de mí una persona apegada a los valores éticos y morales.

A mi hermana que siempre ha estado ahí para darme palabras de aliento y prestarme su hombro para desahogarme en los momentos de desaliento

A mis abuelitos Clemencia y Julio que a la distancia me han guiado para tomar la decisión correcta e inculcándome valores para hacer frente a la vida.

A mi abuelita Gladys por su abrigo y cariño en vida y protección ahora desde el cielo.

A mis tíos Vinicio, Javier, Lilia, Mariana, Flor, Bolívar por entregarme su ayuda en su debido momento y un especial agradecimiento a mi tío Carlos por su apoyo y su amistad.

A Cris por ser mi mejor amigo, por su compañía y apoyo, por ser la persona que creyó en mí y brindarme su comprensión a lo largo de esta etapa.

A mis amigas y amigos que me han permitido vivir experiencias inolvidables, por brindarme su ayuda y conocimientos para hacer frente a los obstáculos presentados.

A Johnny por su paciencia, trabajo, dedicación, el tiempo que hemos compartido para el desarrollo de todos los proyectos realizados.

A los docentes del Departamento de Ciencias de la Tierra y de la Construcción que han compartido sus conocimientos a lo largo de esta carrera universitaria.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por abrirme sus puertas a una educación de calidad.

Maricela López

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN.....	iv
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	viii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
RESUMEN.....	xxii
ABSTRACT	xxiii
CAPITULO I.....	1
GENERALIDADES	1
<i>1.1. Introducción.....</i>	<i>1</i>
<i>1.2. Antecedentes</i>	<i>2</i>
<i>1.3. Planteamiento del problema.....</i>	<i>3</i>
<i>1.4. Justificación e importancia</i>	<i>4</i>
<i>1.5. Objetivos.....</i>	<i>5</i>
<i>1.5.1. Objetivo General</i>	<i>5</i>
<i>1.5.2. Objetivos Específicos.....</i>	<i>5</i>
CAPITULO II.....	7
MARCO TEÓRICO	7

2.1. Características y propiedades del hormigón.....	7
2.1.1. Módulo de elasticidad.....	8
2.1.2. Dosificación.....	9
2.1.3. Aditivos.....	11
2.2. Características y propiedades del acero de refuerzo.....	12
2.2.1. Módulo de elasticidad.....	13
2.3. Características y propiedades del PVC.....	14
2.3.1. Tipos de PVC.....	16
2.4. Hormigón Armado.....	17
2.4.1. Ventajas del hormigón armado.....	18
2.4.2. Desventajas del hormigón armado.....	19
2.4.3. Vigas de hormigón armado.....	19
2.4.4. Columnas de hormigón armado.....	21
2.4.5. Columnas esbeltas.....	30
2.5. Columnas compuestas.....	33
2.6. SeismoStruct.....	34
CAPITULO III.....	37
METODOLOGÍA.....	37
3.1. Metodología experimental.....	37
3.1.1. Caracterización de agregados.....	37
3.1.2. Dosificación.....	44
3.1.3. Probetas.....	46
3.1.4. Ensayos de laboratorio.....	64
3.2. Metodología analítica.....	84
3.1.1 Generación del modelo computacional.....	84
CAPITULO IV.....	88

RESULTADOS.....	88
<i>4.1. Tracción del PVC.....</i>	<i>88</i>
<i>4.2. Tracción del acero.....</i>	<i>88</i>
<i>4.3. Columnas 1.20 ensayo a flexión.....</i>	<i>89</i>
4.3.1. Hormigón.....	89
4.3.2. Hormigón + PVC.....	90
4.3.3. Hormigón +Armadura longitudinal.....	92
4.3.4. Hormigón +Armadura longitudinal + PVC.....	93
4.3.5. Hormigón +Armadura longitudinal + Zuncho.....	95
4.3.6. Hormigón +Armadura longitudinal + Zuncho +PVC.....	96
4.3.7. Análisis.....	98
<i>4.4. Ensayo a compresión.....</i>	<i>98</i>
4.4.1. Probetas de 6 plg.....	98
4.4.2. Columnas y secciones de columna de 4 plg.....	112
<i>4.5. Ensayo a corte directo.....</i>	<i>128</i>
4.5.1. Hormigón.....	128
4.5.2. Hormigón + PVC.....	129
4.5.3. Hormigón +AL.....	130
4.5.4. Hormigón + AL + PVC.....	131
4.5.5. Hormigón + AL + Zuncho.....	132
4.5.6. Hormigón + AL + Zuncho + PVC.....	133
4.5.7. Análisis.....	134
<i>4.6. Flexo-compresión.....</i>	<i>137</i>
4.6.1. Hormigón + AL.....	137
4.6.2. Hormigón + AL + PVC.....	138
4.6.3. Hormigón + AL + Zuncho.....	139
4.6.4. Hormigón + AL + Zuncho + PVC.....	140
4.6.5. Análisis.....	141

4.7. <i>Análisis de columnas escala 1:1</i>	142
CAPITULO V	147
ANÁLISIS DE COSTOS	147
5.1. <i>Columnas embebidas en tubos de PVC de 6 plg.</i>	147
5.2. <i>Columna circular de hormigón armado</i>	148
CONCLUSIONES	151
RECOMENDACIONES	153
Bibliografía	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Requisitos de graduación del árido grueso</i>	11
Tabla 2	<i>Características resistentes de los aceros</i>	12
Tabla 3	<i>Características físicas y mecánicas</i>	17
Tabla 4	<i>Porcentaje de humedad</i>	40
Tabla 5	<i>Características agregados fino y grueso</i>	44
Tabla 6	<i>Características de probetas</i>	47
Tabla 7	<i>Resumen de materiales</i>	49
Tabla 8	<i>Resumen de materiales</i>	58
Tabla 9	<i>Materiales para probeta a flexocompresión</i>	63
Tabla 10	<i>Tipos de falla</i>	66
Tabla 11	<i>Longitud calibrada</i>	76
Tabla 12	<i>Dimensiones probetas de PVC</i>	79
Tabla 13	<i>Resultados ensayo a tracción de PVC</i>	88
Tabla 14	<i>Ensayo a tracción de varillas de acero</i>	89
Tabla 15	<i>Resumen de ensayo a flexión</i>	98
Tabla 16	<i>Resultados Testigos de Hormigón</i>	99
Tabla 17	<i>Hormigón + PVC</i>	100
Tabla 18	<i>Hormigón+PVC+4 ϕ 10</i>	101
Tabla 19	<i>Hormigón+PVC+6ϕ10</i>	102
Tabla 20	<i>Hormigón+PVC+3ϕ12</i>	103
Tabla 21	<i>Hormigón+PVC+5 ϕ 12 con estribos</i>	104
Tabla 22	<i>Hormigón+PCV+4 \emptyset 10 con estribos</i>	105
Tabla 23	<i>Hormigón+PVC+6 ϕ 10 con estribos</i>	106
Tabla 24	<i>Homrigón+PVC+3 ϕ 12 con estribos</i>	107
Tabla 25	<i>Hormigón+PVC+5 ϕ 12 con estribos</i>	108
Tabla 26	<i>Hormigón+PVC+Col. Electrosoldada</i>	109
Tabla 27	<i>Resistencia a la compresión experimental y analítica</i>	111
Tabla 28	<i>Carga experimental de probetas y secciones extraídas</i>	117
Tabla 29	<i>Carga experiemntal y analícia por pandeo</i>	118

Tabla 30 <i>Valores de rigidez a flexión y carga por pandeo</i>	120
Tabla 31 <i>Valores experimental y teóricos por confinamiento de la sección</i>	127
Tabla 32 <i>Esfuerzo al corte y disipación de energía</i>	134
Tabla 33 <i>Resultados ensayo a corte</i>	136
Tabla 34 <i>Resultados de ensayo a flexo-compresión</i>	141
Tabla 35 <i>Resultados a compresión para columnas de 6 plg</i>	143
Tabla 36 <i>Resultados para compresión de secciones de 4 plg y 6plg</i>	144
Tabla 37 <i>Rigidez a flexión para sección 6plg</i>	146
Tabla 38 <i>Análisis de costos de columna embebidas en tubo de PVC de 6plg</i>	147
Tabla 39 <i>Análisis de precios para columna de circular de hormigón armado</i>	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Uso de columnas con PVC	3
Figura 2 Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón	8
Figura 3 Curva esfuerzo-deformación y módulo de elasticidad del acero	13
Figura 4 Cadena polimérica del policloruro de vinilo	14
Figura 5 Proceso de fabricación del PVC	15
Figura 6 Curva típica esfuerzo-deformación de un plástico	16
Figura 7 Elemento de hormigón armado.....	18
Figura 8 Análisis de una sección rectangular con simple armadura	20
Figura 9 Carga vs deformación para el acero y el hormigón de una columna sometida a carga axial.....	22
Figura 10 Confinamiento por aros cuadrados y hélices (a) aro cuadrado, (b) hélice.....	24
Figura 11 Confinamiento del hormigon mediante refuerzo helicoidal	25
Figura 12 Momentos flectores en columnas	26
Figura 13 Carga equivalente de columnas	27
Figura 14 Diagrama de interacciones para una sección de columna de concreto reforzado cargada excéntricamente.....	28
Figura 15 Sección circular con acero dispuesto en círculo	29
Figura 16 Modo de pandeo de columnas	31
Figura 17 Valores de k para columnas	33
Figura 18 Módulos de procesamiento	34
Figura 19 Diagrama de elementos finitos	35
Figura 20 Curva granulometrica agregado 1 ½.....	38
Figura 21 Curva Granulométrica Agregado 3/8.....	39
Figura 22 Curva granulométrica agregado fino	39
Figura 23 Lavado de agregado fino y grueso.....	41
Figura 24 Peso volumétrico del agregado fino compactado	42
Figura 25 Colocación del agregado grueso en la máquina de los Ángeles	43
Figura 26 Dimensiones de probetas	46
Figura 27 Recolección de agregados.....	48

Figura 28 Corte de tubos de PVC con cierra continua.....	50
Figura 29 Construcción de estribos.....	51
Figura 30 Armado de probetas.....	51
Figura 31 Transporte de material.....	52
Figura 32 Ensayo de revenimiento.....	53
Figura 33 Vertido del hormigón.....	53
Figura 34 Curado de probetas y testigos.....	54
Figura 35 Escala de probetas.....	55
Figura 36 Dimensiones de probetas a construir.....	56
Figura 37 Armadura de probetas.....	56
Figura 38 Columnas de hormigón con y sin PVC.....	57
Figura 39 Columnas de hormigón armado con y sin PVC.....	57
Figura 40 Columnas de hormigón armado zunchadas con y sin PVC.....	58
Figura 41 Armadura de columna y tubo de PVC cortado.....	59
Figura 42 Preparación de materiales para hormigón.....	60
Figura 43 Piscina de curado.....	60
Figura 44 Aplicación de carga excéntrica.....	61
Figura 45 Dimensiones.....	62
Figura 46 Armado de probeta.....	63
Figura 47 Encofrado.....	64
Figura 48 Marco de carga.....	65
Figura 49 Ensayo a compresión de columna.....	68
Figura 50 Tipo de fallas en columnas.....	69
Figura 51 Placas de apoyo.....	70
Figura 52 Placa de acero para aplicación de carga.....	70
Figura 53 Ensayo a flexión.....	71
Figura 54 Corte directo del hormigón.....	74
Figura 55 Probetas ensayadas a corte directo.....	74
Figura 56 Ensayo a tracción de varillas de acero.....	77
Figura 57 Dimensiones probeta para ensayo a tracción.....	78

Figura 58 Probetas PVC.....	79
Figura 59 Ensayo a tracción de PVC	79
Figura 60 Reporte de ensayo a tracción	80
Figura 61 Esfuerzo vs Deformación unitaria	81
Figura 62 Modelo matemático de columna.....	82
Figura 63 Ensayo a flexocompresión	83
Figura 64 Fallas durante el ensayo a flexocompresión	84
Figura 65 Generación del material PVC	85
Figura 66 Generación de la sección	86
Figura 67 Modelo computacional	87
Figura 68 Ensayo y falla a flexión de probeta de hormigón	90
Figura 69 Falla de probeta de hormigón simple ensayada a flexión.....	90
Figura 70 Ensayo a flexión de probeta de hormigón +PVC	91
Figura 71 Falla de probeta de hormigón+PVC	91
Figura 72 Carga vs Deflexión de hormigón+PVC.....	92
Figura 73 Falla de probeta de hormigón con armadura longitudinal	93
Figura 74 Carga vs Deflexión de hormigón + armadura longitudinal	93
Figura 75 Falla de probeta de hormigón con armadura longitudinal +PVC	94
Figura 76 Carga vs Deformación de hormigón mas armadura longitudinal más PVC.....	95
Figura 77 Falla de columna de hormigón armado + zuncho.....	95
Figura 78 Carga vs deflexión Hormigón+AL+ Zuncho.....	96
Figura 79 Falla de la probeta zunchada + PVC.....	97
Figura 80 Carga vs Deflexión Hormigón+AL +Zuncho+PVC.....	97
Figura 81 Falla tipo cónica y dividida.....	99
Figura 82 Probeta fallada hormigón +PVC.....	101
Figura 83 Falla a compresión de hormigón + PVC+4 ϕ 10	102
Figura 84 Falla de probeta armada con 6 ϕ 10.....	103
Figura 85 Falla de probeta con acero longitudinal 3 ϕ 12.....	104
Figura 86 Hormigòn +PVC+5 ϕ 12 con estribos	105
Figura 87 Falla de probeta armada con 4 ϕ 10 con estribos.....	106

Figura 88 Falla de probetas armadas con 6 ϕ 10 y estribos	107
Figura 89 Falla de probetas armadas con 3 ϕ 12 y estribos	108
Figura 90 Falla de la probeta armada con 5 ϕ 12 y estribos.....	109
Figura 91 Falla de probetas armadas con columnas electrosoldadas.....	110
Figura 92 Comparación datos experimentales y analíticos.....	112
Figura 93 Falla de columna de hormigón simple.....	113
Figura 94 Falla de columna de hormigón simple+PVC.....	114
Figura 95 Falla de columna con armadura longitudinal.....	114
Figura 96 Columna de hormigón con armadura longitudinal +PVC	115
Figura 97 Falla de columna zunchada.....	116
Figura 98 Columna zunchada + PVC	116
Figura 99 Carga para columnas y sección de columnas	118
Figura 100 Comparación de carga experimental vs. carga analítica por pandeo.....	119
Figura 101 Equilibrio de fuerzas por confinamiento Hormigón + PVC.....	121
Figura 102 Equilibrio de fuerzas por confinamiento Hormigón + PVC + AL.	123
Figura 103 Equilibrio de fuerzas por confinamiento Hormigón + Zuncho	124
Figura 104 Equilibrio de fuerzas por confinamiento Hormigón+ PVC + Zuncho	125
Figura 105 Comparación entre carga experimental y analítica tomando en cuenta el confinamiento.....	127
Figura 106 Fuerza vs desplazamiento de hormigón.....	128
Figura 107 Falla por corte del hormigón	128
Figura 108 Falla por corte hormigón +PVC	129
Figura 109 Diagrama de Fuerza vs Desplazamiento.....	130
Figura 110 Falla por corte de hormigón + AL.....	130
Figura 111 Fuerza vs desplazamiento hormigón +AL.....	131
Figura 112 Falla por corte de hormigón con armadura longitudinal y PVC.....	131
Figura 113 Fuerza vs desplazamiento hormigón + AL + PVC.....	132
Figura 114 Falla de probeta zunchada	132
Figura 115 Fuerza vs desplazamiento probeta zunchada.....	133
Figura 116 Falla de probeta zunchada + PVC	133

Figura 117 Fuerza vs Desplazamiento hormigón AL +PVC	134
Figura 118 Fuerza vs Deformación por corte directo	135
Figura 119 Disipación de energía	136
Figura 120 Resultados ensayo a corte	137
Figura 121 Falla a flexocompresión de hormigón +AL	138
Figura 122 Falla a flexo-compresión de columna de hormigón con armadura longitudinal y PVC	139
Figura 123 Falla a flexocompresión de hormigón+Armadura longitudinal+zuncho	140
Figura 124 Falla a flexocompresión para hormigón+armadura longitudinal más zuncho y PVC	140
Figura 125 Momentos para probetas bajo ensayo a flexocompresión	142
Figura 126 Resultados de compresión para columnas de 6 plg	144
Figura 127 Resultados de secciones para tubo de PVC 6 plg	145

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo conocer el comportamiento estructural que tienen las columnas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de 6 plg, para lo cual se recopila datos de las características físicas y mecánicas de cada material que interviene en estos elementos. Posteriormente se realiza ensayos de caracterización de materiales para verificar lo mencionado en la bibliografía y diseño de hormigón que sirve para la construcción de probetas. Las dimensiones y características físicas de estos elementos se basan en las construcciones existentes en nuestra región que hacen uso de esta metodología constructiva. Para el desarrollo de los ensayos se organizó en tres etapas, la primera para conocer la capacidad a compresión de secciones de 6 plg con diferente cuantía, la segunda, ensayos a compresión y flexión de probetas a escala 1:05 dando como resultado una sección de 11cm de diámetro y 1.2m de altura y la tercera se realizó un ensayo a flexo-compresión siguiendo un modelo analítico determinado. Los ensayos de compresión, flexión, flexo-compresión, tracción y corte son realizados bajo las normativas vigentes para cada uno y adecuando las probetas para las capacidades de los laboratorios y equipos utilizados. Los resultados obtenidos se los compara con los obtenidos de forma analítica mediante la utilización de ecuaciones, a las cuales se realiza modificaciones basándose en criterios técnicos para obtener ecuaciones que sirvan para conocer los parámetros de diseños.

PALABRAS CLAVE:

- **PVC**
- **COLUMNA**
- **ESBELTEZ**
- **CONFINAMIENTO**
- **COMPRESION**

ABSTRACT

The objective of this research is to know the structural behavior of single and / or reinforced concrete columns embedded in 6-in. Tubes, for which data is collected on the physical and mechanical characteristics of each material that intervenes in these elements. Subsequently, material characterization tests are carried out to verify what is mentioned in the bibliography and design of concrete that is used for the construction of specimens. The dimensions and physical characteristics of these elements are based on the existing constructions in our region that make use of this constructive methodology. For the development of the trials was organized in three stages, the first to know the capacity to compression of sections of 6 in. With different amount, the second, tests to compression and bending of test tubes at 1:05 scale resulting in a section of 11cm in diameter and 1.2m in height and the third was a flexo-compression test following a specific analytical model. The tests of compression, flexion, flexo-compression, traction and cutting are carried out under the regulations in force for each one and adapting the specimens for the capacities of the laboratories and equipment used.

The results obtained are compared with those obtained analytically by using equations, to which modifications are made based on technical criteria to obtain equations that serve to know the design parameters.

KEYWORDS:

- **PVC**
- **COMPRESSION**
- **COLUMN**
- **SLENDERNES**
- **CONFINEMENT**

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. Introducción

El presente trabajo de investigación trata la determinación del comportamiento estructural de columnas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de PVC, debido a que en los últimos años las incidencias en el uso de materiales plásticos derivados del petróleo son cada vez más influyentes en la industria de la construcción logrando así abaratar costos y tiempo. Además, se ha evidenciado la utilización de este método constructivo en zonas rurales del Ecuador donde no existe un ente de control y se da un alto porcentaje de construcción informal.

La investigación se la realizo con el interés de conocer el comportamiento estructural de dichas columnas y en base a resultados obtenidos de ensayos de laboratorios y modelos analíticos recomendar su uso.

En el marco teórico metodológico se construyeron varias probetas las cuales fueron sometidas a ensayos de compresión, flexión, corte y flexo-compresión donde se determina la carga máxima que resisten y la deformación que sufren las mismas, cabe recalcar que por las limitaciones de los laboratorios las probetas fueron construidas a una escala de 1:0.5.

El estudio analítico del comportamiento estructural de las columnas sometidas a cargas de compresión, flexión y flexo compresión se realizó mediante el software de elementos finitos (SeismoStruct)) para tener varios parámetros de comparación.

1.2. Antecedentes

A lo largo de tiempo se han desarrollado estudios que permiten entender el comportamiento estructural de las columnas como tipos de soportes en el tiempo, de esta manera la construcción y conformación de columnas fue evolucionando con la llegada de nuevas tecnologías y diversos materiales empleados (Bernal, Hormigón Armado: Columnas, 2005), dejando de esta manera un campo abierto para la investigación de propuestas innovadoras.

Las columnas son sometidas a cargas axiales que producen una expansión transversal en el interior del hormigón. El refuerzo horizontal y vertical encierra a la masa del hormigón evitando las deformaciones laterales. Las columnas circulares con refuerzo helicoidal, que se encuentran traccionadas proporcionan una presión uniforme de confinamiento en torno al hormigón, que a grandes deformaciones transversales se asemejan al comportamiento de un fluido a presión en un recipiente (Bernal, Hormigón Armado: Columnas, 2005).

Después de varias investigaciones Rougier (2003), menciona que existen múltiples ventajas que proporciona el confinamiento del hormigón con tubos circulares debido a que esta sección da una distribución más uniforme de la mezcla en comparación a una sección rectangular y que al ser sometido a cargas axiales, incrementa la resistencia y capacidad de deformación al no permitir la libre dilatación del elemento en la dirección transversal.

En la actualidad existen viviendas informales que por facilidad de construcción y abaratar costos utiliza un proceso constructivo no tradicional que consiste en la elaboración de columnas de hormigón armado embebidas en tubos de PVC, sin conocer el comportamiento estructural que estos elementos presentan.

En la parroquia de Amaguaña, provincia de Pichincha se encuentra ubicada la hostería “Carlitos” (Ver figura 1 a) donde se evidencia el uso de columnas de hormigón armado embebidas en tubos de PVC, un caso similar se encuentra en la parroquia de Valle Hermoso en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas (Ver figura 1 b) al igual que en varios sectores rurales del Ecuador.



Figura 1 Uso de columnas con PVC

1.3. Planteamiento del problema

A nivel mundial, en la actualidad se vive una era del petróleo y sus derivados donde la imposición de este material aplicado en la industria de la construcción no es más que una evolución lógica, con estos precedentes en los últimos años las innovaciones en las características mecánicas de las tuberías de PVC han permitido que su uso se diversifique en varios campos, algunos ejemplos son el caso de la construcción de cerramientos, muebles, invernaderos etc., donde usan

los tubos de PVC como elementos que trabajan a flexión y compresión sin conocer su comportamiento ante la sollicitación de cargas.

Un ejemplo se puede evidenciar en Colombia con la construcción de invernaderos a base de este elemento o en Brasil con la elaboración de columnas de hormigón dentro de tubos de PVC utilizadas en viviendas informales.

En las zonas rurales del Ecuador existe presencia de construcciones informales donde se evidencia un porcentaje de viviendas que hacen uso de columnas de hormigón embebidas en tubos de PVC , elaboradas con un criterio empírico que pone en riesgo las estructuras que utilizan esta metodología de construcción como una alternativa para abaratar costos de construcción si conocer su comportamiento estructural, debido a que en nuestro país no existen investigaciones específicas orientadas a la determinación del comportamiento de los tubos de PVC como elementos estructurales ante la sollicitación de cargas.

1.4. Justificación e importancia

En nuestro país las construcciones informales representan más del 45% del total de las edificaciones (INEC,2010), y en gran porcentaje los inmuebles son construidos bajo un criterio empírico de obreros, por lo que la tendencia a la optimización de recursos se ve reflejado en los métodos constructivos. Por lo cual a nivel nacional existe una predisposición de la población al uso de tubos de PVC para la construcción de columnas, abaratando costos de encofrado y reduciendo significativamente el acero de refuerzo sin contar con un criterio previo de su comportamiento estructural.

En los últimos años el uso de polímeros reforzados se ha usado como material de confinamiento para elementos sometidos a compresión, esta predisposición se debe a las diferentes cualidades como es la buena resistencia a la corrosión, resistencia al pandeo y que por su sección circular permite una buena distribución de los agregados del hormigón en todas sus direcciones. La anisotropía de este material permite que la respuesta estructural pueda ser fácilmente optimizada. (Arya, Clarke, Kay, & O`Reagan, 2002).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Determinar analítica y experimentalmente el comportamiento estructural de columnas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de PVC de 6 plg, para poder ser usadas en estructuras con cargas residenciales.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar mediante ensayos de laboratorio la máxima resistencia a compresión, de probetas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de PVC de 6 plg.
- Determinar mediante ensayos de laboratorio la máxima resistencia a la compresión, flexión y flexo-compresión de probetas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de PVC de 6 plg a escala 1:0.5.
- Determinar mediante ensayos de laboratorio índices de disipación de energía y la máxima resistencia al corte directo de probetas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de PVC de 6 plg a escala 1:0.5.
- Determinar mediante varios modelos analíticos el comportamiento estructural de columnas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de PVC de 6 plg.

- Proponer una recomendación de diseño para mejorar el desempeño sísmico de columnas de hormigón embebidas en tubos de PVC.
- Evaluar la diferencia de costos que existe entre la elaboración de columnas embebidas en tubos de PVC y columnas construidas de forma tradicional.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Características y propiedades del hormigón

El concreto o también llamado hormigón es un material que resulta de la composición de una pasta (cemento y agua) y material pétreo en proporciones definidas que al reaccionar químicamente forman un conglomerado semejante a la roca con propiedades óptimas para usarse en la construcción (Palbol, 1996).

Las propiedades físicas y mecánicas difieren del estado en el que se encuentre el hormigón recién mezclado o endurecido. En el primer caso presenta buena trabajabilidad y homogeneidad dependiendo de un buen sistema de mezcla, mientras que cuando se encuentra endurecido sus propiedades es la densidad y resistencia que depende del tipo de agredo junto con la forma de colocación de la mezcla (Cevallos, 2012). A continuación, se describe algunas características que se debe tomar en cuenta acerca de este material.

- La trabajabilidad es afectada por diversas características de los agregados, tales como: la absorción, la forma, la textura superficial, el tamaño y la granulometría (Chan Yam, Solíz, & Eric, 2003).
- Las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral influye en la resistencia del concreto al igual que la relación agua/cemento.
- El ACI-318 (American Concrete Institute, 2016) establece que la resistencia mínima para cualquier elemento compuesto por hormigón es de 17 MPa.

El hormigón es un material inelástico poco dúctil que presenta un comportamiento favorable al ser sometido a esfuerzos de compresión, no es así cuando se somete a esfuerzo a flexión que se reduce a un 10% de su capacidad a compresión (Cevallos, 2012).

2.1.1. Módulo de elasticidad

El módulo de elasticidad del concreto (E_c) se define en el capítulo 19 en la sección 19.2.2.1 del ACI 318 como “la pendiente de la línea trazada desde un esfuerzo nulo hasta un esfuerzo de compresión de $0.45 f_c$ ” (American Concrete Institute, 2016) en la gráfica que relaciona el esfuerzo con la deformación unitaria producida por una carga axial a compresión como se muestra en la figura 2.

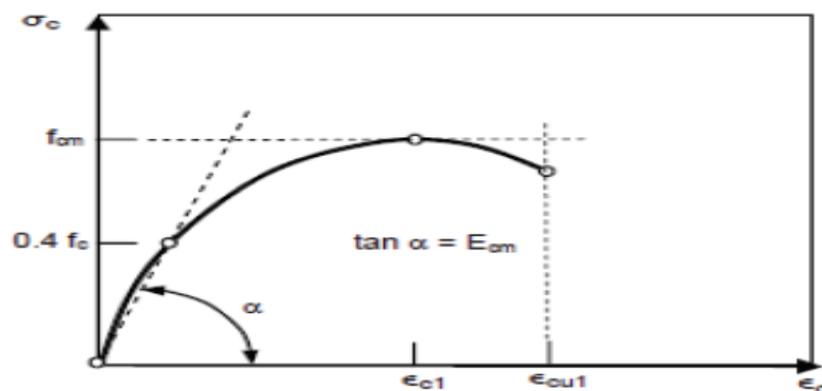


Figura 2 Curva Esfuerzo-Deformación del hormigón

Fuente: (Hernández, 2007)

Así mismo define dos ecuaciones para determinar E_c en MPa dependiendo del peso específico del concreto.

- a) Para valores de γ_c entre 1440 y 2560 kg/m^3

$$E_c = \gamma_c^{1.5} 0.043 \sqrt{f^c} \quad (1)$$

b) Para concreto de peso normal

$$E_c = 4700 \sqrt{f^c} \quad (2)$$

Los valores que se obtienen experimentalmente deben estar entre el 80% y 120% de valor determinado con la ecuación 1 o 2. En el Ecuador la (NEC, 2011) hace referencia a la ecuación 2 para cuando se calcula en modelos elásticos de estructuras que se diseñan para acciones sísmicas, y la ecuación 3 para la “estimación de deflexiones ante cargas estáticas y a niveles de servicio de elementos a flexión de hormigón armado o pretensado” (NEC, 2011) .

$$E_c = 1.5 * \sqrt[3]{E_a} \sqrt{f^c} \quad (3)$$

En donde se toma en cuenta el módulo de elasticidad del agregado (E_a) a usarse en la fabricación del hormigón.

2.1.2. Dosificación

La dosificación es el procedimiento mediante el cual se encuentra las proporciones adecuadas para la mezcla de cemento, agregados y agua para obtener un hormigón con características específicas como consistencia, compacidad, resistencia, durabilidad, etc. Para Pérez, De la Fuente, Rodríguez, & Calderón (2012) no existe un método exacto de dosificación y el cálculo teórico no exonera de una comprobación experimental debido a todos los factores influyentes en las propiedades que se desea conseguir en el hormigón. Para la dosificación mediante el método del

ACI 310 como lo sugiere (American Concrete Institute, 2016) se debe caracterizar los materiales mediante ensayos de:

- Peso específico del cemento
- Módulo de finura del agregado fino
- Peso específico del agregado fino y grueso
- Porcentaje de absorción de los agregados
- Peso volumétrico
- Humedad
- Granulometría

Cada una de las características mencionadas se debe determinar de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE-INEN 696, NTE-INEN 857, NTE-INEN 858, NTE-INEN 860 y, NTE-INEN 862 respectivamente.

Para una adecuada dosificación la granulometría debe cumplir con la siguiente tabla dada por la norma NTE-INEN 872.

Tabla1*Requisitos de graduación del árido grueso*

TAMIZ INEN Abertura Cuadrada (mm)	TAMIZ ASTM (plg)	Porcentaje en masa que debe pasar por los tamices INEN indicados en la columna (I) para ser considerado como arido grueso de Grado:									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
		90 - 37,5 (mm)	6,3 - 3,75 (mm)	6,3 - 4,75 (mm)	37,5 - 4,75 (mm)	26,5 - 4,75 (mm)	19 - 4,75 (mm)	13,2 - 4,75 (mm)	9,5 - 2,36 (mm)	53 - 26,5 (mm)	37,5 - 19 (mm)
106		100									
90		90-100									
75	3		100								
63	2 1/4	25-60	90-100	100						100	
53			35-70	95-100	100					90-100	100
37,5	1 1/2	0-15	0-15		95-100	100				35-70	90-100
26,5				35-70		95-100	100			0-15	20-55
19	3/4	0-5	0-5		35-70		90-100	100			0-15
13,2				10-30		25-60		90-100	100	0-5	
9,5	3/8				10-30		20-55	40-70	85-100		0-5
4,75	No. 4			0-5	0-5	0-10	0-10	0-15	10-30		
2,36	No. 8					0-5	0-5	0-5	0-10		
									0-5		

Fuente: Norma NTE-INEN 872 (INEN, citado en la MOP 2003)

2.1.3. Aditivos

Además de los principales componentes del hormigón como es el cemento, agua y agregados, se adiciona un componente para mejorar el desempeño del concreto en ciertas situaciones o dar determinadas características de uso. Es así como se puede clasificar a los aditivos de la siguiente manera (McCormac & Brown, 2011):

- Aditivos inclusivos de aire, usados para concretos sometidos a climas extremos como es el congelamiento. Las burbujas incorporadas absorben el agua aliviando la presión sobre el concreto.
- Aditivos acelerantes, como sales solubles o cloruro de calcio que reducen el tiempo de curado y permiten que el hormigón alcance el 80% de su resistencia en menor tiempo.
- Aditivos retardantes, son varios ácidos o azúcares, usados para incrementar el tiempo de fraguado y plasticidad permitiendo una mejor mezcla entre colados sucesivos.

- Aditivos superplastificantes, constituidos por sulfonatos orgánicos (RSO_3^-) que por su acción tensoactiva permiten la reducción de agua e incrementar sus revenimientos. Comúnmente son utilizados para dar mejor manejabilidad manteniendo la resistencia del concreto.
- Aditivos impermeabilizantes, ayudan a retardar la penetración de agua en los concretos porosos.

2.2. Características y propiedades del acero de refuerzo

El acero según Ramírez (2015) “Es la aleación de Hierro (Fe) y Carbono (C). Esta aleación básica, se suele adicionar otros elementos que confieren al acero propiedades especiales como: resistencia a la tracción, fluencia, corrosión, etc.”.

En la construcción un elemento importante es la varilla corrugada o acero de refuerzo fabricada bajo las normas ASTM A615/615 M y A 706/706M (American Concrete Institute, 2016) que se usa para trabajar en conjunto con el hormigón con el fin de dar resistencia a la tracción de los elementos estructurales. Existen tres tipos de acero corrugado, dependiendo de su grado varía las características de fluencia y resistencia.

Tabla 2

Características resistentes de los aceros

	f_y (kg/cm^2)	f_s (kg/cm^2)
Grado 40	2800	4900
Grado 60	4200	6300
Grado 75	5300	7000

Fuente: (Harmsen, 2005)

Donde:

f_y : Esfuerzo de fluencia del acero

f_s : Resistencia mínima a la tracción a la rotura

Cuando se da el caso de $f_y > 4200 \text{ kg/cm}^2$ (Harmsen, 2005) propone tomar como f_y la resistencia que corresponde a una deformación unitaria de 0.35%. Este esfuerzo no debe ser superior a los 5600 kg/cm^2 .

2.2.1. Módulo de elasticidad

El diagrama esfuerzo-deformación unitaria nos permite conocer el módulo de elasticidad del acero mediante la tangente del ángulo α mostrando que el valor de la elasticidad es independiente del grado del acero como se observa en la figura 3.

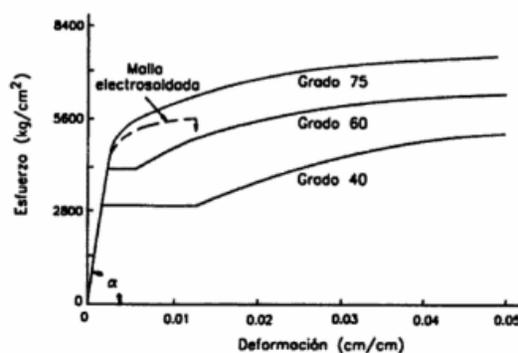


Figura 3 Curva esfuerzo-deformación y módulo de elasticidad del acero

Fuente: (Ramírez, 2015)

2.3. Características y propiedades del PVC

Los polímeros se clasifican de acuerdo a varios aspectos como es su estructura, origen, composición química, aplicaciones, mecanismo de polimerización, propiedades mecánicas, ópticas o eléctricas (López, 2013) .

- Elastómeros: tienen baja elasticidad, pero buena tensibilidad. Se deforman bajo la aplicación de fuerzas y gran resiliencia.
- Termoplásticos: se licua al incrementarse la temperatura, pero se solidifican al bajarla.
- Termoestables: son polímeros reticulares que se descomponen cuando son sometidos al calor

El PVC es la denominación por la cual se conoce al policloruro de vinilo, un termoplástico que surge a partir de la polimerización del monómero de cloro-etileno (también conocido como cloruro de vinilo) para formar moléculas de gran peso llamado polímero. Los componentes del PVC derivan del cloruro de sodio en un 57% y del gas natural o del petróleo en un 43%, e incluyen cloro, hidrógeno y carbono (Gómez, 2015). En la figura se observa la cadena polimérica del policloruro de vinilo, los átomos de carbono están representados por las esferas negras, los átomos de hidrógenos por las esferas blancas y los de cloro por las esferas verdes.

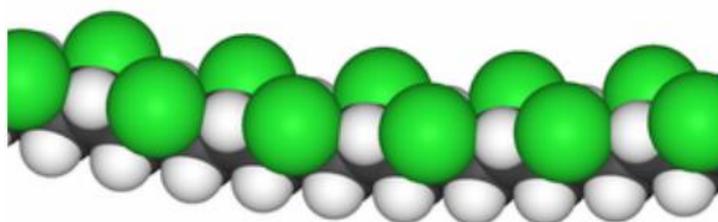


Figura 4 Cadena polimérica del policloruro de vinilo

Fuente: (Bolívar, 2018)

Para su elaboración es necesario utilizar 0.8% de peróxido benzoico del peso del monómero y el proceso requiere una temperatura de 58 °C, un cilindro rotativo donde se colocan esferas de acero inoxidable (Lascano & Narvaez, 2010).



Figura 5 Proceso de fabricación del PVC

Fuente: (Lascano & Narvaez, 2010)

Debido a su estructura molecular el PVC es un material resistente a la oxidación, con viscosidad alta y químicamente estable, susceptible a la deformación con la aplicación de cargas exteriores, sin embargo presenta limitación en su movilidad molecular (Bolívar, 2018), pues los átomos de cloro son voluminosos y no tienen espacio suficiente para rotar en otras direcciones debido a que se lo impiden los átomos de hidrógeno.

Entre las propiedades más representativas de este tipo de polímero para Fombuena, Fenollar, & Montañes (2016) es que es resistente y liviano, tiene gran poder de aislamiento eléctrico.

En sus aplicaciones como las tuberías para conducción de agua, tiene una longevidad de más de 60 años (Astopilco, 2015).

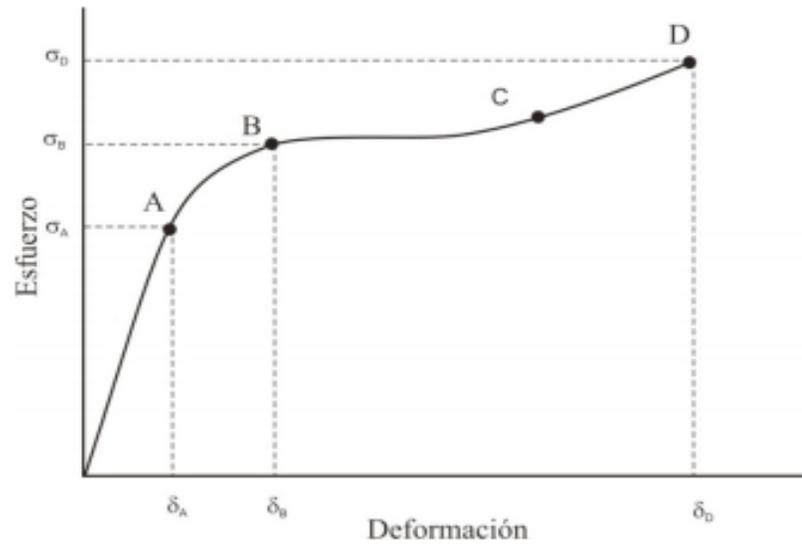


Figura 6 Curva típica esfuerzo-deformación de un plástico

Fuente: (Fombuena, Fenollar, & Montañes, 2016)

2.3.1. Tipos de PVC

En el mercado se encuentra principalmente dos tipos de PVC: rígido y flexible o plastificado.

- PVC Rígido: “Es un material que es resistente al impacto y estabilizado frente a la acción de la luz solar y efectos de la intemperie” (Astopilco, 2015)
- PVC Flexible: Es un material flexible con compuestos para moldeado, alta tenacidad y sensible al calor (Astopilco, 2015)

Tabla 3
Características físicas y mecánicas

Propiedades Físicas	
Peso específico	1.44 g/cm ³ a 25 C
Estabilidad dimensional a 150 C	<5%
Coefficiente de dilatación térmica	0.06 - 0.08 mm/m/ C
Constante dieléctrica a 10 ³ - 10 ⁶ HZ	3 - 3.8
Inflamabilidad	Auto extinguable
Coefficiente de fricción	n=0.009 Manning; C= 150 Hazen – Williams
Punto Vicat	≥ 80 C
Características Mecánicas	
Tensión de diseño	100 kgf/cm ²
Resistencia a la tracción	480 - 560 kgf/cm ²
Resistencia a la compresión	610 - 650 kgf/cm ²
Módulo de elasticidad	≈ 30 000 kgf/cm ²

Fuente: (Nicoll S.A. - ISO 4422 , 2006)

2.4.Hormigón Armado

El hormigón armado es considerado un material compuesto por hormigón y barras de acero dispuestas en sentido longitudinal y transversal que actúan como refuerzo (figura 7). El diseño, detalle y construcción adecuada mejora su comportamiento resistiendo eficientemente diferentes tipos de sollicitaciones. Las propiedades que posee el hormigón armado son más ventajosas en relación a que si sus componentes actuaran en forma aislada. Por ejemplo, el comportamiento del hormigón ante sollicitaciones de tracción es muy ineficiente mientras que el acero es muy susceptible a sufrir daños por corrosión, incendios y efectos de pandeo (Córdova, 2015).

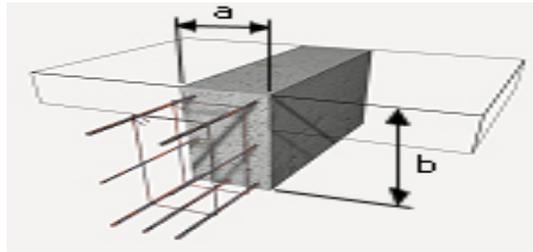


Figura 7 Elemento de hormigón armado

Fuente: (IECA, 2014)

La compatibilidad que existe entre estos dos materiales como lo es el hormigón y el acero de refuerzo funcionan de forma excelente en las estructuras de hormigón armado. Las ventajas del hormigón compensan las desventajas del acero y viceversa. Los dos materiales cumplen con parámetros de adherencia de modo que no existe deslizamiento entre sí y funcionan conjuntamente como un solo elemento para resistir sollicitaciones a las que están expuestas (Mc Cormac & Brown, 2011).

2.4.1. Ventajas del hormigón armado

Como afirma Castro & Battaglia (2014) las ventajas del hormigón son:

- Costo relativo y costo financiero
- Bajo mantenimiento y durabilidad
- Disponibilidad de materiales
- Rigidez
- Monolitismo (se obtienen estructuras hiperestáticas con gran reserva de capacidad portante)
- Resistencia al fuego (resiste la acción del fuego aproximadamente 1 a 3 horas)
- Libertad para diseñar.

2.4.2. Desventajas del hormigón armado

- Encofrados y apuntalamientos
- Alta relación peso-resistencia
- Reparaciones y refuerzos (en el caso del acero la soldadura permite resolver reparaciones eventuales mientras que para estructuras de hormigón armado se debe recurrir a procedimientos más complejos y caros)
- Demolición de una estructura.
- Reducido aislamiento térmico.

2.4.3. Vigas de hormigón armado

La viga es un elemento común en toda estructura., es el componente que une las columnas con los entrepisos y de la misma forma recoge las cargas de entrepisos y losas y las transmite a las columnas. El dimensionamiento de una viga de hormigón armado es relativamente sencillo comparada con otros elementos, la viga posee esfuerzos bien característicos como lo es la flexión y corte (Bernal, 2005). La flexión y corte son solicitaciones a las que se encuentran sometidas las vigas y que se detallan posteriormente.

2.4.3.1. Flexión

Para el análisis y diseño de elementos de hormigón armado sometidos a flexión se desarrolló la teoría de la flexión donde es indispensable considerar ciertas suposiciones fundamentales, con las cuales la tarea del calculista resulta más sencilla puesto que existirían menos incertidumbres y variables (Córdova, 2015).

Según Córdova (2015) en la práctica es necesario el desarrollo de una teoría sencilla incorporando una serie de suposiciones para facilitar el desarrollo de las ecuaciones las cuales

predicen el comportamiento ante esfuerzos de flexión de una sección de hormigón armado. Para ello, se consideran las siguientes suposiciones:

- Las secciones planas se siguen manteniendo planas antes de la flexión y después de ella.
- La curva tensión - deformación del acero es conocida.
- No se considera la resistencia a la tracción del hormigón.
- La curva tensión – deformación del hormigón es conocida.
- El hormigón y el acero trabajan como un solo elemento.

Entonces poniendo en práctica la teoría de flexión se puede observar en la figura 7 el análisis de una sección de hormigón armado sometida a esfuerzos de flexión.

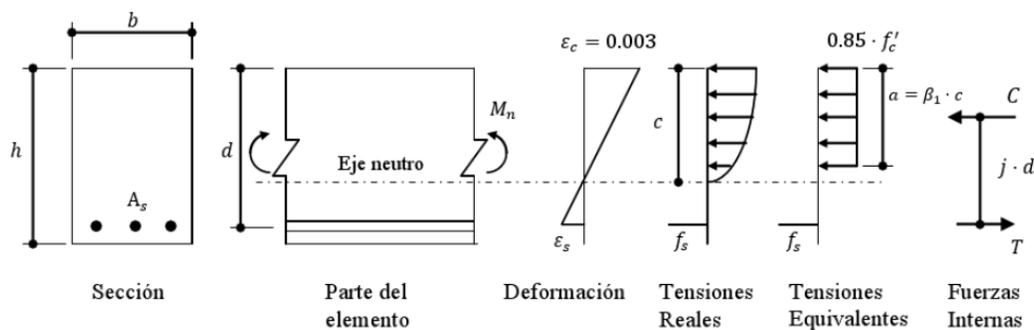


Figura 8 Análisis de una sección rectangular con simple armadura

Fuente: (Córdova, 2015)

Donde:

Fuerza de tracción (si el acero fluye):

$$F = A_s f_y$$

Fuerza de compresión:

$$C = 0.85 f_c^* a * b$$

Equilibrio de fuerzas horizontales:

$$T = C$$

Distancia entre las fuerzas:

$$j * d = d - \frac{a}{2}$$

Momento nominal:

$$M_n = T * j * d$$

2.4.3.2.Corte

En el hormigón armado el análisis y diseño por corte no se encuentra directamente relacionado con el corte directo como tal, sin embargo, esta falla por tensión diagonal es producida por la combinación de esfuerzos por flexión y corte que se producen en las vigas. En la mayoría de elementos de hormigón armado como son las vigas, los esfuerzos producidos por el corte directo se encuentran por debajo de la resistencia del hormigón al corte directo (Córdova, 2015).

2.4.4. Columnas de hormigón armado

Las columnas son elementos verticales utilizados como soporte para resistir básicamente cargas de compresión axial, aunque por la continuidad de los elementos en las estructuras de hormigón armado también se encuentran sometidas a corte, flexión y torsión (Harmsen, 2005).

La configuración de la sección transversal de una columna estará sujeto a condicionantes dependiendo del tipo de solicitaciones producidas, del proyecto arquitectónico y la disponibilidad de recursos para realizar los procedimientos constructivos. De esta manera pueden tomar formas de sección cuadrada, rectangular, poligonal, circular etc (Castro & Battaglia, 2014).

Para el caso de diseño de columnas circulares, cuadradas, rectangulares o de cualquier otra forma geométrica el (American Concrete Institute, 2016) no especifica una sección mínima con el fin de facultar el uso de secciones pequeñas en columnas utilizadas en estructuras de baja altura sometidas a cargas livianas. En este caso se requiere que la mano de obra sea cuidadosa ya que los esfuerzos por retracción son de gran importancia.

A continuación, se presenta algunas de las solicitaciones a las que se encuentran sometidas las columnas de hormigón armado.

2.4.4.1. Compresión

El esfuerzo de compresión para materiales homogéneos se expresa mediante la relación entre la fuerza actuante con la superficie transversal de la columna. Pero para materiales heterogéneos como es el hormigón armado la fórmula para determinar el esfuerzo de compresión cambia debido a que considera la resistencia del hormigón en conjunto con el acero como se puede observar en la figura 9 en la cual se presenta el comportamiento de una columna de hormigón armado en términos de carga vs deformación axial sometida a carga axial de compresión (Bernal, 2005).

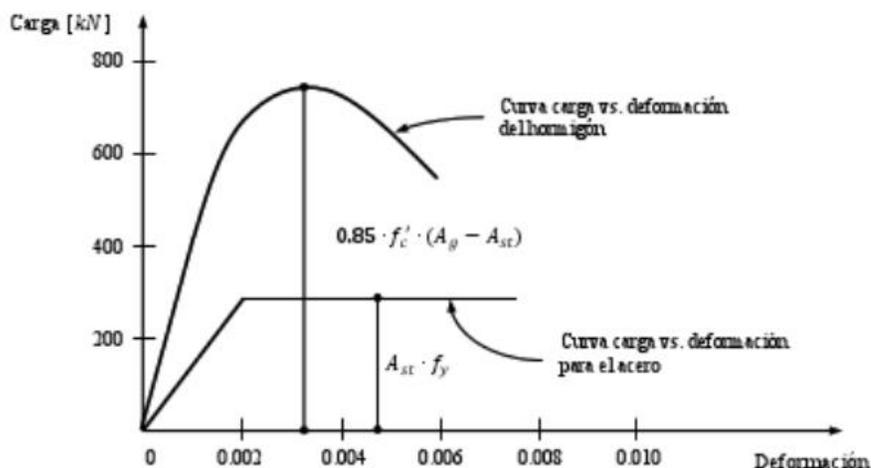


Figura 9 Carga vs deformación para el acero y el hormigón de una columna sometida a carga axial

Fuente: (Córdova, 2015)

Del análisis de la figura 9 se determina la resistencia última de columnas cargadas axialmente la cual está dada por la ecuación:

$$P_o = 0.85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (4)$$

Donde:

A_g = área total de la sección transversal del elemento.

A_{st} =área del acero longitudinal.

$0.85 f'_c$ =máximo esfuerzo de compresión en el hormigón.

f_y = Tensión de fluencia del acero.

2.4.4.2.Compresión considerando el confinamiento

Bajo condiciones de compresión triaxial el hormigón aumenta considerablemente su resistencia y ductilidad. Richart, Brandtzaeg y Brown citado en Park & Paulay (1994) a partir de varios ensayos de laboratorio “encontraron la siguiente relacion para la resistencia de cilindros de concreto cargados axialmente a la falla mientras se les sujetó a presión de fluido de confinamiento”.

$$f'_{cc} = f'_c + 4.1f_l \quad (5)$$

Donde:

f'_{cc} = Resistencia a compresión axial del espécimen no confinado

f'_c = Resistencia a compresión uniaxial del espécimen no confinado

f_l = Presión del confinamiento lateral

En la práctica al hormigón se lo puede confinar mediante el refuerzo transversal en formas que se adapten a la sección de la columna, sin embargo, la distribución de presiones proporcionada por

el acero transversal en forma de aro es más eficiente en comparación al confinamiento proporcionado por aros cuadrados tal como se muestra en la figura 10.

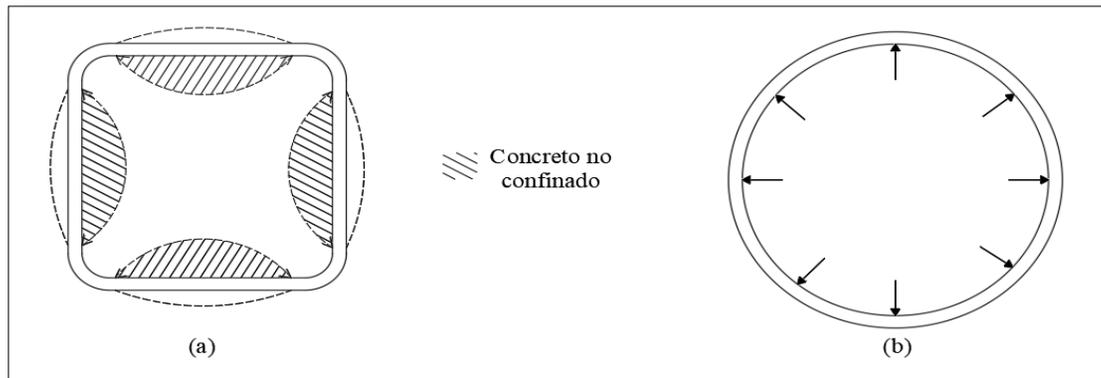


Figura 10 Confinamiento por aros cuadrados y hélices (a) aro cuadrado, (b) hélice

Fuente: (Park & Paulay, 1994)

En la figura 10 (a) se puede observar que los esfuerzos por confinamiento se producen cerca de las esquinas generando esfuerzos discontinuos mientras que en la figura 10 (b) el esfuerzo por confinamiento se mantiene continuo alrededor de toda la circunferencia (Park & Paulay, 1994).

El confinamiento generado por refuerzo transversal helicoidal se puede determinar a partir de la tensión generada en el acero en espiral. En la figura 11 se muestra la distribución de esfuerzos de confinamiento en una media vuelta de una espiral.

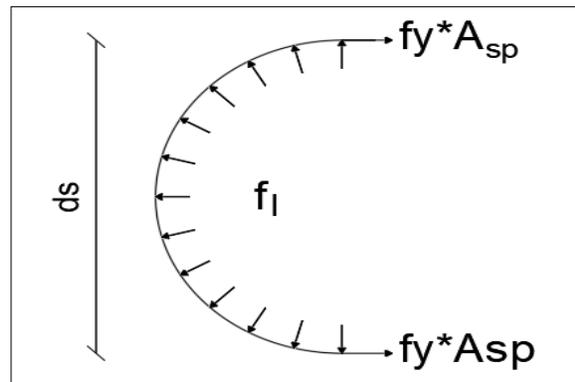


Figura 11 Confinamiento del hormigón mediante refuerzo helicoidal

Fuente: (Park & Paulay, 1994)

Mediante el equilibrio de fuerzas de la figura 11 se determina la siguiente ecuación:

$$2f_y A_{sp} = d_s s f_l \quad \therefore \quad f_l = \frac{2f_y A_{sp}}{d_s s} \quad (6)$$

Donde:

f_l = presión del confinamiento lateral.

f_y = tensión de fluencia del acero de refuerzo transversal.

A_{sp} =área de la sección de la varilla helicoidal.

d_s =diámetro del refuerzo helicoidal.

s = espaciamiento del refuerzo helicoidal.

La resistencia última a compresión considerando el confinamiento de acuerdo a (Park & Paulay, 1994) se obtiene al reemplazar la ecuación 6 en 5

$$P_u = \left(0.85f_c + 8.2 \frac{f_y A_{sp}}{d_s s} \right) A_{cc} + f_y A_{st} \quad (7)$$

Donde:

A_{sp} : área de la varilla helicoidal

d_s : diámetro de acero de la hélice

A_{cc} : área del concreto en el núcleo de la columna

s : paso de la hélice

2.4.4.3. Flexo compresión

Las columnas principalmente soportan cargas de compresión, sin embargo deberán soportar los momentos flectores que se generan en una o más direcciones tal como se muestra en la figura 12, además soportar los esfuerzos de corte generados por la flexión (Castro & Battaglia, 2014).

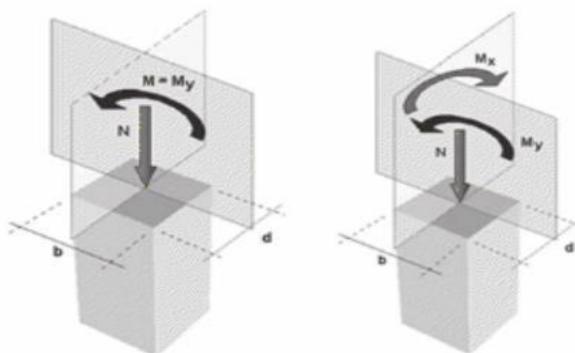


Figura 12 Momentos flectores en columnas

Fuente: (Castro & Battaglia, 2014)

Park & Paulay (1994) afirma que “ la combinación de una carga P_u y momento flexionante M_u equivale a una carga P_u aplicada con la excentricidad $e = M_u/P_u$ ”, ver figura 13.

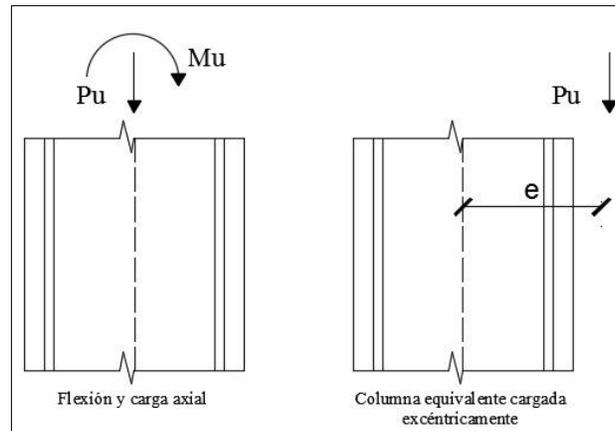


Figura 13 Carga equivalente de columnas

Fuente: (Park & Paulay, 1994)

En síntesis, la forma mas óptima de ilustrar las combinaciones de P_u y $(P_u \cdot e)$ que inducen a la falla de una columna es mediante la interpretación de un diagrama de interacción. De la figura 14 se puede determinar que una falla a compresión se da para cualquier combinación de excentricidad y carga que dé un punto en el tramo AB, mientras que una falla por tensión se da para cualquier combinación que de en un punto en el tramo BC, en el punto B se da una falla balanceada.

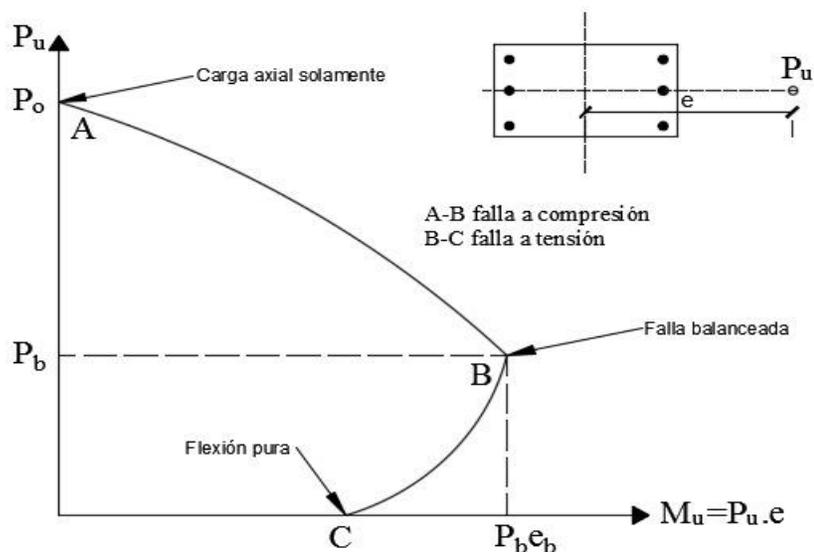


Figura 14 Diagrama de interacciones para una sección de columna de concreto reforzado cargada excéntricamente.

Fuente: (Park & Paulay, 1994)

Everard & Tanner (1976) propone la ecuación 8 para determinar la excentricidad balanceada en columnas circulares con armadura tipo zuncho.

$$e_b = (0.24 + 0.39\rho_t m)t \quad (8)$$

Donde

ρ_t : A_{st}/A_g

m : $f_y/0.85f'_c$

t : diámetro de la sección

si $e < e_b$ se tiene una falla por compresión

si $e > e_b$ se tiene una falla por tensión

Dependiendo de la sección de una columna y el arreglo del acero de refuerzo se plantean varias ecuaciones para determinar el P_u por una falla a compresión o tensión, sin embargo, Whitney,

citado en Park & Paulay (1994) propone dos ecuaciones para una sección circular, la primera para determinar una falla por tensión y la segunda para determinar una falla por compresión , figura 15.

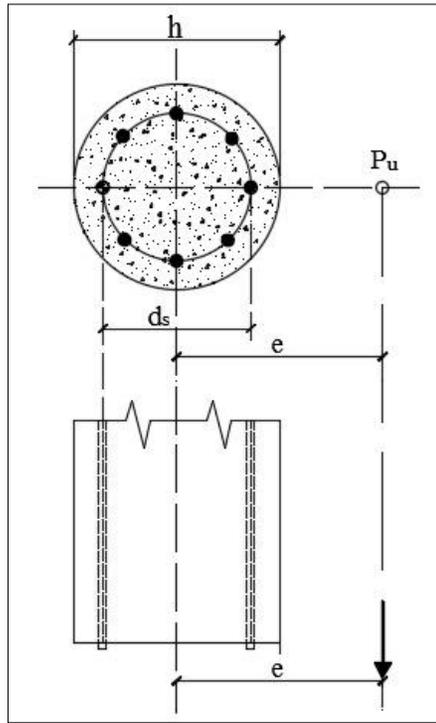


Figura 15 Sección circular con acero dispuesto en círculo

Fuente: (Park & Paulay, 1994)

Falla a tensión:

$$P_u = \phi 0.85 h^2 f'_c \left\{ \left[\left(\frac{0.8e}{h} - 0.38 \right)^2 + \frac{\rho_t m d_s}{2.5h} \right]^{1/2} - \left(\frac{0.8e}{h} - 0.38 \right) \right\} \quad (9)$$

Donde:

e = excentricidad de aplicación de carga

h = diámetro de la sección.

$$\rho_t = A_{st}/A_g$$

$$m = f_y/0.85f'_c$$

ϕ =factor de reducción de capacidad 0.75 de acuerdo a la tabla 21.2.2 (American Concrete Institute, 2016) para columna zunchada.

Falla a compresión.

$$P_u = \phi \left[\frac{A_{st}f_y}{\frac{3e}{d_s} + 1} + \frac{A_g f'_c}{\frac{9.6h \cdot e}{(0.8h + 0.67d_s)^2} + 1.18} \right] \quad (10)$$

2.4.5. Columnas esbeltas

La resistencia nominal de elementos de hormigón armado considerados como columnas cortas dependen únicamente de la geometría de la sección transversal y la resistencia de los materiales, en su mayoría las columnas utilizadas en estructuras de hormigón armado fallan de esa manera. Sin embargo, con las nuevas innovaciones en las obras civiles, materiales y técnicas constructivas es posible tener columnas con secciones transversales pequeñas convirtiéndoles en elementos esbeltos, para los cuales en el diseño y análisis se deben considerar otro tipo de fallas como es el pandeo de todo el elemento (Córdova, 2015).

La esbeltez de una columna está dada por la relación que existe entre su sección trasversal en comparación con su altura. Según Córdova (2015) afirma que “el grado de esbeltez es en general expresado en terminos de la relacion de esbeltez $\left(\frac{lu}{r}\right)$ donde lu se define como la longitud no

arriostrada y r es el radio de giro de la sección”. Se considera que para columnas circulares y cuadradas en relación a sus ejes principales el radio de giro es el mismo.

2.4.5.1. Pandeo

Para el estudio del pandeo se creó la teoría euleriana la cual utiliza como fundamento o principio que los elementos o barras esbeltas cambian su configuración antes de que se produzca la rotura del elemento cargado axialmente. Para interpretar el análisis de pandeo partimos de un elemento articulado en sus dos extremos al cual ante un determinado valor de carga axial el elemento cambia su disposición de recto a curvo de manera instantánea. En el caso de que el elemento sea muy esbelto e idealmente elástica adopta otras disposiciones tal como se muestra en la figura 16 (Bernal, 2005).

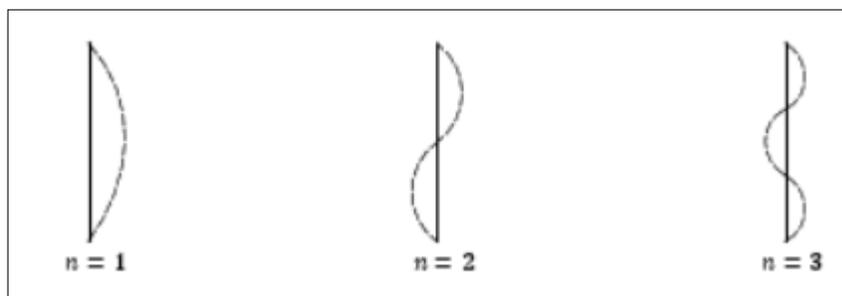


Figura 16 Modo de pandeo de columnas

Fuente: (Córdova, 2015).

A continuación, se muestra la solución a la ecuación diferencial planteado por Euler en su forma general.

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{l^2} \quad (11)$$

Donde:

π = constante de un valor aproximado 3.14159

E= Módulo de elasticidad

I= Momento de inercia de la sección transversal.

l= longitud de la columna.

n= número de curvas senoidales en las que la columna se deforma

Para el análisis de pandeo no solo se puede considerar una columna articulada en sus dos extremos, sino que existen varias combinaciones de apoyos para las cuales la ecuación 11 es afectada por un valor k, en el cual se considera la longitud efectiva de la columna, ecuación 12 (Córdova, 2015).

$$P_{cr} = \frac{n^2 \pi^2 EI}{(kl)^2} \quad (12)$$

Donde:

k= factor efectivo de la longitud de la columna

Desarrollando todos los casos posibles de apoyos para columnas se determina unos valores para k teóricos los cuales están expresados en la figura 17.

La forma de pandeo se indica en línea de puntos	(a) 	(b) 	(c) 	(d) 	(e) 	(f) 
Valores teóricos de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados de proyecto para condiciones reales	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Condiciones de vínculo	 Rotación y Traslación impedida  Rotación libre y Traslación impedida  Rotación impedida y Traslación libre  Rotación libre y Traslación libre					

Figura 17 Valores de k para columnas

Fuente: (Troglia, 2010)

2.5. Columnas compuestas

En el ámbito de la industria de la construcción el término de construcción compuesta se aplica para indicar el uso de uno o más materiales diferentes, mismo que se combinan para obtener un elemento único que presente un mejor comportamiento ante sus componentes individuales. En una obra civil este término se usa en particular para elementos construidos con acero estructural y hormigón como es el caso de vigas y columnas compuestas (Crisafulli, 2018). Sin embargo, en la actualidad se realizan investigaciones que permiten el desarrollo de otros materiales compuestos utilizando madera, Polímeros (PVC), caucho y materiales reciclables etc.

2.6. SeismoStruct

El software SeismoStruct es un programa desarrollado para conocer el comportamiento de los elementos estructurales sometidos a cargas estáticas o dinámicas mediante elementos finitos, teniendo en consideración la inelasticidad y no linealidades geométricas de los materiales.

El programa presenta tres módulos en los cuales se define los datos del modelo estructural, se ejecuta el análisis y se realiza el procesamiento de los resultados (Seismosoft, 2013).

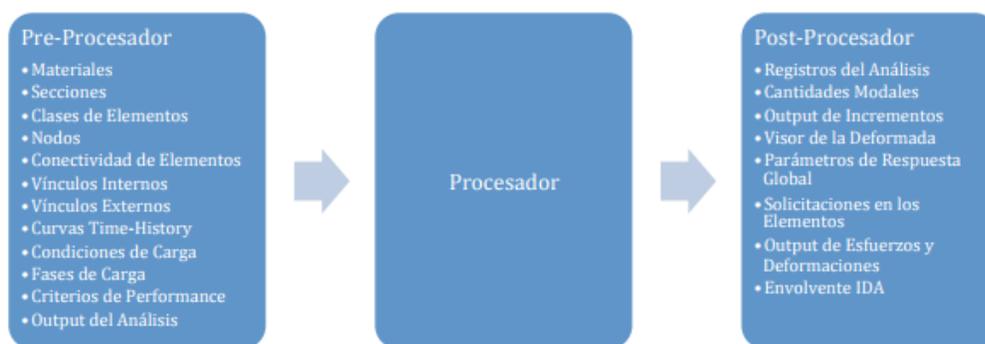


Figura 18 Módulos de procesamiento

Fuente: (Seismosoft, 2013)

SeismoStruct presenta varias ventajas relevantes:

- Se puede realizar siete tipos de análisis: time-history dinámico y estático, pushover convencional y adaptativo, análisis dinámico incremental, eigen valores y con carga estática no variable.
- Las cargas aplicadas pueden consistir en fuerzas constantes o variables, desplazamientos y aceleraciones en los nodos. Las cargas variables pueden variar proporcionalmente o independientemente en el dominio del tiempo o pseudo-tiempo.
- Estabilidad numérica y precisión incluso para niveles muy elevados de deformación, lo cual permite la determinación precisa de la carga de colapso de una estructura (Seismosoft, 2013).

2.6.1. Elementos finitos

El Método de Elementos Finitos (MEF) es un método numérico para resolver ecuaciones diferenciales por medio de "aproximaciones discretas". A diferencia del método de diferencias finitas (MDF), en el cual la zona de solución es un conjunto de puntos discretos, el método de elementos finitos supone que la zona de solución está compuesta de muchas sub zonas interconectadas, las que se denominan "elementos finitos". Estos elementos, los que pueden tomar formas simples (por ejemplo, líneas, triángulos, rectángulos, paralelepípedos) se ensamblan de diferentes maneras para representar la solución sobre una región cualquiera. Los conceptos básicos que se incorporan en este apunte son simples y la idea principal es comprender la operatoria detrás de la técnica numérica de los elementos finitos (Espinoza & Niño, 2001).

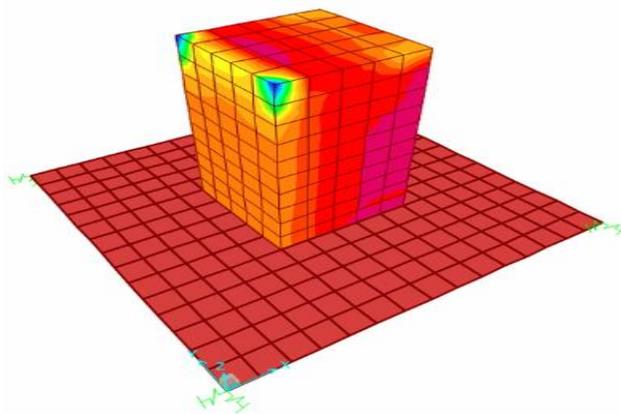


Figura 19 Diagrama de elementos finitos

Fuente: (Espinoza & Niño, 2001)

El análisis de elementos finitos para un problema físico puede ser descrito de la siguiente forma:

El sistema físico se divide en series de elementos que están conectados por un número discreto de puntos nodales; este proceso se denomina "discretización". Se identifican los elementos por

medio de números., mientras que el problema continuo posee 20 elementos y 52 nudos (Espinoza & Niño, 2001).

Una expresión matricial se desarrolla para relacionar las variables nodales de cada elemento. La matriz resultante se conoce comúnmente como "matriz elemental". Para un problema discreto, la matriz elemental puede ser generada a partir de un análisis físico. Para problemas continuos, la matriz elemental se obtiene mediante un proceso matemático que utiliza técnicas variacionales o métodos de residuos ponderados (Espinoza & Niño, 2001).

Las matrices elementales se combinan o "ensamblan" para formar un conjunto de ecuaciones algebraicas que describen el sistema global. La matriz de coeficientes del problema global se conoce como la matriz global. El procedimiento de ensamble se realiza para cumplir condiciones de compatibilidad en la unión de elementos (Espinoza & Niño, 2001).

Condiciones de borde son incorporadas dentro de la matriz global, el conjunto de ecuaciones algebraicas se resuelve mediante algún método matricial adecuado (Espinoza & Niño, 2001).

CAPITULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología experimental

La metodología para el desarrollo de este proyecto es experimental pues se desea conocer las causas y evaluar los efectos de columnas de hormigón y PVC. El proceso de investigación que se sigue para la elaboración de las muestras de hormigón simple y armado en combinación con tubos de PVC, inicia con conocer el comportamiento de diferentes cuantías para posteriormente, escalar y ser sometidas a diferentes ensayos para conocer su comportamiento como elemento estructural.

Además, se muestra la caracterización de agregados para el diseño de un hormigón de alta resistencia bajo las normas NTE, tanto para las muestras donde se usó el tubo de 6 plg como para las probetas a escala 1:0.5 de 4 plg donde el tamaño nominal del agregado cambia para cumplir con la norma ACI 318.

Los ensayos a compresión, flexión, flexo compresión y corte se realiza bajo las normas establecidas para cada uno, además de ensayos a tracción para el acero de refuerzo y el PVC.

3.1.1. Caracterización de agregados

Los agregados provienen de una cantera ubicada en la Parroquia Pintag en el sureste de la ciudad de Quito. Se extrajo agregado de tamaño nominal 3/8' y 1' a los cuales se realizó los diferentes ensayos mostrados a continuación en el laboratorio de suelos de la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe.

3.1.1.1. Granulometría

La granulometría del agregado fino y grueso se realiza para comprobar que cumplan con los requerimientos de las fajas dadas en la tabla 1. Aplicando la norma 696 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 se obtuvieron las siguientes curvas granulométricas características.

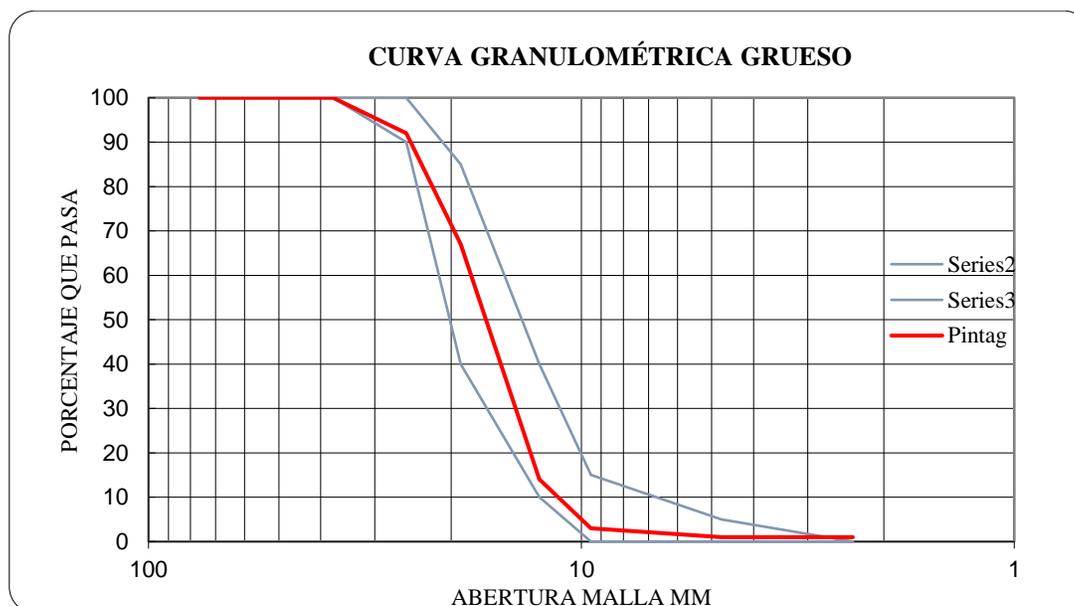


Figura 20 Curva granulométrica agregado 1 ½

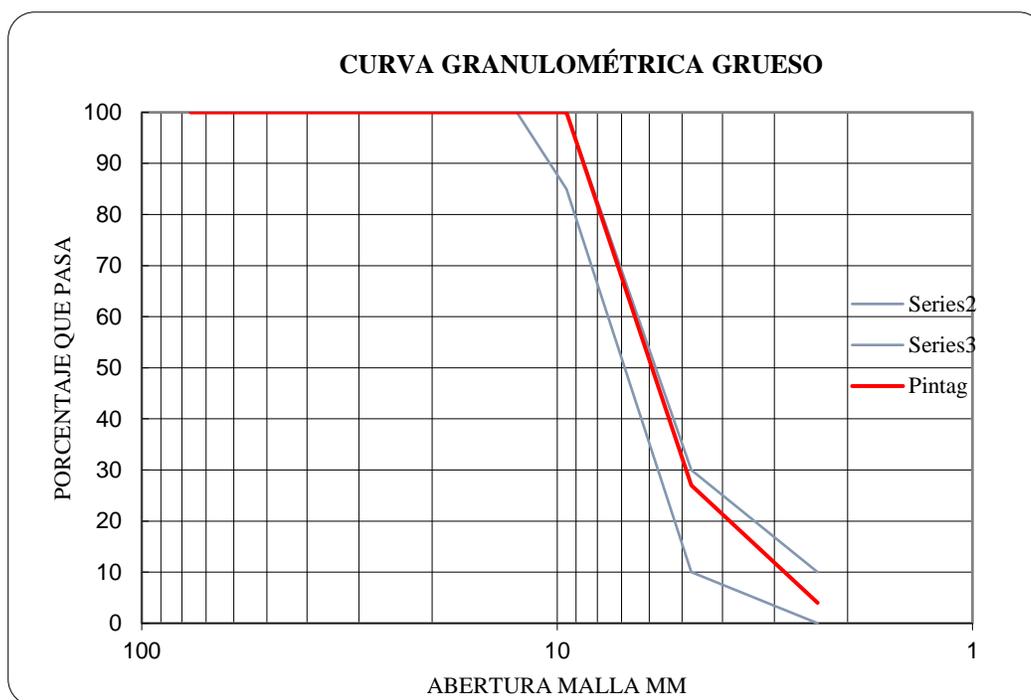


Figura 21 Curva Granulométrica Agregado 3/8

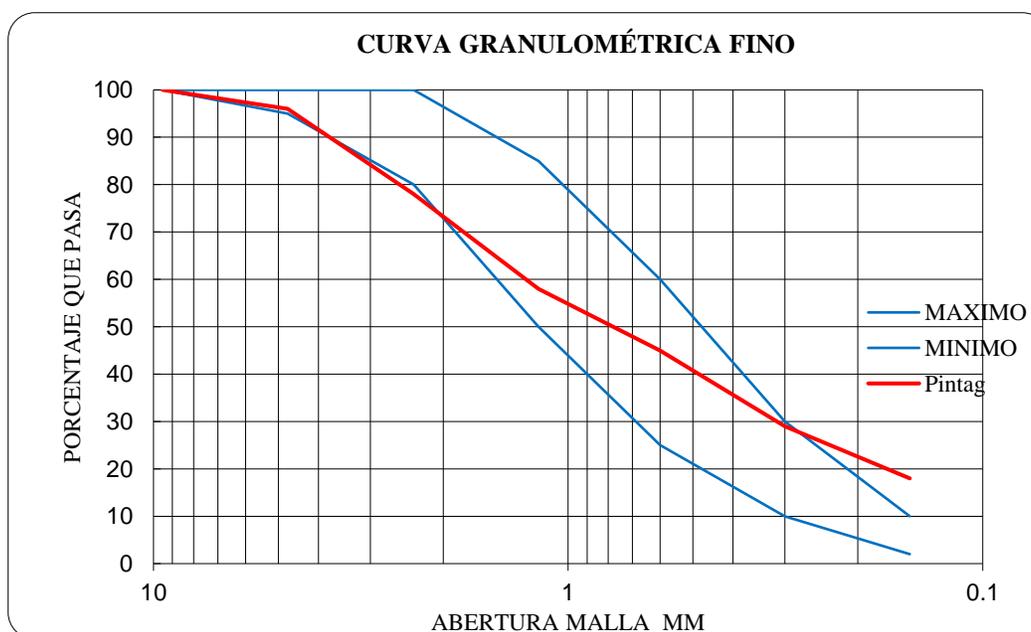


Figura 22 Curva granulométrica agregado fino

En las figuras se puede observar que tanto el agregado fino como grueso están dentro de los límites de las fajas establecidas por la norma, y mostrando que el módulo de finura del agregado fino es 2.76

3.1.1.2.Contenido de Humedad

Bajo la norma NTE 862 “Determinación Total del contenido de Humedad” se estableció el porcentaje de humedad en estado natural de los áridos, ver tabla 4.

Tabla 4

Porcentaje de humedad

Agregado	% de Humedad
Fino	7.91
3/8	2.23
1 1/2	1.27

3.1.1.3.Densidad y Absorción

Es la capacidad de los áridos para remplazar los espacios vacíos con agua. Para determinar esta característica de los áridos finos y gruesos se utilizan la norma NTE INEN 0857 y NTE INEN 0856 respectivamente. Cumpliendo los procedimientos mencionados en cada normativa se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 5.



Figura 23 Lavado de agregado fino y grueso

3.1.1.4. Peso volumétrico y porcentaje de vacíos

Masa de una unidad de volumen correspondiente al árido total, en el cual se incluye el volumen de las partículas individuales y el volumen de los vacíos entre las partículas expresada en kg/m^3 .

El tamaño de la muestra debe ser de aproximadamente 125% a 200% respecto de la cantidad necesaria para llenar el molde y debe ser manejada de tal manera que se evite la segregación. Secar la muestra hasta obtener masa constante, de preferencia en un horno a $110\text{ }^\circ\text{C} \pm 5\text{ }^\circ\text{C}$.

Para el cálculo de la masa unitaria (peso volumétrico) mediante los procedimientos de varillado, de sacudidas o de paladas, se realiza de la siguiente manera:

$$M = (G - T) / V \quad (13)$$

$$M = (G - T) \times F \quad (14)$$

Donde:

M = masa unitaria (peso volumétrico) del árido, kg/m^3

G = masa del árido más el molde, kg

T = masa del molde, kg

V = volumen del molde, m³, y

F = factor del molde, 1/m³.



Figura 24 Peso volumétrico del agregado fino compactado

3.1.1.5. Desgaste de materiales

La palabra abrasión es la acción y efecto de raer o desgastar por fricción. En los agregados gruesos una de las propiedades físicas en los cuales su importancia y su conocimiento son indispensables en el diseño de mezclas es la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados. Esta es importante porque con ella conoceremos la durabilidad y la resistencia que tendrá el concreto para la fabricación de losas, estructuras simples o estructuras que requieran que la resistencia del concreto sea la adecuada para ellas (INEN).



Figura 25 Colocación del agregado grueso en la máquina de los Ángeles

El choque entre el agregado y las 12 bolas de acero da por resultado la abrasión y los efectos se miden por la diferencia entre la masa inicial de la muestra seca y la masa del material desgastado expresándolo como porcentaje inicial. El ensayo se lo realiza bajo la norma NTE 860 “Determinación del valor de degradación del árido grueso, mediante el uso de la máquina de los ángeles”

$$\text{desgaste} = (Pa - Pb)/Pa \quad (15)$$

Dónde

Pa: es la masa de la muestra seca antes del ensayo (gr.)

Pb: es la masa de la muestra seca después del ensayo

A continuación, se muestra la tabla de resultados de la caracterización de agregados a ser usados en el hormigón.

Tabla 5
Características agregados fino y grueso

Agregado		Fino	3/8	1
% de Humedad	%	7.91	2.23	1.27
Absorción	%	5.62	4.53	3.3
Peso Vol. Suelto	kg/cm ³	15269.25	12234.35	11833.66
Peso Vol. Compacto	kg/cm ³	17748.46	13221.74	13003.54
% Vacíos	%	177.8	89.2	86.99
Módulo de finura		2.76	-	-
Tamaño nominal		-	9.51	38.1
Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente)	kg/cm ³	2.74	2.58	2.5
Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente) (SSS)	kg/cm ³	2.5	2.42	2.39
Densidad relativa aparente (Gravedad específica)	kg/cm ³	2.37	2.31	2.31

3.1.2. Dosificación

La dosificación del hormigón se lo realizo con el método ACI tomando en consideración un asentamiento de 1`a 2` para poder hacer uso de un aditivo acelerante plastificante que permita una mejor manejabilidad del concreto. Bajo las recomendaciones técnicas de SIKA se utiliza un peso de aditivo que represente el 3% del peso del cemento.

Procedimiento

1) Cálculo f'_{cr}

De acuerdo a la (NEC, 2011) para un hormigón estructural de $f'_{c}=210$, se debe incrementar la resistencia 86 kg/cm^2

$$F'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 86 \text{ kg/cm}^2 = 286 \text{ kg/cm}^2$$

- 2) Contenido de aire
- 3) Relación agua cemento
- 4) Peso cemento
- 5) Peso agregado grueso
- 6) Volumen absoluto
- 7) Peso agregado fino
- 8) Corrección por humedad
- 9) Aporte de agua a la mezcla
- 10) Agua efectiva

Para la elaboración de hormigón se debe tomar un agregado con tamaño nominal que cumpla con las siguientes condiciones:

- a) “1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado” (American Concrete Institute, 2016)
- b) “1/3 del espesor de las losas” (American Concrete Institute, 2016)
- c) “3/4 del espaciamiento mínimo libre especificado entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barra, refuerzo pre esforzado, tendones individuales, paquetes de tendones, o ductos.” (American Concrete Institute, 2016)

En base al procedimiento se determina para el agregado de 1plg contenido de aire del 1.5 % y una relación de agua cemento con corrección por humedad de los agregados de 0.62 con lo que la dosificación finalmente es 1:1,92:2,84 y 26,89 Lt de agua por cada saco de cemento.

Para el agregado 3/8 el contenido de aire del 3% y una relación de agua cemento con corrección por humedad de los agregados de 0.55 con lo que la dosificación finalmente es 1:1,96:1,66 y 23,38 Lt de agua por cada saco de cemento.

3.1.3. Probetas

3.1.3.1. Primera etapa

Considerando el planteamiento del problema es necesario proponer varias alternativas de armadura longitudinal y transversal para simular lo que se podría presentar en la realidad. Los materiales, dimensiones y elaboración de las probetas se detallan a continuación.

Dimensiones de las probetas

En esta primera instancia el diámetro de las probetas es de 6 plg (160mm), para la altura se consideró una relación de 2 a 1 con respecto al diámetro lo que resulta una altura de 320 mm como se muestra en la figura 26.

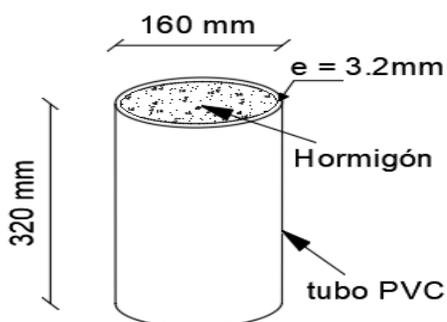


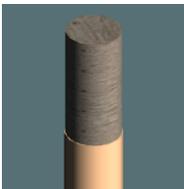
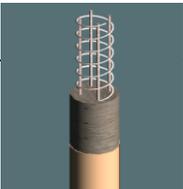
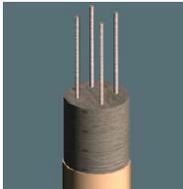
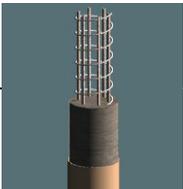
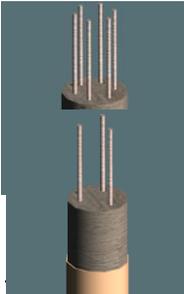
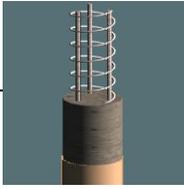
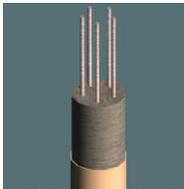
Figura 26 Dimensiones de probetas

Armaduras de refuerzo

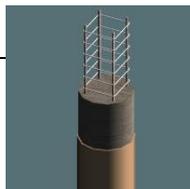
Los diferentes tipos de armaduras para las probetas fueron escogidos a través de la variación de la cuantía en el rango de 1 a 3 por ciento en relación al área transversal de la sección de la

probeta, manteniendo de esta manera el rango de máximos y mínimos de cuantía establecidos en la (NEC, 2011). A continuación, en la tabla 6 se detallan los diferentes tipos de armaduras.

Tabla 6
Características de probetas

Probeta	Descripción	Probeta	Descripción
	Hormigón + PVC		Hormigón + PVC+ 4φ10mm + 1Eφ8@10cm
	As longitudinal 0 [cm2]		As longitudinal 3.14 [cm2]
	As transversal 0 [cm2]		As transversal 0.5 [cm2]
	ρ 0 %		ρ 1.69 %
	Hormigón + PVC+ 4φ10mm		Hormigón + PVC+ 6φ10mm + 1Eφ8@10cm
	As longitudinal 3.14 [cm2]		As longitudinal 4.71 [cm2]
	As transversal 0 [cm2]		As transversal 0.5 [cm2]
	ρ 1.69 %		ρ 2.54 %
	Hormigón + PVC + 6φ10mm		Hormigón + PVC+ 3φ12mm + 1Eφ8@10cm
	As longitudinal 4.71 [cm2]		As longitudinal 3.39 [cm2]
	As transversal 0 [cm2]		As transversal 0.5 [cm2]
	ρ 2.54 %		ρ 1.83 %
	Hormigón + PVC + 3φ12mm		Hormigón + PVC+ 5φ12mm + 1Eφ8@10cm
	As longitudinal 3.39 [cm2]		As longitudinal 5.65 [cm2]
	As transversal 0 [cm2]		As transversal 0.5 [cm2]
	ρ 1.83 %		ρ 3 %

Hormigón + PVC + 5 ϕ 12mm			Electrosoldada		
As longitudinal	5.65	[cm ²]	As longitudinal	1.54	[cm ²]
As transversal	0	[cm ²]	As transversal	0.13	[cm ²]
ρ	3	%	ρ	0.83	%



Materiales

Los materiales utilizados en la elaboración de las probetas son los siguientes:

- Tubos de PVC de 6 plg.
- Varilla corrugada de 8, 10 y 12 mm
- Columna prefabricada.
- Cemento
- Aditivo acelerante plastificante de hormigón
- Alambre de amarre
- Tablas de monte
- Agregado fino y grueso



Figura 27 Recolección de agregados

Para determinar la cantidad de materiales se consideró optar por 3 probetas por cada caso, dándonos un total de 30 probetas embebidas en tubos de PVC de 6 plg y 6 cilindros de hormigón para determinar la resistencia del hormigón a los 7, 14 y 28 días.

Tabla 7
Resumen de materiales

Material	Cantidad	Unidad
Hormigón	0.25	m ³
Tubo PVC	4	u
φ8mm	18	m
φ10mm	19.2	m
φ12mm	15.36	m
Columna Electro soldada	1	u
Aditivo	2	kg
Tablas de madera	3	u
Alambre de amarre	1	rollo

Procedimiento para la elaboración de las probetas

Teniendo en cuenta las descripciones de las probetas a construir mencionadas anteriormente, el primer paso a seguir fue cortar los tubos de PVC de 6 plg de diámetro por 3 metros de altura en secciones con altura de 32 cm. El corte se lo realizo utilizando una cortadora de cierra continua figura 28.



Figura 28 Corte de tubos de PVC con cierra continua

El armado de las probetas se realiza de la siguiente manera:

- Corte de las varillas corrugadas de 10 y 12 mm de diámetro en fragmentos de 32 cm de altura utilizados para el acero de refuerzo longitudinal.
- Corte de varilla corrugada de 8 mm de diámetro en fragmentos de 44 cm de altura para los estribos circulares. Los estribos circulares se lo realizo mediante la utilización de un accesorio mecánico para facilitar su construcción, figura 29.



Figura 29 Construcción de estribos

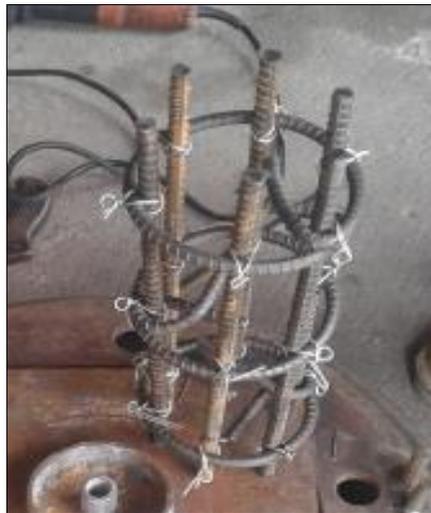


Figura 30 Armado de probetas

Una vez culminado el corte de tubos y el armado de las probetas, se transportaron al laboratorio de materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, donde se elaboró el hormigón utilizado para la fundición de las probetas.



Figura 31 Transporte de material

Para la elaboración del hormigón se utilizó una concretara con capacidad de 20 kg de cemento por lo que se tuvo que realizar varias “paradas” para fundir todas las probetas. La dosificación en peso es de 1: 1.92: 2.84. Las cantidades de agregados, cemento y agua se midió con una precisión de 0,1 kg, para tener una sola resistencia en todas las probetas. Además, se utilizó aditivo acelerante plastificante en una porción de 3% respecto a la cantidad de cemento utilizado.

Para el diseño del hormigón se consideró un asentamiento de 2 plg lo cual se comprobó en obra mediante el ensayo de revenimiento de acuerdo a la norma ASTM C143 antes de colocar el aditivo, ver figura 32. Una vez verificado el asentamiento se colocó el aditivo acelerante plastificante logrando tener un hormigón mucho más manejable para facilitar la fundición de las probetas.



Figura 32 Ensayo de revenimiento

Para el vertido del hormigón en las muestras se lo realizo haciendo énfasis en la toma de muestras de cilindros de acuerdo a la norma ASTM C31, figura 33.



Figura 33 Vertido del hormigón

Todas las probetas fueron transportadas al estanque de curado del laboratorio de materiales, donde reposaron durante 28 días hasta obtener su resistencia máxima, figura 34.



Figura 34 Curado de probetas y testigos

3.1.3.2. Segunda Etapa

Para la construcción de las probetas de la segunda etapa se consideró la eficiencia que presentó cada probeta de la primera etapa ante el comportamiento a la compresión, facilidad de construcción y materiales utilizados, obteniendo como mejor opción la probeta compuesta por un núcleo de hormigón embebido en tubo de PVC con una cuantía de acero del 1.69 % con respecto a la sección de hormigón.

Dimensiones de las probetas

En escala real el estudio está enfocado a columnas de hormigón simple y/o armado embebidas en tubos de PVC de 6 pulgadas de diámetro, la altura se determinó de acuerdo a las normas de arquitectura y urbanismo del Distrito Metropolitano de Quito donde se menciona que la altura

mínima de entrepisos para viviendas es de 2.30 metros libres, sin embargo, para el presente estudio se propuso una altura de 2.40 metros.

Previo a la construcción de las probetas de tubos de PVC de 6 pulgadas de diámetro por 2.40 metros de altura con una cuantía de acero del 1.69 %, se analizó los equipos de laboratorio necesarios para ensayar columnas con estas características, encontrándose con el inconveniente de que los equipos no contaban con la capacidad necesaria para ensayar probetas de esta magnitud, para lo cual se propuso escalar las probetas en sección y altura a una escala de 1:0.5 manteniendo la cuantía del 1.6 %. Lo que resulta en probetas de tubos de PVC de 4 pulgadas de diámetro y 1.20 metros de altura, figura 35.

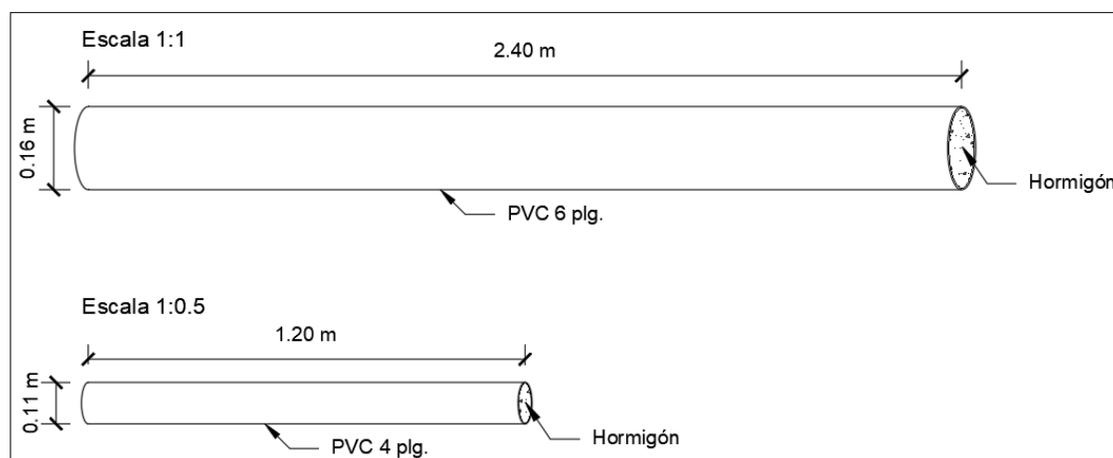


Figura 35 Escala de probetas

Se consideró incrementar 22 centímetros en altura de cada probeta, mismos que serán extraídos en núcleos antes de realizar los ensayos, figura 36.

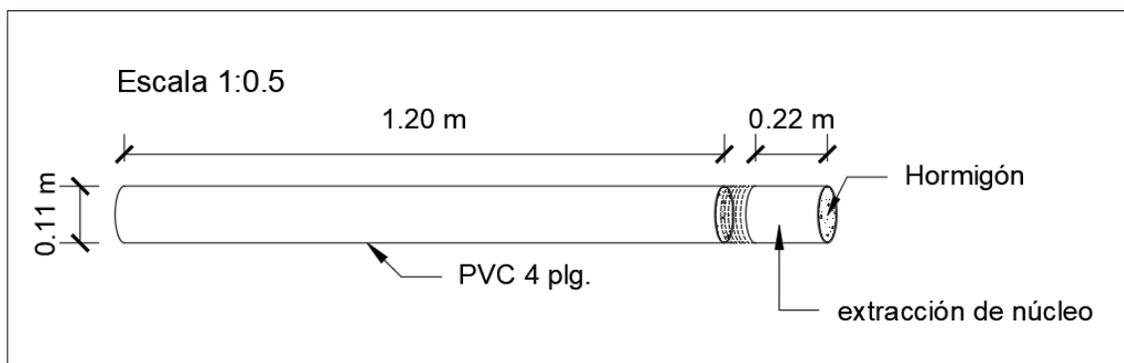


Figura 36 Dimensiones de probetas a construir

Armadura de refuerzo

Manteniendo la cuantía del 1.6 % tenemos una probeta con 5 varillas de 6 mm de diámetro y refuerzo transversal helicoidal que consta de una varilla lisa de 4 mm de diámetro con espaciamiento cada 10 cm, figura 37.

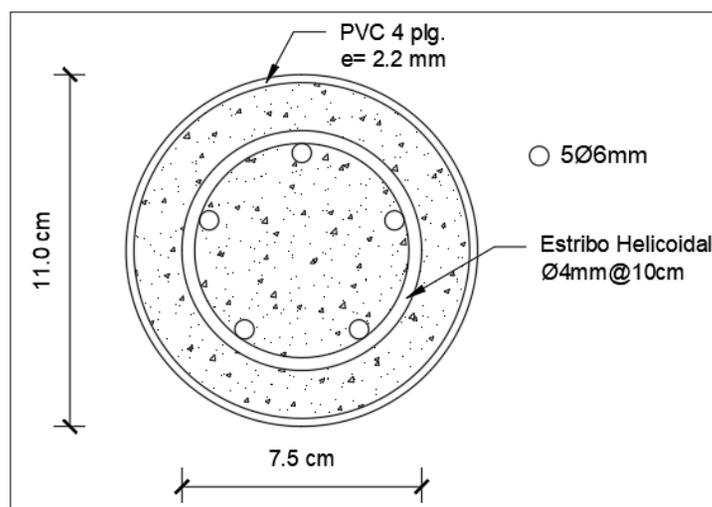


Figura 37 Armadura de probetas

Tipos de probetas

Para tener varios parámetros de comparación y determinar el aporte de cada material se propuso los siguientes tipos de probetas partiendo de la probeta de la figura 37. De los cuales se tiene los siguientes modelos:

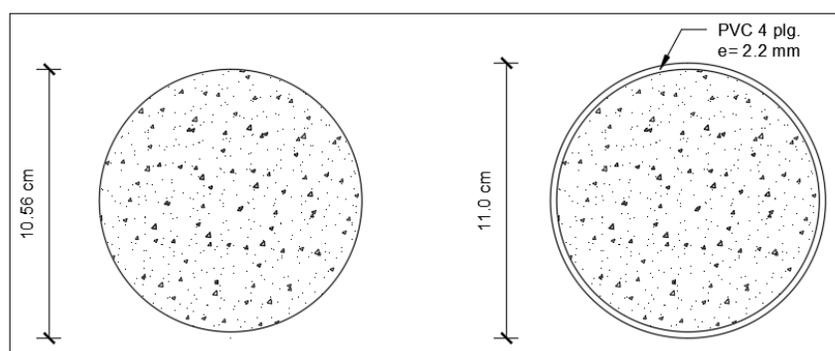


Figura 38 Columnas de hormigón con y sin PVC

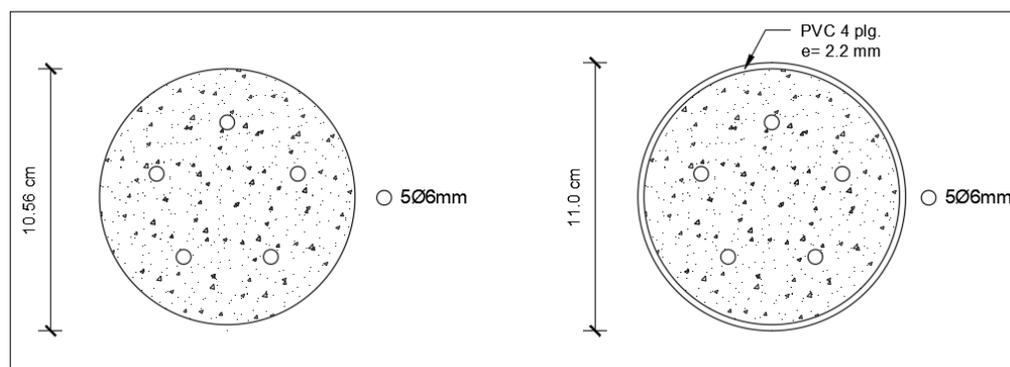


Figura 39 Columnas de hormigón armado con y sin PVC

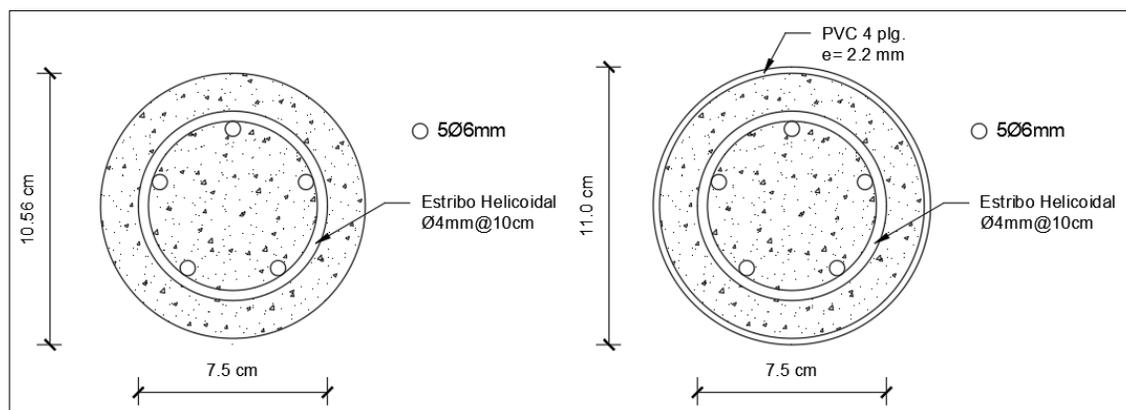


Figura 40 Columnas de hormigón armado zunchadas con y sin PVC

Es importante mencionar que antes de la elaboración de todas las probetas se realizaron dos probetas piloto para verificar los equipos a ser utilizados en el laboratorio de materiales, mismas que fueron ensayadas a flexión y flexo-compresión.

Materiales

Para determinar la cantidad de materiales utilizados se considera dos columnas por cada tipo, lo que resulta un total de 12 columnas.

Tabla 8

Resumen de materiales

Material	Cantidad	Unidad
Hormigón	0.26	m ³
Tubo PVC 4 plg	7	u
Ø6mm	56.12	m
Ø4mm	35.7	m
Tapón de PVC 4 plg	12	m
Aditivo	2.5	kg
Discos de corte	2	u
Alambre de amarre	1	rollo

Procedimiento para la elaboración de las probetas

Para la construcción de las probetas se sigue el mismo procedimiento antes mencionado empezando con la cortada de los tubos y aceros de refuerzo. Para la elaboración del zuncho se lo realizo haciéndolo rotar la varilla lisa sobre un tubo metálico de 5 cm de diámetro.



Figura 41 Armadura de columna y tubo de PVC cortado

Todos los materiales se transportan al Laboratorio de Materiales de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, donde se realiza la fundición de las probetas utilizando una concretera de una capacidad de 20 kg de cemento. Es importante mencionar que para esta fundición el tamaño nominal del agregado grueso es de 3/8 de pulgada por lo que se realizo una nueva dosificación la cual es de 1 : 1.96 : 1.66. Debido a la capacidad de la concretera la fundición de las 12 probetas y 6 cilindros de hormigón se lo realizó en 3 “paradas”.



Figura 42 Preparación de materiales para hormigón

A las 24 horas de la fundición se colocaron las probetas en una piscina provisional de curado donde reposaron por 21 días, figura 43.



Figura 43 Piscina de curado

3.1.3.3.Tercera Etapa

A una de las probetas piloto se intentó dar el efecto de flexo-compresión aplicando una carga excéntrica, para lo cual se utilizó un accesorio que consta de un encamisado metálico de 10 cm de altura soldado a una placa con un brazo de palanca donde se aplica la carga, sin embargo, no se logró el objetivo esperado debido a que, por la rigidez del encamisado la falla se produjo en la conexión, figura 44.



Figura 44 Aplicación de carga excéntrica

Considerando lo antes mencionado y en busca de una solución se optó por crear varias probetas con una sección de hormigón como base para obtener nuestro modelo analítico de una columna apoyada-apoyada.

Dimensiones

Las dimensiones de las probetas en comparación con las de la segunda etapa son semejantes en altura y diámetro, pero en este caso se implementó una base de hormigón donde se empotra la probeta tal como se muestra en la figura 45

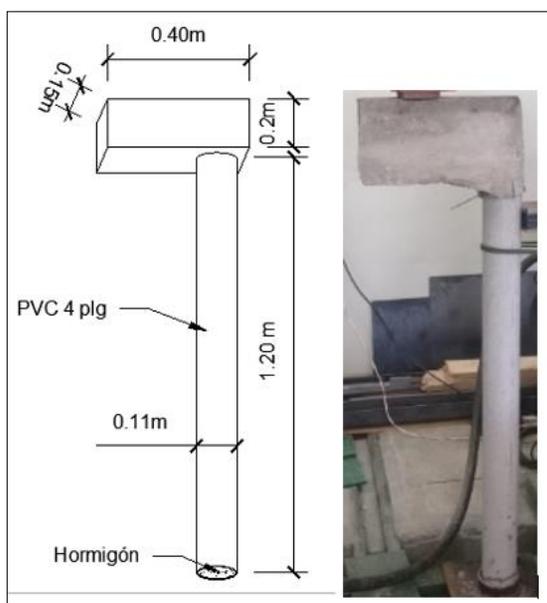


Figura 45 Dimensiones

Armadura de refuerzo

El armado del refuerzo transversal se realiza de tal manera que la probeta y la base formen un solo cuerpo, mientras que el acero de refuerzo transversal se lo realiza de la mismo forma que las probetas de la segunda etapa.



Figura 46 Armado de probeta

Materiales

Para este caso se consideraron 4 probetas, dos probetas armadas con zunchos y dos probetas armadas solo con refuerzo longitudinal.

Tabla 9

Materiales para probeta a flexocompresión

Material	Cantidad	Unidad
Hormigón	0.13	m ³
Tubo PVC 4 plg.	2	u
Φ6mm	36	m
Φ4mm	12	m
Disco de corte	1	u
Clavos	1	Libra
Aditivo	2	kg
Tablas de madera	5	u
Alambre de amarre	1	rollo

Procedimiento

El procedimiento es el mismo antes mencionado, pero en este caso se realiza el encofrado de las bases de acuerdo a las dimensiones establecidas tal como se muestra en la figura 47.



Figura 47 Encofrado

La fundición se realiza en 3 “paradas”, primero se fundieron las bases con las armaduras de las probetas, luego se colocan los tubos de PVC mismo a los que es necesario nivelarlos y apuntalarlos para luego proceder a verter el hormigón dentro de las probetas. Se tomaron 2 cilindros por cada “parada” por determinar la resistencia del hormigón.

3.1.4. Ensayos de laboratorio

3.1.4.1. Ensayo a compresión

Probetas cilíndricas

El ensayo a compresión de cilindros de concreto se lo realiza bajo la norma ASTM C39, con cilindros de hormigón de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura para los testigos, de 16 cm de

diámetro y 32 de altura para las probetas armadas con diferentes cuantías y de 11 cm de diámetro y 22 cm de altura para los cilindros extraídos de las columnas elaboradas con PVC.

Equipo

- Máquina de compresión simple marca CONTROL modelo C43G4.



Figura 48 Marco de carga

- Placas de neopreno para la repartición de carga uniforme en la superficie del cilindro de hormigón.
- Balanza de 0.01 g de precisión
- Calibrador
- Regla
- Carretilla

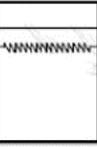
Procedimiento

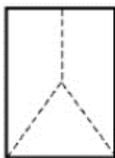
El proceso inicia cuando se retira el exceso de agua de las probetas al sacarlas del tanque de curado, se toma el peso, el diámetro y altura. Se procede a ubicar el cilindro en el marco de carga

con placas de acero para ajustar a la altura deseada y placas de neopreno en la parte inferior y superior de espécimen para mejorar la repartición de carga en las superficies de contacto. Se aplica la carga con velocidad constante de 0,2 MPa/s.

Realizado los ensayos se puede determinar los esfuerzos bajo carga axial en el concreto, que nos da un parámetro de control de la calidad de hormigón y el tipo de falla que cada cilindro sufre de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 10
Tipos de falla

	Cónica: Se presenta cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.
	Transversal: Se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentran en el límite de desviación (perpendicularidad) tolerada especificada de 0,5°
	Columnar: Se presentar en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y deficiencia del material de refrentado; también por concavidad del plato de cabeceo o convexidad en una de las placas de carga
	Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y por deficiencias del material de refrentado; también por concavidad de una de las placas de carga.
	Se presenta cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga y deficiencia del material de refrentado, por rugosidades en el plato en el que se realiza el refrentado o por deformación de la placa de carga.



Cónica y dividida: Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y deficiencias del material de refrentado o rugosidades del plato de refrentado.



Cónica y transversal: Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecido o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen con respecto al eje de carga de la máquina.

Fuente: (Cruz, Garcés, & López, 2014)

Columnas

Para los ensayos a compresión de las columnas de 1,20 m de alto se usan los siguientes equipos.

Equipo

- Máquina de ensayos universales marca AMSLES modelo FM-1033
- Placas de acero
- Gato hidráulico
- Celda de carga tipo botella CDC de 20 Tn de capacidad
- Placas de apoyo

Procedimiento

El proceso inicia al colocar el marco de carga a una altura adecuada para la aplicación de la misma. Colocar una placa de 4 cm de espesor en la base del marco seguido de la celda de carga y un disco de acero donde se apoya la base de la columna. En la parte superior se coloca una placa rectangular con un encamisado de 10 cm de largo para evitar que la columna se desplace durante el ensayo, esta placa también sirve de apoyo para el gato hidráulico y seguido de este se coloca dos placas de acero de 1,5 cm de espesor cada una como se muestra en la siguiente figura.



Figura 49 Ensayo a compresión de columna

La carga se aplica manualmente y se va tomando los datos en el lector de deformación, es importante conocer la curva de calibración de la celda que se muestra en el anexo 1. El valor del lector de deformación es la variable independiente en la siguiente ecuación, donde la variable dependiente es la carga aplicada en toneladas.

$$y = 33,238x - 44,615 \quad (16)$$

Cuando se presenta alguna falla en la columna se finaliza el ensayo y se evalúa el tipo de falla de acuerdo a la siguiente figura.

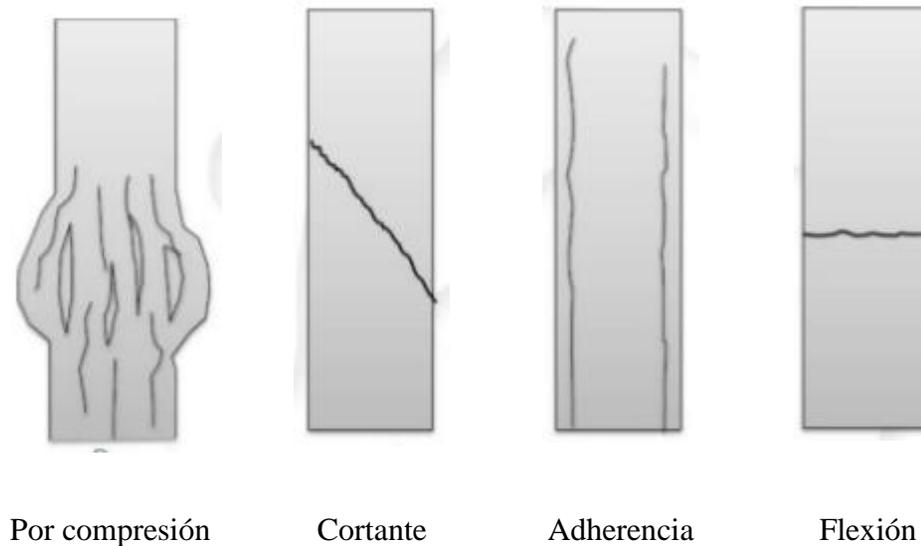


Figura 50 Tipo de fallas en columnas

Fuente: (CENAPRED, 2014)

3.1.4.2. Ensayo a flexión

El ensayo a flexión de las probetas toma como referencia la norma ASTM C293 donde se menciona que la distancia mínima entre apoyos debe ser el triple del peralte de la probeta y que estos apoyos deben estar ubicados perpendicular a la cara de apoyo. La carga debe ser aplicada en el centro del claro con velocidad constante para evitar una falla por impacto.

Equipo

- Máquina de ensayos universales marca AMSLES modelo FM-1033
- Placas de acero
- Deformímetro
- Celda de carga

- Apoyos: Para los apoyos se construyeron dos placas de acero de 2cm de espesor con un orificio centrado de 11,4 cm de diámetro que permita una superficie de contacto en al menos la mitad de la sección circular.



Figura 51 Placas de apoyo

- Placa de acero de 2cm de espesor con un orificio de 11,4 cm de diámetro para que al igual que en los apoyos la carga se distribuya en al menos la mitad de la sección.



Figura 52 Placa de acero para aplicación de carga

Procedimiento

Se marca los puntos de apoyo a una distancia de 115 cm en la probeta a ser ensayada. Se colocan los apoyos en los extremos del espécimen y la placa en la mitad para aplicar la cara puntual.

Adicional se ubica un cilindro de acero para la aplicación de carga como se muestra en la figura 53.



Figura 53 Ensayo a flexión

Durante el ensayo se conoce la curva de carga vs deformación que posteriormente nos permite calcular el módulo de elasticidad del material compuesto que es la pendiente de la curva y el esfuerzo máximo de flexión generado en el centro de la probeta mediante la ecuación:

$$\sigma = \frac{Mc}{I} \quad (17)$$

Donde:

M: Momento flector máximo

c: Distancia perpendicular del eje neutro al punto más alejado sobre el cual actúa el esfuerzo de flexión

I: momento de inercia de la sección

$$M = \frac{PL}{4} \quad c = \frac{D}{2} \quad I = \frac{\pi D^4}{64} \quad (18)$$

Para conocer el comportamiento esfuerzo vs deformación unitaria se aplica la ecuación

$$\varepsilon = \frac{6D\Delta L}{L^2} \quad (19)$$

Donde:

ε : deformación unitaria

D: Diámetro de la sección

L: longitud de la barra

ΔL : deflexión de la probeta

Además, conocido la deformación máxima se puede establecer la rigidez a flexión del elemento compuesto mediante la ecuación

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{48EI} \quad (20)$$

Despejando la rigidez a flexión se tiene:

$$EI = \frac{PL^3}{48\delta_{max}} \quad (21)$$

Mediante estos dos métodos se puede obtener y comparar los valores para el módulo de elasticidad de los cuales se toma dependiendo del criterio del autor.

Sin embargo, para conocer la rigidez a flexión de forma analítica (Park & Paulay, 1994) plantea la siguiente ecuación para columnas reforzadas ligeramente.

$$EI = \frac{E_c I_g}{2.5} \quad (22)$$

Y la ecuación 23 para obtener un valore más exacto con la condición de conocer el valor de la cuantía de acero.

$$EI = \frac{E_c I_g}{5} + E_s I_s \quad (23)$$

3.1.4.3. Ensayo a corte

Para el ensayo a corte se hace referencia al ensayo JSCE-SF6, modificado. Mismo que mide esfuerzos de corte y mediante el cual se evalúa la tenacidad del hormigón junto con armadura de refuerzo y PVC al cuantificar la disipación de energía mediante la rotura (Mirsayah & Banthia, 2002).

Equipo

- Máquina de ensayos universales marca AMSLES modelo FM-1033
- Placas de acero de 2cm de espesor con un orificio de 11,4 cm de diámetro

Procedimiento

El proceso inicia al tomar una sección de 22 cm de las probetas de 4plg. Se coloca la probeta entre las tres placas de acero, las placas ubicadas en los extremos servirán de apoyo, y para aplicar la carga, la placa ubicada en la mitad, procurando la mínima distancia de separación para conseguir con precisión el esfuerzo a corte directo.



Figura 54 Corte directo del hormigón

Durante el ensayo se mide la carga que se aplica y la deformación que sufre la probeta, para posteriormente evaluar los esfuerzos.



Figura 55 Probetas ensayadas a corte directo

Para determinar de forma analítica el esfuerzo a corte para una probeta rectangular (Carmona & Cabrera, 2009) proponen la siguiente ecuación:

$$\tau = \frac{P_{max}}{2D_{ef}b_{ef}} \quad (24)$$

Donde:

P_{max} : es la carga máxima registrada durante el ensayo

D_{ef} : corresponden a la altura del área sometida a carga

b_{ef} : ancho efectivo del área sometida a carga.

Que modificada para una sección circular da la siguiente expresión

$$\tau = \frac{P_{max}}{2A_{ef}} \quad (25)$$

Donde:

A_{ef} : es el área efectiva de la sección

3.1.4.4. Ensayo a tracción de varillas

El ensayo a tracción se lleva a cabo bajo la norma ASTM A370 que determina la carga y esfuerzo de rotura del acero de refuerzo al ser sometido a cargas axiales de tracción.

Equipo

- Máquina de ensayos universales marca AMSLES modelo FM-1033
- Varilla corrugada de 10 mm
- Varilla trefilada de 6 mm

- Varilla lisa de 4 mm
- Calibrador digital pie de rey
- Puntero
- Regla
- Martillo

Procedimiento

El ensayo inicia al determinar la longitud calibrada de cada varilla de acuerdo a la siguiente ecuación

$$L_o = 5.65\sqrt{A_o} \quad (26)$$

Tabla 11
Longitud calibrada

Φ [mm]	A_o [mm ²]	L_o [mm]
4,15	13,52	20,78
6	28,27	30,04
10	78,54	50,07

Se señala estos puntos y se toma los diámetros de cada espécimen a ser ensayado. Se coloca cada varilla entre las mordazas hidráulicas de cuña de la maquina a tracción, se ajustan las mordazas y se da carga a una velocidad constante hasta que la varilla llegue a la rotura.



Figura 56 Ensayo a tracción de varillas de acero

Determinar la longitud final entre marcas en la rotura.

Analizar el diagrama fuerza vs. Desplazamiento reportado por el software.

3.1.4.5. Ensayo a tracción PVC

El ensayo a tracción del PVC se lo lleva a cabo con referencia a la norma ASTM D638 con similar proceso del ensayo a tracción mencionado anteriormente, para lo cual se determina la longitud calibrada mediante la ecuación 22 donde K toma un valor de 5.65 correspondiente a un espesor de 3.2mm.

$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (27)$$

$$L_c = L_o + 1.5\sqrt{S_o} \quad (28)$$

De donde de acuerdo al espesor del PVC extraído de los tubos de 6 plg es de 3,2 mm. Las dimensiones son las mostradas en la siguiente figura 57.

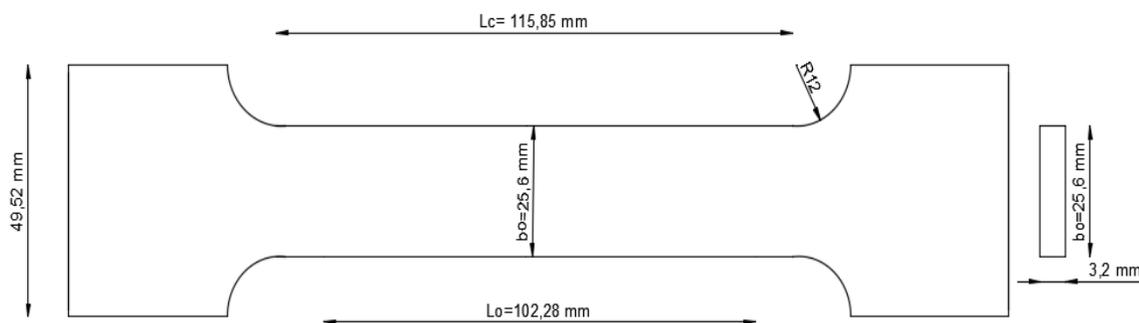


Figura 57 Dimensiones probeta para ensayo a tracción

Equipo

- Máquina de ensayos universales marca AMSLES modelo FM-1033
- Calibrador pie de rey
- Probetas de PVC

Procedimiento

El proceso inicia cuando se dibuja las probetas con las dimensiones previamente establecidas en el tubo de PVC, con la ayuda de una amoladora se corta dando la forma a cada una.

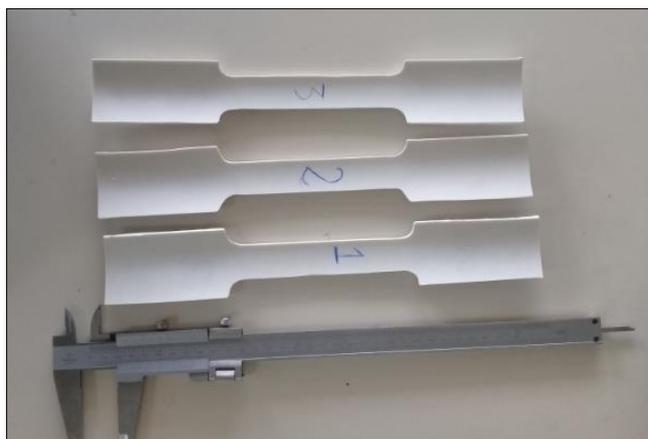


Figura 58 Probetas PVC

Con las muestras en el laboratorio se toma las dimensiones mostradas en la siguiente tabla.

Tabla 12

Dimensiones probetas de PVC

N°	bo[mm]	e [mm]	Lc [mm]
1	26,13	3,63	120,21
2	24,88	3,62	124,60
3	25,49	3,63	123,42

Se coloca cada una de las probetas entre las mordazas, asegurándose que se encuentren fijas y se inicia con el ensayo.



Figura 59 Ensayo a tracción de PVC

El ensayo se lo hace a velocidad constante, la aplicación de fuerza termina con la fractura de la probeta. El software da un reporte de Fuerza vs Desplazamiento, Fuerza vs Tiempo y Desplazamiento vs Tiempo.

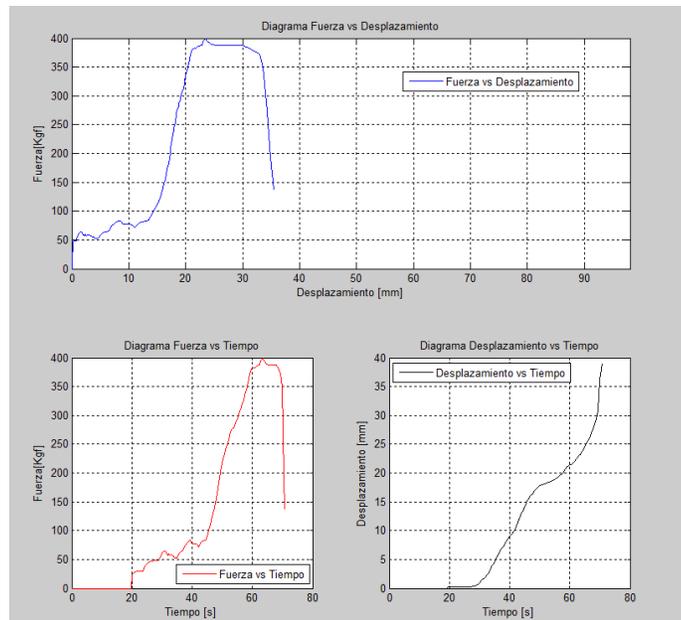


Figura 60 Reporte de ensayo a tracción

Al conocer los valores de fuerza y desplazamiento se encuentra el esfuerzo y la deformación unitaria mediante la ecuación

$$\sigma_t = \frac{F}{A} \quad (29)$$

Donde:

σ_t = esfuerzo a tracción

A: área de la sección transversal

La deformación unitaria se encuentra dividiendo la deformación para la longitud total de la probeta.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_c} \quad (30)$$

El módulo de elasticidad se denomina como la pendiente de la curva esfuerzo vs deformación unitaria en el rango elástico (lineal).

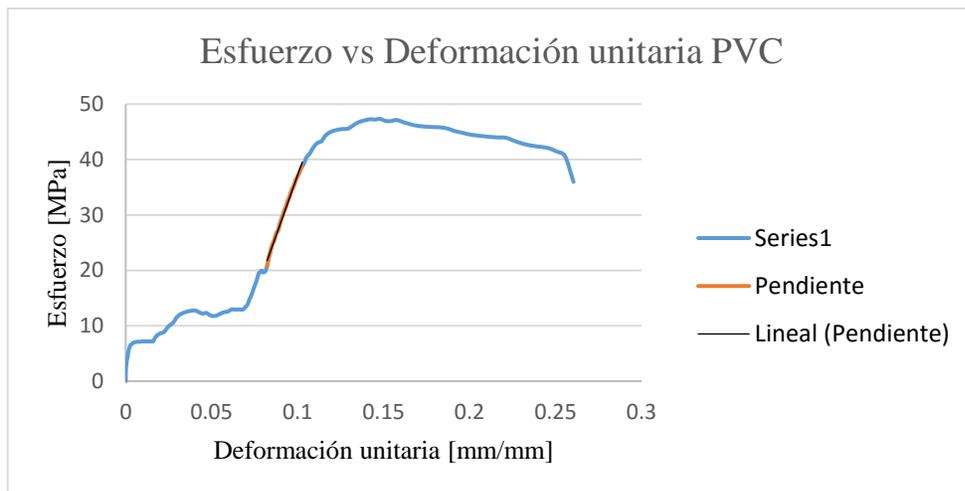


Figura 61 Esfuerzo vs Deformación unitaria

3.1.4.6. Ensayo a flexo compresión

Partiendo del modelo matemático (figura 62) de una columna apoyada-apoyada se construyeron las probetas con las características detalladas en la sección 3.4.3 a las cuales se las somete a una carga puntual con excentricidad conocida para generar un momento.

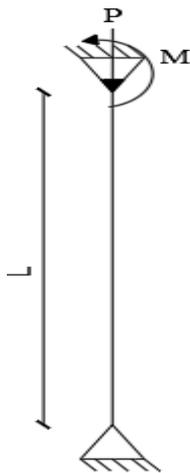


Figura 62 Modelo matemático de columna

Equipo

- Máquina de ensayos universales marca AMSLES modelo FM-1033
- Gato hidráulico
- Placas de acero rectangulares de 2 cm de espesor.
- Placa de apoyo
- Placa de neopreno
- Celda de carga
- Lector de carga
- Tope de madera

Procedimiento

Marcar a una distancia de 15.5 cm del centro de la columna una señal donde se aplica la carga puntual.

Se coloca el marco de carga a una altura libre de aproximadamente 1.80 m.

En la base del marco se coloca la placa de acero que servirá de apoyo a la columna, donde se integra una placa de neopreno de sección igual a la de la columna.

Colocar un tope de madera para evitar el desplazamiento durante el ensayo.

Colocar una placa de acero que distribuya la carga puntual en la sección de hormigón, encima poner el gato hidráulico seguido de la celda de carga y una placa de acero donde hace contacto la celda con el marco de carga.

Nivelar la columna y ajustar las piezas para inmovilizar a la probeta.

Aplicar progresivamente la carga y tomar las lecturas hasta la falla de la probeta.



Figura 63 Ensayo a flexocompresión

Determinar mediante la siguiente ecuación el momento generado por la carga última.

$$M = P * e \quad (31)$$

Evaluar los tipos de falla que se generaron durante el ensayo para cada probeta.



Figura 64 Fallas durante el ensayo a flexocompresión

La flexocompresión se da cuando se aplica una carga axial y un momento o una carga axial con una excentricidad $e = M/P$.

3.2. Metodología analítica

La metodología analítica se basa en relacionar mediante el desarrollo de ecuaciones el comportamiento que tienen las columnas sometidas a diferentes ensayos, además realizar un modelo computacional en el cual se pueda tener varios parámetros de comparación.

3.1.1 Generación del modelo computacional.

Para la generación del modelo computacional se parte de la sección establecida en la elaboración de las probetas, figura 37. Mediante la utilización del software SeismoStruct y de

acuerdo al registro de datos que se tiene de los ensayos se opta por un análisis estático de carga no variable.

Se inicia creando los materiales que contiene el modelo como lo son el PVC, hormigón y acero de refuerzo. Como es un software para análisis de estructuras los materiales del hormigón y acero ya se encuentran definidos por defecto y se escogen de acuerdo a las características de resistencia a la compresión para el hormigón y límite de fluencia para el acero. Para la generación del material PVC se analizan varios tipos de materiales que se tiene por defecto, sin embargo, el que más encaja para nuestro modelo es el (Modelo de material elástico genérico el-mat) el cual es para materiales con un comportamiento lineal en tracción como en compresión.

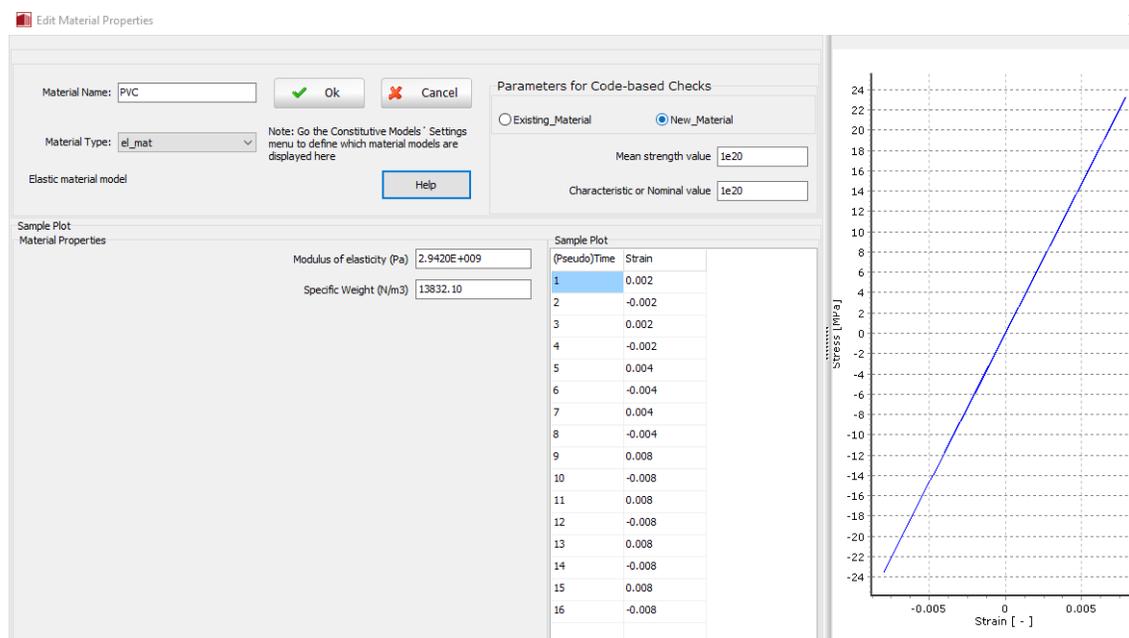


Figura 65 Generación del material PVC

Una vez generado los tres materiales se procede a escoger el tipo de sección, que para este caso es una sección circular compuesta ccs, donde se ingresan los datos de geometría, número de

barras para el refuerzo longitudinal, refuerzo transversal y espesor del tubo de PVC tal como se muestra en la figura 66.

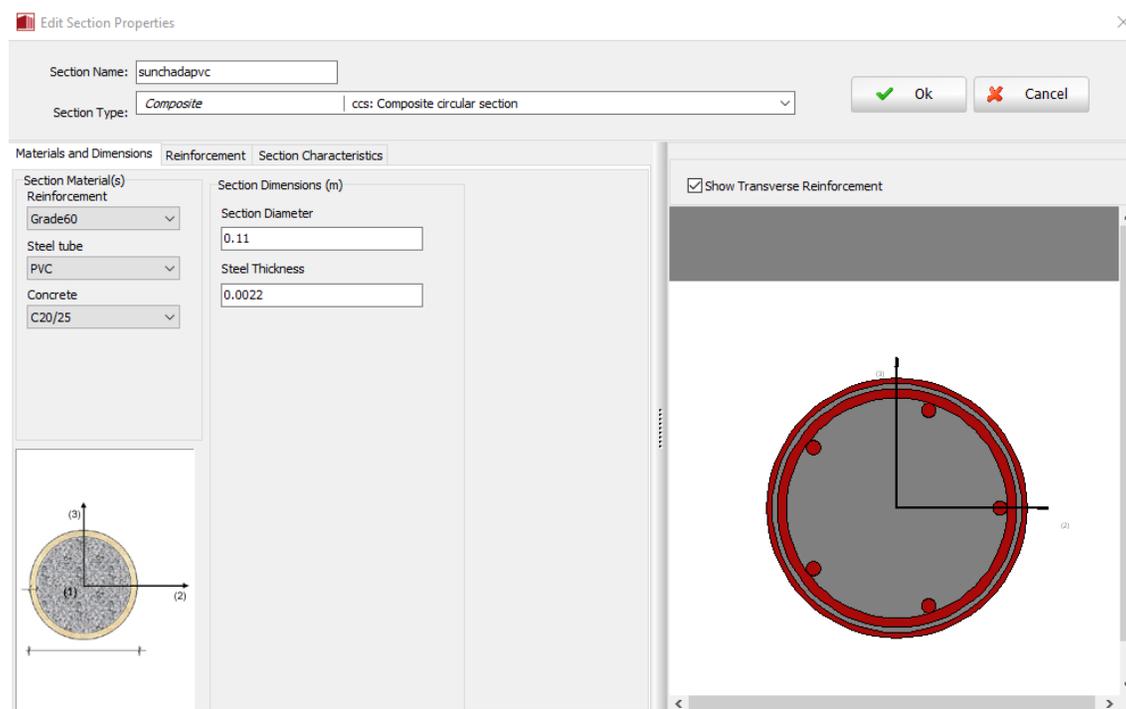


Figura 66 Generación de la sección

Luego de haber generado la sección el siguiente paso es generar el tipo de miembro que se va a analizar para lo cual SeismoStruct propone 7 tipos de miembros que se adaptan de acuerdo al análisis que se pretende realizar. En este caso se recomienda utilizar elementos inelásticos de pórticos (infrmFB) el cual permite modelar miembros de pórticos espaciales.

Luego procedemos a definir los nodos mediante el ingreso de coordenadas, en este caso se opta por crear 3 nodos a una altura de 0.6 m de cada uno. Conectamos los nodos con el elemento creado anteriormente y de acuerdo al modelo matemático que nos planteamos en la sección 3.1.4.6 procedemos a aplicar las restricciones de los nodos.

Una vez creado el modelo computacional procedemos a ingresar las cargas de acuerdo al análisis que se desea realizar, ver figura.

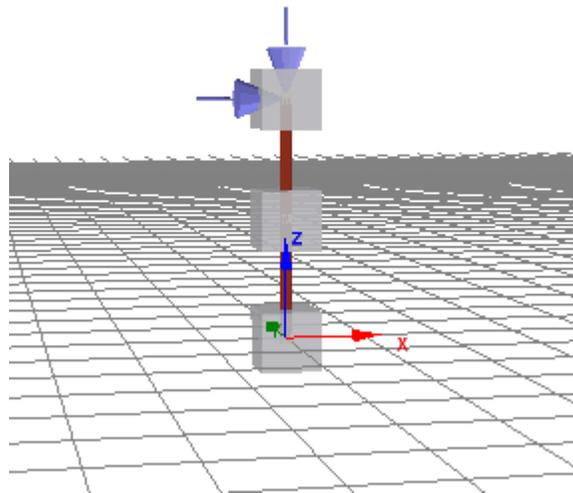


Figura 67 Modelo computacional

Una vez creado el modelo computacional se ingresan los criterios de desempeño, los cuales son parámetros de comparación para relacionar lo experimental con lo analítico, sin embargo, por la falta de equipo en los laboratorios existe una deficiencia en la obtención de datos.

CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. Tracción del PVC

Los ensayos a tracción para las probetas de PVC muestran un ensayo erróneo ya que no tiene correlación con los valores de las probetas 2 y 3. De los datos válidos se saca la media dando como resultado un módulo de elasticidad de 2980.45 MPa y límite de fluencia de 417.75 kg/cm²

Tabla 13

Resultados ensayo a tracción de PVC

	Módulo de elasticidad	Límite de Fluencia
Nº	[Mpa]	[kg/cm²]
1	610.63	385.0930108
2	2870.30	421.6678478
3	3090.60	413.8303551
Promedio	2980.45	417.7491014

4.2. Tracción del acero

La tabla 14 muestra los resultados de los ensayos a tracción de varillas de acero con las cuales fueron construidas las probetas para esta investigación. Se conoce el módulo de elasticidad, punto de fluencia, fuerza máxima ejercida, desplazamiento máximo y el % de alargamiento debido las fuerzas aplicadas para cada muestra, de donde se toma la media aritmética para cada tipo de varilla y así tener un valor característico.

Tabla 14*Ensayo a tracción de varillas de acero*

Nº	Módulo de elasticidad [Mpa]	Límite de Fluencia [kgf/cm ²]	Fuerza máxima [kgf]	Desplazamiento máximo [mm]	% de alargamiento
Varilla lisa 4mm					
1	254620	5957.882	987.902	12.641	16.169
2	287860	5638.061	989.992	11.788	17.902
3	282130	4677.897	1011.415	11.088	16.554
Promedio	274870	5424.613	996.436	11.839	16.875
Varilla trefilada 6 mm					
1	370200	5648.648	1961.910	12.310	12.217
2	348630	5580.514	1978.107	9.680	14.913
3	372680	5588.072	1982.287	13.134	12.084
Promedio	363836.6667	5605.744	1974.101	11.708	13.071
Varilla corrugada 10 mm					
1	228350	4627.112	5263.199	43.139	15.239
2	225871	4824.810	5263.721	45.174	20.451
Promedio	227110.5	4725.961	5263.460	44.156	17.845

4.3. Columnas 1.20 ensayo a flexión

4.3.1. Hormigón

La probeta de hormigón es de una longitud de 1.15 que se fracturo en la mitad de su longitud con una carga mínima de 167.21 kg donde está tomado en cuenta el peso de las placas colocadas para la aplicación de carga.



Figura 68 Ensayo y falla a flexión de probeta de hormigón

La falla se dio debido a que se generaron esfuerzo de tracción en el centro de la probeta y al no contar con refuerzo longitudinal esta cedió de manera casi inmediata.



Figura 69 Falla de probeta de hormigón simple ensayada a flexión

4.3.2. Hormigón + PVC

La probeta de hormigón simple embebida en tubo de PVC se ensaya a flexión con carga puntual en el centro, dando un valor máximo de 621.97 kg y una deflexión máxima de 53.04 mm



Figura 70 Ensayo a flexión de probeta de hormigón +PVC

La falla en la probeta se generó por tracción del hormigón y deformación en el tubo de PVC



Figura 71 Falla de probeta de hormigón+PVC

En la gráfica carga vs deflexión se aprecia que la probeta no tiene un comportamiento uniforme y existe picos que representan que el hormigón se fisura, pero al mismo tiempo, estas partículas se reacomodan y en conjunto trabajan con el PVC, sin embargo, en general tiene una tendencia polinómica.

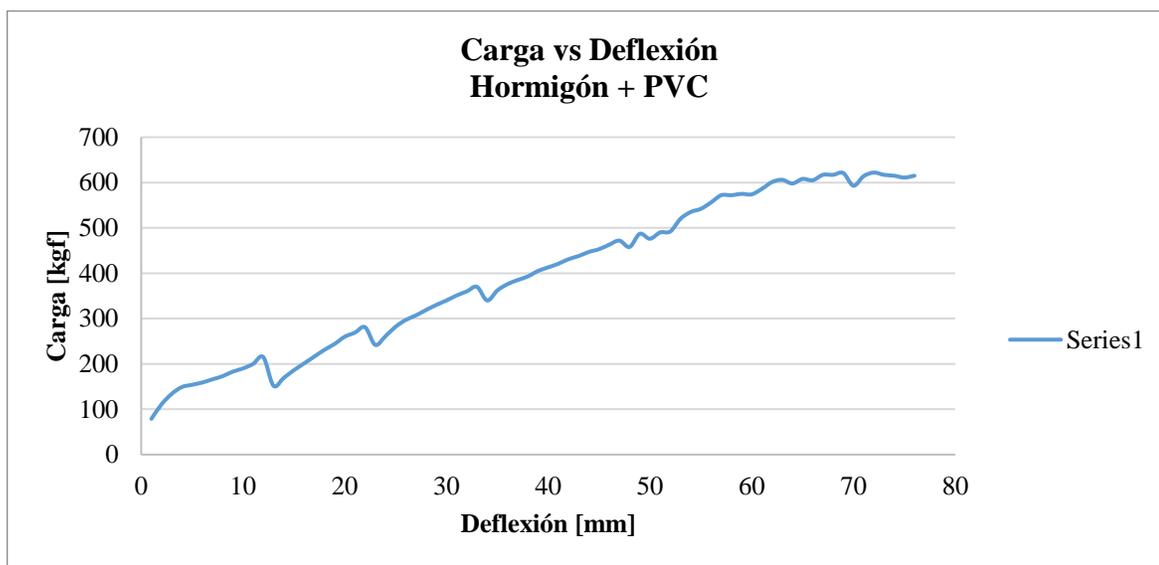


Figura 72 Carga vs Deflexión de hormigón+PVC

4.3.3. Hormigón +Armadura longitudinal

La probeta de hormigón con 5 Φ de 6mm inicia la falla con el agrietamiento del hormigón por tensión, seguido de una falla por aplastamiento del concreto en la parte superior de la sección como se muestra en la figura70.



Figura 73 Falla de probeta de hormigón con armadura longitudinal

En el gráfico se puede observar que la probeta tuvo un comportamiento elástico hasta una carga de 1000 kg, donde inicia el rango plástico, llega a la máxima carga en 1128.97 kg con una deflexión de 16.5 mm. La falla total se da con una carga de 877.97 kg respectiva a una deformación de 33.93 mm como se muestra en la figura

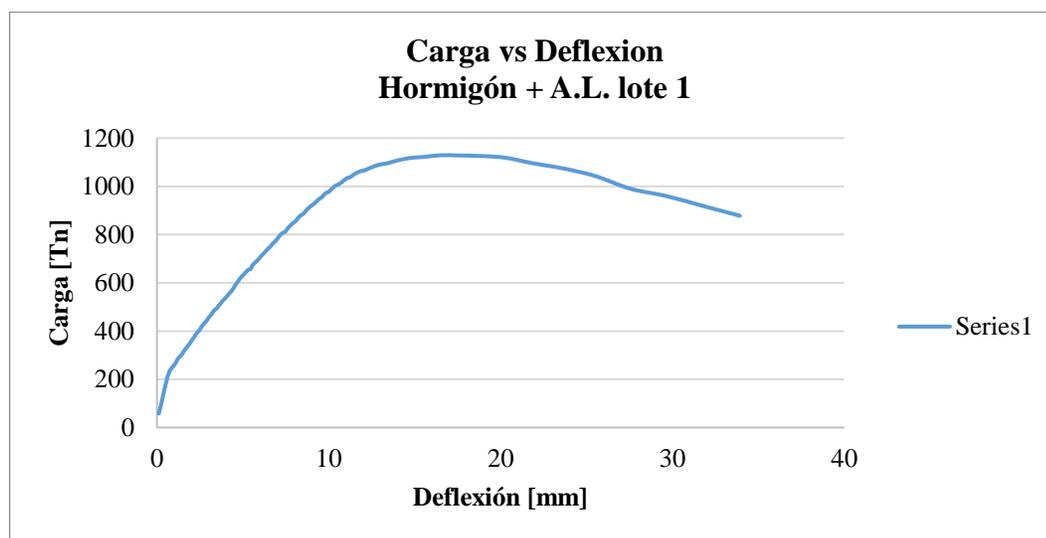


Figura 74 Carga vs Deflexión de hormigón + armadura longitudinal

4.3.4. Hormigón + Armadura longitudinal + PVC

En la probeta de hormigón con armadura longitudinal confinado con tubo de PVC no se pudo observar el agrietamiento del hormigón que se da por tensión, sin embargo, se visualiza el

aplastamiento del concreto reflejado en la contracción del PVC, al igual que el estiramiento del PVC en la parte inferior de la sección por los esfuerzos de tensión.

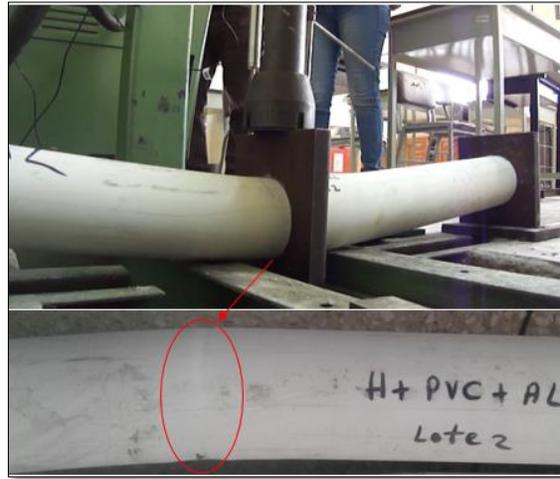


Figura 75 Falla de probeta de hormigón con armadura longitudinal +PVC

En el gráfico carga vs deflexión se puede apreciar la carga máxima que resiste la probeta con un valor de 1617.97 kg y una deformación de 36.1 mm, al llegar a una carga de 1559.97 kg la columna falla completamente dando una deflexión máxima de 45.44 mm.

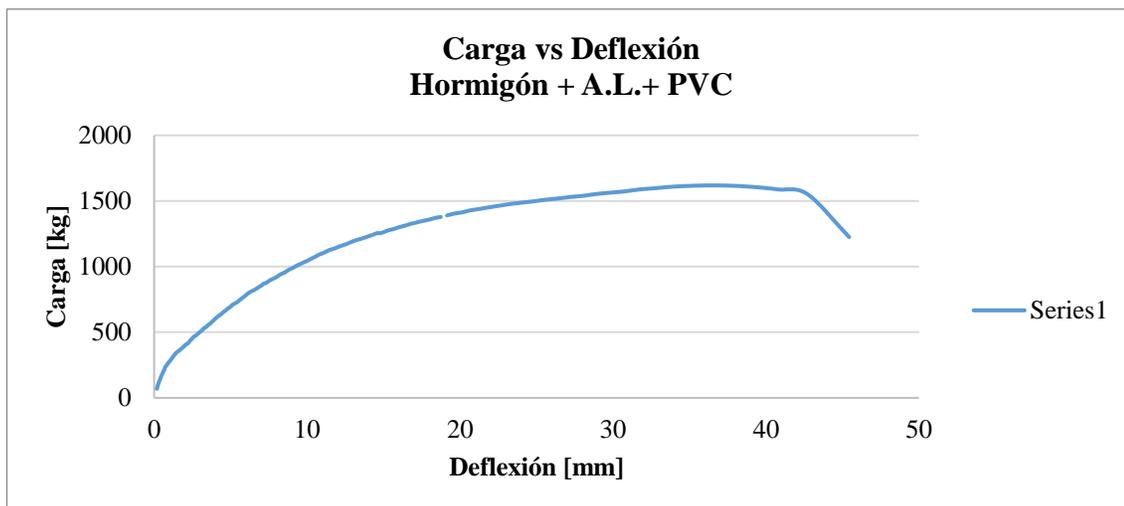


Figura 76 Carga vs Deformación de hormigón mas armadura longitudinal más PVC

4.3.5. Hormigón +Armadura longitudinal + Zuncho

Esta probeta sufre grietas en la parte inferior de la sección, el concreto en la parte superior falla por aplastamiento y después de un desplazamiento de 49.19 mm la probeta se fractura en el punto de aplicación de carga.



Figura 77 Falla de columna de hormigón armado + zuncho

La gráfica Carga vs deformación muestra que la máxima carga resistida por la probeta es de 1268.76 kg con su deformación de 21.41 mm, mientras que la carga para que se dé la ruptura del hormigón armado es de 924.26 kg y una deformación de 37.39 mm

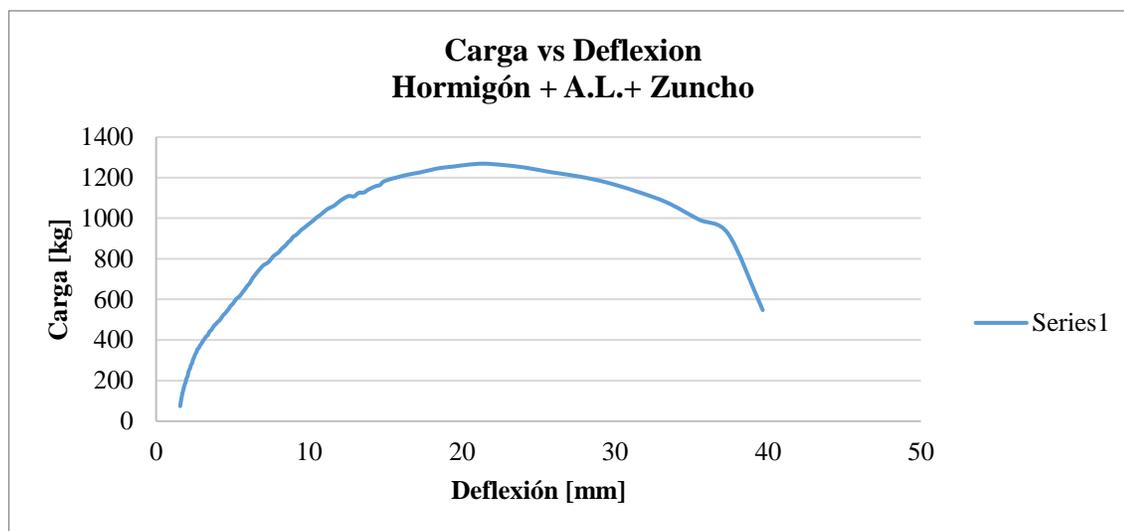


Figura 78 Carga vs deflexión Hormigón+AL+ Zuncho

4.3.6. Hormigón +Armadura longitudinal + Zuncho +PVC

En la probeta de hormigón con armadura longitudinal confinado con tubo de PVC no se pudo observar el agrietamiento del hormigón que se da por tensión, sin embargo, se visualiza el aplastamiento del concreto reflejado en la contracción del PVC, al igual que el estiramiento del PVC en la parte inferior de la sección por los esfuerzos de tensión, donde al retirar el recubrimiento de este polímero se observa que existe aplastamiento del hormigón en la sección media superior y fisuras en la sección inferior de la probeta.



Figura 79 Falla de la probeta zunchada + PVC

En el gráfico carga vs deflexión se denota que la carga máxima es de 1524.97 kg respectiva a una deflexión de 41.86 mm, además de que se evidencia la falla con una carga de 1429.97mm y una deflexión de 49.19 mm

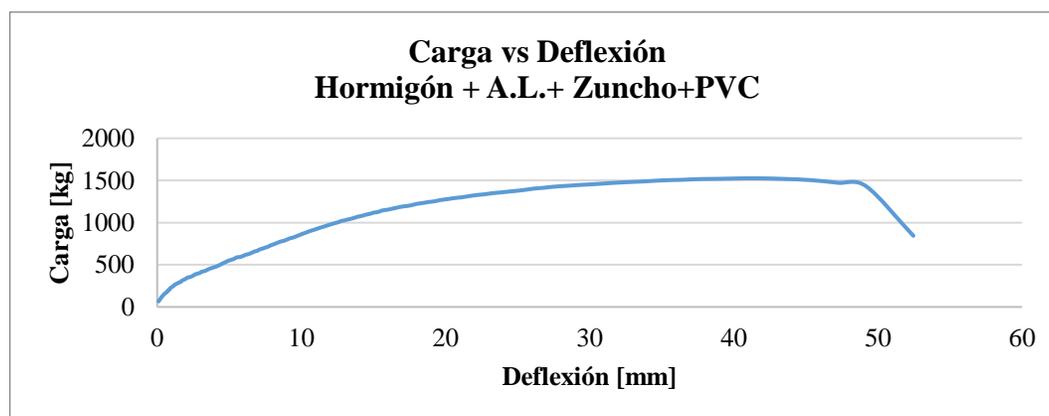


Figura 80 Carga vs Deflexión Hormigón+AL +Zuncho+PVC

4.3.7. Análisis

Tabla 15

Resumen de ensayo a flexión

TIPOS	Carga máxima [kg]	Deflexión máxima [mm]	EI [kg-cm ²]
Hormigón	167.21	0.47	12886151.1
Hormigón + PVC	621.97	53.04	2900695
Hormigón + As longitudinal	1128.97	33.93	31486700.9
Hormigón + As longitudinal + PVC	1617.97	45.44	43826868
Hormigón + As long y zuncho	1268.76	37.39	36958837
Hormigón + As long y zuncho + PVC	1524.97	49.19	53393070

La tabla muestra la carga máxima registrada en el ensayo a flexión para cada tipo de probeta, así como la deformación máxima que en su mayoría fue tomada al momento de la ruptura del elemento. Conocidos los valores de carga en el punto de fluencia, se hace referencia a lo mencionado en la ecuación 20 y se determina el valor de la rigidez a flexión.

4.4. Ensayo a compresión.

4.4.1. Probetas de 6 plg.

4.4.1.1. Hormigón

Se construyeron 7 probetas de hormigón para ser ensayadas a compresión a los 7, 14 y 28 días, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16
Resultados Testigos de Hormigón

Muestra		Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio
Descripción	#				
		[Tn]	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
	1	32.45	33.67	176.73	184.76
	2	34.89		192.78	
	3	38.60	39.38	211.05	217.80
	4	40.16		224.56	
	5	42.88		235.69	
	6	47.25	43.17	248.48	232.90
	7	39.39		214.53	

Con las probetas ensayadas a los 7 días da un valor promedio 184.76 kg/cm² que representa el 75% de la resistencia final, las dos muestras seguidas fueron ensayadas a los 14 días que da una resistencia de 217.80 kg/cm², mientras que las probetas ensayadas a los 28 días muestran una resistencia promedio de 232.90 kg/cm² y una carga de 43.17 Tn. En su mayoría se mostraron fallas tipo cónica.



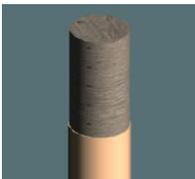
Figura 81 Falla tipo cónica y dividida

Este tipo de falla se da cuando el espécimen tiene una cara convexa y rugosidades en el plato de refrentado.

4.4.1.2.Hormigón + PVC

Las tres probetas construidas de hormigón más PVC se ensayaron a compresión a los 28 días de su fundición, dando como resultados en el ensayo a la compresión los mostrados en la tabla 17.

Tabla 17
Hormigón + PVC

Muestra	#	Carga	Carga Promedio	Resistencia a	Resistencia
				compresión	Promedio
Descripción		[Tn]	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
	1	53.87		267.09	
	2	55.68	55.18	273.48	272.92
	3	56.00		278.17	

Los resultados de las tres probetas muestran valores similares por lo que se toma el valor promedio en carga y resistencia que es de 55.18 Tn y 272.92 kg/cm² respectivamente, que son superiores al valor de diseño



Figura 82 Probeta fallada hormigón +PVC

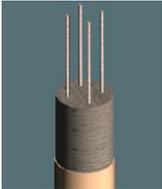
La falla de estos especímenes se dio por aplastamiento del hormigón y deformación del PVC.

4.4.1.3.Hormigón+PVC+4φ10

La probeta de hormigón tienen una cuantía de 1.69% con una resistencia promedio de 299.43 kg/cm^2 y una carga de 60.97 Tn.

Tabla 18

Hormigón+PVC+4 φ 10

Muestra		Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio
Descripción	#	[Tn]	[Tn]	[kg/cm2]	[kg/cm2]
		1	60.08	60.97	295.85
2		58.36	288.08		
3		64.48	314.37		

La falla para este tipo de probeta al igual que en la antes mencionada se dio por deformación del PVC, al abrir el encamisado del PVC se observa la deformación del acero longitudinal. Figura 80.

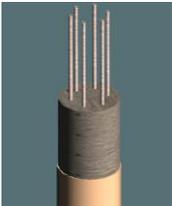


Figura 83 Falla a compresión de hormigón + PVC+4 φ 10

4.4.1.4. Hormigón+PVC+6φ10

Las probetas con 6 barras de acero longitudinal representan una cuantía de 2.54%. Los resultados de las tres probetas en resistencia llega a 335.90 kg/cm² con una carga de 68.59Tn.

Tabla 19
Hormigón+PVC+6φ10

Muestra					
Descripción	#	Carga [Tn]	Carga Promedio [Tn]	Resistencia a compresión [kg/cm ²]	Resistencia Promedio [kg/cm ²]
	1	69.47	68.59	342.08	335.90
	2	65.86		318.74	
	3	70.44		346.88	

La falla del hormigón y las deformaciones en los aceros fueron similares a las probetas que contenían 4 aceros de refuerzo longitudinal, es decir por aplastamiento del hormigón.



Figura 84 Falla de probeta armada con 6 ϕ 10

4.4.1.5. Hormigón+PVC+3 ϕ 12

Las probetas que cuentan con 3 barras de refuerzo longitudinal de 12 mm representan una cuantía de 1.83%, mostrando una resistencia promedio de 305.73 Kg/cm² correspondiente a una carga promedio de 61.73Tn.

Tabla 20
Hormigón+PVC+3 ϕ 12

Muestra					
Descripción	#	Carga [Tn]	Carga Promedio [Tn]	Resistencia a compresión [kg/cm ²]	Resistencia Promedio [kg/cm ²]
	1	63.39		313.29	
	2	61.15	61.73	304.15	305.73
	3	60.65		299.76	



Figura 85 Falla de probeta con acero longitudinal 3 ϕ 12

La falla de las probetas es tipo transversal que se puede apreciar una vez que se retire el PVC.

4.4.1.6. Hormigón+PVC+5 ϕ 12 con estribos

Estas probetas representan la mayor cuantía con 3%, en la siguiente tabla se aprecia que la tercera muestra ensayada muestra resultados que no se correlacionan con las anteriores y se procede a ser eliminada, dando como resultado característico de este espécimen una resistencia de 336.40 kg/cm² y una carga de 68.61 Tn.

Tabla 21

Hormigón+PVC+5 ϕ 12 con estribos

Muestra	Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio	
Descripción	#	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]	
	1	68,20	333,95		
	2	69,03	68,61	338,86	336,40
	3	42,57		209,63	



Figura 86 Hormigòn +PVC+5 ϕ 12 con estribos

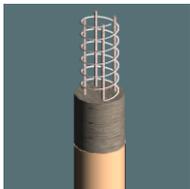
En la figura 83 se aprecia que la probeta con esta armadura tiene una falla por aplastamiento.

4.4.1.7.Hormigòn+PVC+4 ϕ 10+E

Para la cuantía de 1.69% se ensayaron 3 probetas para los cuales se obtuvieron resultados similares en el ensayo a compresión por lo que se promedió la carga y resistencia dando un valor de 63.15 Tn y 309.92 Kg/cm².

Tabla 22

Hormigòn+PCV+4 ϕ 10 con estribos

Muestra	Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio
Descripción	#	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
	1	61,57	304,70	309,92
	2	65,29	320,69	
	3	62,58	304,36	

Las fallas en estas probetas fueron por desprendimiento del recubrimiento, además de que la deformación en el PVC fue mínima.



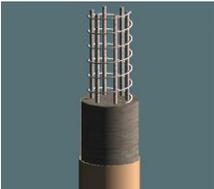
Figura 87 Falla de probeta armada con 4 ϕ 10 con estribos

4.4.1.8.Hormigón+PVC+6 ϕ 10+E

Para la cuantía de 2.54% se ensayaron 3 probetas para los cuales se obtuvieron dos resultados que no llegan al valor de diseño del hormigón y una muestra cuyo resultado de carga no se correlaciona con sus homólogas.

Tabla 23

Hormigón+PVC+6 ϕ 10 con estribos

Muestra Descripción	#	Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio
		[Tn]	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
	1	51,75		252,30	
	2	29,71	36,13	147,19	176,83
	3	26,94		131,02	

Debido a que los valores obtenidos mostrados en la tabla 23 no son confiables por ser probetas que mostraron hormigoneros, se procede a eliminar estas probetas como opción para el diseño de columnas.



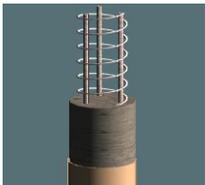
Figura 88 Falla de probetas armadas con 6 ϕ 10 y estribos

4.4.1.9. Hormigón+PVC+3 ϕ 12 con estribos

Las probetas que cuentan con 3 barras de refuerzo longitudinal representan una cuantía de 1.83%, se ensayaron tres muestras que presentaron datos similares por lo que se promedió para obtener un dato característico que fue de 65.90 Tn para la carga y 324.95 Kg/cm²

Tabla 24

Homrigòn+PVC+3 ϕ 12 con estribos

Muestra	Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio
Descripción	#	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
	1	65,41	322,90	
	2	68,70	65,90	339,58
	3	63,59		312,36

Estas probetas presentaron falla por deformación del PVC y falla tipo cónica que se aprecia al momento de retirar el recubrimiento de PVC.



Figura 89 Falla de probetas armadas con 3 ϕ 12 y estribos

4.4.1.10. Hormigón+PVC+5 ϕ 12 con estribos

Con la armadura de 5 barras de refuerzo longitudinal de 12 mm se obtiene una cuantía de 3%, dos de las tres probetas muestran resultados similares de donde se toma el valor promedio para caracterizar la sección con una carga de 42.57 Tn y una resistencia de 336.40 kg/cm². Por el contrario, se descarta la tercera probeta que muestra una resistencia de 209.63 kg/cm².

Tabla 25

Hormigón+PVC+5 ϕ 12 con estribos

Muestra		Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio
Descripción	#				
		[Tn]	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
	1	68,20		333,95	
	2	69,03	68,61	338,86	336,40
	3	42,57		209,63	

Las fallas en estas probetas se dieron por la deformación de los aceros y deformación del PVC.



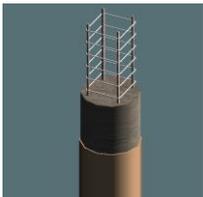
Figura 90 Falla de la probeta armada con 5 ϕ 12 y estribos

4.4.1.11. Hormigón + PVC + Col. Electrosoldada

Para tomar el valor característico se descarta una de las tres probetas, pues el valor de la carga es de 32.54 Tn que representa un poco más del 50% de las otras dos probetas, que mostraron una carga de 60.20 tn en carga y 250.91 kg/cm² de resistencia.

Tabla 26

Hormigón+PVC+Col. Electrosoldada

Muestra					
Descripción	#	Carga	Carga Promedio	Resistencia a compresión	Resistencia Promedio
		[Tn]	[Tn]	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
	1	32,54		160,75	
	2	58,87	60,20	285,96	250,91
	3	61,53		306,03	

A pesar de obtener resultados favorables en resistencia se descarta como opción para la construcción de columnas pues no cumple con los recubrimientos mínimos exigidos por la norma.



Figura 91 Falla de probetas armadas con columnas electrosoldadas

La falla se da al desprenderse el recubrimiento y por aplastamiento del hormigón.

4.4.1.12. Análisis

A continuación, se presenta una tabla resumen donde se muestra los datos obtenidos de forma experimental comparado con los valores obtenidos de forma analítica mediante la ecuación 29 donde no se considera el aporte del PVC.

Sin embargo, la diferencia de valores es significativa, lo cual hace necesario considerar la participación de la sección de PVC sometida a compresión, para lo cual se adiciona en la ecuación # el aporte del PVC quedando de la siguiente manera.

$$P_u = \left(0.85f_c + 8.2 \frac{f_y A_{sp}}{d_s s} \right) A_{cc} + f_y A_{st} + f_{yPVC} A_{PVC} \quad (32)$$

Donde

f_{Ypvc} : Límite de fluencia del PVC

A_{PVC} : Área de la sección del PVC

Tabla 27
Resistencia a la compresión experimental y analítica

N°	Descripción de Probetas	Experimental		Analítico sin PVC		Analítico con PVC	
		Carga	Resistencia a compresión	Carga	Resistencia a compresión	Carga	Resistencia a compresión
		[Tn]	[kg/cm2]	[Tn]	[kg/cm2]	[Tn]	[kg/cm2]
1	Hormigón	42,73	232,91			36,33	197,97
2	Hormigón +PVC	55,18	272,92	36,68	198,28	43,20	213,85
3	Hormigón + PVC+ 4φ10mm	60,97	299,43	50,91	275,19	55,77	276,10
4	Hormigón + PVC + 6φ10mm	68,59	335,90	58,02	313,61	62,06	307,21
5	Hormigón + PVC + 3φ12mm	61,73	305,73	52,05	281,33	56,78	281,07
6	Hormigón + PVC + 5φ12mm	70,21	345,18	62,29	336,69	65,83	325,89
7	Hormigón + PVC+ 4φ10mm + 1Eφ8@10cm	63,15	309,92	50,91	275,19	55,77	276,10
8	Hormigón + PVC+ 6φ10mm + 1Eφ8@10cm	36,13	176,83	58,02	313,61	62,06	307,21
9	Hormigón + PVC+ 3φ12mm + 1Eφ8@10cm	65,90	324,95	52,05	281,33	56,78	281,07
10	Hormigón + PVC+ 5φ12mm + 1Eφ8@10cm	68,61	336,40	62,29	336,69	65,83	325,89
11	Electrosoldada	60,20	250,91	43,65	235,95	49,36	244,34

La tabla evidencia que la máxima carga se obtuvo para la probeta de hormigón armado con 5φ12 sin estribos con un valor de 70.21 Tn y de forma analítica un valor de 62.29 Tn. Del mismo modo, la tabla 27 muestra que en la forma analítica se da una semejanza entre las probetas número 3,4,5,6 y las

probetas número 7,8,9,10 respectivamente debido a que en este análisis no se considera el confinamiento de las probetas.

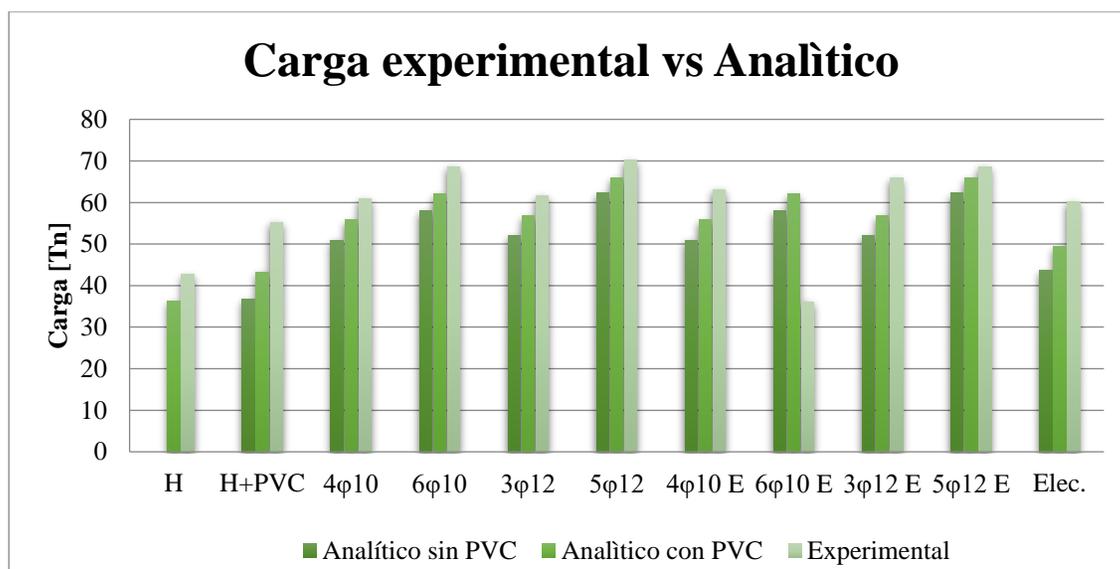


Figura 92 Comparación datos experimentales y analíticos

En la figura 89 se puede observar que para todos los casos la carga experimental es mayor que la analítica, excepto para el caso de la probeta armada con $6\Phi 10$ con estribos que debido a la congestión de acero no se realizó una fundición adecuada. A pesar de que la gráfica muestra un mejor comportamiento para la sección armada con $5\Phi 12$, por construcción no es recomendable pues presenta inconvenientes al momento de la fundición.

4.4.2. Columnas y secciones de columna de 4 plg.

4.4.2.1. Hormigón

La probeta de hormigón falla con una carga 8.38 Tn. a una distancia de 80 cm de altura medidos desde el apoyo inferior como se muestra en la figura 90.



Figura 93 Falla de columna de hormigón simple

La falla fue instantánea y debida a la tensión generada por pandeo.

4.4.2.2. Hormigón + PVC

La columna de hormigón simple más PVC falló con una carga de 14.57 Tn a una altura de 20 cm el apoyo inferior se mostró deformación en el PVC debido al aplastamiento del hormigón.



Figura 94 Falla de columna de hormigón simple+PVC

4.4.2.3.Hormigón + Armadura longitudinal

La columna sometida a compresión falla por desprendimiento del recubrimiento que se observa en la figura 92.



Figura 95 Falla de columna con armadura longitudinal

La fisura inicia con una carga de 5.52 Tn, y falla al explotar el recubrimiento con una carga de 13.58 Tn, tiempo durante el cual la fisura se volvía más notoria a medida que la carga se incrementaba.

4.4.2.4.Hormigón + Armadura longitudinal +PVC

La columna de hormigón armado recubierto por el tubo de PVC no tubo fallas debido a que su resistencia a la compresión sobrepasa las 20 Tn que es la capacidad de carga de la celda.



Figura 96 Columna de hormigón con armadura longitudinal +PVC

4.4.2.5.Hormigón +A.L. +Zuncho

La columna de hormigón armado con zuncho tuvo su primera fisura al aplicarse una carga de 12.92 Tn, sin embargo, la carga ultima es de 15.22 Tn debido al desprendimiento total del recubrimiento.



Figura 97 Falla de columna zunchada

4.4.2.6. Hormigón + A.L. + Zuncho + PVC

La columna zunchada con PVC en un primer ensayo se volcó al ser aplicada una carga de 13.75 Tn. Al retomar el ensayo después de haber corroborado que la probeta no haya sufrido daños, esta supero la capacidad de carga del equipo de compresión.



Figura 98 Columna zunchada + PVC

4.4.2.7. Análisis

De los ensayos sometidos a compresión de las columnas y las secciones de columna a escala 1:0.5 se obtuvieron los datos mostrados en la tabla resumen 28.

Tabla 28

Carga experimental de probetas y secciones extraídas.

N°	Descripción	Experimental	
		Carga	
		Probeta 1.20 [Tn]	Sección extraída [Tn]
1	Hormigón	8.38	19.19
2	Hormigón PVC	14.57	24.84
3	Hormigón As long.	13.58	22.56
4	Hormigón As long. PVC	20.00	27.52
5	Hormigón As long. zunchada	15.22	23.89
6	Hormigón As long. zunchada PVC	20.00	28.24

La máxima carga obtenida fue para las columnas número 4 y 5 con 20 Tn, sin embargo, no se puede tomar este valor como válido ya que representa la capacidad máxima de la celda de carga y por limitación de los equipos de laboratorio no se pudo llegar al fallo de las mismas. Es necesario recalcar que las fallas dadas en las probetas no representan el 100% de su resistencia ante la compresión por lo cual en la columna 4 de la tabla 27 se presentan los resultados experimentales de las secciones sometidas netamente a compresión, donde se puede evidenciar el incremento que tienen con respecto a las probetas de 1.20 m de altura.

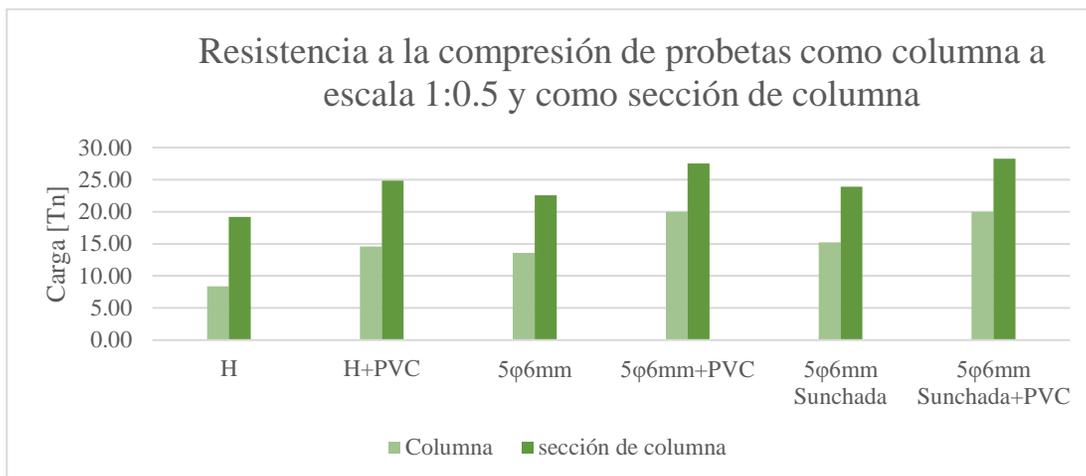


Figura 99 Carga para columnas y sección de columnas

La gráfica muestra una clara diferencia entre los valores de carga de las secciones de columna con las columnas de 1.20 m de altura, esto se debe a que las columnas como tal y por las condiciones de ensayo no se aplicó una carga axial en el punto exacto del eje de la probeta, dando una mínima excentricidad, además de que intervienen otros factores como es la esbeltez. Para el análisis de resultados se debe considerar la variación de resistencia del hormigón debido a que la fundición de las columnas se las realizó en tres “paradas”.

Tabla 29

Carga experimental y analítica por pandeo

N	Descripción	Experimental	Analítico
		Probeta 1.20	Pandeo
		[Tn]	[Tn]
1	Hormigón	8.38	8.83
2	Hormigón PVC	14.57	19.88
3	Hormigón As long.	13.58	21.58
4	Hormigón As long. PVC	20.00	30.04
5	Hormigón As long. Zunchada	15.22	29.33
6	Hormigón As long. Zunchada PVC	20.00	36.60

Al realizar una comparación entre el valor teórico de la carga por pandeo y los valores experimentales, se puede observar que el valor calculado es mayor al experimental, lo que demuestra que la falla de las columnas se debió a la compresión y aplastamiento del hormigón.

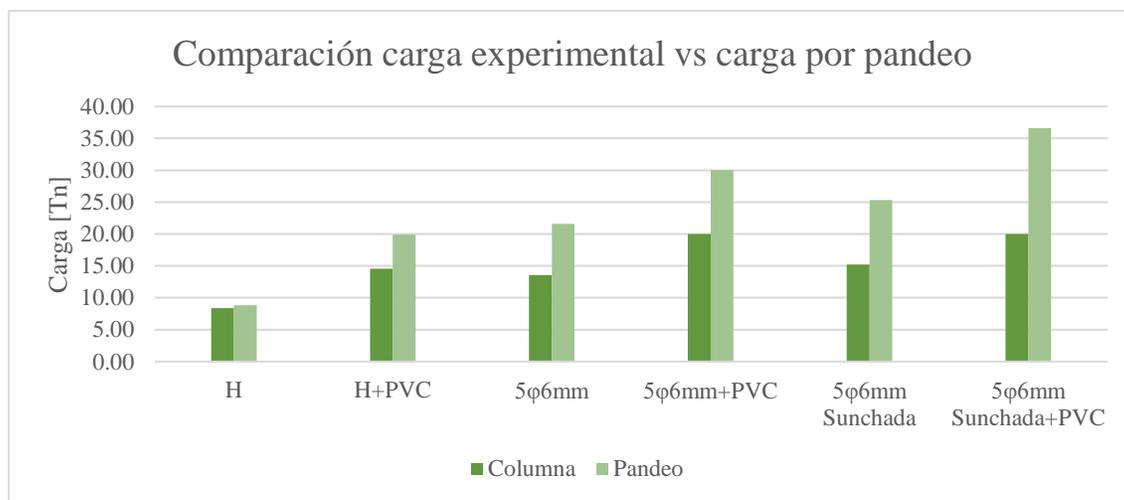


Figura 100 Comparación de carga experimental vs. carga analítica por pandeo

Es importante mencionar que la carga por pandeo fue calculada con la rigidez a flexión obtenida experimentalmente del ensayo a flexión, sin embargo la tabla 30 muestra los valores obtenidos para la rigidez tomando en cuenta la ecuación 22 y 23 y una modificación a la ecuación 23 para tomar en cuenta el aporte del acero y del PVC, se calcula la carga por pandeo que se tendría al usar este valor de rigidez a flexión, para tomar en consideración en una comparación con los datos obtenidos en la tabla 29.

Tabla 30
Valores de rigidez a flexión y carga por pandeo

	Ecuación	EI [kg-cm²]	Carga [Tn]
Ec. (22)	$EI = \frac{E_C I_g}{2.5}$	52588298.7	42.43
Ec. (23)	$EI = \frac{E_C I_g}{5} + E_s I_s$	44018149.4	30.169
Ec. (23.a)	$EI = \frac{E_C I_g}{5} + E_s I_s + E_{PVC} I_{PVC}$	54204049.4	37.15
Ec. (23.b)	$EI = \frac{E_C I_g}{5} + E_{PVC} I_{PVC}$	36480049.4	25.003

Para determinar el confinamiento que aporta el PVC se desarrollan las siguientes ecuaciones.

Desarrollo de ecuaciones.

Partiendo de la teoría de confinamiento planteada en la sección 2.4.4.2 se desarrolla mediante el equilibrio de fuerzas las siguientes ecuaciones para cada caso.

Hormigón + PVC

Para este caso se considera confinamiento dado por el PVC realizando un diagrama por fuerzas como se muestra en la figura 98.

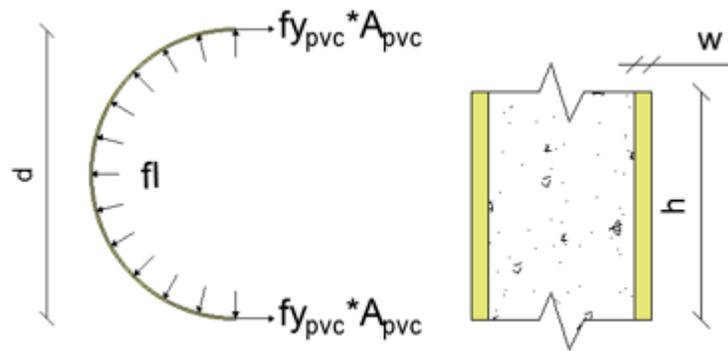


Figura 101 Equilibrio de fuerzas por confinamiento Hormigón + PVC

Por equilibrio de fuerzas se tiene:

$$2f_{y_{PVC}}A_{PVC} = dhfl \quad (33)$$

Despejando fl

$$f_l = \frac{2f_{y_{PVC}}A_{PVC}}{dh}$$

$$f_l = \frac{2f_{y_{PVC}}wk}{dk}$$

$$f_l = \frac{2f_{y_{PVC}}w}{d}$$

$$f_l = \frac{2f_{y_{PVC}}w}{d} \quad (34)$$

Sustituyendo fl en la ecuación 5

$$f_{cc} = f'_c + 4.1fl$$

$$f_{cc} = f'c + 4.1 \frac{2fy_{PVCW}}{d}$$

$$f_{cc} = f'c + 4.1 \frac{2fy_{PVCW}}{d} \quad (35)$$

La resistencia del hormigón en una columna por su construcción es del 85% de su resistencia de diseño, por lo que reemplazando en la ecuación 35 se tiene:

$$f_{cc} = 0.85f'c + 8.2 \frac{fy_{PVCW}}{d} \quad (36)$$

Multiplicando por la sección confinada se tiene:

$$f_{cc}A_{cc} = \left(0.85f'c + 8.2 \frac{fy_{PVCW}}{d}\right) A_{cc}$$

$$\therefore P_u = \left(0.85f'c + 8.2 \frac{fy_{PVCW}}{d}\right) A_{cc} \quad (37)$$

Además, es necesario añadir el aporte a compresión de la sección transversal de PVC, quedando finalmente la ecuación:

$$P_u = \left(0.85f'c + 8.2 \frac{fy_{PVCW}}{d}\right) A_{cc} + fy_{PVC}A_{PVC} \quad (38)$$

Donde

P_u : Resistencia ultima a compresión.

f'_c : resistencia del hormigón.

f_{ypvc} : límite de fluencia del PVC

w : espesor del tubo PVC

d : diámetro de la sección confinada

A_{cc} : área confinada

A_{pvc} : área de la sección de PVC

Hormigón + PVC+AL.

Este caso es similar al antes mencionado, considerando el aporte del refuerzo longitudinal.

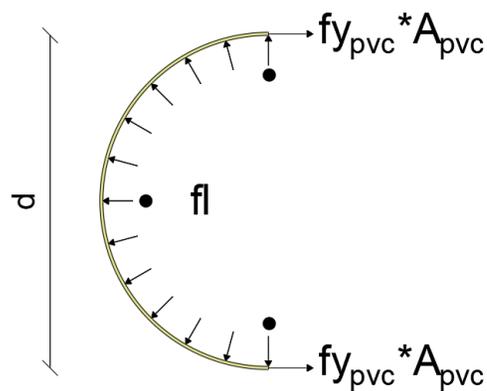


Figura 102 Equilibrio de fuerzas por confinamiento Hormigón + PVC + AL.

Partiendo de la ecuación 38 en la cual se implementa la resistencia a la compresión del acero de refuerzo longitudinal, resultando la siguiente ecuación:

$$P_u = \left(0.85f'_c + 8.2 \frac{f_{yPVC}wh}{dh}\right) A_{cc} + f_{yPVC}A_{PVC} + f_y A_s \quad (39)$$

Donde

f_y : límite de fluencia del acero.

A_s : área del refuerzo transversal.

Hormigón + Zuncho

En este caso no fue necesario realizar el desarrollo de la ecuación debido a que se encuentra tabulado en la sección 2.4.4.2

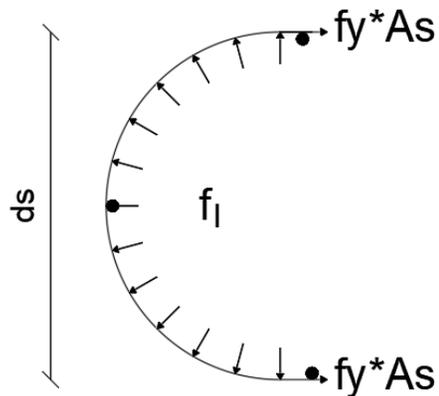


Figura 103 Equilibrio de fuerzas por confinamiento Hormigón + Zuncho

$$P_u = \left(0.85f'_c + 8.2 \frac{f_y A_{sp}}{d_s s}\right) A_{cc} + f_y A_{st} \quad (40)$$

Hormigón + Zuncho + PVC

En este desarrollo se considera el confinamiento por el zuncho y por el PVC, partiendo de la figura 101.

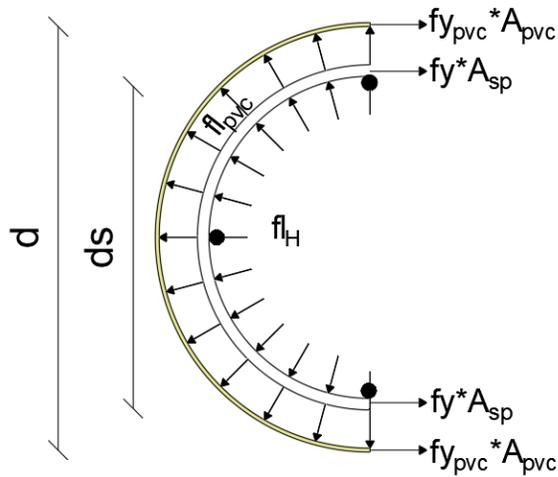


Figura 104 Equilibrio de fuerzas por confinamiento
Hormigón+ PVC + Zuncho

De la figura 101 se tiene que la presión lateral de confinamiento es igual a la sumatoria de la presión ejercida sobre el zuncho más la presión ejercida sobre el PVC

$$fl = f_{lH} + f_{lPVC}$$

$$f_{lH} + f_{lPVC} = \frac{2fyA_s}{d_s \cdot s} + \frac{2fy_{PVC}A_o}{d \cdot h}$$

$$fl = \frac{2fyA_s}{ds \cdot S} + \frac{2fy_{PVC}wh}{d \cdot h} \quad (41)$$

Reemplazando fl en la ecuación 5 tenemos:

$$f_{cc} = f'_c + 4.1 \left(\frac{2fyA_s}{d_s S} + \frac{2fy_{PVC}W}{d} \right)$$

$$f_{cc} = f'_c + 8.2 \frac{fyA_s}{ds \cdot S} + 8.2 \frac{fy_{PVC}W}{d} \quad (42)$$

Donde multiplicando por la sección de confinamiento del acero de refuerzo helicoidal y añadiendo el aporte del PVC por confinamiento tenemos:

$$Pu = \left(0.85f'_c + 8.2 \frac{fyAs}{ds * S} \right) Acc + 8.2 \frac{fy_{PVC}W}{d} Ag \quad (43)$$

Al igual que en las anteriores ecuaciones se tiene que considerar el aporte del refuerzo transversal y del PVC ante la compresión, quedando la siguiente ecuación:

$$Pu = \left(0.85f'_c + 8.2 \frac{fyAs}{ds * S} \right) Acc + 8.2 \frac{fy_{PVC}W}{d} Ag + fy_{PVC}A_{PVC} + fyAs \quad (44)$$

La tabla 31 muestra los valores obtenidos de forma experimental en el ensayo a compresión de las diferentes secciones, y los valores analíticos para determinar la carga a compresión P_u utilizando la ecuación 4, tomando en cuenta las ecuaciones por confinamiento determinamos P_u , es por esta razón que para las probetas 1 y 3 no se aplica el valor P_u ya que las probetas no cuentan con confinamiento de acero ni PVC.

Tabla 31

Valores experimental y teóricos por confinamiento de la sección

N	Descripción	Experimental	Analítico	
		sección extraída	Po	Pu
		[Tn]	[Tn]	[Tn]
1	Hormigón	19.19	11.72	
2	Hormigón PVC	24.84	14.05	24.73
3	Hormigón As long.	22.56	17.46	
4	Hormigón As long. PVC	27.52	19.79	32.63
5	Hormigón As long. zunchada	23.89	17.46	19.33
6	Hormigón As long. zunchada PVC	28.24	19.79	28.67

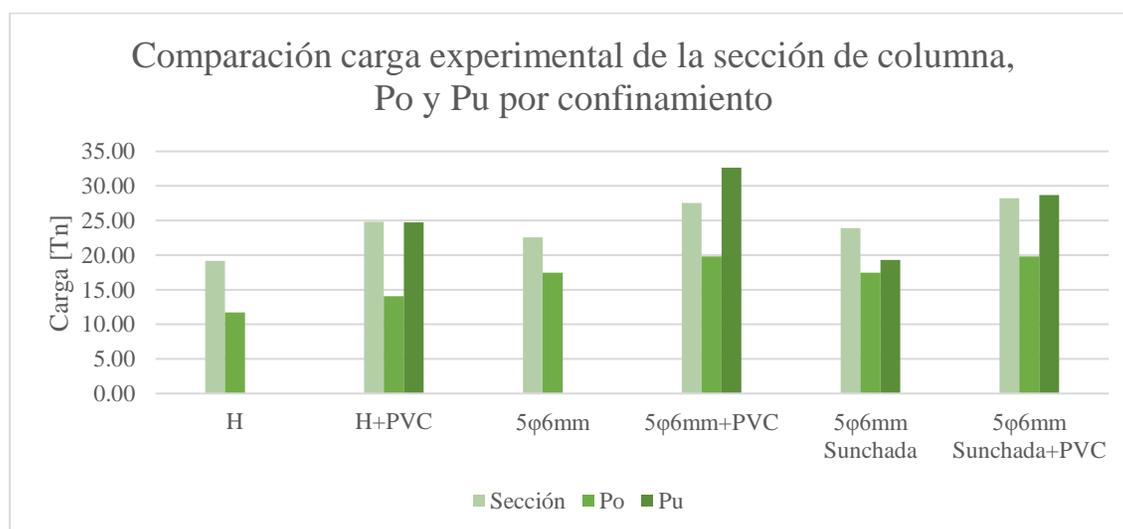


Figura 105 Comparación entre carga experimental y analítica tomando en cuenta el confinamiento

En la figura 102 se observa que la mejor correlación que existe entre lo analítico y experimental es para la columna zunchada, pues existe una diferencia de 0.4 Tn entre el valor experimental y el

valor de P_u , de igual forma sucede para la probeta de hormigón más PVC que presenta un valor similar entre lo experimental y lo analítico tomando en cuenta el confinamiento.

Se puede apreciar que en la mayoría de probetas existe un mínimo error entre los valores experimental y el valor analítico para P_o , lo cual muestra que las probetas fueron ensayadas en condiciones óptimas y fallas exclusiva por compresión.

4.5. Ensayo a corte directo

4.5.1. Hormigón

La probeta de hormigón falló con una carga mínima 4.68 Tn, el comportamiento fue lineal y sin distensión de una rango elástico e inelástico.

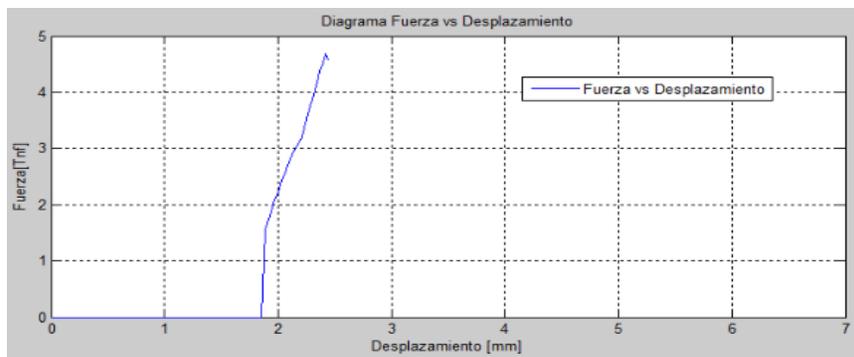


Figura 106 Fuerza vs desplazamiento de hormigón



Figura 107 Falla por corte del hoirmigón

4.5.2. Hormigón + PVC

En la figura se observa la deformación del polímero y como este se retrae con respecto a la longitud original, dejando al descubierto parte del hormigón.



Figura 108 Falla por corte hormigón +PVC

La probeta de hormigón más PVC resistió una carga máxima de 8.55 Tn y se observa un comportamiento más dúctil con respecto a la probeta sin el recubrimiento de PVC.

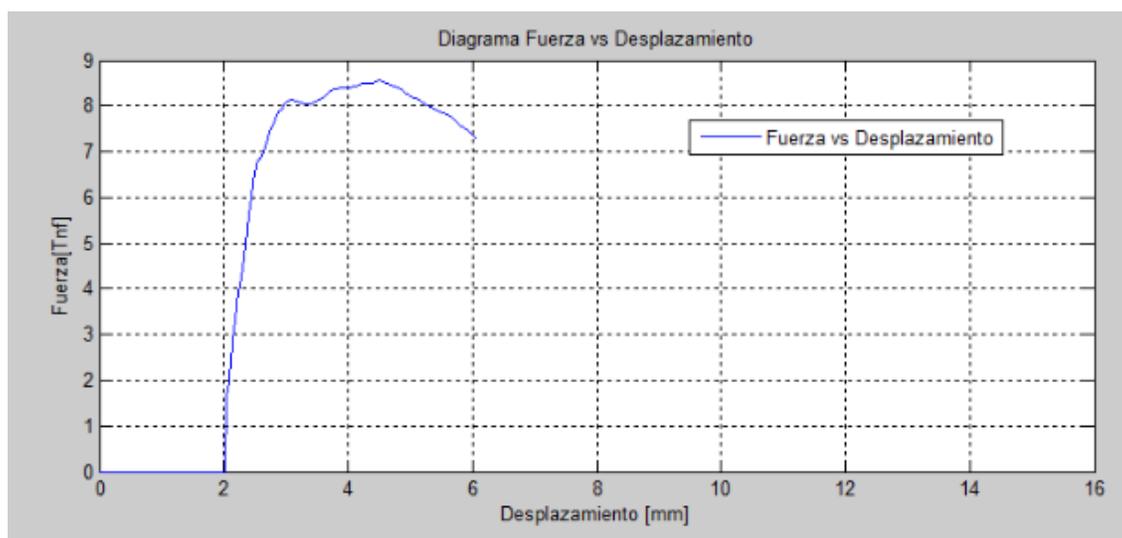


Figura 109 Diagrama de Fuerza vs Desplazamiento

4.5.3. Hormigón +AL

La probeta de hormigón más acero de refuerzo tubo fisuras en sentido longitudinal además del corte provocado por la fuerza aplicada.



Figura 110 Falla por corte de hormigón + AL.

La carga máxima que resiste este espécimen fue de 7.65 Tn, se puede observar un comportamiento lineal hasta 7.2Tn

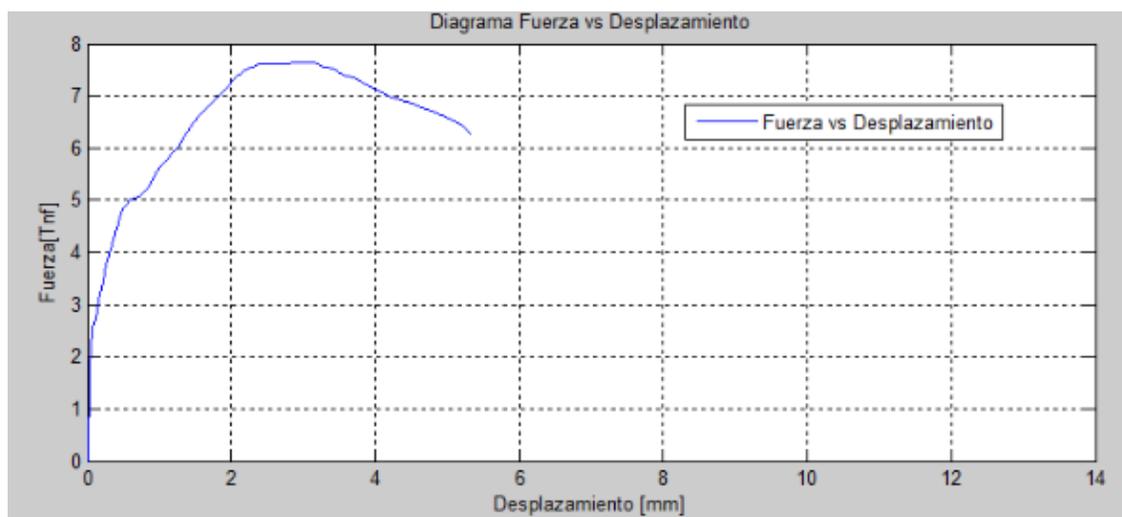


Figura 111 Fuerza vs desplazamiento hormigón +AL

4.5.4. Hormigón + AL + PVC

Las fallas en esta probeta se observan principalmente en el fisuramiento y deformación del PVC, además de una retracción del acero longitudinal y del polímero, dejando al descubierto aproximadamente 3mm del hormigón a cada lado.



Figura 112 Falla por corte de hormigón con armadura longitudinal y PVC

En la figura se puede observar que la fuerza máxima aplicada es 16.98 Tn, con un comportamiento elástico hasta las 14 Tn.

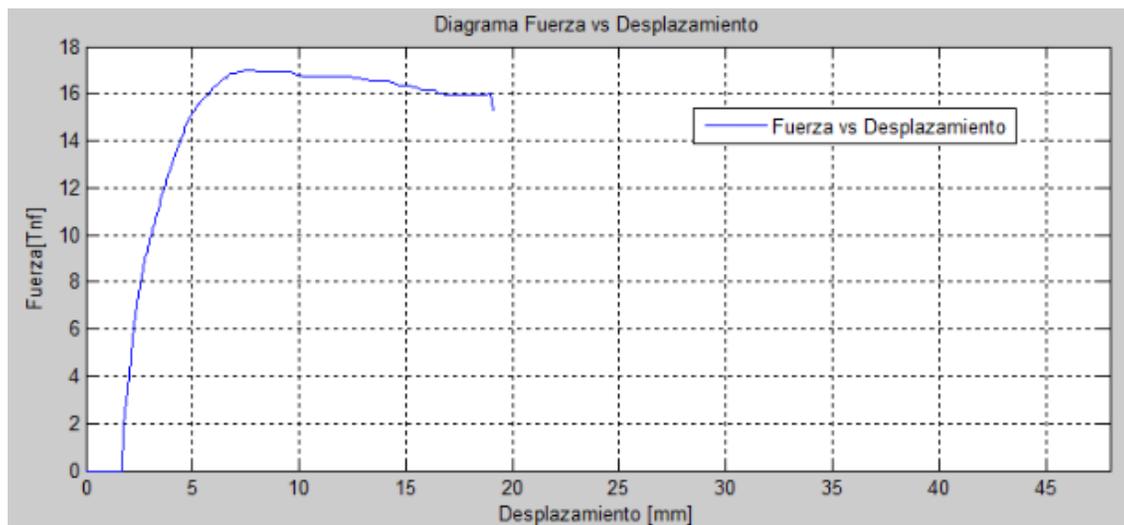


Figura 113 Fuerza vs desplazamiento hormigón + AL + PVC

4.5.5. Hormigón + AL + Zuncho

La probeta zunchada además de la falla por corte se observa fisuras en el sentido longitudinal y un en sentido transversal.



Figura 114 Falla de probeta zunchada

La carga máxima registrada es de 8.33 Tn con una deformación 4 mm.

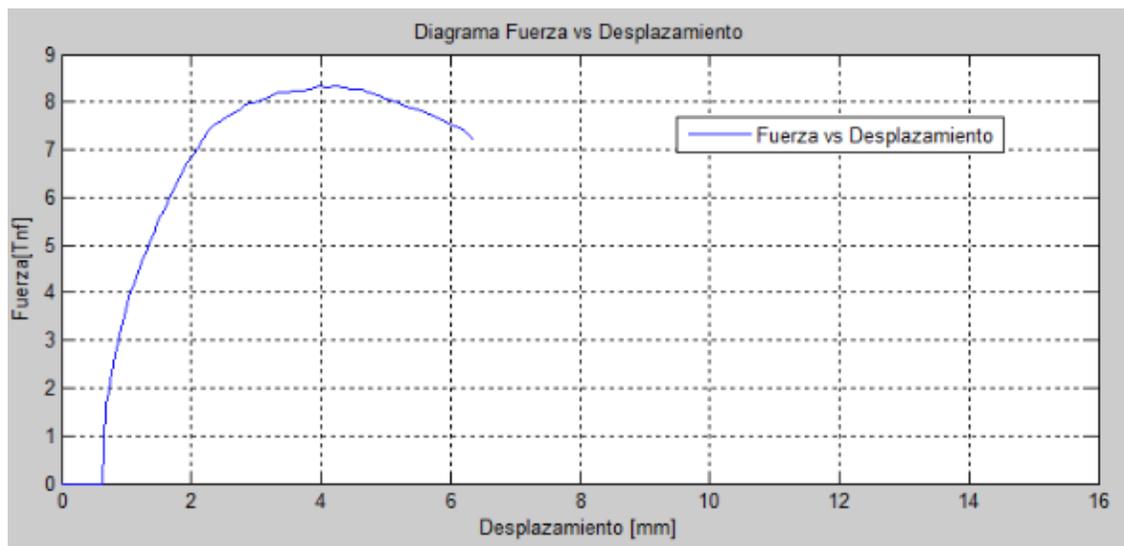


Figura 115 Fuerza vs desplazamiento probeta zunchada

4.5.6. Hormigón + AL + Zuncho + PVC

La falla para este espécimen se evidencia en la ruptura del PVC debido a la deformación.

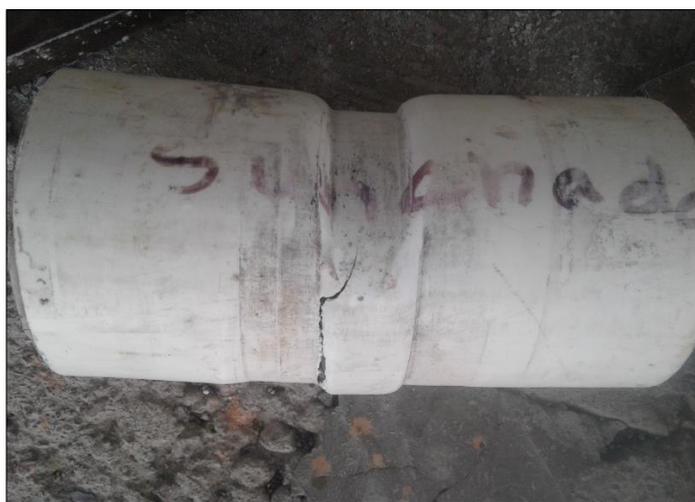


Figura 116 Falla de probeta zunchada + PVC

La carga máxima registrada es de 20.27 Tn

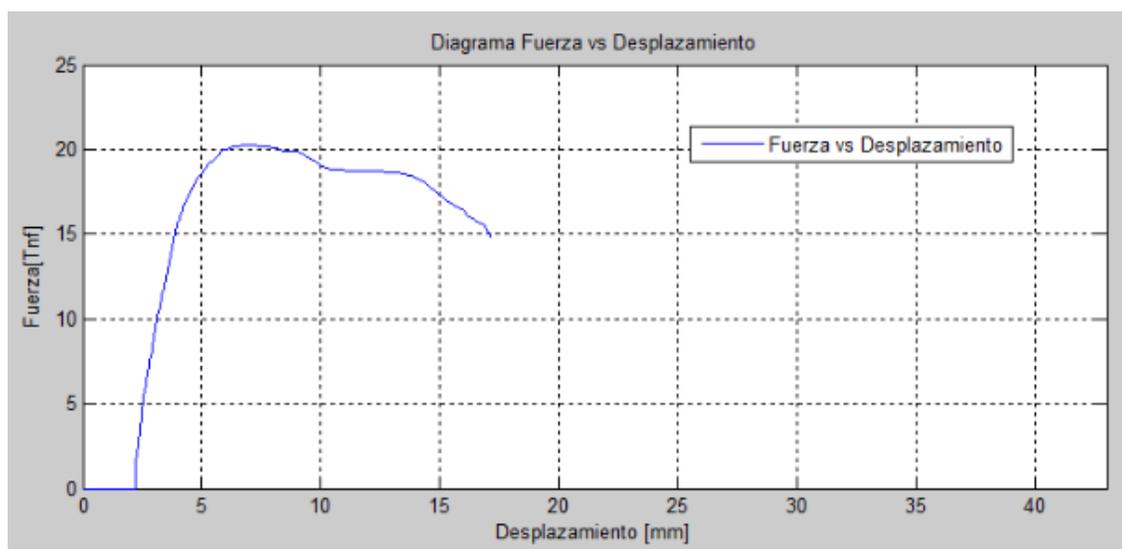


Figura 117 Fuerza vs Desplazamiento hormigón AL +PVC

4.5.7. Análisis

En la tabla 32 se muestra la carga máxima a la que son sometidas las probetas antes de que fallen por corte, en la columna derecha se tiene los valores de esfuerzo en megapascuales. El máximo valor corresponde a la probeta armada con zuncho y PVC con un valor de 20.27 Tn y un esfuerzo de 11.35 MPa y la última columna presenta el índice de disipación de energía medidos en Joules.

Tabla 32

Esfuerzo al corte y disipación de energía

Probeta	Pmax [Tn]	τ [MPa]	Disipación [Joules]
Hormigón	4.688	2.625	17.25579
Hormigón +PVC	8.557	4.417	297.4392
Hormigón +AL	7.653	4.286	254.5695
Hormigón +AL+PVC	16.990	8.769	440.35128
Hormigón +zuncho	8.334	4.667	269.5788
Hormigón +zuncho+PVC	20.268	11.351	568.7838

En la figura se puede observar que las probetas con mayor ductilidad son las armadas con zuncho más PVC y hormigón con armadura longitudinal más PVC. También se aprecia que para todos los casos el PVC confiere mayor tenacidad al elemento.

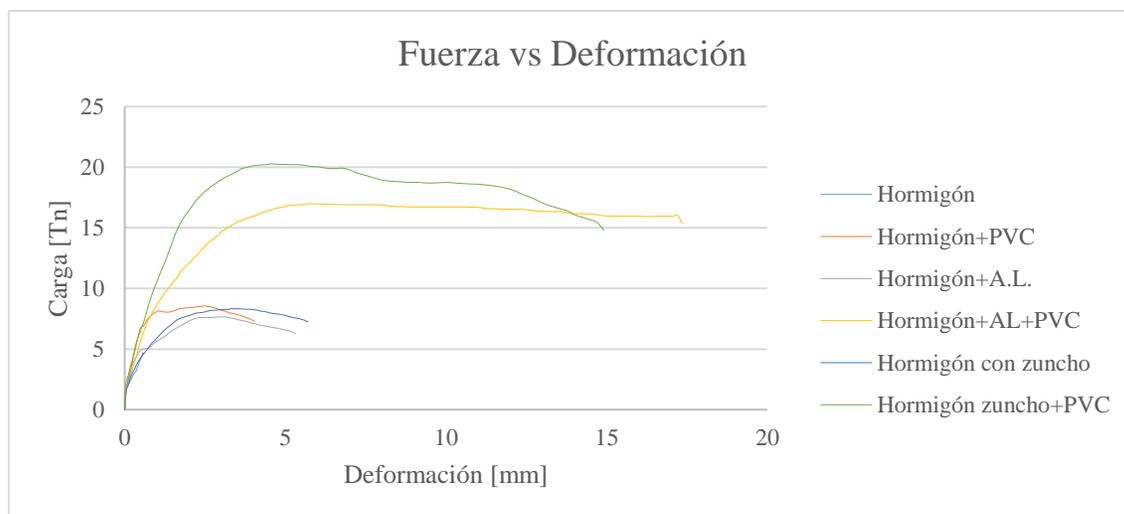


Figura 118 Fuerza vs Deformación por corte directo

La figura 115 muestra un notable incremento en las probetas de hormigón armado y PVC en comparación con la probeta de hormigón simple, donde el mínimo valor es de 17.25 J y el máximo de 568.78 J correspondiente a la columna zunchada con PVC.

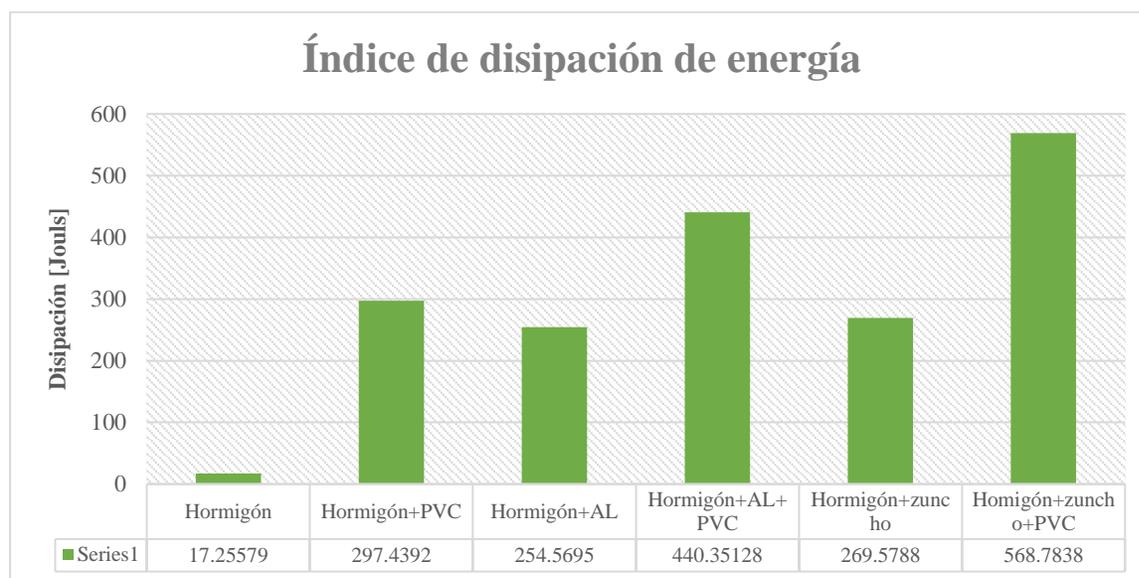


Figura 119 Disipación de energía

En la tabla 33 se realiza una comparación entre cada sección con y sin PVC y en qué porcentaje este polímero ayuda a incrementar la resistencia a la carga.

Tabla 33

Resultados ensayo a corte

ENSAYO A CORTE			
Probeta	N	Carga Tn	Incremento %
Hormigón	1	4.68	83%
Hormigón PVC	2	8.55	
Hormigón As long.	3	7.65	122%
Hormigón As long. PVC	4	16.98	
Hormigón As long. zunchada	5	8.33	143%
Hormigón As long. zunchada PVC	6	20.27	

De las seis probetas ensayadas se puede observar que la que resiste mayor carga es la probeta zunchada más PVC. Al realizar una comparación entre cada sección sin PVC y con PVC, se denota un incremento en la resistencia, es el caso del hormigón que más el PVC tiene un incremento del

83%, hormigón con armadura longitudinal con PVC representa un 122% y en las probetas zunchadas existe un incremento de fuerza de 143%

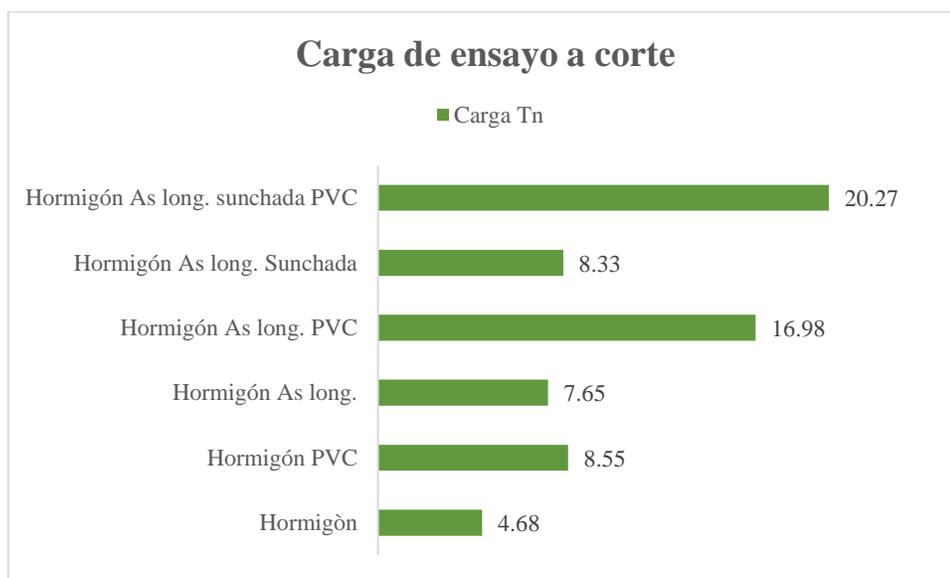


Figura 120 Resultados ensayo a corte

4.6. Flexo-compresión

4.6.1. Hormigón + AL

La columna ensayada a flexo-compresión mostro fallas por compresión en la parte interna de la columna a 8 cm de la ménsula de hormigón y fisuras debido a la tracción generada en la parte exterior de la columna. Finalmente, la columna falla con una carga 1.93 Tn aplicada a 15.5 cm de excentricidad.



Figura 121 Falla a flexocompresión de hormigón +AL

4.6.2. Hormigón + AL + PVC

Semejante al caso anterior la columna fallo por corte a una distancia de 7.5 cm de la base de la ménsula, sin embargo, esta falla no se pudo observar a simple vista, sino solo hasta después de retirar el tubo de PVC. El ensayo finaliza cuando la carga empieza a disminuir y la deformación en la ménsula es evidente (ver figura 119), además de que se observa un pandeo mínimo en el centro de la columna.



Figura 122 Falla a flexo-compresión de columna de hormigón con armadura longitudinal y PVC

4.6.3. Hormigón + AL + Zuncho

Para la columna zunchada la falla se dió en la cabeza de la columna, además de microfisuras distribuidas a lo largo de todo el elemento que se visualizaron durante el ensayo. Las fisuras se mostraban más continuas cerca de la ménsula de hormigón. La falla se dió con una carga de 2.25 Tn.



Figura 123 Falla a flexocompresión de hormigón+Armadura longitudinal+zuncho

4.6.4. Hormigón + AL + Zuncho + PVC

Depúes de aplicar una carga de 3.49 T con una escentricidad de 15.5 cm y de retirar el tubo de PVC de la columna ensayada, se aprecia la falla de compresión del hormigón como se muestra en la figura 121



Figura 124 Falla a flexocompresión para hormigón+aramadura longitudinal más zuncho y PVC

4.6.5. Análisis

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la carga y el momento generada para dicha carga con una excentricidad de 15.5 cm, además del porcentaje de incremento en relación a momento que se da entre las columnas de hormigón armado con y sin PVC.

Tabla 34
Resultados de ensayo a flexo-compresión

N	Descripción	Experimental		Incremento %
		P [Tn]	M [Tn-m]	
1	Hormigón As long.	1.93	0.30	63.61
2	Hormigón As long. PVC	3.16	0.49	
3	Hormigón As long. Zunchada	2.25	0.35	55.18
4	Hormigón As long. Zunchada PVC	3.49	0.54	

La figura muestra que los mayores valores de momento son para las columnas con el encamisado de PVC y que incluso la columna sin refuerzo transversal presenta un mejor comportamiento que la columna armada con zuncho.

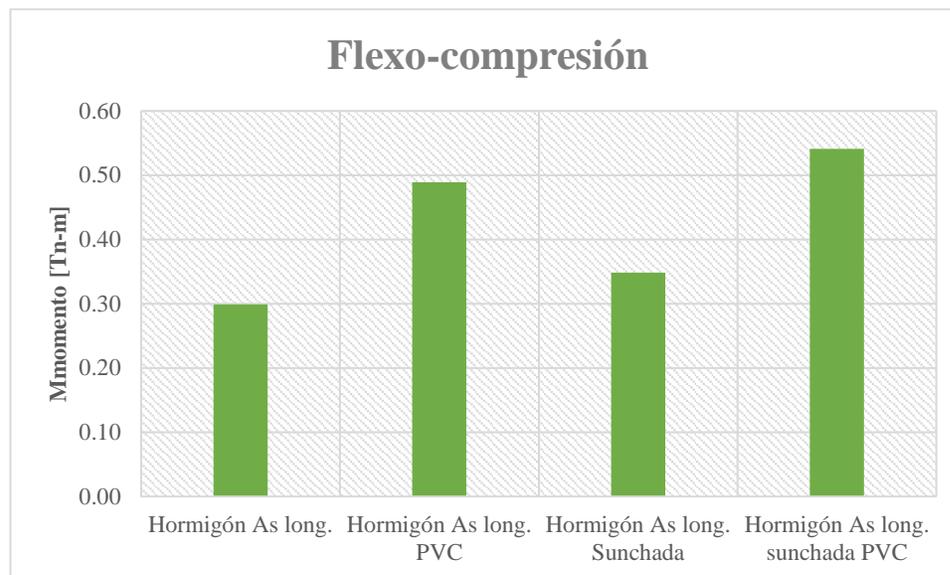


Figura 125 Momentos para probetas bajo ensayo a flexocompresión

Se determina la excentricidad balanceada utilizando la ecuación 8, resultando un valor de 4.09 cm que en comparación con la excentricidad aplicada en los ensayos es menor. Lo que resulta una falla por tensión misma que se puede determinar de forma analítica aplicando la ecuación 9 que se cumple para el caso de columnas zunchadas dando un valor de 2.16 Tn que en comparación con el valor experimental difieren en un 4%.

4.7. Análisis de columnas escala 1:1

En el análisis para relacionar las columnas a escala 1:0.5 con las columnas a escala real se parte del principio básico de esfuerzo de un elemento sometido a la compresión simple, partiendo de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (45)$$

Donde

σ = esfuerzo a compresión.

P = fuerza aplicada.

A = área de la sección.

En la tabla 35 se muestra los valores obtenidos para las probetas a escala 1:1 partiendo de los resultados experimentales de las probetas a escala 1:05 y utilizando la ecuación 45, donde se observa que el mayor valor corresponde a las columnas de hormigón con armadura longitudinal con y sin zuncho y PVC. Con un valor de 42.31 Tn.

Tabla 35
Resultados a compresión para columnas de 6 plg

N	Descripción	Resistencia a la compresión	
		Probeta h=1.20m	columna h= 2.40m
		[Tn]	[Tn]
1	Hormigón PVC	14.57	30.82
2	Hormigón As long.	13.58	28.74
3	Hormigón As long. PVC	20.00	42.31
4	Hormigón As long. zunchada	15.22	32.21
5	Hormigón As long. zunchada PVC	20.00	42.31

En la figura 123 se puede observar que bajo compresión las columnas de 6plg presentan un comportamiento similar entre las armadas con armadura longitudinal sin zuncho y con zuncho y las de hormigón simple embebida en tubo de PVC.

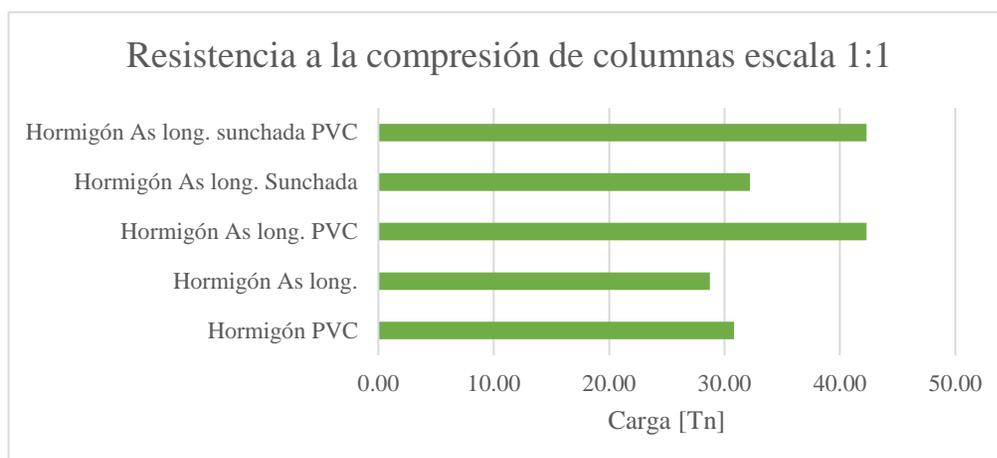


Figura 126 Resultados de compresión para columnas de 6 plg

Recordando las secciones ensayadas con tubos de PVC de 6 plg y los resultados a compresión de las secciones extraídas de las columnas se realiza la interpolación para la resistencia a escala real, lo que comparado con lo obtenido experimentalmente se presenta un error de 5% lo cual es admisible.

Tabla 36

Resultados para compresión de secciones de 4 plg y 6plg

N	Descripción	Carga bajo compresión		
		sección probeta h=1.20m	sección columna h= 2.40m	sección con 6 plg Experimental
		[Tn]	[Tn]	[Tn]
1	Hormigón PVC	24.84	52.55	55.182
2	Hormigón As long.	22.56	47.73	-
3	Hormigón As long. PVC	27.52	58.22	60.97
4	Hormigón As long. zunchada	23.89	50.54	-
5	Hormigón As long. zunchada PVC	28.24	59.74	63.15

En la figura 124 se aprecia que el máximo valor de carga es para la columna de hormigón armado con zuncho más PVC y que la diferencia con el valor experimental es mínima, se evidencia

también que las probetas armadas con suncho tienen una resistencia similar a la armada sin zuncho, la cual es la probeta que presenta la menor resistencia a la compresión.

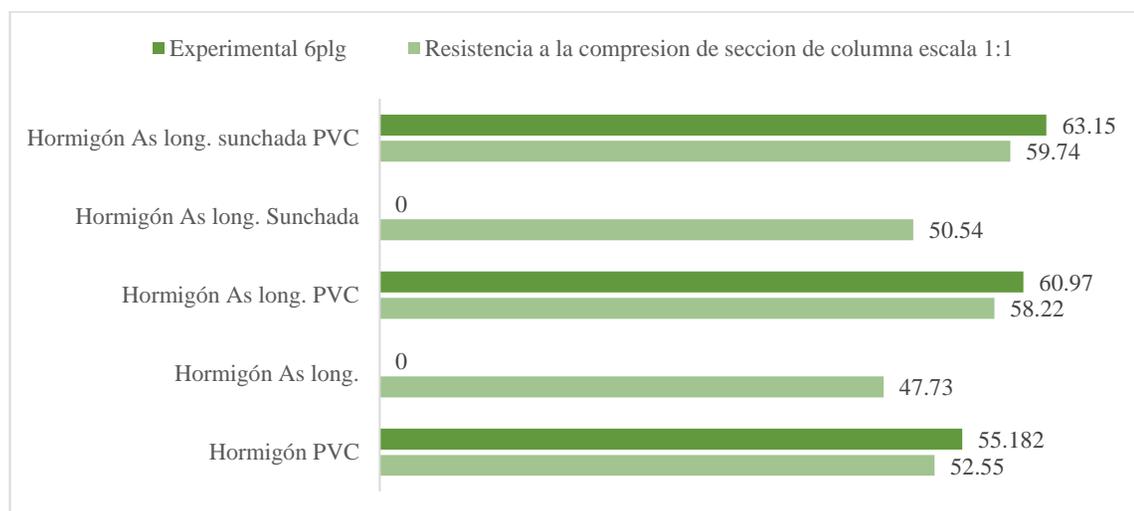


Figura 127 Resultados de secciones para tubo de PVC 6 plg

En la tabla 37 se muestra los valores de rigidez a flexión tomando en cuenta la inercia para una sección de 6 plg con y sin armadura, dado este valor se determina la carga por pandeo dada en toneladas.

Tabla 37
Rigidez a flexión para sección 6plg

Ecuación	EI 6plg [kg-cm ²]	Carga [Tn]
$EI = \frac{E_C I_g}{2.5}$	232397015	39.82
$EI = \frac{E_C I_g}{5} + E_s I_s$	189320507	32.44
$EI = \frac{E_C I_g}{5} + E_s I_s + E_{PVC} I_{PVC}$	203860007	34.93
$EI = \frac{E_C I_g}{5} + E_{PVC} I_{PVC}$	132238352	22.66

Los valores para carga en pandeo difieren con respecto a los calculados en la tabla 30 debido a la relación de esbeltez que se tiene, que para el caso de las columnas de 1.20m es de 43.6 y para las columnas de 2.40m es de 60.

CAPITULO V

ANÁLISIS DE COSTOS

5.1. Columnas embebidas en tubos de PVC de 6 plg.

El análisis presentado en la tabla 38 se lo realiza para un metro cúbico de columna de hormigón armado embebida en un tubo de 6 plg construida y fundida en sitio de donde resulta un costo de \$611.97 que en relación para determinar el costo por unitario por columna resulta en \$32.43

Tabla
38
Análisis de costos de columna embebidas en tubo de PVC de 6plg

EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
	Herramienta menor (5% MO)	1	1.16	1.16	1.00	1.16
63	Concreteira bagant C1S 350, 200 L (1 saco), sin motor, 1.5 m3/h, 340kg	0.63	1.62	1.02	1.00	1.02
	SUBTOTAL M					1.16
MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
3	Albañil	1.17	3.02	3.53	1.00	3.53
	Fierrero	0.96	5.22	5.03	1.00	5.03
	Ayudante de fierrero	1.07	3.3	3.53	1.00	3.53
	Peón especializado	1.23	3.08	3.78	1.00	3.78
	Maestro estructura mayor	0.40	5.22	2.09	1.00	2.09
	Ayudante estructurista	1.62	3.3	5.33	1.00	5.33
	SUBTOTAL N					23.29
MATERIALES						
Código	Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
				A	B	C=A*B
1721	Cemento		kg	449.43	0.15	67.41

785	Arena		m3	0.574	7.37	4.23
786	Agregado grueso		m3	0.574	12.29	7.05
	Agua		m3	0.252	1.62	0.41
132	Acero de refuerzo grago 60 varios diametros		kg	126	1.28	161.28
	Alambre galvanizado 1.33 mm		kg	0.84	1.19	1.00
	Puntal metálico		u	0.085	14.45	1.23
	Aditivo acelerante plastificante		L	2.24	2.42	5.42
	Tubo PVC 6plg		u	18.86	18	339.48
	SUBTOTAL O					587.52
TRANSPORTE						
Código	Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
				A	B	C=A*B
	SUBTOTAL P					0
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			611.97
			INDIRECTOS %			0.00
			UTILIDAD %			-
			COSTO TOTAL DEL RUBRO			611.97
			VALOR OFERTADO			611.97

5.2. Columna circular de hormigón armado

Para el análisis de la columna circular de hormigón armado se toma en consideración el encofrado que da la forma a la sección y el enlucido que se debe agregar después de desencofrar el elemento dando como costo final \$730.36 el metro cúbico y que realizando una equivalencia denota en un costo de \$38.70 para una columna de 2.40 m.

Tabla 39*Análisis de precios para columna de circular de hormigón armado*

EQUIPOS						
Código	Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo hora	Rendimiento	Costo
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
	Herramienta menor (5% MO)	1	2.06	2.06	1.00	2.06
63	Concreteira bagant C1S 350, 200 L (1 saco), sin motor, 1.5 m3/h, 340kg	0.63	1.62	1.02	1.00	1.02
	SUBTOTAL M					2.06
MANO DE OBRA						
Código	Descripción	Cantidad	Jornal/hr	Costo hora	Rendimiento	Costo
		A	B	C=A*B	R	D=C*R
3	Albañil	1.17	3.02	3.53	1.00	3.53
	Encofrador	2.10	5.22	10.96	1.00	10.96
	Ayudante de encofrador	2.10	3.3	6.93	1.00	6.93
	Fierrero	0.96	5.22	5.03	1.00	5.03
	Ayudante de fierrero	1.07	3.3	3.53	1.00	3.53
	Peón especializado	1.23	3.08	3.78	1.00	3.78
	Maestro estructura mayor	0.40	5.22	2.09	1.00	2.09
	Ayudante estructurista	1.62	3.3	5.33	1.00	5.33
	SUBTOTAL N					41.19
MATERIALES						
Código	Descripción		Unidad	Cantidad	Precio unitario	Costo
				A	B	C=A*B
1721	Cemento		kg	449.43	0.15	67.41
785	Arena		m3	0.574	7.37	4.23
786	Agregado grueso		m3	0.574	12.29	7.05
	Agua		m3	0.252	1.62	0.41
132	Acero de refuerzo grago 60 varios diametros		kg	126	1.28	161.28
	Alambre galvanizado 1.33 mm		kg	0.84	1.19	1.00
	Molde cilíndrico desechable de bandas de papel kraft		m2	26.66	10.65	283.93
	Puntal metálico		u	0.085	14.45	1.23

	Aditivo acelerante plastificante		L	2.24	2.42	5.42
	Enlucido		m2	22.75	6.82	155.16
	SUBTOTAL					687.12
TRANSPORTE						
Código	Descripción		Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
				A	B	C=A*B
	SUBTOTAL P					0
			TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			730.36
			INDIRECTOS %			0.00
			UTILIDAD %			-
			COSTO TOTAL DEL RUBRO			730.36
			VALOR OFERTADO			730.36

CONCLUSIONES

Al finalizar el proyecto de investigación mediante varios ensayos de laboratorio y un análisis comparativo con los resultados obtenidos de forma analítica se llega a las siguientes conclusiones:

- El tubo de PVC marca RIVAL cumple con la norma establecida para polímeros termoplásticos al presentar un módulo de elasticidad de 2980.45 MPa y límite de fluencia de 417.75 kg/cm²
- El acero de refuerzo longitudinal y transversal cumple con la norma ASTM A 706 al tener un módulo de elasticidad de 227110.5 MPa y límite de fluencia de 4725.96 kg/cm².
- El PVC incrementa la capacidad de carga en un 371% en comparación a la carga que resiste un elemento de hormigón simple.
- El PVC refleja incremento de ductilidad de un elemento de hormigón simple y/o armado al ser sometido a flexión.
- El PVC incrementa la deflexión a un elemento bajo carga puntual en el centro del vano.
- La rigidez a flexión que se determina experimentalmente en el ensayo a flexión de una probeta zunchada más PVC es aproximada a la obtenida mediante la ecuación 23.a. (pag.108) con una variación de 1.5%.
- Mediante la ecuación 23 (pag.108) se puede determinar la rigidez a flexión para probetas de hormigón armado zunchada que presenta el 2.78% de rigidez adicional con respecto al valor experimental.
- La ecuación 23.b (pag.108) no es apta para determinar la rigidez a flexión para probetas de hormigón más PVC ya que presenta 20% de variación con respecto al valor experimental.

- Una sección de hormigón embebida en un tubo de PVC incrementa su resistencia a la compresión en un 15% extra en comparación con una sección solo de hormigón, debido al aporte de la sección de PVC a compresión y el confinamiento que brinda al hormigón.
- La cuantía más adecuada para la construcción de columnas de hormigón armado embebidas en tubos de PVC de 6 plg es 1.61%.
- Las probetas de 1.20m presentan una relación de (kl_u/r) mayor a 22 por lo que se catalogan como columna esbelta al igual que las de 2.40m que presenta una relación de 60.
- La mejor aproximación para establecer la carga por pandeo se determina usando la rigidez a flexión calculada del ensayo experimental a flexión.
- La carga por pandeo con la rigidez a flexión (EI) determinada experimentalmente no supera en ningún caso al valor calculado con el (EI) teórico.
- Aplicando la ecuación 38 (pag. 110) se puede determinar el P_u para columnas de hormigón más PVC que considera el confinamiento que entrega este polímero a la sección.
- La ecuación 39 (pag. 111) sobrestima en un 18% a la carga a compresión para probetas de hormigón con armadura longitudinal más PVC, debido a que el aporte de la armadura longitudinal no se desarrolla al 100% porque existe pandeo interno del refuerzo.
- Mediante la ecuación 44 (pag. 113) se puede determinar el (P_u) para columnas de hormigón armada con zuncho más PVC que considera el confinamiento adicional que entrega este polímero a la sección.
- La relación de esfuerzo y área para determinar la carga por compresión en secciones extraídas de las columnas 1.2m se puede usar para determinar la carga a compresión en escala real y se

considera correcto debido a que en comparación con los datos experimentales existe un error del 5%.

- Una columna de hormigón simple embebida en un tubo de PVC sin problemas de esbeltez es equivalente a tener una columna de hormigón armado de la misma sección con una cuantía de 1.61% y un estribo helicoidal de 8mm cada 15 cm.
- Una columna de hormigón con armadura longitudinal sin refuerzo transversal, embebida en un tubo de PVC sin problemas de esbeltez es equivalente a tener una columna de hormigón armado de la misma sección con una cuantía de 1.61% y un estribo helicoidal de 8mm cada 12 cm.
- El PVC incrementa la capacidad de disipación de energía del elemento de hormigón simple de 17.25 Joules a 297.44 Joules. lo que evidencia una mayor ductilidad.
- El PVC mejora la ductilidad de los elementos de hormigón simple y/o armado sometidos a esfuerzos de compresión, flexión y corte directo.
- Usar columnas armadas embebidas en tubos de PVC de 6 pulgadas reduce en 16% del costo de construcción de columnas tradicionales.

RECOMENDACIONES

De acuerdo al desarrollo de la investigación se ha hecho necesario mencionar las siguientes recomendaciones para:

Investigación

- Usar zuncho para la elaboración del armado de la columna debido a que durante la fundición los ganchos de los estribos congestionan el paso del hormigón.

- Verificar que el tamaño nominal del agregado grueso cumpla con la norma establecida por (American Concrete Institute, 2016).
- Verificar el esfuerzo a compresión para el policloruro de vinilo dado en los catálogos comerciales.
- Usar en próximas investigaciones sensores de deformación biaxiales para obtener resultados más detallados y exactos.
- Realizar una investigación semejante a la presentada con tubos reforzados TOM.
- Hacer uso de las columnas de sección de hormigón armado embebidas en tubos de PVC para construcciones livianas como cubiertas inaccesibles o de garaje, cerramientos, cobertizos, balcones, etc
- Usar como remplazo de pilares de madera en las residencias rurales de la región costa que usan este material para elevar sus viviendas del suelo natural como método de mitigación ante las inundaciones, ya que se puede impermeabilizar la columna e incrementar la vida útil de la residencia.
- No someter a las columnas embebidas en tubos de PVC de 6 plg a carga mayores de 25 Tn.

Universidad de las Fuerzas Armadas Espe

- Incrementar en el laboratorio de resistencia de materiales maquinaria que permita realizar los ensayos de manera segura y confiable.

Bibliografía

- American Concrete Institute. (2016). *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) y Comentario (ACI 318SR-14)*. Estados Unidos.
- Arya, C., Clarke, E., Kay, E., & O`Reagan, P. (2002). *Design guidance for strengthening concrete structures using fiber composite material: a review*. Estados Unidos: Elsevier Science L.td.
- Astopilco, A. (2015). *Comparación de las propiedades físico-mecánicas de unidades de ladrillos de concreto y otros elaborados con residuos plásticos de PVC, Cajamarca, 2015*. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Bernal, J. (2005). *Hormigon armado Vigas*. Buenos Aires: Nobuko.
- Bernal, J. (2005). *Hormigón Armado: Columnas*. Argentina: Nobuko.
- Bolívar, G. (8 de Mayo de 2018). *Policloruro de Vinilo: Historia, Estructura química, Propiedades y Usos*. Obtenido de Lifeder: <https://www.lifeder.com/policloruro-vinilo/>
- Carmona, & Cabrera. (2009). *Comportamiento al corte de hormigón reforzado con fibras de acero*. Revista Ingeniería de construcción.
- Castro, M., & Battaglia, M. (2014). *Recursos para el diseño de estructuras resistentes de hormigón armado*. Buenos Aires: Nobuko.
- CENAPRED. (10 de Noviembre de 2014). *Coordinación Nacional de Protección Civil, México*. Obtenido de Metodología para la evaluación de la seguridad estructural de edificios: http://www.files.cenapred.gob.mx/es/ReunionNacionalGeologicos2014/RedNacionalEvaluadores/EvaluacionEdificios/2014Evaluaciondeedificios_05-Danio.pdf
- Cevallos, X. (2012). *Disertación sobre el comportamiento de aditivos plastificantes en el hormigón, en su resistencia y durabilidad*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- Chan Yam, J. L., Solíz, R., & Eric, M. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería Revista Académica Universidad Autónoma de Yucatán*, 39-46.

- Córdova, C. (2015). *Diseño de estructuras de hormigón armado*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Crisafulli, F. (2018). *Diseño sísmoresistente de construcciones de acero* (Quinta ed.). Mendoza, Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Cruz, C., Garcés, A. M., & López, J. (2014). *Ensayo de resistencia a la compresión de cilindros normales de concreto*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Espinoza, C., & Niño, Y. (2001). *Modelación numérica en Ingeniería Hidráulica y Ambiental*.
- Everard, N., & Tanner, J. (1976). *Diseño de concreto armado*. Colombia: McGraw-Hill de México.
- Fombuena, V., Fenollar, O., & Montañes, N. (2016). *Caracterización de materiales poliméricos*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Gómez, C. (2015). *Análisis comparativo entre metodología SIP y metodología tradicional en la construcción de viviendas de un piso*. Samborondon.
- Harmsen, T. (2005). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Hernández, G. (2007). *Hormigón Armado y Pretensado*. Grupo de Investigación TEP-190 Ingeniería e Infraestructuras, Gráficas Alhambra.
- IECA. (2014). *CYPE Ingenieros, S.A.* Recuperado el 18 de 07 de 2018, de http://www.ecuador.generadordeprecios.info/obra_nueva/Estructuras/Hormigon_armado/Vigas/Viga_de_hormigon_armado.html
- INEN. (s.f.). *Áridos para Hormigón-Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- Lascano, S., & Narvaez, L. (2010). *Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una subbase granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC*. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.
- López, J. (2013). *UF0726: Transformación de materiales termoplásticos*. Andalucía: IC. Editorial.

- Mc Cormac, J., & Brown, B. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V.
- McCormac, J. C., & Brown, R. H. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México: Alfaomega.
- Mirsayah, A., & Banthia, N. (2002). *Shear Strength of Steel Fiber-Reinforced Concrete*. Material Journal.
- NEC, N. E. (2011). *Estructuras de Hormigón Armado*. Quito: CAMICON.
- Nicoll S.A. - ISO 4422 . (2006). *Tubos y Accesorios de PVC- Catálogo y Manual Técnico*.
- Palbol, L. (1996). *Optimización de los agregados para concreto*. México: Contrucción y Tecnología.
- Park, R., & Paulay, T. (1994). *Estructuras de concreto Reforzado*. México: Limusa.
- Pérez, C., De la Fuente, A., Rodríguez, Á., & Calderón, V. (2012). *Manual de Problemas de dosificación de hormigón*. Burgos: Universidad de Burgos.
- Ramírez, J. (2015). *El Acero*. Pamplona-Colombia: Universidad de Pamplona.
- RIVAL. (2017). *Especificaciones técnica Rival PVC orientado*. Cuenca: Rival.
- Rougier, V. C. (2003). *Confinamiento de columnas de hormigón con materiales compuestos*. San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán.
- Seismosoft, S. (2013). *SeismoStruct Manual del Usuario v6.5*.
- Trogli, G. (2010). *Estructuras de acero con tubos y secciones abiertas conformadas en frio*. Córdoba: Universitas.