



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Estructuras

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIAS DE  
ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO  
REFORZADO CON AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL  
HORMIGÓN**

**Ing. José Estuardo Galindo Escobar**

Asesorado por el MSc. Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera

Guatemala, julio de 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIAS DE  
ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO  
REFORZADO CON AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL  
HORMIGÓN**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. JOSÉ ESTUARDO GALINDO ESCOBAR**

ASESORADO POR EL MSC. ING. RONALD ESTUARDO GALINDO CABRERA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN ESTRUCTURAS**

GUATEMALA, JULIO DE 2020



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANA	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca
EXAMINADOR	Mtro. Ing. César Enrique Paiz Paz
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí
SECRETARIO	Mtro. Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

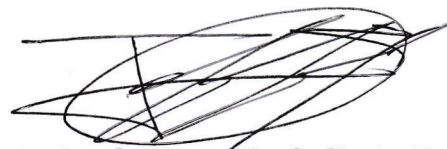


## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO REFORZADO CON AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL HORMIGÓN**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha 5 de septiembre de 2019.

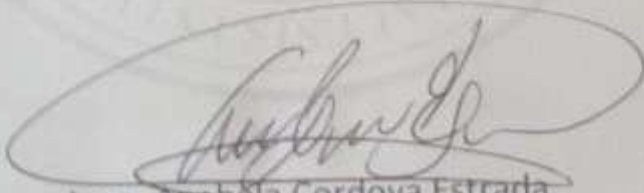


**Ing. José Estuardo Galindo Escobar**


DTG. 167.2020.

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Estudios de Postgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO REFORZADO CON AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL HORMIGÓN**, presentado por el Ingeniero **José Estuardo Galindo Escobar**, estudiante de la **Maestría en Estructuras** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada  
Decana



Guatemala, julio de 2020.

AACE/asga



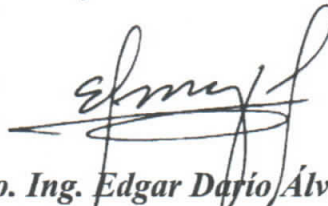
**Guatemala, Julio de 2020**

*EEPFI-684-2020*

En mi calidad de Director de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen y verificar la aprobación del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística al Trabajo de Graduación titulado: **“INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO REFORZADO CON AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL HORMIGÓN”** presentado por el **Ingeniero José Estuardo Galindo Escobar** quien se identifica con Carné **201212794**, correspondiente al programa de **Maestría en Ciencias en Estructuras**; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*



**Mtro. Ing. Edgar Darío Álvarez Cotí**  
**Director**

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**



**Guatemala, Julio de 2020**

*EEPFI-683-2020*

Como Coordinador de la **Maestría en Ciencias en Estructuras** doy el aval correspondiente para la aprobación del Trabajo de Graduación titulado: **“INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO REFORZADO CON AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL HORMIGÓN”** presentado por el Ingeniero **José Estuardo Galindo Escobar** quien se identifica con Carné **20121294**.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*



*J. Fuentes Roca*  
**Mtro. Ing. Armando Fuentes Roca**  
**Coordinador de Maestría**

**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Guatemala, enero de 2020

M.A. Ingeniero  
Edgar Darío Álvarez Cotí  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Facultad de Ingeniería  
Su despacho

Director:

Reciba un cordial y atento saludo, a la vez aprovecho la oportunidad para comunicarle que en mi calidad de asesor he revisado la tesis presentada por el estudiante José Estuardo Galindo Escobar titulado **"INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMA) DE CONCRETO REFORZADO CON AZÚCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL HORMIGÓN"** quien se identifica con carné 201212794, de la Maestría en Estructuras. Por lo que cumpliendo con los requisitos solicitados y después de haber revisado la tesis, apruebo su ingreso a la escuela de estudios de postgrados.

Sin otro particular, atentamente.

  
MSc. Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera

MSc. Ronald E. Galindo C.  
Ingeniero Civil  
Colegiado No. 3,770



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por regalarme la vida, por nunca dejarme solo y porque todo lo que he logrado y lograré será siempre en nombre y honra para Él, por ser Él quien da la sabiduría para llegar a alcanzar tan preciada meta.
- Mi papá** Ronald Estuardo Galindo Cabrera, por ser mi mayor ejemplo, por ser mi mayor ídolo, por todas las enseñanzas, y el cariño que me ha brindado para cada día ser una mejor persona.
- Mi mamá** Elicia de Jesús Escobar Rodríguez, por ser siempre esa fuerza extra que me ayuda a dar lo mejor de mí, por siempre estar pendiente de mí, por cuidarme y corregirme en cada etapa de mi vida.
- Mi hermano** Ronald Daniel Galindo Escobar, por ser uno de los mayores ejemplos de mi vida, por siempre protegerme y siempre estar para mí, por ser mi mejor amigo de toda la vida.
- Mi familia en general** Por ser parte fundamental de esta meta alcanzada, por formar parte de mi vida y colaborar en la formación de la misma.

## **Mis amigos**

Por estar en los momentos más importantes de mi vida y siempre apoyarme en toda decisión que tome y aconsejarme de las mismas.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

- Dios** Porque para ÉL es todo lo que hago, por brindarme sabiduría, por regalarme la vida, por nunca abandonarme y siempre estar para mí.
- Mis padres** Porque este triunfo es más suyo que mío, por darme más de lo que merezco, por ser los mejores padres del mundo y cada día demostrármelo.
- Mi hermano** Por siempre ser mi apoyo incondicional, por demostrarme cada día que se puede ser un gran profesional y una gran persona, por siempre estar allí.
- Universidad de San Carlos de Guatemala** Por ser mi casa de estudios en toda mi etapa profesional, por enseñarme el verdadero significado de ser sancarlista, de prepararme para ser el mejor profesional y ayudar a nuestra población, siempre con los pies sobre la tierra.
- Escuela de Ingeniería Civil** Por darme la oportunidad de continuar con una de mis grandes metas: ser catedrático de la Escuela de Ingeniería Civil y mantener y mejorar el nivel de la academia para seguir siendo la mejor escuela de la mejor facultad de la USAC.

**Mis amigos**

Desde los compañeros del colegio, de estudio de la licenciatura, los de la maestría, los que la vida me ha dejado y en especial a La Fraternidad, por estar en los momentos más felices, pero sobre todo en los más difíciles.

**Mi novia**

Por apoyarme en cada una de mis decisiones, por siempre alentarme y no dejar rendirme nunca. Por ser mi apoyo incondicional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS.....	XIII
GLOSARIO.....	XVII
RESUMEN.....	XXI
HIPÓTESIS .....	XXIII
INTRODUCCIÓN.....	XXV
OBJETIVOS .....	XXIX
1. COMPORTAMIENTO Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES TIPO VIGA Y COLUMNA DE CONCRETO REFORZADO .....	1
1.1. Concreto reforzado.....	1
1.1.1. Concreto u hormigón armado.....	2
1.1.1.1. Filosofías de diseño en concreto reforzado.....	2
1.1.1.2. Ventajas y desventajas del concreto como material estructural .....	3
1.1.1.3. Resistencia a compresión del concreto reforzado .....	5
1.1.1.4. Resistencia a la tracción del concreto reforzado.....	6
1.1.1.5. Resistencia a la flexión del concreto reforzado.....	7
1.1.1.6. Resistencia al corte del concreto reforzado.....	8

1.1.2.	Comportamiento del concreto con acero .....	9
1.1.2.1.	Ensayos de adherencia .....	10
1.1.2.2.	Ensayo de adherencia tipo <i>pull-out</i> .....	10
1.1.2.3.	Ensayo de adherencia tipo <i>beam test</i> .....	11
1.1.3.	Adherencia del acero con concreto .....	12
1.1.3.1.	Antecedentes adherencia con aditivos .....	13
1.1.3.2.	Propiedades químicas de la adherencia.....	14
1.1.3.3.	Aditivos para el hormigón según norma COGUANOR NTG 41070 ..	15
1.2.	Propiedades del concreto con azúcar .....	15
1.3.	Elemento estructural tipo viga .....	17
1.3.1.	Clasificación de viga .....	18
1.3.2.	Filosofía de diseño de elementos sometidos a flexión .....	20
1.3.3.	Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo a compresión.....	21
1.3.4.	Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo a tracción.....	22
1.3.5.	Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo torsionante .....	23
1.3.6.	Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo cortante .....	24
1.3.7.	Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo flexionante .....	26
1.4.	Elemento estructural tipo columna .....	28

1.4.1.	Clasificación de columnas.....	28
1.4.2.	Filosofía de diseño de elementos sometidos a carga axial .....	30
1.4.3.	Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo esfuerzo a compresión.....	30
1.4.4.	Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo esfuerzo a tracción.....	33
1.4.5.	Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo esfuerzo cortante .....	34
1.4.6.	Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo efecto de esbeltez.....	35
1.5.	Análisis teórico de elementos estructurales .....	36
1.5.1.	Viga como elemento estructural.....	36
1.5.1.1.	Diseño de viga a flexión .....	37
1.5.1.2.	Diseño a corte de viga.....	38
1.5.1.3.	Diseño a torsión de viga.....	40
1.5.2.	Columna como elemento estructural.....	41
1.5.2.1.	Diseño de columna bajo fuerza axial .....	42
1.5.2.2.	Diseño de refuerzo a corte de columna .....	43
2.	ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	47
2.1.	Normativas establecidas para ensayos de elementos estructurales tipo viga y columna de concreto reforzado ..	47
2.1.1.	Normas ASTM para elementos sometidos a flexión .....	47

2.1.2.	Normas ASTM para elementos sometidos a carga axial.....	48
2.1.3.	Normativo del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala para elementos estructurales .....	49
2.2.	Ensayos de materiales de construcción .....	50
2.2.1.	Resistencia a compresión del concreto u hormigón, con azúcar como aditivo retardante del hormigón .....	50
2.2.2.	Resistencia del acero estructural a tensión .....	52
2.2.3.	Ensayo de carbonatación .....	55
2.3.	Ensayos de elementos viga.....	56
2.3.1.	Ensayo a flexión del elemento viga .....	58
2.3.2.	Ensayo de corte a elemento viga.....	60
2.3.3.	Ensayo a torsión de elemento viga.....	61
2.4.	Ensayos a elementos columnas .....	62
2.4.1.	Ensayo a compresión del elemento columna... ..	63
2.4.2.	Ensayo a corte del elemento columna.....	65
2.4.3.	Ensayo a torsión del elemento columna .....	66
2.5.	Ensayos a elementos viga con aditivo de azúcar como retardante.....	67
2.5.1.	Ensayo a flexión de elemento viga .....	68
2.5.2.	Ensayo a corte de elemento viga.....	70
2.5.3.	Ensayo a torsión de elemento viga.....	72
2.6.	Ensayo a elementos columnas con aditivo de azúcar como retardante.....	73
2.6.1.	Ensayo a compresión del elemento columna... ..	75
2.6.2.	Ensayo a corte de elemento columna.....	76
2.6.3.	Ensayo a torsión del elemento columna .....	78

3.	PRESENTACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS-EXPERIMENTALES, DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES MUESTREADOS.....	79
3.1.	Vigas .....	79
3.1.1.	Ensayo a flexión.....	80
3.1.1.1.	Sin aplicación de aditivo .....	80
3.1.1.2.	Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	80
3.1.2.	Ensayo a corte.....	81
3.1.2.1.	Sin aplicación de aditivo .....	81
3.1.2.2.	Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	82
3.1.3.	Ensayo a torsión .....	83
3.1.3.1.	Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	83
3.2.	Columnas .....	84
3.2.1.	Ensayo a compresión (axial).....	85
3.2.1.1.	Sin aplicación de aditivo .....	85
3.2.1.2.	Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	85
3.2.2.	Ensayo a corte.....	86
3.2.2.1.	Sin aplicación de aditivo .....	86
3.2.2.2.	Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	87
3.3.	Comparación de resultados en elementos vigas.....	88
3.4.	Comparación de resultados en elementos columnas cortas.....	91
3.5.	Comparación de resultados en elementos columnas esbeltas .....	91

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
CONCLUSIONES .....	99
RECOMENDACIONES .....	101
REFERENCIAS.....	103
APÉNDICES .....	107
ANEXOS .....	111

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Curva esfuerzo-deformación unitaria típica del concreto, con carga de corto plazo .....	6
2.	Probetas de ensayo <i>pull-out</i> .....	11
3.	Dispositivo de ensayo beam test para diámetro de 16mm .....	12
4.	Espécimen típico para estudio de flexión simple .....	18
5.	Viga simplemente apoyada sometida a carga uniformemente repartida y distribución de esfuerzos en la sección A-A .....	25
6.	Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión .....	27
7.	Falla por compresión en columna .....	32
8.	Falla por tracción en columna .....	33
9.	Distribuciones típicas de acero de refuerzo cortante .....	34
10.	Comparación del comportamiento de una columna corta, una columna esbelta y de una columna que falla por inestabilidad .....	36
11.	Vista diagramática de un aparato apropiado para ensayo a flexión de concreto .....	48
12.	Carga axial en elemento tipo columna .....	49
13.	Elaboración de especímenes de prueba .....	51
14.	Ensayo a compresión de cilindros de concreto sin ningún tipo de aditivo .....	51
15.	Ensayo a compresión de cilindros de concreto con azúcar como aditivo retardante del hormigón .....	52

16.	Especímenes de prueba de resistencia del acero estructural .....	53
17.	Toma de datos de longitud a especímenes de prueba de resistencia del acero estructural .....	53
18.	Toma de datos de peso a especímenes de prueba de resistencia del acero estructural .....	54
19.	Ensayo a tensión en barras lisas .....	54
20.	Ensayo de carbonatación a espécimen de concreto reforzado con azúcar como aditivo retardante del hormigón .....	55
21.	Ensayo de carbonatación a espécimen de concreto reforzado sin ningún tipo de aditivo .....	56
22.	Fundición del hormigón para elemento viga .....	57
23.	Elaboración del elemento viga .....	57
24.	Colocación del elemento viga para ensayo a flexión.....	58
25.	Ensayo a flexión del elemento viga sin la aplicación del aditivo ....	59
26.	Medición de la grieta en el elemento viga por esfuerzo a flexión ..	59
27.	Colocación de elemento viga para ensayo a corte.....	60
28.	Ensayo de corte a elemento viga sin aplicación de aditivo.....	61
29.	Fundición del hormigón para elemento columna.....	62
30.	Curado del elemento columna .....	63
31.	Colocación del elemento columna para ensayo a compresión.....	64
32.	Ensayo a compresión del elemento columna sin aplicación de aditivo .....	64
33.	Colocación de elemento columna para ensayo a corte.....	65
34.	Ensayo de corte a elemento columna sin aplicación de aditivo.....	66
35.	Fundición del hormigón del elemento viga con azúcar como aditivo retardante .....	67
36.	Elaboración del elemento viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón.....	68
37.	Colocación de elemento viga para ensayo a flexión .....	69



38.	Ensayo a flexión para elemento viga, utilizando azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	69
39.	Medición de grieta en elemento viga por esfuerzo a flexión .....	70
40.	Colocación de elemento viga para ensayo a corte .....	71
41.	Ensayo de corte a elemento viga con azúcar como aditivo retardante del hormigón .....	71
42.	Colocación de elemento viga para ensayo a torsión .....	72
43.	Ensayo a torsión a elemento viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	73
44.	Fundición del hormigón del elemento columna con azúcar como aditivo retardante .....	74
45.	Armado de elementos columnas con azúcar como aditivo retardante .....	74
46.	Colocación de elemento columna para ensayo a compresión .....	75
47.	Ensayo a compresión de elemento columna con azúcar como aditivo retardante del hormigón .....	76
48.	Colocación de elemento columna para ensayo a corte .....	77
49.	Ensayo a corte de elemento columna con azúcar como aditivo retardante del hormigón .....	78
50.	Gráfica comparación flexión en elemento viga .....	89
51.	Gráfica comparación corte máximo en elemento viga .....	89
52.	Gráfica comparación corte último en elemento viga .....	90
53.	Gráfica comparación torsión en elemento viga.....	90
54.	Comparación carga axial en elemento columna corta .....	92
55.	Comparación de corte máximo en elemento columna corta .....	92
56.	Comparación de corte último en elemento columna corta .....	93
57.	Comparación de carga axial en elemento columna esbelta.....	93

## TABLAS

I.	Relaciones entre elementos .....	1
II.	Datos iniciales, elementos vigas .....	79
III.	Datos ensayos a flexión de vigas sin aplicación de aditivo .....	80
IV.	Resultados ensayo a flexión de vigas sin aplicación de aditivo .....	80
V.	Datos ensayos a flexión de vigas con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	81
VI.	Resultados ensayo a flexión de vigas sin aplicación de aditivo .....	81
VII.	Datos ensayo a corte de vigas sin aplicación de aditivo .....	82
VIII.	Resultados ensayo a corte de vigas sin aplicación de aditivo .....	82
IX.	Dato ensayo a corte de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	82
X.	Resultado ensayo a corte de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	83
XI.	Datos de ensayo a torsión de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	83
XII.	Resultado de ensayo a torsión de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	84
XIII.	Datos iniciales elementos columnas .....	84
XIV.	Resultados de ensayo a compresión de columnas sin aplicación de aditivo .....	85
XV.	Resultados de ensayo a compresión de columnas con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	86
XVI.	Dato de ensayo a corte de columna sin aplicación de aditivo .....	86
XVII.	Resultado a corte de columnas sin aplicación de aditivo .....	87
XVIII.	Dato de ensayo a corte de columna con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	87

XIX.	Resultado de ensayo a corte de columna con azúcar como aditivo retardante en el hormigón .....	87
XX.	Comparación resultados teóricos con experimentales para elementos vigas en sus diferentes resistencias.....	88
XXI.	Comparación de resultados teóricos con experimentales para elementos columnas cortas en sus diferentes resistencias .....	91
XXII.	Comparación de resultados teóricos con experimentales para elementos columnas esbeltas en sus diferentes resistencias.....	91
XXIII.	Comparación de resultados teóricos con experimentales de cilindros de hormigón .....	109



## LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
$b_w$	Ancho del alma.
$A_g$	Área bruta de la sección de concreto.
$A_s$	Área de acero longitudinal.
$A_{st}$	Área de acero longitudinal.
$A_v$	Área de acero por cortante.
$A_t$	Área de la rama de un estribo cerrado que resiste la torsión con un espaciamiento $S$ .
$A_{oh}$	Área encerrada por el eje del refuerzo transversal cerrado más externo dispuesto para resistir torsión.
$A_o$	Área total encerrada por la trayectoria del flujo cortante torsional.
$N_u$	Carga axial mayorada normal a la sección transversal.
$cm$	Centímetro.
$cm^2$	Centímetro cuadrado.
$C$	Compresión.
$d$	Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo longitudinal en tracción.
$S$	Espaciamiento longitudinal del refuerzo cortante o torsionante.
$\lambda$	Factor de modificación del concreto.
$P_s$	Fuerza axial proporcionada por el acero.
$P_c$	Fuerza axial proporcionada por el concreto.
$kg/cm^2$	Kilogramo por centímetro cuadrado.

<b>kg/cm<sup>3</sup></b>	Kilogramo por centímetro cúbico.
<b>kg/m<sup>3</sup></b>	Kilogramo por metro cúbico.
<b>PSI</b>	Libra por pulgada cuadrada, por sus siglas en inglés.
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado.
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico.
<b>m</b>	Metro lineal.
<b>MPa</b>	Mega pascales.
<b>fr</b>	Módulo de ruptura del concreto.
<b>Pa</b>	Pascal.
<b>Ph</b>	Perímetro de la línea central del refuerzo transversal para torsión localizado más cerca del exterior de la sección.
<b>ph</b>	Porcentaje de hidrógeno.
<b>a</b>	Profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos.
<b>pulg</b>	Pulgada.
<b>pulg<sup>2</sup></b>	Pulgada cuadrada.
<b>Po</b>	Resistencia axial nominal para una excentricidad igual a cero.
<b>Ts</b>	Resistencia a torsión del acero de refuerzo.
<b>Tc</b>	Resistencia a torsión del concreto.
<b>f'c</b>	Resistencia especificada a la compresión del concreto.
<b>f'cr</b>	Resistencia especificada a la compresión del concreto al momento del diseño inicial.
<b>fy</b>	Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo no preesforzado.
<b>fyt</b>	Resistencia especificada a la fluencia fy del refuerzo transversal.

<b>Pn</b>	Resistencia nominal a carga axial de la sección transversal.
<b>Vn</b>	Resistencia nominal a cortante.
<b>Vs</b>	Resistencia nominal a cortante proporcionada por el acero.
<b>Vc</b>	Resistencia nominal a cortante proporcionada por el concreto.
<b>Tn</b>	Resistencia nominal a torsión.
<b>T</b>	Tensión.
<b>Tcr</b>	Torque de agrietamiento.





## GLOSARIO

<b>ACI</b>	Instituto Americano del Concreto ( <i>American Concrete Institute</i> ).
<b>Aditivo para concreto</b>	Son productos que se adicionan en pequeñas proporciones al concreto durante el mezclado, con el propósito de producir una modificación en algunas de sus propiedades originales o en el comportamiento del concreto en su estado fresco y/o en estado endurecido.
<b>Agregados para concreto</b>	Material inorgánico natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados, según norma están clasificados como fino y grueso; está embebido en la pasta y ocupa aproximadamente el 75 % del volumen del concreto
<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para el ensayo e Inspección de los Materiales ( <i>American Society for Testing and Materials</i> ).
<b>Carbonatación</b>	Reacción entre el dióxido de carbono y un hidróxido u óxido para formar carbonato.

<b>Cimbra</b>	Es una estructura auxiliar que sirve para sostener provisionalmente el peso propio del elemento estructural a elaborar.
<b>CII</b>	Centro de Investigación de Ingeniería.
<b>COGUANOR</b>	Comisión Guatemalteca de Normas.
<b>Columna</b>	Miembro, usualmente o predominantemente vertical, usado principalmente para resistir carga axial de compresión, pero que también puede resistir momentos, cortantes o torsión. Para un miembro de sección variable, la menor dimensión lateral corresponde al promedio de las dimensiones superior e inferior del lado menor. Las columnas usadas como parte del sistema resistente ante fuerzas laterales resisten las cargas axiales, momento y cortante combinadas.
<b>Fraguado del concreto</b>	Grado en el cual el concreto fresco perdió su plasticidad y se endurece.
<b>Hormigón</b>	Material de construcción que suele elaborarse mezclando cal, cemento, agregados y agua. También se le conoce como concreto simple.
<b>Módulo de ruptura</b>	Es el valor obtenido mediante el procedimiento indirecto para determinar la resistencia a tracción del concreto reforzado.

**NTG**

Norma técnica guatemalteca.

**Viga**

Miembro sometido principalmente a flexión y cortante, con o sin fuerza axial o de torsión. Las vigas en pórticos resistentes a momentos que forman parte del sistema resistente ante fuerzas laterales son miembros predominantemente horizontales.



## RESUMEN

El presente trabajo muestra el análisis y comportamiento del uso del azúcar como aditivo retardante en el hormigón en las diferentes resistencias de elementos estructurales (viga y columna) de concreto reforzado, con el fin de determinar las ventajas, las desventajas y el comportamiento en la resistencia de flexión, corte y torsión respecto a los elementos vigas, así como la resistencia a compresión axial y el corte en relación a los elementos columna.

Para la realización de dicha investigación, se hizo necesaria la participación y comparación de especímenes de pruebas de dichos elementos estructurales tanto con la aplicación del azúcar como aditivo retardante del hormigón como de especímenes de prueba sin la aplicación de aditivo, estos, respecto a los valores teóricos conocidos por códigos o normas según sea el caso. Dicha experimentación se basó en la línea de investigación realizada por (Álvarez, 2017), la cual se enfocó en el comportamiento del material.

Se tiene como base el comportamiento del hormigón con el azúcar como aditivo retardante, por lo que la incógnita sería la reacción entre el aditivo azúcar con el refuerzo de acero del material; la solución de dicha incógnita se basó en la elaboración de una prueba cualitativa de carbonatación por medio del porcentaje de hidrógeno (pH), en donde se comprobó que el azúcar no genera problemas de corrosión, por lo que no es impedimento en relación a reacción para la ejecución en concreto reforzado.

Los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio muestran un aumento en sus diferentes resistencias según el elemento estructural analizado,

de los especímenes de prueba de concreto reforzado utilizando azúcar como aditivo retardante en el hormigón respecto a los especímenes de prueba de concreto reforzado sin la aplicación de aditivo. Así como un mejor y mayor comportamiento en los rangos elásticos de los materiales. Un factor negativo de dicha utilización del azúcar como aditivo es el aumento en el tiempo de fraguado de los elementos, ya que, este queda, a consideración del caso de obra civil a construir.

Por lo que se concluye que la utilización del azúcar como aditivo retardante del hormigón en elementos estructurales de concreto reforzado (viga y columna) genera mayores resistencias a elementos estructurales sin la utilización de aditivo, y se puede diseñar con menos valores de resistencia a compresión  $f'_c$  para llegar a los valores estándares de resistencia o disminuir el valor de  $f'_cr$  en los diferentes diseños de mezcla de concretos.

En la sección de apéndices se encuentran los resultados y tabulados de las resistencias de los cilindros de hormigón, así como de las varillas de acero de refuerzo utilizados en los ensayos experimentales de laboratorios.

## **HIPÓTESIS**

El hormigón utilizando azúcar como aditivo retardante da un aumento en la resistencia a compresión, torsión y corte, así como mejora su plasticidad y manejabilidad, al utilizarlo en cantidades del 0,3 % del peso total del cemento.





## INTRODUCCIÓN

Debido al desarrollo y los avances de la ciencia y la tecnología en la ingeniería civil, se hizo necesaria la implementación de nuevos materiales en la construcción, donde normalmente se utiliza el concreto, acero, polímeros, fibras, entre otros, para la construcción de obra civil. En la actualidad, el material de construcción más utilizado es el concreto reforzado, gracias a las ventajas que presenta, como la resistencia a las acciones del fuego y agua, su poco mantenimiento, su larga vida de servicio y el aprovechamiento de los materiales locales para su elaboración, entre otras; en comparación con las desventajas, como el alto costo en su obra falsa, la variación en sus propiedades mecánicas debido al mezclado o las proporciones de los materiales.

En consecuencia, se hizo necesario obtener concretos con diversas y diferentes propiedades que mejoren la operatividad, lo cual genera la utilización de diferentes tipos de aditivos retardantes, acelerantes, inclusores de aire, entre muchos otros.

Utilizar azúcar, como aditivo en el hormigón, se considera que aumenta su resistencia a la compresión y además trabaja como aditivo retardante; por lo cual se hizo necesario e importante la evaluación de este comportamiento, por medio de los ensayos normados por ASTM, para los elementos estructurales viga y columna, ambos de concreto reforzado; y se determinó e identificó si el uso de este material genera beneficios a la estructura tanto económicos como de resistencia.

Las ventajas que presenta este tipo de material como aditivo retardante (azúcar) abarcan desde el aspecto económico al utilizar menos cemento como material principal en lo que respecta a su resistencia a compresión, y alcanzar las mismas resistencias respecto a otros aditivos, hasta el aspecto estructural el cual genera ventajas en el comportamiento de estos elementos con resistencias a compresión de 4 000 PSI, asentamiento de 8 cm y proporción de 1: 2,04: 2,21: 0,57 según la investigación *Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto* del ingeniero Julio César Álvarez Guillén.

Se realizaron ensayos a escala debido a las restricciones del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, así como pruebas piloto respecto a la capacidad de la estructura donde se encontró sus viabilidades y restricciones para observar los comportamientos estructurales y evitar pérdidas vitales y económicas con las proyecciones obtenidas.

En el marco teórico se realizó una breve introducción a las propiedades del concreto reforzado. Se determinaron los esfuerzos bajo los cuales trabajan estos elementos estructurales y, por último, se trató sobre la compatibilidad del azúcar con el acero y con los diferentes materiales cementantes. Además, se planteó una sección donde se abarcó la filosofía del diseño inicial hasta el final de una viga a flexión y de una columna.

El capítulo dos presenta la parte experimental, desde su fabricación hasta los ensayos de laboratorio de dichos elementos bajo las normas ASTM correspondientes y el normativo interno del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

El capítulo tres presenta la comparación de los resultados obtenidos, teóricos y prácticos, mencionados en el capítulo anterior para verificar el comportamiento de los esfuerzos que trabajan en los elementos estructurales bajo el efecto del azúcar como aditivo retardante (vigas y columnas) de concreto reforzado.

Finalmente, en el último capítulo se realizó un análisis de los resultados obtenidos experimental y teóricamente.



# OBJETIVOS

## General

Determinar el comportamiento de las resistencias a compresión, tensión, flexión y corte en los elementos estructurales: viga y columna, de concreto reforzado, utilizando el azúcar como aditivo retardante del hormigón.

## Específicos

1. Determinar la resistencia de los elementos estructurales de concreto reforzado, utilizando azúcar como aditivo retardante del hormigón e identificar y analizar el comportamiento en estas resistencias en dichos elementos estructurales.
2. Determinar la resistencia de los elementos estructurales de concreto reforzado sin presencia de aditivo en el hormigón e identificar el comportamiento en las resistencias de dichos elementos estructurales.
3. Analizar e identificar las ventajas y desventajas, tanto mecánicas como del proceso constructivo que genere utilizar al azúcar como aditivo retardante en el hormigón, en elementos estructurales de concreto reforzado.



# 1. COMPORTAMIENTO Y PROPIEDADES MECÁNICAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES TIPO VIGA Y COLUMNA DE CONCRETO REFORZADO

## 1.1. Concreto reforzado

Cuando se habla de concreto reforzado se debe considerar que este es un material que uno otros materiales como el hormigón y el refuerzo de acero. El concreto se fabrica en estado plástico, ya que esto obliga a que los moldes a utilizar sean lo suficientemente estables y resistentes mientras que el material adquiera sus características de resistencia.

La principal función del diseño de este tipo de material es la seguridad a un menor precio en comparación con otros materiales, en función de sus resistencias y dimensiones. En relación a la acción que se realice al elemento estructural de concreto reforzado, este tendrá a reaccionar o dar respuesta de forma diferente según las cargas que se le sean aplicables por lo que se convierte en una dificultad definir con exactitud las respuestas y reacciones puras que tendrá el material en función del elemento estructural a utilizar.

Tabla I. Relaciones entre elementos

<b>Acciones interiores</b>	<b>Características del elemento</b>	<b>Respuestas</b>
Carga axial	Tipo de concreto	Deformación
Flexión	Tipo de refuerzo	Agrietamiento
Torsión	Tamaño	Durabilidad
Corte	Forma/restricción	Vibración

Fuente: González y Fernández. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*.

### **1.1.1. Concreto u hormigón armado**

Como ya se ha mencionado, el concreto u hormigón armado como también se le conoce, es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia de que carece el concreto en mayor magnitud como lo es la resistencia a la tracción. Existe una gama de concreto u hormigones, éstos se pueden clasificar según su resistencia o su peso como lo son los concretos de peso liviano, peso normal, etc. En nuestro caso usaremos concreto de peso normal de  $2\ 400\ \text{kg/m}^3$ . (Barreros, 2014, p. 19)

#### **1.1.1.1. Filosofías de diseño en concreto reforzado**

Básicamente, existe dos filosofías de diseño, las cuales son la parte pionera en las cuales se basan los diferentes métodos de diseño sin importar el material con el que se esté trabajando.

Por un lado, está la filosofía ASD (diseño por esfuerzos permisibles), la cual compara esfuerzos admisibles con esfuerzos permisibles aplicando un factor de seguridad. Se utiliza principalmente en la rehabilitación y reparación de estructuras antiguas. El análisis de esta filosofía se realiza en comportamiento lineal elástico. De esta filosofía se basa el método de diseño de esfuerzos de trabajo y trabajan mayormente material tipo acero.

También existe la filosofía LRFD (factor de resistencia en función de la carga y diseño), la cual puede ser adaptada para solicitaciones no consideradas, permite compatibilizar diseños con distintos materiales y considera el comportamiento inelástico. Trabaja por medio de factores de amplificación y reducción. De esta filosofía se basa el método de diseño por



resistencia (factores de reducción) y se trabaja mayormente material tipo concreto. En la actualidad, la mayoría de códigos o normas se establecen bajo la filosofía LRFD, por ejemplo, el código actual, del material a analizar, concreto reforzado, se debe cumplir los requisitos mínimos de diseño del código ACI318S-14. (Choque, 2016, p. 11)

#### **1.1.1.2. Ventajas y desventajas del concreto como material estructural**

Según McCormac y Brown (2011):

El concreto reforzado es probablemente el material disponible más importante para la construcción. El gran éxito de este material en la construcción se debe a las siguientes ventajas:

- Contiene una alta resistencia a la compresión en comparación con otros materiales por unidad de costo.
- Tiene gran resistencia a las acciones del fuego y agua.
- Su tiempo de vida útil es prolongado en comparación con otros materiales y no requiere una gran inversión en su mantenimiento.
- Se aprovecha para su elaboración la existencia de materiales locales como lo pueden ser la arena, grava y agua, entre otros.
- La mano de obra es de baja calificación, debido a su montaje, en comparación con otros materiales.

- Son estructuras muy rígidas y por su gran peso propio, la influencia de las variaciones de cargas móviles es menor.

Según McCormac y Brown (2011):

Para usar con éxito este tipo de material, se debe de estar familiarizado con las características o puntos débiles del mismo, entre los cuales tenemos:

- La poca resistencia a la tracción, aunque el uso de acero de refuerzo es para contrarrestar este tipo de esfuerzo, la formación de grietas en el mismo es inevitable.
- Se requieren cimbras o formaleta para mantener el concreto en posición hasta que alcance sus resistencias especificadas lo suficiente.
- Requiere secciones mayores en comparación con otros materiales de construcción y por ende el peso propio es una carga importante en el diseño estructural a considerar
- Requiere de un permanente control de calidad al momento de fabricarlo en sitio, ya que pudiese ver afectado por las operaciones de mezcla, colocación, curado, entre otros, y esto repercutir en las resistencias del material
- Bajo cargas permanentes, las deflexiones en los elementos se incrementan con el tiempo.

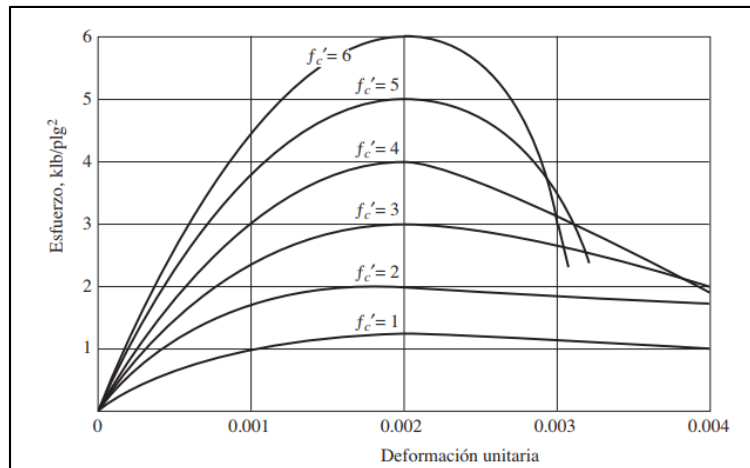
### **1.1.1.3. Resistencia a compresión del concreto reforzado**

La resistencia a la compresión del concreto ( $f'c$ ) se determina por medio de pruebas de cilindros de concreto de 28 días a una velocidad especificada de carga sobre los mismos, esto basándose en la Norma COGUANOR NTG 41017 h1 (ASTM C-39). (Campos, 2016, p. 16)

Aunque existen concretos con resistencias últimas a los 28 días que van de  $210 \text{ kg/cm}^2$  y  $450 \text{ kg/cm}^2$  para un concreto de peso normal. Se debe asegurar que la resistencia a la compresión del concreto en la estructura es al menos tan fuerte como el valor especificado ( $f'c$ ), debido a lo anterior el diseño de la mezcla de concreto debe apuntar a un valor superior ( $f'cr$ ), ya que pueden existir errores humanos o mala calidad en los materiales, por lo que si no se cuenta con un estricto control de calidad es recomendable utilizar un valor  $f'cr$ . (Barreros, 2014, p. 18)

Los valores obtenidos en la curva esfuerzo-deformación unitaria representan pruebas de compresión en cilindros estándares que varían hasta los 28 días. Estas curvas son aproximadamente rectas, mientras la carga crece de cero a un tercio o a un medio de la resistencia última del concreto.

Figura 1. **Curva esfuerzo-deformación unitaria típica del concreto, con carga de corto plazo**



Fuente: McCormac y Brown. (2011). *Diseño de concreto reforzado*.

#### 1.1.1.4. Resistencia a la tracción del concreto reforzado

La resistencia a la tracción del concreto es inferior en comparación con la resistencia a la compresión, aunque las dos sean cargas axiales, pero en diferente dirección, esta resistencia a tracción varía aproximadamente entre el 8 % al 15 % de su resistencia a la compresión. Normalmente se desprecia este tipo de resistencia, ya que la complementa o satisface el refuerzo de acero, no primordialmente el hormigón. Sin embargo, es una propiedad importante que afecta el tamaño y extensión de las grietas que se presentan en los elementos estructurales de este material. La resistencia a la tracción del concreto varía en proporción a la raíz cuadrada de  $f'_c$ . Es difícil medir esta resistencia bajo cargas axiales directas a tensión debido al

problema de agarre en los especímenes de prueba. (Martínez y Guerrero, 2004, p. 18).

La resistencia a la tensión del concreto en flexión es muy importante al considerar grietas y deflexiones en vigas. Por lo que por medio del módulo de ruptura se puede determinar esta resistencia, usualmente se mide al cargar a la falla concentrada iguales en los tercios del claro, de acuerdo con ASTM C78-09. (Choque, 2016, p. 11)

$$f_r = \frac{6M}{bh^2} = \frac{PL}{bh^2} \quad \text{Ecuación 1}$$

El esfuerzo determinado de esta manera no es muy exacto porque al usar la fórmula de la flexión estamos suponiendo que los esfuerzos en el concreto varían en proporción directa a las distancias del eje neutro. Por lo que se propone la siguiente ecuación en sistema internacional mega pascales del código ACI:

$$f_r = 0.7\lambda\sqrt{f'_c} \quad \text{Ecuación 2}$$

#### **1.1.1.5. Resistencia a la flexión del concreto reforzado**

Generalmente, la resistencia a flexión se presenta acompañada de una fuerza cortante. Esta resistencia también puede estimarse con suficiente precisión despreciando el efecto de fuerza cortante y manejarse bajo flexión pura.

Para que los esfuerzos no excedan en condiciones de servicio por flexión, se utilizan las siguientes restricciones:

- Compresión en el concreto:  $0,45 f'_c$
- Tensión o compresión en el acero:  $0,5 f_y$

Los esfuerzos se calcularán con base en condiciones de equilibrio y en las siguientes hipótesis:

- Existe una compatibilidad de elementos por medio de la adherencia de los mismos, y las deformaciones unitarias que existe en cada material.
- El hormigón no resiste esfuerzos a tracción principalmente, aunque considera un leve porcentaje para dicha resistencia.
- Los esfuerzos son proporcionales a las deformaciones unitarias.

Teniendo en cuenta que la resistencia a flexión específicamente se realiza a elementos estructurales que trabajen bajo la dicha resistencia, ya que la flexión es una combinación de esfuerzos de tracción y compresión donde la principal idea es que primero trabaje el concreto su parte a compresión y luego el refuerzo por acero trabaje su parte a tracción idealmente. (Barreros, 2014, p. 21)

#### **1.1.1.6. Resistencia al corte del concreto reforzado**

Es complicado obtener en pruebas de laboratorio fallas por cortante puro, y que éstas no estén afectadas por otros esfuerzos. Por lo que en prueba de laboratorio se han determinado valores que varían entre un tercio y cuatro quintos de las resistencias últimas a la compresión. La resistencia al cortante del concreto se realiza con su resistencia nominal del concreto:

$$V_n = V_c + V_s$$

Ecuación 3

Donde se suma tanto la resistencia a corte del concreto u hormigón, como la resistencia a corte del refuerzo de acero.

### **1.1.2. Comportamiento del concreto con acero**

El análisis del comportamiento del concreto u hormigón con el acero suele estar basado en la función de estos materiales, la cual es que cada uno de estos ayuda a contrarrestar las deficiencias del otro.

Las solicitaciones o condiciones de servicio provocan acciones o reacciones de intensidad variable como lo son sus momentos o fuerzas. El principal objetivo del análisis estructural es determinar dichas acciones o reacciones por lo que primeriza suponer la relación entre fuerza y deformación o, en términos más generales, entre acción y respuesta. Esta hipótesis está basada en un comportamiento lineal, la cual está afectada por la zona elástica de los elementos donde se relacionan cargas o esfuerzos con sus deformaciones.

Según Martínez y Guerrero (2004):

Con base en que el material de concreto reforzado se basa actualmente en la filosofía LRFD y este a su vez se basa en el método de diseño de factores de reducción, se deben cumplir dos condiciones primordiales:

- Equilibrio estático
- Compatibilidad de deformaciones

El equilibrio estático se refiere principalmente a todos los elementos estructurales, sean igualados a cero sus sumatorias de fuerzas horizontales, fuerzas verticales y sumatoria de momento. Mientras que la

compatibilidad de deformaciones indica que igualen o traten de igualar las deformaciones unitarias tanto del acero con la deformación unitaria del concreto que se conoce igual a 0,003. (p. 22)

#### **1.1.2.1. Ensayos de adherencia**

El fenómeno de la adherencia principalmente entre el hormigón y el acero se basa en curvas tensión de adherencia local-deslizamiento, que se obtienen de ensayos normados como el *pull-out* o *beam test*; estos ensayos se refieren principalmente al desplazamiento relativo entre el hormigón y la barra embebida que rodea al mismo al aplicarle una fuerza creciente en el extremo del elemento. Se aprecia los mecanismos resistentes que intervienen en el fenómeno de adherencia: como la adhesión química y la interacción mecánica; y estos a su vez dependen de las características superficiales de la armadura. (Huelva, Jiménez, Torroja, y Alonso, 2007, p. 42)

“En barras lisas la adherencia está en función de la adhesión química y del rozamiento, mientras que para barras corrugadas depende de la interacción mecánica existente entre las corrugas y el hormigón que las rodea”. (Barreros, 2014, p. 21)

#### **1.1.2.2. Ensayo de adherencia tipo *pull-out***

Este ensayo experimental nos permite determinar el efecto de la relación recubrimiento/diámetro, basándose en la capacidad de adherencia de elementos estructurales a analizar. Consiste básicamente en la extracción de una barra de acero, la cual se encuentra embebida en el hormigón, se procede a medir la fuerza necesaria que se aplica para romper la



adherencia. Se realizan “n” ensayos sobre probetas prismáticas según las especificaciones del ensayo normalizado propuesto por el CEB (año 1993, en donde propone 31 ensayos). En lo que respecta a la posición de la barra se realizan modificaciones para simular piezas de concreto reforzado con recubrimientos variables y con esto tener variabilidad en la adherencia de los elementos. (Huelva, *et.al.* 2007, p. 42)

*Figura 2. Probetas de ensayo pull-out*

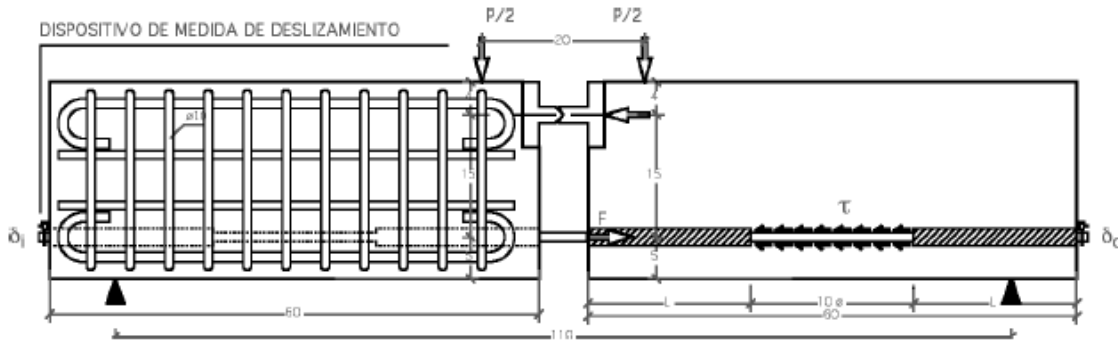


Fuente: Huelva, Jiménez, Torroja, y Alonso. (2007). *Estrategias para evaluar estructuras de hormigón armado con patologías por falta de adherencia.*

### **1.1.2.3. Ensayo de adherencia tipo *beam test***

Es un ensayo de flexión simple, en donde sobre una viga apoyada mediante dos cargas puntuales se obtiene la relación de tracción de adherencia ya sea local-deslizamiento, media de adherencia y de rotura en barras corrugadas. Se llevan a cabo 2 series siguiendo las especificaciones del ensayo de viga normalizado en la AENOR 1998, una con barras de diámetro de 16mm y otra, con barras de diámetro 25 mm. (Huelva, Jiménez, Torroja, y Alonso, 2007, p. 42)

Figura 3. **Dispositivo de ensayo *beam test* para diámetro de 16mm**



Fuente: Huelva, Jiménez, Torroja y Alonso. (2007). *Estrategias para evaluar estructuras de hormigón armado con patologías por falta de adherencia*.

### 1.1.3. Adherencia del acero con concreto

Según código ACI no se debe utilizar barras de refuerzo circulares lisas para la construcción de elementos de concreto reforzado por tema de adherencia principalmente, y si estas mismas, se engrasaran antes de la fundición del concreto, el elemento se comportaría como un hormigón simple en función de sus capacidades de carga.

Cuando se utilizaban barras lisas, sin deformaciones en su superficie, la adherencia inicial era provista por la reacción química y por la fricción mecánica, que a su vez era relativamente débil, entre el acero y el hormigón. Cuando sobrepasan las fuerzas de adhesión y la fricción estática, se empieza por pequeñas cantidades el fenómeno del deslizamiento, los cuales llevaban el entrelazamiento de las rugosidades naturales de la barra de refuerzo con el concreto.

### **1.1.3.1. Antecedentes adherencia con aditivos**

Una de las principales razones en el uso de aditivos es la reducción de costos de la construcción, obtención de ciertas propiedades mecánicas y físicas, asegurar la calidad de los materiales durante sus diferentes etapas, entre muchas otras. Los aditivos son materiales diferentes al agua, de los agregados y del cemento, se agregan en pequeñas cantidades a la mezcla, en forma líquida, por medio de pastilla, o polvo, inmediatamente antes o durante el mezclado para modificar propiedades del hormigón o mortero fresco.

Los aditivos además de mejorar propiedades mecánicas y físicas como ya antes se menciona, también pueden provocar mejoras en adherencia sin afectar las propiedades antes mencionadas.

Este tipo de aditivo son productos químicos que al ser incluidos en el cemento de la mezcla mejoran notablemente las características de adherencia entre el hormigón y el acero de refuerzo, éstos deben ser incorporados en estado líquido mediante dispositivos mecánicos de agitación, por circulación o mediante de las recomendaciones o especificaciones del fabricante. (Barreros, 2014, p. 45)

Actualmente, se han desarrollado aditivos no solo de manera industrial sino con materiales de uso común o proveniente de la naturaleza, por lo que se hace necesaria la actualización de esa información de aditivos para comprobar su mejoramiento contra los aditivos de uso común.

### **1.1.3.2. Propiedades químicas de la adherencia**

La principal propiedad química a establecer entre el hormigón, acero y azúcar como aditivo retardante es el porcentaje de hidrógeno (pH), bajo el efecto de la carbonatación.

La carbonatación en el hormigón es la pérdida de pH que ocurre cuando el dióxido de carbono atmosférico reacciona con la humedad dentro de los poros del concreto y convierte el hidróxido de calcio con alto pH a carbonato de calcio, que tiene un pH más neutral. El hormigón generalmente permeable se carbonatará en un lapso de tiempo corto. Las relaciones bajas de agua/cemento, compactación apropiada por vibración al momento de la fundición, y curado apropiado, tienen cierta relevancia que llegar a reducir la permeabilidad del hormigón y hacen más difícil para que el dióxido de carbono se difunda a través de él. (Barreros, 2014, p. 43)

“Uno de los principales problemas al momento de contener un alto porcentaje de carbonatación puede llegar a ser la corrosión, inclusive en concretos de alta resistencia”. (Barreros, 2014, p. 43)

Los agrietamientos, pueden llegar a causar pérdida de 12 mm o más del recubrimiento protector del concreto, por lo que lo hace un elemento más frágil antes las cargas que puedan llegar actuar en él. Si ha de usarse un recubrimiento protector anticarbonatación, los pequeños hoyos y otros defectos de la superficie deben rellenarse primero con un ‘mortero nivelante’ para evitar roturas en el recubrimiento protector. (Barreros, 2014, p. 44)

El hormigón tiene un pH de 12 a 13 normalmente si manejamos concreto de peso normal, se requieren aproximadamente de 7 000 a 8 000 partes por millón (ppm) de cloruros para comenzar la corrosión del acero ahogado. Sin embargo, si el pH baja a un rango de 10 a 11, el umbral de cloruro para la corrosión es significativamente menor (100 ppm o menos). (Choque, 2016) Por esta razón, una investigación de la condición para la mayoría de las estructuras de concreto en proceso de corrosión debe siempre incluir un análisis de la profundidad de carbonatación. (Barreros, 2014, p. 45)

### **1.1.3.3. Aditivos para el hormigón según norma COGUANOR NTG 41070**

Esta norma es esencialmente equivalente a la norma ASTM C 494-05. Esta especificación básicamente trata a los materiales que son utilizados como aditivos químicos para ser agregados a mezclas de concreto ya sea hormigón simple o concreto reforzado, el propósito de los aditivos es cambiar las propiedades mecánicas y físicas sin necesidad de aumentar la proporción de los mezclados.

Los aditivos retardadores tipo B que es la terminología que realiza esta norma, básicamente son aditivos que retardan el fraguado del concreto. La norma COGUANOR NTG 41070 establece los métodos de ensayo a realizar, desde las condiciones del lugar, los materiales, los análisis que se realizan bajo el uso de normas ASTM.

## **1.2. Propiedades del concreto con azúcar**

Los problemas en el concreto fresco muchas veces resultan de la incompatibilidad entre el cemento y el aditivo o entre los aditivos. Tales

incompatibilidades pueden resultar en pérdida de revenimiento (asentamiento), pérdida de aire, fraguado rápido y otros factores. Como estos problemas afectan principalmente el concreto en el estado fresco, el desempeño a largo plazo del concreto endurecido también se puede modificar adversamente. Por ejemplo, el fraguado rápido puede dificultar la consolidación del concreto, comprometiendo su resistencia. Aún no se encuentran disponibles ensayos fiables para la determinación de las incompatibilidades debidas a variaciones en los materiales, equipos de mezcla, tiempo de mezclado y factores ambientales. (Álvarez, 2017, p. 11)

“Las pruebas realizadas en laboratorio no reflejan las condiciones experimentadas por el concreto en la obra. Cuando se descubre la incompatibilidad en la obra, normalmente la solución usada es el cambio del aditivo o del material cementante” (Álvarez, 2017, p. 12)

El azúcar morena y blanca tienen la misma molécula; las diferencias que tienen entre ellas es el grado de pureza (refinamiento), debido a un número mayor de procesos industriales. En todo el proceso para obtener el grano de azúcar de la planta de caña suceden solo procesos físicos para llegar a la obtención del grano de azúcar y no suceden reacciones químicas; y por ello se dice que la blanca tiene un grado más alto de pureza. (Álvarez, 2017, p. 11)

Por lo anterior se establece que los ensayos experimentales de especímenes se realizaran con azúcar blanca.

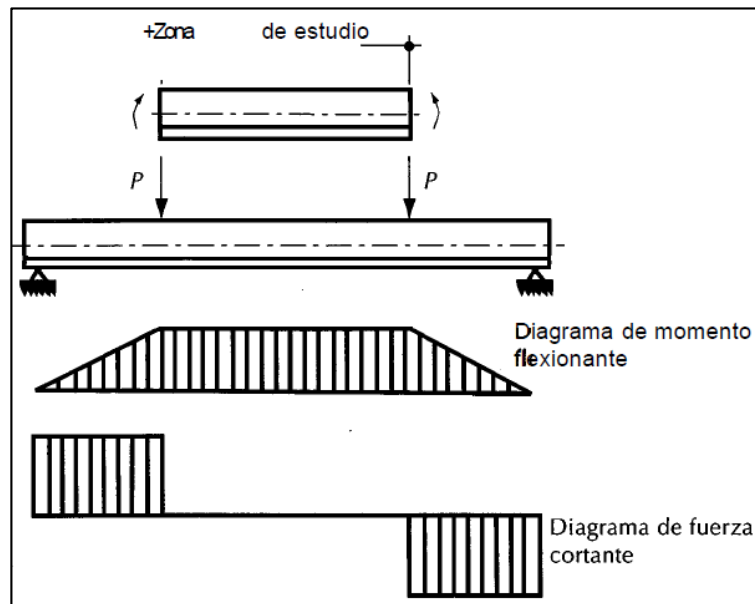
### **1.3. Elemento estructural tipo viga**

Las vigas son elementos de soporte en una estructura, generalmente son elementos horizontales, que transmiten cargas estáticas (carga viva y carga muerta principalmente), de la misma manera cargas dinámicas (carga de sismo y carga de viento principalmente) a los elementos de soporte vertical como columnas o muros. (Nilson, 1995, p. 65)

Los elementos estructurales tipo viga trabajan principalmente bajo el efecto de acción de flexión simple o flexión pura.

Se ha llevado a cabo un gran número de ensayos a flexión utilizando vigas simplemente apoyadas, sometidas a dos cargas distanciadas a un tercio de la longitud total de la viga, en las que existe una zona sujeta solo a momento flexionante, ya sea en la parte inferior del eje neutro o parte superior del mismo. (Huelva, *et.al.* 2007, p. 23).

Figura 4. **Espécimen típico para estudio de flexión simple**



Fuente: González y Fernández. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*.

### 1.3.1. Clasificación de viga

Los elementos estructurales tipo viga se pueden clasificar según:

- Inercia: geoméricamente, los elementos estructurales tipo viga pueden ser de cualquier forma; aunque por facilidades de obra se prefiere que sean de forma regular, de figuras conocidas como lo es un círculo, cuadrado, rectángulo, triángulo, donde se disponga y conozca su módulo de resistencia, la cual se encuentra en función de su inercia y por lo tanto de la rigidez de los mismos elementos indiferentemente el material que se trabaje. Los principales elementos estructurales tipo viga que se maneja en obra por facilidades de construcción es viga rectangular y viga T, estas, en función de su predimensionamiento, pueden trabajarse todas como



vigas rectangulares en base a factores determinantes los cuales se toma en cuenta en su diseño a flexión principalmente.

- Modo en que están soportadas: se refiere a la constitución de restricciones que afecte dicho elemento, éstos pueden ser, simplemente apoyado, en voladizo, doblemente empotrado, entre otros.
- Su determinación: se clasifican en vigas estáticamente determinadas e indeterminadas, esto depende de las ecuaciones de equilibrio, sumatoria de fuerzas horizontales, sumatoria de fuerzas verticales y sumatoria de momentos igual a cero. Si las ecuaciones antes mencionadas son suficientes para solucionar las variables del elemento, se concluye que es un elemento estáticamente determinado; en caso contrario, no fuesen suficientes las ecuaciones para solucionar las variables del elemento se concluye que son elementos estáticamente indeterminados y se procede a realizar un análisis estructural más avanzado como lo puede ser, método de distribución de momentos, método de rigidez, entre otros.
- Tipo de cargas: este tipo de elementos su principal función es transmitir las cargas presentadas en el mismo a los elementos de soporte vertical; entre las cargas que se le pueden aplicar a dicho elemento se encuentra cargas concentrada (también conocida como carga puntual), carga uniformemente distribuida y carga uniformemente no distribuida.
- Tipo de apoyos: se analiza cómo se encuentra apoyado el elemento estructural o las restricciones que este mismo tendrá; estos pueden ser apoyo tipo rodillo el cual considera reacción o movimiento de fuerza vertical únicamente, apoyo tipo articulación el cual considera reacción de fuerza vertical como reacción de fuerza horizontal y apoyo tipo

empotramiento el cual considera reacción tanto de fuerza vertical, como reacción de fuerza horizontal y movimiento de momentos.

### **1.3.2. Filosofía de diseño de elementos sometidos a flexión**

Actualmente, la filosofía de diseño que prevalece en los elementos de concreto reforzado es la filosofía LRFD, por sus siglas en inglés. Al momento de actuar bajo efectos de esfuerzo a flexión se puede resumir en los siguientes supuestos o hipótesis:

- En cualquier sección transversal existen fuerzas internas que pueden descomponerse en fuerzas normales y tangenciales a la sección. Las componentes normales son los esfuerzos de flexión (tensión en un lado del eje neutro y compresión en el otro); su función es la de resistir el momento flector que actúa en la sección. Las componentes tangenciales se conocen como esfuerzos cortantes que resisten las fuerzas transversales o cortantes. (Campos, 2016, p. 24)
- Una sección transversal plana antes de la aplicación de las cargas permanece igual al someterla a carga. Significa que las deformaciones unitarias en toda la sección de la viga, por encima y por debajo del eje neutro son proporcionales a la distancia desde este eje. (Martínez y Guerrero, 2004, p. 28)
- Adherencia total entre concreto y acero. El hormigón antes del agrietamiento resiste esfuerzos de tracción de pequeña magnitud.

Las vigas de hormigón o concreto simple son ineficientes como elementos sometidos a flexión debido a que la resistencia a la tracción es una pequeña fracción de la resistencia a la compresión. En consecuencia, estas vigas fallan en el lado sometido a tracción a cargas bajas mucho antes de que se desarrolle la resistencia completa del hormigón en el lado de compresión. (Campos, 2016, p. 25)

Por esta razón la colocación de barra de acero de refuerzo, se coloca en el lado sometido a tracción tan cerca como sea posible del extremo de la fibra sometida bajo el esfuerzo mencionado, conservando en todo caso una protección adecuada del acero contra el fuego y la corrosión. (Campos, 2016, p. 25)

### **1.3.3. Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo a compresión**

El comportamiento principal de este elemento bajo presiones de contacto o aplastamiento, no debe exceder de 0,25 f'c. Cuando la superficie que recibe carga tiene una mayor área que el área de contacto, este se puede incrementar hasta una relación no mayor a 2.

El concreto reforzado, cuando actúa bajo cargas de servicio o solicitaciones, por lo general cargas gravitacionales, siempre genera fisuras, normalmente son de abertura muy mínima, que se encuentre en el rango admisible de las mismas; si no se encuentra expuesto a la intemperie el ancho de fisura deberá estar por debajo de 0.04cm y si lo está, el ancho de fisura deberá ser menor que 0,03 cm; cuando se ejerce el esfuerzo a compresión, lo que genera, es cerrar estas fisuras y así poder transmitir todas las fuerzas por toda la sección transversal de la misma.

#### **1.3.4. Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo a tracción**

Según Barreros (2014):

La resistencia a tracción axial de un elemento de concreto reforzado es únicamente la resistencia del acero de refuerzo, o sea,  $A_s f_y$ , ya que el concreto tiende a tener una fisuración o agrietamiento y no contribuye a la resistencia. Debe tenerse en cuenta que la fuerza de tensión que puede aplicarse a un elemento está determinada por el agrietamiento que se genera en el hormigón y no por la resistencia.

La resistencia a la tensión del concreto es apenas una pequeña fracción de su resistencia a la compresión, aproximadamente entre el 8 % y 15 % del  $f'_c$ . Se concluye que el concreto reforzado no está bien condicionado para ser utilizado en elementos sometidos a tensión pura debido a la baja contribución del concreto, si es que existe, a su resistencia. (Barreros, 2014, p. 35)

Existen situaciones en las cuales el concreto reforzado se utiliza en tensión axial, bajo condiciones en las cuales debe evitarse la ocurrencia de grietas de tensión. Para elementos sometidos a tensión la resistencia nominal ( $P_{nt}$ ) es igual:

$$P_{nt} = A_s f_y$$

Ecuación 4

### **1.3.5. Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo torsionante**

Martínez y Guerrero (2004) indican que la torsión se presenta normalmente acompañada de flexión y cortante; sin embargo, para calcular la resistencia de un elemento sujeto a torsión combinada con flexión y cortante, es conveniente conocer el comportamiento de un elemento sujeto a torsión pura.

Para Barreros (2014) el comportamiento del concreto reforzado bajo torsión antes del agrietamiento se basa en el estudio del concreto simple, porque el refuerzo en esta etapa no contribuye a resistir las fuerzas inducidas en el elemento. Si un elemento de concreto simple es sometido a torsión pura y la tensión diagonal resultante excede la resistencia del concreto, se forman grietas a lo largo de líneas a 45 grados, que sería el caso ideal o esperado.

Estos esfuerzos de tensión diagonal producidos por la torsión son similares a los causados por el cortante, con la diferencia que se presentan en todas las caras del elemento, motivo por el cual, se realiza una sumatoria de esfuerzos en los que se suman los esfuerzos causados por el cortante y se restan a ellos en el otro lado los esfuerzos de tensión. El valor del momento torsor que corresponde a la formación de esta grieta diagonal en tensión se conoce como el torque de agrietamiento  $T_{cr}$ .

La ausencia del estudio y análisis de la torsión resistente de un elemento pueden causar una falla repentinamente si no están provistos de refuerzo por torsión. Colocar este refuerzo no cambia la magnitud de la torsión que causa las grietas diagonales, pero impide que los miembros pierdan su integridad estructural, por lo que pueden resistir momentos de torsión considerables sin fallar.

Pruebas experimentales han demostrado que son necesarias barras longitudinales y estribos cerrados para interceptar las numerosas grietas por tensión diagonal que ocurren en todas las caras de las vigas sometidas a torsión. El momento nominal torsional que resistirá la viga será igual a:  $T_n = T_c + T_s$ .

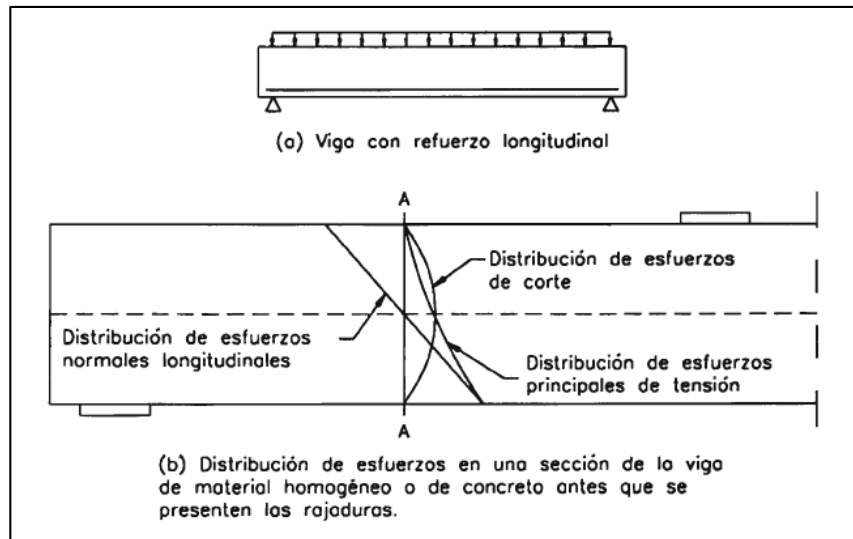
Para evaluar la contribución del refuerzo longitudinal y transversal existen dos teorías con las que se obtienen buenas aproximaciones.

- Teoría de la flexión asimétrica: se basa en el análisis de las deformaciones que ocurren en las secciones transversales de vigas sujetas a torsión más flexión.
- Teoría de la analogía de la armadura en el espacio: es la que actualmente utiliza el Código ACI. (Gálvez, 2014, p. 55)

### **1.3.6. Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo cortante**

El concreto reforzado, antes de presentar alguna grieta, se comporta como un material homogéneo en todas las caras y secciones del mismo. Aunque esta etapa es muy corta, ésta permite comprender el mecanismo de formación de grietas y el fenómeno de tracción diagonal o agrietamiento diagonal que presenta. (Choque, 2016, p. 44)

Figura 5. **Viga simplemente apoyada sometida a carga uniformemente repartida y distribución de esfuerzos en la sección A-A**



Fuente: Harmsen. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*.

El efecto de este tipo de esfuerzo es frágil y varía dependiendo de la inercia de elemento y del elemento estructural que estemos analizando, por lo que la ausencia del diseño por corte puede presentar un colapso por cortante en forma súbita, sin aviso alguno de peligro. A causa de estas diferencias en el comportamiento, se diseña y coloca refuerzo a cortante en las vigas de concreto reforzado para garantizar que ocurra una falla a flexión antes de una falla a cortante en caso de que el elemento se sobrecargue en exceso, además de evitar el pandeo de las varillas longitudinales y mantener la configuración estructural del universo.

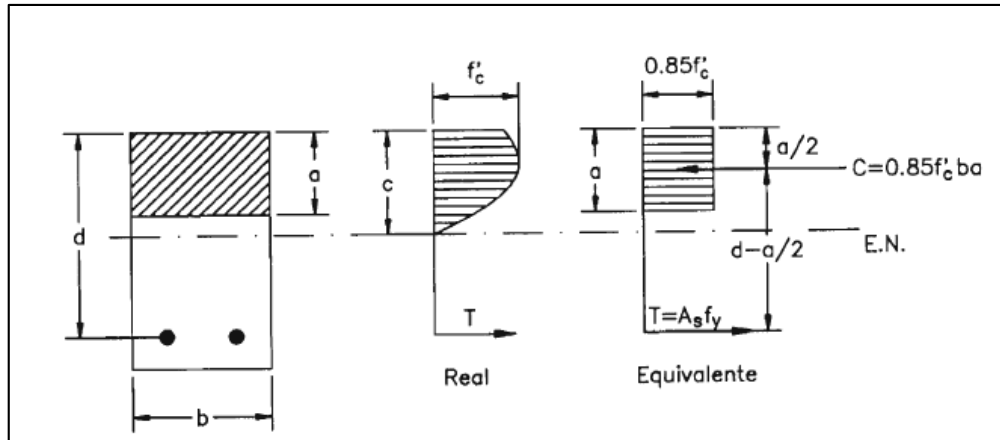
### **1.3.7. Comportamiento de elemento estructural tipo viga bajo esfuerzo flexionante**

Para las vigas de concreto reforzado esto puede hacerse mediante los métodos ya descritos, que suponen un comportamiento elástico en ambos materiales, basando en el límite de proporcionalidad, la cual se encuentra en la zona elástica del diagrama esfuerzo-deformación. (Barreros, 2014, p. 48)

El método de diseño dispone calcular el momento  $M_n$ , (momento último nominal) para el cual la viga fallará bien sea por fluencia del acero sometido a tensión o por aplastamiento del concreto sometido a compresión. Se manejan estos dos criterios (fluencia del acero para un esfuerzo igual a  $f_y$  y aplastamiento del concreto para una deformación unitaria de 0,003), en realidad no es necesario conocer la forma exacta de la distribución de esfuerzos en el concreto, pero si es necesario determinar la distancia desde eje neutro a una de fibras extremas. Con esto poder cumplir una de las condiciones del diseño por factores de resistencia que describe la compatibilidad de deformaciones. (Choque, 2016, p. 44)



Figura 6. **Esfuerzos en una sección rectangular con refuerzo en tensión sometida a flexión**



Fuente: Harmsen. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*.

Partiendo de la distribución de esfuerzos mostrada anteriormente, se establece la condición de equilibrio de fuerzas:

$$C = T \quad \text{Ecuación 5}$$

$$b w \cdot a \cdot 0.85 \cdot f'c = A_s \cdot f_y \quad \text{Ecuación 6}$$

Se establece el momento nominal está dado por la igualdad de momento de la deducción de flexión simple:

$$M_n = \phi (C \text{ o } T) \cdot (d - a/2) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$M_n = \phi \cdot A_s \cdot f_y \cdot (d - 0.59 (A_s \cdot f_y / f'c \cdot b w)) \quad \text{Ecuación 8}$$

## **1.4. Elemento estructural tipo columna**

Las columnas son elementos utilizados para resistir básicamente solicitaciones de compresión axial, aunque, por lo general, esta actúa en combinación con corte, flexión o torsión; ya que en las estructuras de concreto reforzado, la continuidad del sistema genera momentos flectores en todos sus elementos.

### **1.4.1. Clasificación de columnas**

Los elementos estructurales tipo columna se puede clasificar según:

- Relación altura/base: si se trabajan elementos donde la relación altura base es menor a tres, se clasifica como un elemento pedestal. Caso contrario a las columnas donde la relación altura/base es mayor a tres. Las columnas cortas o pedestales, las cuales su resistencia se rige por la resistencia de los materiales y por la geometría de la sección transversal, y las columnas esbeltas en las cuales la resistencia puede reducirse en forma significativa por las deflexiones laterales.
- Inercia: geoméricamente, los elementos estructurales tipo columna pueden ser de cualquier forma; aunque por facilidades de obra se prefiere que sean de forma regular, de figuras conocidas como un círculo, cuadrado, rectángulo, donde se disponga y conozca su módulo de resistencia; la cual se encuentra en función de su inercia y por lo tanto de la rigidez de los mismos elementos indiferentemente el material que se trabaje. Los principales elementos estructurales tipo columna que se maneja en obra por facilidades de construcción son columnas circulares, columnas cuadradas y columnas rectangulares.

- Modo en que están soportadas: se refiere a la constitución de restricciones que afecte dicho elemento, estos pueden ser doblemente empotradas o en articulación en el extremo inferior. El último caso es idealmente cuando el material de construcción de dicho elemento estructural es acero.
- Su determinación: se clasifican en columnas estáticamente determinadas e indeterminadas, esto depende de las ecuaciones de equilibrio, sumatoria de fuerzas horizontales, sumatoria de fuerzas verticales y sumatoria de momentos igual a cero. Si las ecuaciones antes mencionadas son suficientes para solucionar las variables del elemento, se concluye que es un elemento estáticamente determinado; en caso contrario, no fuesen suficientes las ecuaciones para solucionar las variables del elemento se concluye que son elementos estáticamente indeterminados y se procede a realizar un análisis estructural más avanzado como lo puede ser, método de distribución de momentos, método de rigidez entre otros.
- Tipo de cargas: este tipo de elementos su principal función es transmitir las cargas presentadas en el mismo a cimentación, entre las cargas que se le pueden aplicar a dicho elemento se encuentra cargas concentrada (también conocida como carga puntual), carga uniformemente distribuida y carga uniformemente no distribuida.
- Tipo de apoyos: se analiza cómo se encuentra apoyado nuestro elemento estructural o las restricciones que el mismo tendrá; estos pueden ser apoyo tipo articulación el cual considera reacción de fuerza vertical como reacción de fuerza horizontal y apoyo tipo empotramiento el cual considera reacción tanto de fuerza vertical, como reacción de fuerza horizontal y movimiento de momentos.

#### **1.4.2. Filosofía de diseño de elementos sometidos a carga axial**

Actualmente, la filosofía de diseño que prevalece en los elementos de concreto reforzado es la filosofía LRFD por sus siglas en inglés.

En estructuras de edificios a porticados es requisito que los miembros horizontales fallen antes que los verticales; permite de esa manera el retraso del colapso total de una estructura y cumple con la analogía estructural de columna fuerte-viga débil. Las vigas y las losas generalmente no fallan aún después de un daño severo en aquellos lugares que se hayan formado las articulaciones plásticas; en cambio, las columnas colapsan rápidamente bajo su carga vertical, cuando haya ocurrido aplastamiento del concreto; a esto último se le conoce también como el efecto de columna fuerte-viga débil o diseño a flexión en columnas.

#### **1.4.3. Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo esfuerzo a compresión**

En elementos que soportan principalmente cargas axiales de compresión, tales como columnas, resulta óptimo económica y estructuralmente hacer que el concreto lleve la mayor parte de la carga o que el concreto realice su esfuerzo antes que la fluencia del acero como principio básico del concreto reforzado. “Cuando se aplica carga axial a un elemento, la deformación unitaria a compresión es igual sobre toda la sección transversal y es la misma para el concreto y el acero gracias a la adherencia entre los dos materiales”. (Barreros, 2014, p. 48)

Debido a que la deformación unitaria a compresión en el concreto para una carga dada es igual a la deformación a compresión en el acero.

$$\epsilon_c = \frac{f_c}{E_c} = \epsilon_s = \frac{f_s}{E_s} \quad \text{Ecuación 9}$$

A partir de lo cual se puede obtener una relación entre el esfuerzo en el acero  $f_s$ , y el esfuerzo en el concreto  $f'_c$ , así:

$$f_s = (E_s/E_c) * f'_c = n * f'_c \quad \text{Ecuación 10}$$

Si el refuerzo transversal está constituido por espirales:

$$P_n = 0,85 * [0,85 * f'_c * (A_g - A_s) + f_y * A_s] \quad \text{Ecuación 11}$$

Si el refuerzo transversal está constituido por estribos:

$$P_n = 0,80 * [0,85 * f'_c * (A_g - A_s) + f_y * A_s] \quad \text{Ecuación 12}$$

Los factores 0,85 y 0,80 son equivalentes a excentricidades de aproximadamente, 5 % y 10 % del lado para columnas con espiral y con estribos, respectivamente. Los valores de  $P_u$  no podrán ser mayores que  $\phi P_n$  para columnas sometidas a compresión pura respetando la filosofía de diseño LRFD. (Martínez y Guerrero, 2004, p. 52)

La capacidad resistente del elemento estará dada por la resultante de las fuerzas desarrolladas en el acero y el concreto. Cuando la falla es balanceada, el refuerzo en tensión alcanza el esfuerzo de fluencia y simultáneamente, el concreto llega a una deformación unitaria de 0,003, cumpliendo con la compatibilidad de deformaciones establecida en la filosofía LRFD. En este caso, la resistencia de la columna será: (Choque, 2016, p. 54)

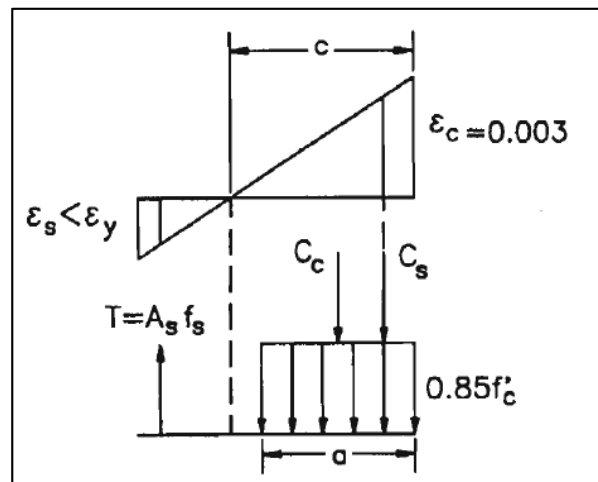
$$P_n = 0,85f'_c b a + A_s f_s - A_s f_y$$

Ecuación 13

$$M_n = 0,85f'_c * b * a \left( \frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_s * f_s \left( \frac{h}{2} - r \right) + A_s * f_y \left( d - \frac{h}{2} \right)$$
 Ecuación 14

Se considera una sección controlada por compresión cuando la deformación por tracción en el acero es igual o menor que la que corresponde al límite elástico del acero  $f_y$  en el momento que el concreto llega a una deformación  $\epsilon_c = 0,003$ . Se puede tomar  $\epsilon_s = 0,002$  para acero grado 60 o para refuerzo de pretensado. (Barreros, 2014, p. 48)

Figura 7. **Falla por compresión en columna**



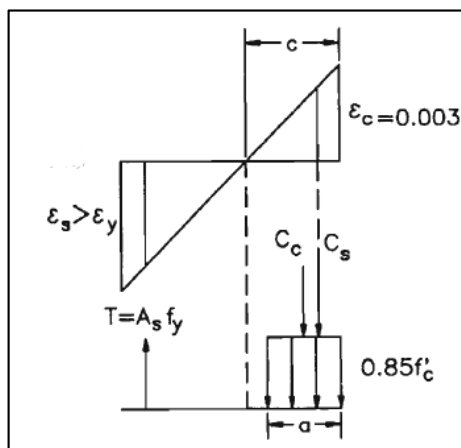
Fuente: Harmsen. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*.

#### 1.4.4. Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo esfuerzo a tracción

La principal función de un elemento estructural tipo columna, es transmitir las cargas axiales y momentos flexionantes a la cimentación. Las cargas axiales que se mencionan anteriormente se refieren básicamente a una carga axial a compresión por lo que la resistencia o comportamiento del mismo bajo una carga axial a tracción no se encuentra bajo un rango de criterio crítico debido nuevamente a las cargas de sollicitaciones con los que el mismo elemento se desempeña.

Si la columna falla por tracción, el acero en tensión alcanzará el esfuerzo de fluencia, la carga última será menor que  $P$ , y la excentricidad de la carga será mayor que la excentricidad balanceada. Se considera una sección controlada por tracción cuando  $\epsilon_t > 0,005$ . (Choque, 2016, p. 54)

Figura 8. Falla por tracción en columna



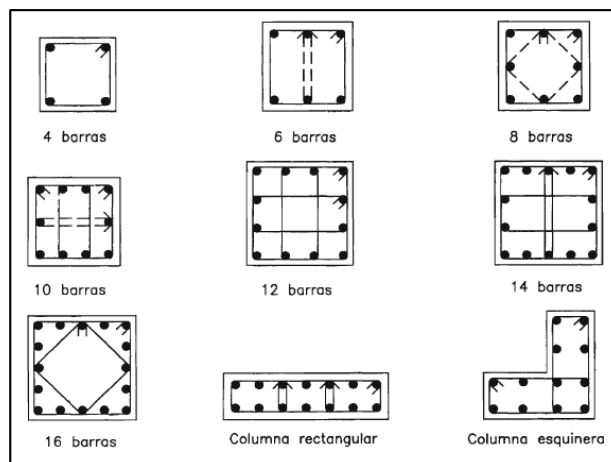
Fuente: Harmsen. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*.

### 1.4.5. Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo esfuerzo cortante

El refuerzo longitudinal de una columna le provee resistencia a la flexión y reduce los efectos de contracción del concreto bajo cargas sostenidas. La transferencia de esfuerzo se acentúa conforme la cuantía disminuye y cuando ésta es muy pequeña, el acero entra en fluencia bajo cargas de servicio. Por ello, el código recomienda un área de refuerzo longitudinal de, por lo menos, 0,01 veces el área de la sección bruta de la columna.

En términos prácticos, la cantidad de acero está limitada por cuestiones constructivas y de seguridad, ya que, si la columna cuenta con demasiado refuerzo, el vaciado del concreto se vuelve un proceso muy difícil y tiene a explotar el elemento por ser demasiado rígido. Las columnas con cuantías altas sugieren que es conveniente reconsiderar las dimensiones de la sección transversal. (Choque, 2016, p. 58)

Figura 9. **Distribuciones típicas de acero de refuerzo cortante**



Fuente: Harmsen. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*.



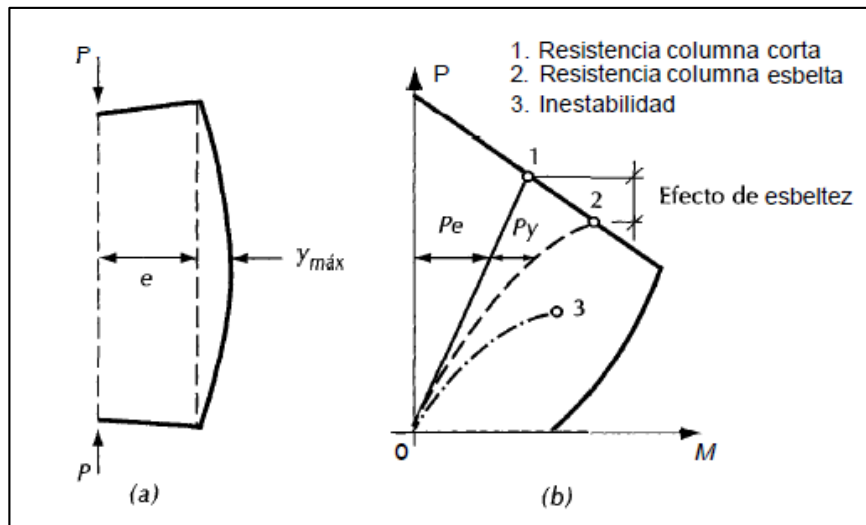
#### **1.4.6. Comportamiento de elemento estructural tipo columna bajo efecto de esbeltez**

El efecto de esbeltez se define como la reducción de resistencia de un elemento sujeto a una carga axial a compresión, debida a que la longitud del elemento es grande en comparación con las dimensiones de su sección transversal. La reducción de resistencia por esbeltez puede deberse también a desplazamiento lateral relativo entre los dos extremos de la columna, como sucede en marcos sujetos a carga lateral o que presentan asimetría en carga o en geometría. (Martínez y Guerrero, 2004, p. 59)

La reducción de resistencia por esbeltez es mayor cuando los extremos de la columna pueden sufrir desplazamiento lateral relativo, que cuando están restringidos contra el mencionado desplazamiento. Debido a que los elementos de concreto reforzado son de sección transversal relativamente grande, es raro que fallen por inestabilidad. (Martínez y Guerrero, 2004, p. 59)

En función de la relación de esbeltez se pueden clasificar como columna corta y columna intermedia y columna larga (esbelta). En una columna corta, su efecto de esbeltez es un factor que depende la forma de como fallará dicho elemento, para este tipo de columna su falla regularmente es por aplastamiento del material. En una columna intermedia su falla es por una combinación de aplastamiento del material y por pandeo en función de la esbeltez. En una columna esbelta o larga, su falla por pandeo está en función de su carga última, lo que produce una flexión adicional por la deformación transversal.

Figura 10. **Comparación del comportamiento de una columna corta, una columna esbelta y de una columna que falla por inestabilidad**



Fuente: González y Fernández. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*.

## 1.5. Análisis teórico de elementos estructurales

El análisis y diseño teórico de los elementos estructurales (viga y columna) se realiza como elementos independientes, sin la acción bajo efectos de sismo o en general cargas dinámicas, así como de uniones con otros elementos estructurales, esfuerzos compartidos con otros elementos estructurales, entre otros.

### 1.5.1. Viga como elemento estructural

Una viga como elemento estructural, su principal función es transmitir las cargas actuantes que se generan en la misma, a las columnas, y trabaja

principalmente bajo un esfuerzo de flexión, por lo general flexión pura, la cual se identifica como el esfuerzo que varía directamente en función del eje neutro del elemento.

Se trabajaron elementos de viga de sección: 20x25 cm, de 2 metro de longitud. El refuerzo de este elemento será de 4 varillas de ¼ de pulgada y estribos de ¼ de pulgada a cada 7,5 centímetros.  $f'_c$  de 281 kg/cm<sup>2</sup>, asentamiento de 8 centímetros, fy grado 40 y diseño de mezclas del hormigón 1:2,04:2,21:0,57.

#### 1.5.1.1. Diseño de viga a flexión

Al momento de diseñar una viga bajo la acción de un esfuerzo de flexión, se toma en cuenta, que la resistencia del elemento estructural tipo viga bajo dicho esfuerzo, es medida o está en función de la resistencia a la tracción del concreto u hormigón". Dicha resistencia a flexión se denomina módulo de ruptura ( $f_r$ ) la cual está basada en la fórmula de flexión.

$$f_r = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde M es el momento máximo flexionante; c, la distancia del eje neutro a la fibra extrema; I, inercia del elemento.

En función de una carga axial se expresa de la siguiente forma en kg/cm<sup>2</sup>:

$$f_r = \frac{PL}{b_w h^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

Cálculo teórico del módulo de ruptura del concreto ( $f_r$ ):

Datos:

Carga última "Pu": 1 656 lbs

Luz libre del elemento "L": 200 cm: 78,74 plg

$b_w$ : 0,20 m: 7,87 plg.

Altura del elemento "d": 0,225 m: 8,86 plg.

$f'_c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>

$\lambda$ : 1. Según tabla 19.2.4.2 del código ACI 318S-14 para concreto de peso normal.

Por fórmula de flexión de la ecuación 16:

$$fr = \frac{(1656) * (78.74)}{(7.87)(8.86)^2} = 211.06 \text{ PSI} = 148.38 \frac{\text{ton}}{\text{m}^2}$$

### 1.5.1.2. Diseño a corte de viga

Como se comentó el capítulo uno, la resistencia a corte o diseño a corte del elemento estructural viga de concreto armado o reforzado, se realiza por medio de su resistencia nominal al cortante, la cual está dada por:

$$V_n = V_c + V_s$$

Ecuación 17

Para miembros no preesforzados sin fuerza axial,  $V_c$  debe calcularse por medio de la ecuación 22.5.5.1 del código ACI 2014, donde la fuerza cortante expresada en kilogramos:

$$V_c = 0.53\lambda\sqrt{f'_c}b_wd$$

Ecuación 18

El  $V_s$  para refuerzo cortante se debe calcular según la ecuación 22.5.10.5.3 del código ACI 2014, expresada en kilogramos, como:

$$V_s = \frac{A_v * f_y * (\text{sen}\alpha + \text{cos}\alpha) * d}{s} \quad \text{Ecuación 19}$$

Cálculo teórico de la resistencia nominal al cortante del concreto reforzado “ $V_n$ ”:

Datos:

$\lambda$ : 1. Según tabla 19.2.4.2 del código para concreto de peso normal.

$f'_c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>

$b_w$ : 10 cm. (núcleo)

$d$ : 22,5 cm

$f_y$ : 2 800 kg/cm<sup>2</sup>

$A_v$  (2 varillas de ¼): 0,63 cm<sup>2</sup>

$S$ : 7,5 cm

Resistencia al cortante del concreto “ $V_c$ ” de la ecuación 18:

$$V_c = 0,53(1)\sqrt{280} * (10) * (22,5) = 1,995,43 \text{ kg} = 2,00 \text{ Ton.}$$

Resistencia al cortante del acero “ $V_s$ ” de la ecuación 19:

$$V_s = \frac{(0,63) * 2800 * (\text{sen}(90^\circ) + \text{cos}(90^\circ)) * (22,5)}{(7,5)} = 5,292 \text{ kg} = 5,29 \text{ Ton.}$$

Resistencia nominal al cortante del concreto reforzado  $V_n$  de la ecuación 17:

$$V_n = 2,00 \text{ Ton} + 0 (8,4 \text{ Ton}) = 2,00 \text{ Ton}.$$

Se asume como cortante nominal, únicamente el cortante del concreto debido al momento de fisuración del mismo y su estado elastoplástico.

### 1.5.1.3. Diseño a torsión de viga

El análisis y diseño bajo la acción de torsión en un elemento estructural tipo viga se basa principalmente en los esfuerzos que no se distribuyen uniformemente en la sección.

Sus principales hipótesis se basan en que una sección circular o plana permanecerán circular o plana según su caso después de la torsión, y que sus esfuerzos no sobrepasan los límites de proporcionalidad.

Para el diseño por refuerzo a torsión se analiza la siguiente expresión:

$$T_u > \phi * 0.25 * \sqrt{f'c} * \left(\frac{A_{CP}^2}{P_{CP}}\right) \quad \text{Ecuación 20}$$

Se analiza si la sección propuesta cumple con las dimensiones establecidas para secciones sólidas según ecuación 22.7.7.1 del código ACI 2014.

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w * d}\right)^2 + \left(\frac{T_u * P_h}{1.7 * A_o h^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w * d} + 2\sqrt{f'c}\right) \quad \text{Ecuación 21}$$

Para miembros no preesforzados según código ACI 2014, en la sección 22.7.6.1,  $T_n$  se calcula como el menor de a) y b):

$$a) T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{s} * \cot\theta \quad \text{Ecuación 22}$$

$$b) T_n = \frac{2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt}}{P_h} \cot\theta \quad \text{Ecuación 23}$$

Cálculo teórico de la resistencia torsionante del concreto reforzado se realiza por medio de la torsión última que se compara e iguala con el cortante último en función del peso propio de la viga.

$$T_n = \frac{W \cdot L}{2} \quad \text{Ecuación 24}$$

$$T_n = \frac{[1,2 * \left(2\,400 \frac{kg}{m^3}\right) * (0,15m) * (0,25m) * (2m)] * 2m}{2} = 216\,kg = 0,21\,Ton$$

### 1.5.2. Columna como elemento estructural

La función principal de una columna como elemento estructural es la de transferir las cargas proporcionadas por las vigas hacia la cimentación. Existen diferentes tipos de clasificación de columnas desde su inercia hasta la relación de rigidez de los mismos.

Se trabajaron elementos columna de sección: 20x20 cm, de 1,5 metro de longitud para columnas cortas y 2 metros para columnas esbeltas. El refuerzo de este elemento será de 4 varillas de ¼ de pulgada y estribos de ¼ de pulgada a cada 7,5 centímetros. f'c de 280 kg/cm<sup>2</sup>, asentamiento de 8 centímetros, fy grado 40 y diseño de mezclas del hormigón 1:2,04:2,21:0,57.

### 1.5.2.1. Diseño de columna bajo fuerza axial

El diseño de este elemento estructural bajo una fuerza axial, se puede realizar tanto para tracción como compresión (fuerzas axiales), se realiza la suposición que una columna trabaja primordialmente bajo efecto de fuerza axial a compresión, ya que transmite las cargas de las vigas hacia la cimentación. (Choque, 2016, p. 57)

Para miembros no preesforzados y compuestos de acero y concreto,  $P_o$  debe calcularse según ecuación 22.4.2.2 del código ACI 2014:

$$P_o = P_c + P_s \quad \text{Ecuación 25}$$

$$P_o = 0.85f'c(Ag - Ast) + (fy * Ast) \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\phi P_n \geq P_o; \phi P_n = P_o \quad \text{Ecuación 27}$$

De la ecuación 25 se calcula:

Datos:

Ag: (15\*15): 225 cm<sup>2</sup>

Ast: 1,28 cm<sup>2</sup>

fy: 2 800 kg/cm<sup>2</sup>

f'c: 280 kg/cm<sup>2</sup>

$$P_o = 0,65[0,85 * (280)(225 - 1,28) + (2 800 * 1,28)] = 34 437,31kg = 34,44 Ton$$



Este dato teórico de carga axial es muy incierto debido a que el mismo se basa únicamente en la sección transversal y no en la relación de esbeltez de las columnas, por lo que se analiza en función de carga crítica de Euler:

$$P_0 = \frac{\pi^2 * E * I}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} \quad \text{Ecuación 28}$$

Datos:

E: 78,646.04 kg/cm<sup>2</sup>

I: 2953,13 cm<sup>4</sup> (Inercia efectiva)

L: 200 cm (Columna esbelta)

L: 150 cm (Columna corta)

KL/r = 2H

$$P_0 = \frac{\pi^2 * 78\,646,01 * 2\,953,13}{(2 * 200)^2} = 14\,326,46 \text{ kg} = 14,33 \text{ Ton}$$

$$P_0 = \frac{\pi^2 * 78\,646,01 * 2\,953,13}{(2 * 150)^2} = 25\,469,27 \text{ kg} = 25,47 \text{ Ton}$$

La carga crítica de Euler es la recomendable para la realización de laboratorios de elementos sometidos a pandeo, en función de su esbeltez.

### 1.5.2.2. Diseño de refuerzo a corte de columna

Como se comentó el capítulo uno, la resistencia a corte o diseño a corte del elemento estructural viga de concreto armado o reforzado, se realiza por medio de su resistencia nominal al cortante, la cual está dada por la ecuación 17.

Para miembros no preesforzados sometidos a compresión axial,  $V_c$  debe calcularse por medio de la ecuación 22.5.6.1 del código ACI, donde la fuerza cortante expresada en kilogramos:

$$V_c = 0.53 * \left(1 + \frac{Nu}{140 * A_g}\right) * \lambda * \sqrt{f'_c} * b_w * d \quad \text{Ecuación 29}$$

El  $V_s$  para refuerzo cortante se debe calcular según la ecuación 22.5.10.5.3 del código ACI, expresada en kilogramos, referenciada como la ecuación 19.

Cálculo teórico de la resistencia nominal al cortante del concreto reforzado  
 $V_n$ :

Datos:

$\lambda$ : 1. Según tabla 19.2.4.2 del código ACI 318S-14 para concreto de peso normal.

$f'_c$ : 280 kg/cm<sup>2</sup>

$b_w$ : 15 cm

$d$ : 15 cm

$f_y$ : 2 800 kg/cm<sup>2</sup>

$A_v$  (2 varillas de  $\frac{1}{4}$ ): 0,63 cm<sup>2</sup>

$N_u$ : 25 469,27 kg (corta)

$S$ : 7,5 cm

Resistencia al cortante del concreto  $V_c$  según la ecuación 27:

$$V_c = 0,53 * \left(1 + \frac{25\ 469,27}{140 * 225}\right) * 1 * \sqrt{280} * 15 * 12,5 = 3,00 \text{ Ton}$$

Resistencia al cortante del acero  $V_s$  según ecuación 19:

$$V_s = \frac{(1,28) * 2\,800 * (\text{sen}(90^\circ) + \text{cos}(90^\circ)) * (12,5)}{(7,5)} = 5\,973,33 \text{ kg}$$

Resistencia nominal al cortante del concreto reforzado  $V_n$  según ecuación 17:

$$V_n = 3\,007,37 \text{ kg} + 0 (5\,973,33 \text{ kg}) = 3\,007,37 \text{ kg} = 3,00 \text{ Ton}$$



## **2. ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

Se describe el proceso constructivo de los materiales, así como los normativos en los que se basó el análisis de las diferentes resistencias de los elementos estructurales.

### **2.1. Normativas establecidas para ensayos de elementos estructurales tipo viga y columna de concreto reforzado**

A continuación, se describen las normativas establecidas para ensayos de elementos estructurales tipo viga y columna de concreto reforzado.

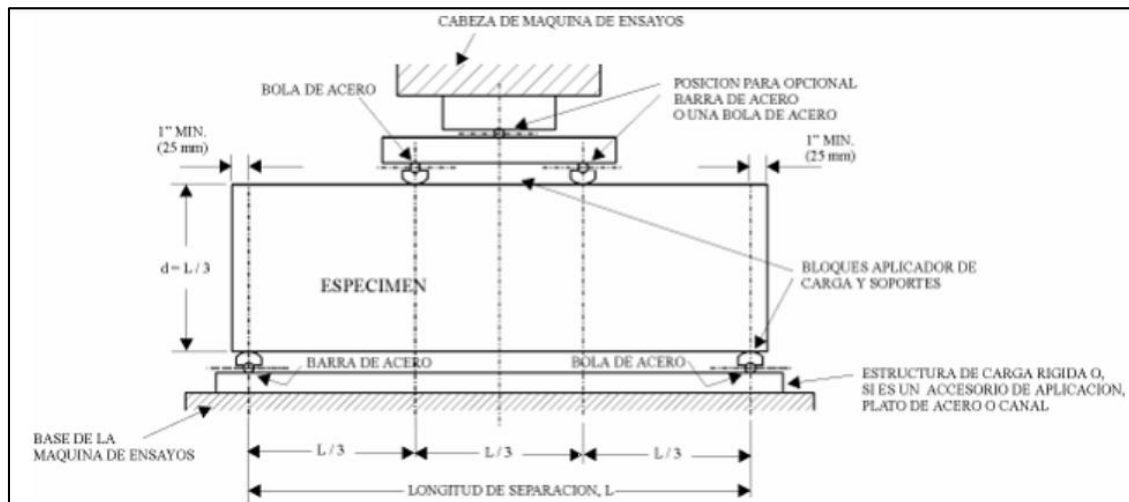
#### **2.1.1. Normas ASTM para elementos sometidos a flexión**

Los elementos estructurales tipo viga trabajan principalmente bajo esfuerzos sometidos a flexión, aunque por ser un elemento de vital relevancia en una estructura, se realiza análisis y chequeo de corte y torsión; por lo anterior, su resistencia a flexión se realiza por medio de la norma ASTM C-78-09, equivalente a la COGUANOR NTG 41017-h2, el cual cubre la determinación del esfuerzo a flexión del concreto utilizando una viga simplemente soportada con cargas puntuales.

Los ensayos a corte de un elemento viga, no están especificados, debido a que el esfuerzo de corte de un elemento no está en función del elemento que este sea; sino en función de la cara transversal y dirección de la fuerza analizada,

de la misma forma no existe una metodología para realizar el ensayo experimental de resistencia a torsión en elementos tipo viga.

Figura 11. **Vista diagramática de un aparato apropiado para ensayo a flexión de concreto**

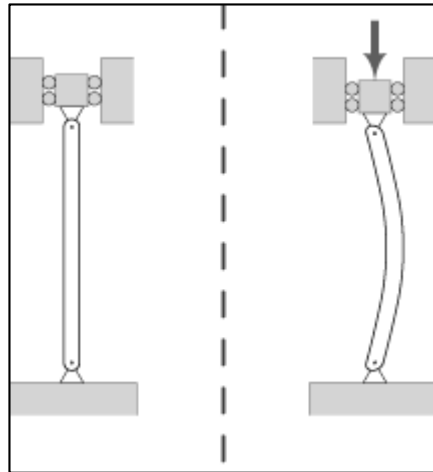


Fuente: COGUANOR NTG 41017-h2, (2017). *Norma Técnica Guatemalteca*. Recuperado de [https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/2\\_concreto/NTG\\_41017\\_h2\\_ASTM\\_C78.pdf](https://conred.gob.gt/site/normas/NRD3/2_concreto/NTG_41017_h2_ASTM_C78.pdf)

### 2.1.2. Normas ASTM para elementos sometidos a carga axial

Los elementos estructurales tipo columna trabajan principalmente bajo esfuerzos sometidos a compresión axial, aunque por ser un elemento de vital relevancia en una estructura, se realiza análisis y chequeo de corte. Por lo anterior, no existen metodologías específicas en función del tipo de columna que se esté analizando, en función de su esbeltez; en relación a la resistencia del corte como se mencionó anteriormente, este se realiza en función de la cara transversal y carga aplicada.

Figura 12. **Carga axial en elemento tipo columna**



Fuente: McCormac y Brown. (2011). *Diseño de concreto reforzado*.

### **2.1.3. Normativo del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala para elementos estructurales**

El Centro de Investigaciones de Ingeniería presta sus servicios a entidades públicas y privadas, gubernamentales o no gubernamentales, así como a personas individuales que buscan la solución a sus problemas técnicos específicos, en las áreas de construcción, ingeniería sanitaria, metrología industrial y química industrial.

En el arancel autorizado en el Punto Quinto, inciso 5.3 del Acta No. 32.2006 de la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería celebrada el día viernes 24 de noviembre de 2,006 y el Punto Cuarto, inciso 4.3 de Acta No. 27-2006 de sesión celebrada por el Consejo Superior Universitario el día 15 de noviembre de 2,006, establece los ensayos que contemplan en el CII y recalca que los ensayos no

contemplados en dicho arancel tendrán un costo a convenir entre el cliente y el CII. Estos costos se aplican a instituciones, empresas y/o personas individuales dentro del territorio nacional.

## **2.2. Ensayos de materiales de construcción**

Los materiales de construcción utilizados, como el hormigón que está fabricado en base de cemento, agregados gruesos y finos, la utilización del azúcar como aditivo retardante del hormigón, así como del acero, da la pauta a realizar ensayos de verificación de los mismos, ya que la mayoría provienen de distribuidoras diferentes por lo que se hace necesario esta verificación.

### **2.2.1. Resistencia a compresión del concreto u hormigón, con azúcar como aditivo retardante del hormigón**

Esta prueba de laboratorio se realizó basándose en la norma ASTM C-39, equivalente a la COGUANOR NTG 41017 h1, cuya finalidad es determinar la resistencia a compresión de especímenes de concreto de 6 x 12 pulgadas a 28 días de resistencia. Se desarrollaron especímenes de pruebas de proporción 1:2,04:2,21:0,57 en función de peso, tanto para concreto sin ningún tipo de aditivo como para concreto con azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón.



Figura 13. **Elaboración de especímenes de prueba**



Fuente: elaboración propia.

Figura 14. **Ensayo a compresión de cilindros de concreto sin ningún tipo de aditivo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 15. **Ensayo a compresión de cilindros de concreto con azúcar como aditivo retardante del hormigón**



Fuente: elaboración propia.

### **2.2.2. Resistencia del acero estructural a tensión**

Dicha resistencia del acero estructural se realizó basándose en la prueba de laboratorio normada por ASTM A-615, equivalente a Coguanor NTG 36011:2013, la cual trata sobre barras de acero de carbono lisas y corrugadas para refuerzo de concreto en tramos cortados y rollos.

Los especímenes de prueba para este laboratorio se obtuvieron de proveedores, la cual los datos iniciales se asumieron que de resistencia 40,000 PSI y barra lisa, esto debido a que, por carencias de máquinas de laboratorio

adecuadas, se tuvo que realizar pruebas a escala en lo que el principal análisis no es la adherencia para esta falta de corrugaciones, sino el análisis en función de la resistencia de cedencia.

Figura 16. **Especímenes de prueba de resistencia del acero estructural**



Fuente: elaboración propia.

Figura 17. **Toma de datos de longitud a especímenes de prueba de resistencia del acero estructural**



Fuente: elaboración propia.

Figura 18. **Toma de datos de peso a especímenes de prueba de resistencia del acero estructural**



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. **Ensayo a tensión en barras lisas**



Fuente: elaboración propia.

### 2.2.3. Ensayo de carbonatación

Debido a que el CII no cuenta dentro de su arancel, con este tipo de ensayo, se tuvo que realizar un laboratorio de forma cualitativa mediante un agente químico (en forma de cinta) la cual genera una variedad de tonalidades diferentes y con este se trata de ubicarlo al valor de pH (porcentaje de hidrógeno), que más se aproxime.

Este ensayo se realizó comparando los elementos fabricados de concreto reforzado con azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón, contra elementos fabricados de concreto armado sin ningún tipo de aditivo, con el fin de comparar los pH y verificar que se encuentre dentro de porcentaje de pH estandarizado para concretos de peso normal. Se concluye si se encuentra dentro de los parámetros estándares y no generar algún tipo de corrosión por el aumento de pH. El grado de carbonatación se puede determinar por técnicas petrográficas (ASTM C-856) a través de la observación del carbonato de calcio, el cual es uno de los principales productos químicos de la carbonatación.

Figura 20. **Ensayo de carbonatación a espécimen de concreto reforzado con azúcar como aditivo retardante del hormigón**



Fuente: elaboración propia.

Figura 21. **Ensayo de carbonatación a espécimen de concreto reforzado sin ningún tipo de aditivo**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3. Ensayos de elementos viga

Para la realización de los diferentes laboratorios al elemento estructural tipo viga, el trabajo se realizó desde su fabricación y elaboración, dado las diferentes proporciones por el diseño de mezclas; el armado del elemento con las varillas de acero longitudinal y transversal, el tiempo de fraguado, el porcentaje de humedad, entre otros, para un comportamiento esperado en función del esfuerzo analizado.

Figura 22. **Fundición del hormigón para elemento viga**



Fuente: elaboración propia.

Figura 23. **Elaboración del elemento viga**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.1. Ensayo a flexión del elemento viga

La flexión en un elemento viga, es el principal esfuerzo a evaluar, debido a que las vigas trabajan principalmente bajo dicho esfuerzo. La realización de este ensayo se hizo sin la aplicación de algún aditivo en el hormigón; se hizo el laboratorio en tres diferentes especímenes elaborados con las mismas condiciones de proporciones y condiciones atmosféricas.

Figura 24. Colocación del elemento viga para ensayo a flexión



Fuente: elaboración propia.



Figura 25. **Ensayo a flexión del elemento viga sin la aplicación del aditivo**



Fuente: elaboración propia.

Figura 26. **Medición de la grieta en el elemento viga por esfuerzo a flexión**



Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2. Ensayo de corte a elemento viga

El esfuerzo de corte de un elemento viga se controla principalmente por los elementos estribos los cuales trabajan principalmente a corte, así como en función del peralte de la sección que se esté analizando por medio de la resistencia del hormigón bajo este tipo de esfuerzo.

Figura 27. Colocación de elemento viga para ensayo a corte



Fuente: elaboración propia.

Figura 28. **Ensayo de corte a elemento viga sin aplicación de aditivo**



Fuente: elaboración propia.

### **2.3.3. Ensayo a torsión de elemento viga**

Debido a la falta de laboratorios normadas para la elaboración de este tipo de ensayo, no se realizó este laboratorio para elemento viga sin algún tipo de aditivo en el hormigón, únicamente se realizó para elementos viga bajo la acción del azúcar blanca como aditivo retardante en el hormigón, por las consideraciones empíricas en las que se trabajó.

## 2.4. Ensayos a elementos columnas

Para la realización de los diferentes laboratorios al elemento estructural tipo columna, el trabajo se realizó desde su fabricación y elaboración, dado las diferentes proporciones por el diseño de mezclas, el armado del elemento con las varillas de acero longitudinal y transversal, el tiempo de fraguado, el porcentaje de humedad, entre otros, para un comportamiento esperado en función del esfuerzo analizado.

Figura 29. **Fundición del hormigón para elemento columna**



Fuente: elaboración propia.

Figura 30. **Curado del elemento columna**



Fuente: elaboración propia.

#### **2.4.1. Ensayo a compresión del elemento columna**

El ensayo a compresión del elemento columna, mejor conocido como ensayo bajo carga axial del elemento columna, es el principal laboratorio realizado al mismo, debido, a que los elementos estructurales tipo columna su principal función en transmitir las cargas recibidas por las vigas y dirigirlas hacia la cimentación; por lo anterior, dichos elementos trabajan principalmente bajo efecto de cargas axiales a compresión.

Para el ensayo a compresión (carga axial) de columna se trabajó para dos condiciones diferentes en función de su esbeltez: para columnas cortas y columnas esbeltas, con el fin de determinar, analizar y concluir el comportamiento en función de esbeltez de las columnas.

Figura 31. **Colocación del elemento columna para ensayo a compresión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 32. **Ensayo a compresión del elemento columna sin aplicación de aditivo**



Fuente: elaboración propia.

### 2.4.2. Ensayo a corte del elemento columna

El esfuerzo a corte en un elemento columna se contrarresta principalmente con los estribos que trabajan para este esfuerzo, conjuntamente con la solicitud de mantener una configuración estructural constante, además de la resistencia actuante del concreto como material.

Figura 33. Colocación de elemento columna para ensayo a corte



Fuente: elaboración propia.

Figura 34. **Ensayo de corte a elemento columna sin aplicación de aditivo**



Fuente: elaboración propia.

### **2.4.3. Ensayo a torsión del elemento columna**

Debido a la falta de laboratorios normadas para la elaboración de este tipo de ensayo, no se realizó este laboratorio para elemento columna, tanto bajo efecto del azúcar como aditivo retardante en el hormigón como sin la aplicación algún tipo de aditivo en el hormigón; únicamente, se realizó para elementos viga bajo la acción del azúcar como aditivo retardante en el hormigón, por las consideraciones empíricas en las que se trabajó.



## 2.5. Ensayos a elementos viga con aditivo de azúcar como retardante

Para la realización de los diferentes laboratorios al elemento estructural tipo viga, bajo la acción del azúcar blanca como retardante del hormigón, el trabajo se realizó desde su fabricación y elaboración, dado las diferentes proporciones por el diseño de mezclas, el armado del elemento con las varillas de acero longitudinal y transversal, el tiempo de fraguado, el porcentaje de humedad, entre otros, para un comportamiento esperado en función del esfuerzo analizado.

Figura 35. **Fundición del hormigón del elemento viga con azúcar como aditivo retardante**



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. **Elaboración del elemento viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**



Fuente: elaboración propia.

### **2.5.1. Ensayo a flexión de elemento viga**

La flexión en un elemento viga es el principal esfuerzo a evaluar, debido a que las vigas trabajan principalmente bajo dicho esfuerzo. La realización de este ensayo se hizo con la aplicación de azúcar como aditivo retardante en el hormigón. Se hizo el laboratorio en dos diferentes especímenes elaborados con las mismas condiciones de proporciones y condiciones atmosféricas.

Figura 37. **Colocación de elemento viga para ensayo a flexión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 38. **Ensayo a flexión para elemento viga, utilizando azúcar como aditivo retardante en el hormigón**



Fuente: elaboración propia.

Figura 39. **Medición de grieta en elemento viga por esfuerzo a flexión**



Fuente: elaboración propia.

### **2.5.2. Ensayo a corte de elemento viga**

El esfuerzo de corte de un elemento viga se controla principalmente por los elementos estribos los cuales trabajan principalmente a corte, así como en función del peralte de la sección que se esté analizando por medio de la resistencia del hormigón bajo este tipo de esfuerzo.

Figura 40. **Colocación de elemento viga para ensayo a corte**



Fuente: elaboración propia.

Figura 41. **Ensayo de corte a elemento viga con azúcar como aditivo retardante del hormigón**



Fuente: elaboración propia.

### 2.5.3. Ensayo a torsión de elemento viga

La realización de este tipo de ensayo para el análisis de torsión en elementos tipo viga se vuelve de carácter obligatorio debido a la cantidad de casos prácticos reales en los que se aplica, por ejemplo, en vigas apoyadas en voladizos. El laboratorio a torsión en viga se realizó con 1 espécimen de prueba, debido a la falta de la normalización de laboratorio, por lo que se trabajó de forma empírica. Dicho ensayo se realizó con el apoyo de tres gatos hidráulicos: dos en los extremos y uno en la parte central, para generar el efecto de torsión.

Figura 42. Colocación de elemento viga para ensayo a torsión



Fuente: elaboración propia.

**Figura 43. Ensayo a torsión a elemento viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**



Fuente: elaboración propia.

## **2.6. Ensayo a elementos columnas con aditivo de azúcar como retardante**

Para la realización de los diferentes laboratorios al elemento estructural tipo columna con azúcar blanca como aditivo retardante en el hormigón, el trabajo se realizó desde su fabricación y elaboración, dado las diferentes proporciones por el diseño de mezclas, el armado del elemento con las varillas de acero longitudinal y transversal, el tiempo de fraguado, el porcentaje de humedad, entre otros, para un comportamiento esperado en función del esfuerzo analizado.

Figura 44. **Fundición del hormigón del elemento columna con azúcar como aditivo retardante**



Fuente: elaboración propia.

Figura 45. **Armado de elementos columnas con azúcar como aditivo retardante**



Fuente: elaboración propia.



### **2.6.1. Ensayo a compresión del elemento columna**

El ensayo a compresión del elemento columna, mejor conocido como ensayo bajo carga axial del elemento columna, es el principal laboratorio realizado al mismo; debido a que los elementos estructurales tipo columna su principal función es transmitir las cargas recibidas por las vigas y dirigirlas hacia la cimentación; por lo anterior, dichos elementos trabajan principalmente bajo efecto de cargas axiales a compresión.

Para el ensayo a compresión (carga axial) de columna, se trabajó para dos condiciones diferentes en función de su esbeltez: para columnas cortas y columnas esbeltas; con el fin de determinar, analizar y concluir el comportamiento que se obtenga en función de esbeltez de las columnas como con el aditivo del azúcar como retardante en el hormigón.

**Figura 46. Colocación de elemento columna para ensayo a compresión**



Fuente: elaboración propia.

Figura 47. **Ensayo a compresión de elemento columna con azúcar como aditivo retardante del hormigón**



Fuente: elaboración propia.

### **2.6.2. Ensayo a corte de elemento columna**

El esfuerzo a corte en un elemento columna se contrarresta principalmente con los estribos que trabajan para este esfuerzo, conjuntamente con la solicitud de mantener una configuración estructural constante, además de la resistencia actuante del concreto como material con azúcar como aditivo retardante del mismo.

Figura 48. **Colocación de elemento columna para ensayo a corte**



Fuente: elaboración propia.

Figura 49. **Ensayo a corte de elemento columna con azúcar como aditivo retardante del hormigón**



Fuente: elaboración propia.

### **2.6.3. Ensayo a torsión del elemento columna**

Debido a la falta de laboratorios normadas para la elaboración de este tipo de ensayo, no se realizó este laboratorio para elemento columna, tanto bajo efecto del azúcar como aditivo retardante en el hormigón como sin la aplicación algún tipo de aditivo en el hormigón, únicamente se realizó para elementos viga bajo la acción del azúcar blanca como aditivo retardante en el hormigón, por las consideraciones empíricas en las que se trabajó.

### 3. PRESENTACIÓN Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS TEÓRICOS-EXPERIMENTALES, DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES MUESTREADOS

Como se ha mencionado anteriormente, se realizaron pruebas experimentales de elementos estructurales (viga y columna) con azúcar blanca como aditivo retardante en el hormigón y sin la aplicación de ningún tipo de aditivo. Según la resistencia o esfuerzo analizado, se realizaron cantidades de pruebas de los mismos. Se realizaron 3 especímenes de pruebas para cada elemento estructural.

#### 3.1. Vigas

A continuación, se presentan los datos iniciales y los elementos de las vigas.

Tabla II. Datos iniciales, elementos vigas

<b>Viga sin aditivo</b>	<b>Peso propio (lb)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>L (cm)</b>
1	335,50	15,00	25,00	200,00
2	331,00	15,00	25,00	200,00
3	329,75	15,00	25,00	200,00
<b>Viga con aditivo</b>	<b>Peso propio (lb)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>L (cm)</b>
1	324,00	15,00	25,00	200,00
2	330,50	15,00	25,00	200,00
3	325,00	25,00	15,00	200,00

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.1. Ensayo a flexión

A continuación, se describen y presentan los ensayos de flexión.

#### 3.1.1.1. Sin aplicación de aditivo

A continuación, se presentan los datos de ensayos a flexión de vigas sin aplicación de aditivo.

Tabla III. **Datos ensayos a flexión de vigas sin aplicación de aditivo**

<b>Viga sin aditivo</b>	<b>A (Gato Hidr.) (in<sup>2</sup>)</b>	<b>F. Gato Hidra. (PSI)</b>	<b>Fuerza Axial (lbs)</b>	<b>Fuerza (1er Fisura) (lbs)</b>
1	5,16	350,00	774,00	150,00
2	11,04	200,00	1 656,00	150,00
3	11,04	200,00	1 656,00	150,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Resultados ensayo a flexión de vigas sin aplicación de aditivo**

<b>Viga sin aditivo</b>	<b>Tamaño grieta (cm)</b>	<b>fr = PL/bh<sup>2</sup> (PSI)</b>	<b>fr (Ton/m<sup>2</sup>)</b>
1	1,70	106,53	74,90
2	1,80	227,92	160,25
3	1,70	227,92	160,25

Fuente: elaboración propia.

#### 3.1.1.2. Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón

A continuación, se presentan los datos de ensayos a flexión de vigas con azúcar como aditivo retardante en el hormigón.

Tabla V. **Datos ensayos a flexión de vigas con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

Viga con aditivo	A (Gato Hidr.) (in <sup>2</sup> )	F. Gato Hidra. (PSI)	Fuerza axial (lbs)	Fuerza (1er Fisura) (lbs)
1	11,04	490,00	1 656,00	150,00
2	11,04	280,00	1 656,00	150,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Resultados ensayo a flexión de vigas sin aplicación de aditivo**

Viga con aditivo	Tamaño grieta (cm)	fr = PL/bh <sup>2</sup> (PSI)	fr (Ton/m <sup>2</sup> )
1	1,70	227,92	160,25
2	1,80	227,92	160,25

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2. Ensayo a corte

A continuación, se describen los ensayos a corte sin aplicación de aditivo.

#### 3.1.2.1. Sin aplicación de aditivo

A continuación, se presentan los datos de ensayo a corte de vigas sin aplicación de aditivo.

Tabla VII. **Datos ensayo a corte de vigas sin aplicación de aditivo**

<b>Viga sin aditivo</b>	<b>A (Gato Hidr.) (in<sup>2</sup>)</b>	<b>F. Gato Hidra. (PSI)</b>	<b>F. Gato Hidra. Último (PSI)</b>
1	11,04	400,00	1 000,00
2	11,04	350,00	1 000,00

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Resultados ensayo a corte de vigas sin aplicación de aditivo**

<b>Viga sin aditivo</b>	<b>Cortante máximo (lbs)</b>	<b>Cortante último (lbs)</b>	<b>Cortante máximo (Ton)</b>	<b>Cortante último (lbs)</b>
1	4 416,00	11 040,00	2,01	5,01
2	3 864,00	11 040,00	1,75	5,01

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.2.2. **Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

A continuación, se presentan los datos de ensayo a corte de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón.

Tabla IX. **Dato ensayo a corte de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

<b>Viga con aditivo</b>	<b>A (Gato Hidr.) (in<sup>2</sup>)</b>	<b>Gato hidra. (PSI)</b>	<b>Gato hidra. último (PSI)</b>
1	11,04	500,00	1 000,00

Fuente: elaboración propia.



Tabla X. **Resultado ensayo a corte de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

<b>Viga con aditivo</b>	<b>Cortante máximo (lbs)</b>	<b>Cortante último (lbs)</b>	<b>Cortante máximo (lbs)</b>	<b>Cortante último (lbs)</b>
1	5 520,00	11 040,00	2,51	5,01

Fuente: elaboración propia.

### 3.1.3. Ensayo a torsión

A continuación, se describen y presentan los ensayos a torsión.

#### 3.1.3.1. Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón

A continuación, se presentan los datos de ensayo a torsión de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón.

Tabla XI. **Datos de ensayo a torsión de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

<b>Viga con aditivo</b>	<b>Peso propio (lb)</b>	<b>A (Gato hidr.) (in<sup>2</sup>)</b>	<b>Gato hidra. (PSI)</b>
VIGA 3	325,00	0,99	3 500

Fuente: elaboración propia.

Tabla XII. **Resultado de ensayo a torsión de viga con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

<b>Viga con aditivo</b>	<b>Fuerza cortante (lbs)</b>	<b>Fuerza cortante (Ton)</b>
Viga 3	3 465,00	1,57

Fuente: elaboración propia.

### 3.2. Columnas

A continuación, se presentan los datos iniciales de elementos de columnas.

Tabla XIII. **Datos iniciales elementos columnas**

<b>Columnas sin aditivo</b>	<b>Peso propio (lb)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>L (cm)</b>
1	152,50	15	15	150
2	203	15	15	200
3	204,00	15	15	200
4	151	15	15	150
<b>Columna con aditivo</b>	<b>Peso propio (lb)</b>	<b>b (cm)</b>	<b>h (cm)</b>	<b>L (cm)</b>
1	149,50	15	15	150
2	200	15	15	200
3	202	15	15	200
4	149,5	15	15	150
Columna 1 y 4 = columna corta				
Columna 2 y 3 = columna esbelta				

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.1. Ensayo a compresión (axial)**

A continuación, se describen los ensayos a compresión (axial).

#### **3.2.1.1. Sin aplicación de aditivo**

A continuación, se presentan los resultados de ensayo a compresión de columnas sin aplicación de aditivo.

Tabla XIV. **Resultados de ensayo a compresión de columnas sin aplicación de aditivo**

<b>Columnas sin aditivo</b>	<b>Fuerza axial (lbs)</b>	<b>Fuerza axial (Ton)</b>
1	46,500	21,12
2	54,500	24,75
3	55,000	24,98
4	37,000	16,80

Fuente: elaboración propia.

#### **3.2.1.2. Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

A continuación, se presentan los resultados de ensayo a compresión de columnas con azúcar como aditivo retardante en el hormigón.

Tabla XV. **Resultados de ensayo a compresión de columnas con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

<b>Columna con aditivo</b>	<b>Fuerza axial (lbs)</b>	<b>Fuerza axial (Ton)</b>
1	57.500	26,11
2	58.500	26,57
3	57.500	26,11
4	58.500	26,57

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.2. Ensayo a corte**

A continuación, se describen los ensayos a corte sin aplicación de aditivo.

#### **3.2.2.1. Sin aplicación de aditivo**

A continuación, se presentan los datos y resultados de de ensayo a corte de columna sin aplicación de aditivo.

Tabla XVI. **Dato de ensayo a corte de columna sin aplicación de aditivo**

<b>Columnas sin aditivo</b>	<b>A (Gato hidr.) (in<sup>2</sup>)</b>	<b>F. Gato hidra. (PSI)</b>	<b>F. Gato hidra. último (PSI)</b>
1	11,04	200	700

Fuente: elaboración propia.

Tabla XVII. **Resultado a corte de columnas sin aplicación de aditivo**

<b>Columnas sin aditivo</b>	<b>Cortante máximo (lbs)</b>	<b>Cortante último (lbs)</b>	<b>Cortante máximo (ton)</b>	<b>Cortante último (ton)</b>
1	2208	7 728	1,00	3,51

Fuente: elaboración propia.

### 3.2.2.2. **Con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

A continuación, se presentan los datos y resultados de de ensayo a corte de columna con azúcar como aditivo retardante en el hormigón.

Tabla XVIII. **Dato de ensayo a corte de columna con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

<b>Columnas con aditivo</b>	<b>A (gato hydr.) (in<sup>2</sup>)</b>	<b>F. Gato hidra. (psi)</b>	<b>F. Gato hidra. último (PSI)</b>
1	11,04	500	700

Fuente: elaboración propia.

Tabla XIX. **Resultado de ensayo a corte de columna con azúcar como aditivo retardante en el hormigón**

<b>Columnas con aditivo</b>	<b>Cortante máximo (lbs)</b>	<b>Cortante último (lbs)</b>	<b>Cortante máximo (ton)</b>	<b>Cortante último (ton)</b>
1	5 520	7 728	2,51	3,51

Fuente: elaboración propia.

### 3.3. Comparación de resultados en elementos vigas

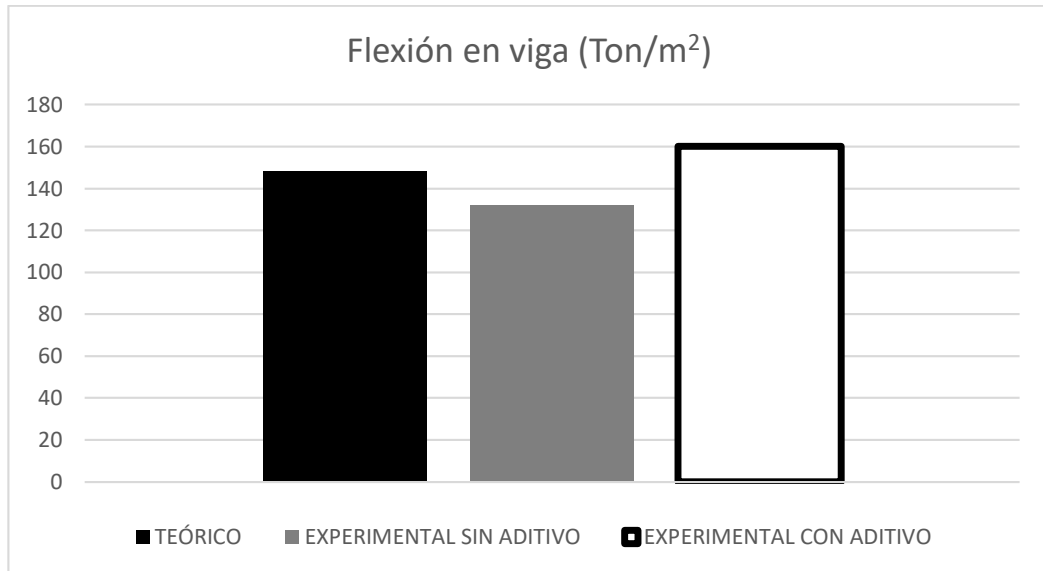
A continuación, se muestra la comparación de resultados teóricos obtenidos en el capítulo 1, con los resultados experimentales para vigas y para columnas en las diferentes resistencias analizadas.

Tabla XX. **Comparación resultados teóricos con experimentales para elementos vigas en sus diferentes resistencias**

<b>Vigas</b>	<b>Teórico</b>	<b>Experimental sin aditivo</b>	<b>Experimental con aditivo</b>	<b>% A/T (aumento)</b>	<b>% A/S (aumento)</b>
<b>Flexión (Ton/m2)</b>	148,38	131,80	160,25	8,00	21,59
<b>Corte máximo (Ton)</b>	2,00	1,88	2,51	25,63	33,33
<b>Corte último (Ton)</b>	2,00	5,01	5,01	151,25	0,00
<b>Torsión (Ton)</b>	0,21	-	1,57	649,32	-

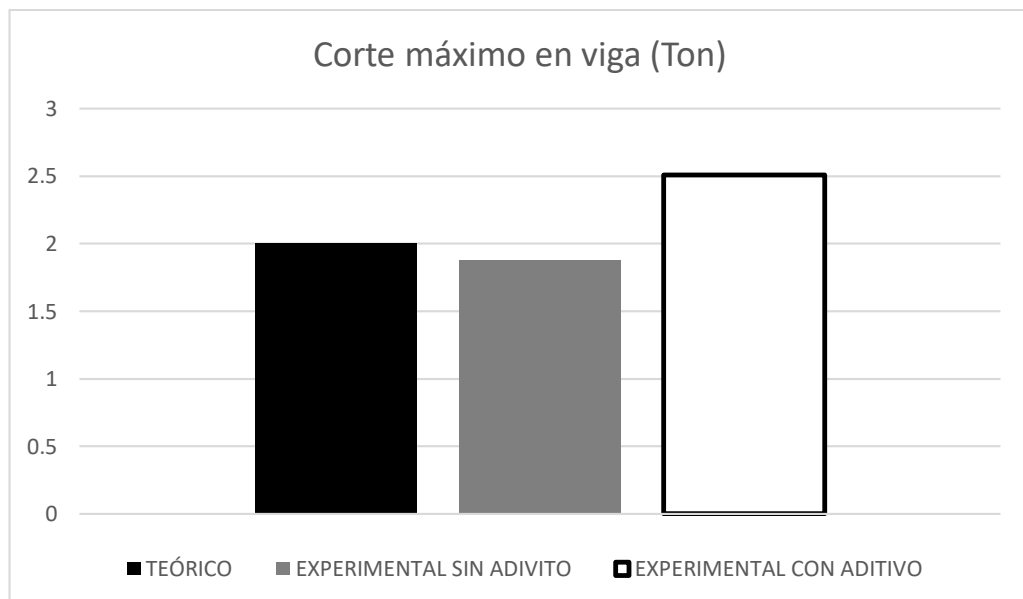
Fuente: elaboración propia.

Figura 50. **Gráfica comparación flexión en elemento viga**



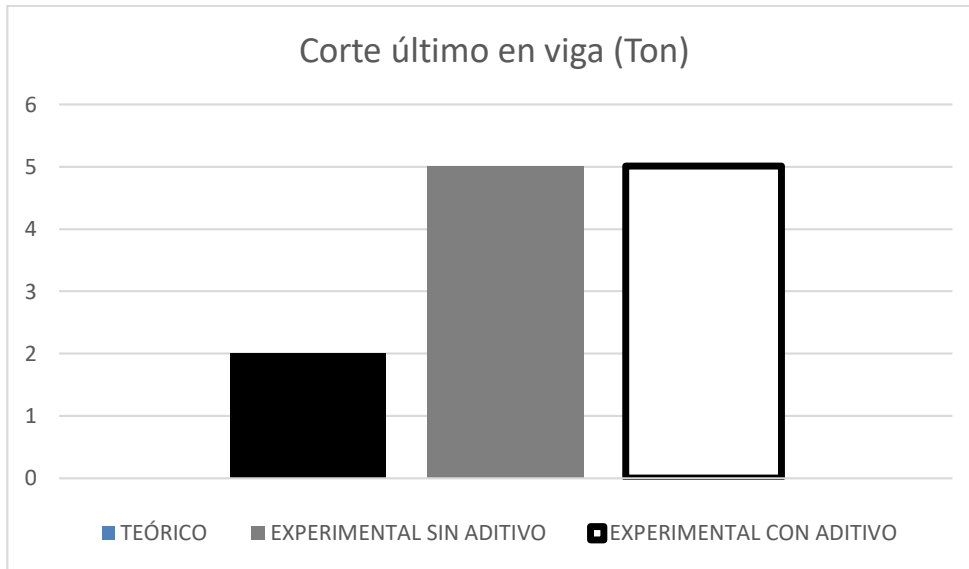
Fuente: elaboración propia.

Figura 51. **Gráfica comparación corte máximo en elemento viga**



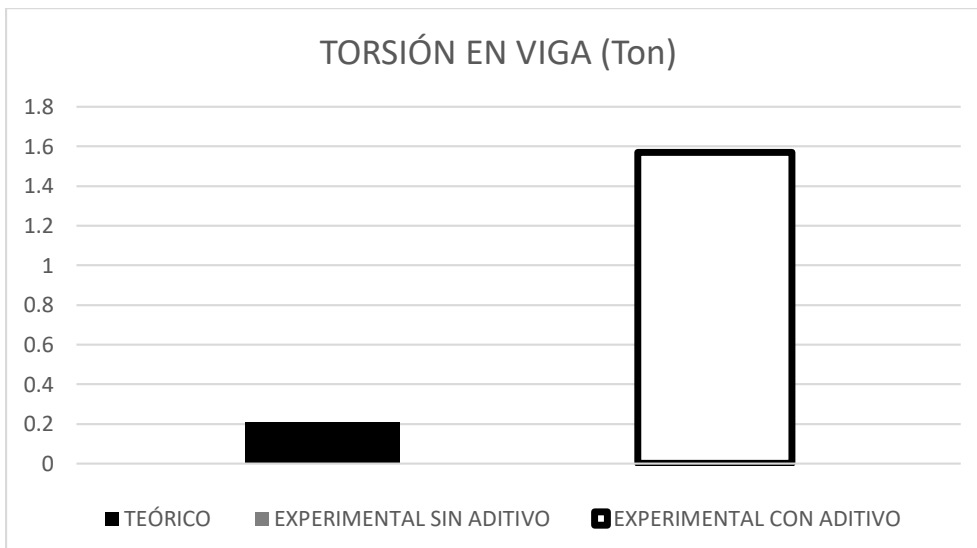
Fuente: elaboración propia.

Figura 52. **Gráfica comparación corte último en elemento viga**



Fuente: elaboración propia.

Figura 53. **Gráfica comparación torsión en elemento viga**



Fuente: elaboración propia.



### 3.4. Comparación de resultados en elementos columnas cortas

A continuación, se presenta la comparación de resultados teóricos con experimentales para elementos columnas cortas en sus diferentes resistencias.

Tabla XXI. **Comparación de resultados teóricos con experimentales para elementos columnas cortas en sus diferentes resistencias**

Columna	Teórico	Experimental sin aditivo	Experimental con aditivo	% A/T (aumento)	% A/S (aumento)
Axial (Ton)	25,47	18,96	26,34	3,42	38,92
Corte máximo (Ton)	3,00	1,00	2,51	-16,44	150,00
Corte último (Ton)	3,00	3,51	3,51	16,98	0,00

Fuente: elaboración propia.

### 3.5. Comparación de resultados en elementos columnas esbeltas

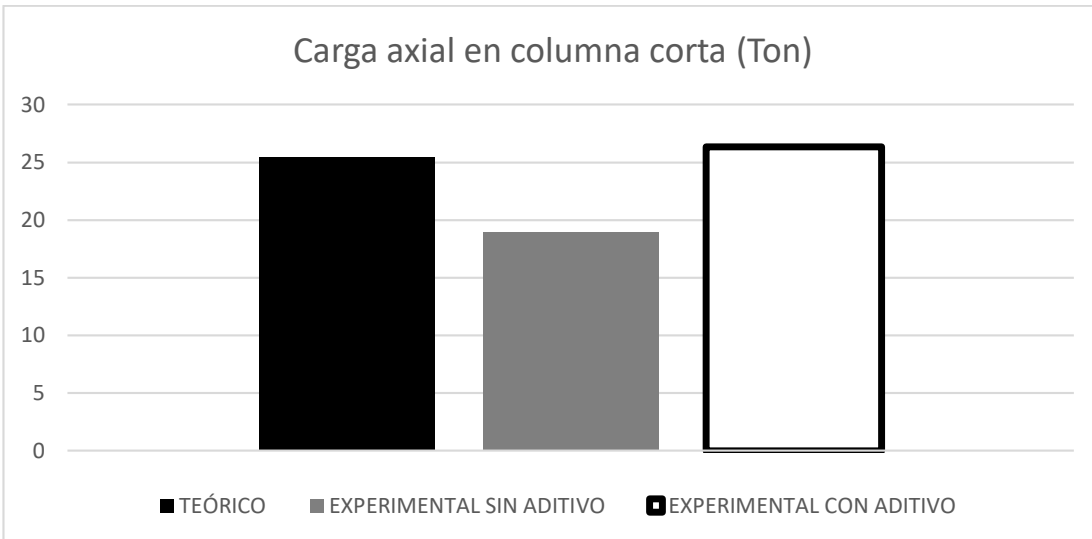
A continuación, se presenta la comparación de resultados teóricos con experimentales para elementos columnas esbeltas en sus diferentes resistencias.

Tabla XXII. **Comparación de resultados teóricos con experimentales para elementos columnas esbeltas en sus diferentes resistencias**

Columna	Teórico	Experimental sin aditivo	Experimental con aditivo	% A/T (aumento)	% A/S (aumento)
Axial (Ton)	14,33	24,86	26,34	83,85	5,94

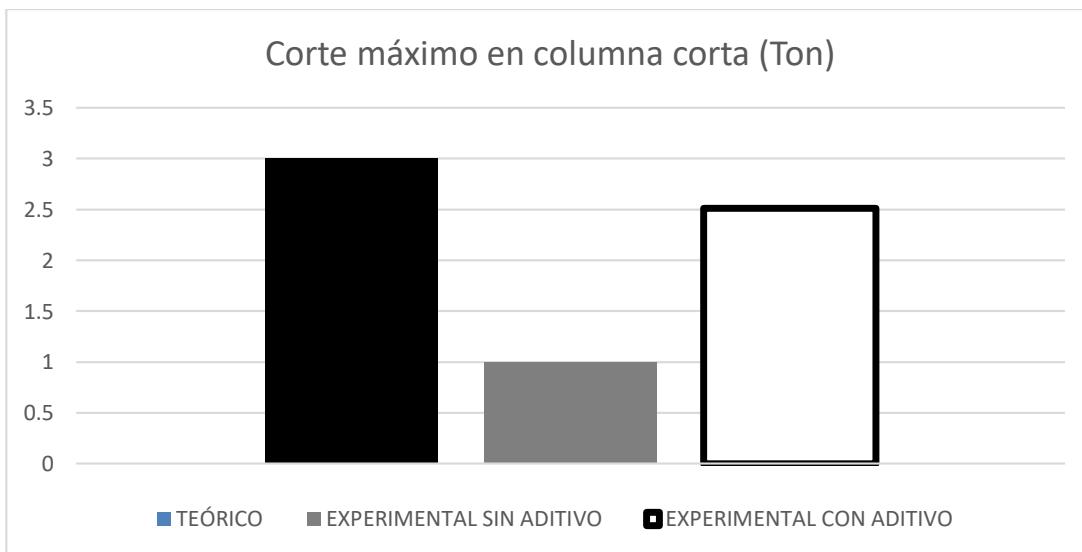
Fuente: elaboración propia.

Figura 54. **Comparación de carga axial en elemento columna corta**



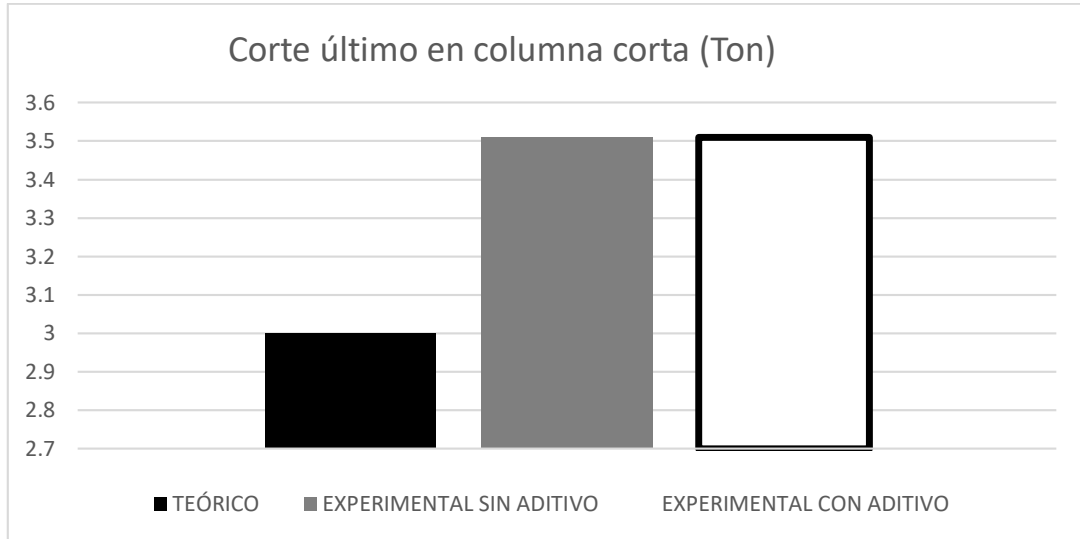
Fuente: elaboración propia.

Figura 55. **Comparación de corte máximo en elemento columna corta**



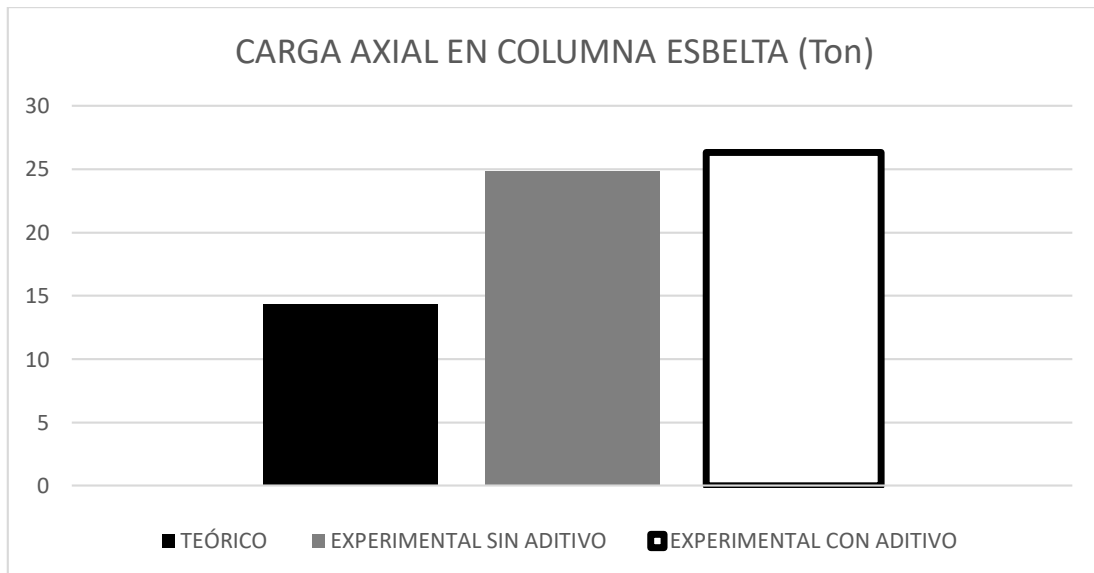
Fuente: elaboración propia.

Figura 56. **Comparación de corte último en elemento columna corta**



Fuente: elaboración propia.

Figura 57. **Comparación de carga axial en elemento columna esbelta**



Fuente: elaboración propia.



## 4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La comparación de los resultados teóricos con los obtenidos mediante los ensayos de laboratorio, tanto con el uso del azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón así como sin su uso, se debe abordar desde el punto de vista donde la fabricación de los elementos estructurales (vigas, columnas) así como de los especímenes de prueba del concreto (cilindros) se ejecutaron mediante condiciones no aptas, sin la certificación de materiales, utilizando cemento puzolánico, mano de obra no especializada, entre otros causantes.

Al momento de evaluar especímenes de concreto reforzado utilizando azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón, con especímenes de concreto reforzado sin utilización de aditivo, un importante cuestionamiento es la reacción del acero con azúcar blanca; debido a lo anterior en relación del análisis de carbonatación se refleja el rango de pH, para un concreto normal varía entre 10 y 13, considerando cierto riesgos en los límites por tema de corrosión; en los cuales para los elemento con azúcar blanca como aditivo dio como resultado del análisis cualitativo (12 pH), y para los elemento sin aplicación de aditivo (11 pH), por lo que se asumen que no genera alguna reacción química en la cual modifique las propiedades del hormigón.

El presente trabajo de graduación pretende ser una continuación del estudio realizado a nivel de licenciatura (Álvarez, 2017); por tanto el diseño, desde los criterios hasta las características de los materiales, y desarrollo de la ejecución del concreto, se fundamenta en el mismo. En comparación con los datos teóricos, se elaboró un hormigón con resistencia a compresión  $f'_c$  de 4000 PSI, el valor experimental de los especímenes con azúcar blanca como aditivo retardante dio

un aumento del 8,33 % en relación a los especímenes sin aplicación de aditivo; y en relación al valor teórico un aumento del 0,08 %. Con respecto a los datos teóricos de la resistencia a tracción o fluencia de las varillas de acero usadas, resulta un valor menor al trabajado. En relación del resultado teórico, se empleó una varilla de grado 40, semejante a 2 800 kg/cm<sup>2</sup>, mientras en función a los datos obtenidos de laboratorio, da como resultado una capacidad a la fluencia de 2 446,56 kg/ cm<sup>2</sup>. Los resultados y datos de la resistencia a compresión de los cilindros de hormigón así como de la capacidad a la fluencia de las varillas de acero de refuerzo, se examinan en el apéndice de este trabajo de graduación.

Los datos obtenidos de elementos vigas, que trabajan sobre todo a flexión, manifestaron un incremento en dicha capacidad del 21,59 % a los que se aplicó azúcar blanca como aditivo retardante en comparación a las vigas que no se le aplicó ningún tipo de aditivo, las cuales se fundieron bajo las mismas condiciones de ambiente y precariedades antes mencionadas; mientras que en relación al valor teórico dio un incremento del 8 % utilizando azúcar blanca como aditivo retardante en comparación con este, según la tabla XX y la figura 50. Se recalca que la resistencia a la flexión de una viga se determina en relación del esfuerzo de ruptura, dicho esfuerzo se distribuye uniformemente en relación a la distancia del eje neutro.

En relación a la capacidad a corte, se examinó y analizó el rango o comportamiento elástico del elemento a estudiar, debido a lo cual el aporte producido por el refuerzo transversal (estribo) se asume nulo; por lo que su principal servicio es el de sustentar la configuración estructural del elemento. Se observó un aumento de los especímenes con azúcar como aditivo del hormigón del 25,63 % respecto al teórico y del 33,33 % en relación del espécimen sin utilización de aditivo según la tabla XX y la figura 51. Estos resultados dicen que el azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón aumenta su rango elástico,

lo cual permite más deformación y absorción de carga hasta llegar a comportamiento inelástico.

La capacidad a torsión en vigas, se ejecutó de manera experimental, por medio de un método empírico, como consecuencia a la inexistencia de equipo y procedimientos normados para su realización, en la cual se fundamenta en su carga cortante, debido a que la presencia de dicho esfuerzo, se fundamenta por medio de la relación de excentricidades y carga cortante.

Este trabajo de graduación se tomará como base para la estructuración de un procedimiento estandarizado por parte del área de prefabricados del CII, para la fabricación de dicho laboratorio en relación con ensayos de torsión a nivel de licenciatura. Dicha capacidad respecto a los datos obtenidos de laboratorio da un incremento respecto a la carga cortante, asumiendo una nula excentricidad. Se realizó únicamente para elementos de vigas con azúcar blanca como aditivo retardante en el hormigón, con un aumento del más del 100 % de la carga cortante actuante para la figuración del elemento según la tabla XX y la figura 53.

Los elementos columna se ejecutaron en relación con la esbeltez, teniendo columnas cortas y columnas esbeltas, por causa de su relación altura-base. La columna es el elemento estructural encargada de transmitir cargas a la cimentación, para lo cual, este elemento trabajó principalmente bajo cargas axiales a compresión; para el análisis teórico de dichas cargas se basó en la relación de carga crítica de Euler y no en la del Código ACI 318S-14, debido a que el código calcula dicha carga en función del armado y sección transversal, mientras que la carga crítica de Euler lo realiza en función de la esbeltez de la columna.

Para columnas cortas, el ensayo bajo compresión o carga axial dio como resultado un aumento de los especímenes con azúcar blanca como aditivo

retardante del hormigón del 38,92 % en comparación a los especímenes sin la aplicación de aditivos, y del 3,42 % en comparación al valor teórico según la tabla XXI y la figura 54. Al analizar la resistencia cortante los especímenes con azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón dio como resultado un aumento del 150% en relación con los especímenes sin aplicación de aditivo para el cortante máximo, y un mismo valor para los cortantes últimos; por lo que, debido al aumento del pH, este incrementa el valor de plasticidad del material y permite mayor deformación en el rango elástico, más no en el inelástico debido a la falla en el punto de carga según la tabla XXI y la figura 55.

Para columnas esbeltas, el ensayo bajo compresión o carga axial dio como resultado un aumento de los especímenes con azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón del 5,94 % en comparación a los especímenes sin la aplicación de aditivos, y del 83,85 % en comparación al valor teórico según la tabla XXII y la figura 57. En relación con el pandeo del elemento, ambos especímenes experimentales tienen a tener un valor parecido debido a que no se llega al punto de carga última por limitantes de la máquina de laboratorio, pero en relación con la variación elástica se dio un incremento considerable el cual genera mayor deformación y absorción de carga.



## CONCLUSIONES

1. La utilización del azúcar blanca en relación a la sección 1,2 de este trabajo de graduación, en proporción del 0,3 % del peso del cemento en el diseño de mezcla para el hormigón, da un aumento en su resistencia a compresión  $f'c$  del 10 % evaluado a los 28 días.
2. Se demostró un aumento considerable de las resistencias a flexión, corte y torsión evaluado, a los 28 días de la fundición de los elementos estructurales, específicamente las vigas, respecto a especímenes de prueba realizados sin la aplicación de aditivo en el hormigón. Para la columna, la utilización del aditivo retardante del hormigón generó un aumento considerable en la resistencia axial a compresión y corte del elemento; de la misma forma comparándolos con los especímenes de prueba realizados sin la aplicación de aditivo en el hormigón.
3. La utilización del azúcar blanca como aditivo retardante en el hormigón da como resultado un aumento en el pH (12) estando en el límite de un concreto de peso normal; por lo que la inclusión de este material como aditivo, no afecta al desarrollo de corrosión a los elementos de concreto reforzado.
4. La utilización de la azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón genera una mayor capacidad de deformación en el rango elástico del material, por lo que la primera fisura del elemento necesita un aumento considerable de su fuerza cortante, esto debido al cambio de pH del elemento.

5. La resistencia última de los materiales no genera cambio a considerar en la utilización de la azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón, demostrándolo en las cargas últimas de las diferentes resistencias.
6. La comparación de resultados teóricos con los resultados experimentales de los especímenes, aplicándoles azúcar blanca como aditivo retardante en el hormigón, no siempre da un parámetro real; ya que en muchos casos, las variables de su proceso constructivo pueden variar, modificando sustancialmente los resultados. Por lo que la comparación idónea sería la realizada entre especímenes con las mismas características y condiciones de fundición, curado y experimentación.
7. El uso del azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón permite trabajar con un valor  $f'_{cr}$  menor, por lo que el valor de  $f'_{c}$  a diseñar disminuye lo que provoca una menor inversión en materiales que llega a valores similares sin la utilización del azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón; esto debido a que dicho material como aditivo genera un aumento en la resistencia a compresión del hormigón  $f'_{c}$ ; el cual, a su vez, genera un aumento en las diferentes resistencias evaluadas, ya que dichas resistencias se encuentran en función de la resistencia a compresión del hormigón  $f'_{c}$ .
8. En los especímenes de concreto armado con azúcar blanca como aditivo retardante del hormigón, el tiempo de fraguado tuvo un aumento considerable del triple del tiempo de fraguado de concretos sin aplicación de aditivos.

## RECOMENDACIONES

1. Es necesario que al realizar y utilizar este aditivo retardante, sea autorizado y controlado por el ingeniero residente del proyecto, realizando pruebas de laboratorio, antes de la aplicación a la fundición de elementos.
2. Mantener una continua investigación y evaluación de los testigos, a edades más largas de fraguado (3, 6 y 12 meses) para verificar, analizar y determinar el comportamiento de los elementos en función de este aditivo retardante en el hormigón, comparándolo con el comportamiento obtenido a los 28 días.
3. Para optimizar resultados en pruebas de laboratorio y ejecución física, se recomienda utilizar materiales certificados (cemento portland, varillas de acero de refuerzo, entre otros), así como un correcto procedimiento de curado de los mismos para conservar la humedad en dichos elementos hasta la edad de diseño deseada.



## REFERENCIAS

1. ACI, I. A. (2014). *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14)*. Recuperado de [https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci\\_318s\\_14\\_en\\_espanol.pdf](https://civilshare.files.wordpress.com/2016/07/aci_318s_14_en_espanol.pdf)
2. Álvarez, J. C. (2017). *Azúcar como aditivo retardante y modificador de resistencia para mezclas de concreto*. (Tesis de licenciatura). Universidad de san Carlos de Guatemala, Guatemala.
3. Barreros, J. (2014). *Sistemas constructivos I*. Recuperado de <https://sites.google.com/site/bi2tdlc1arq5/sistemas-constructivos>
4. Campos, M. (2016). *Apuntes de concreto 1*. Recuperado de <https://es.slideshare.net/jcarlos2504/apuntes-de-concreto-1>
5. Choque, W. (2016). *Concreto armado*. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/326167423/CONCRETO-ARMADO-2016>
6. Gálvez, E. O. (2014). *Comportamiento del concreto reforzado en vigas bajo efectos de torsión basado en ACI 318-08*. (Tesis de Licenciatura) Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
7. García, A. B. (2005). *Consideraciones generales sobre concreto reforzado*. (Tesis de licenciatura). Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.

8. González, Ó. y Fernández, R. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*. Distrito Federal, México: LIMUSA.
9. Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Recuperado de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disenodeestructurasdeconcretoharmsen.pdf>
10. Herrera, J. A., Aristizabal, F. V. y Osorio, J. A. (2007). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/943/11634>
11. Huelva, M., Jiménez, P., Torroja, E., y Alonso, D. (Junio de 2007). Estrategias para evaluar estructuras de hormigón armado con patologías por falta de adherencia. *Equipo de colaboradores y profesionales de la revista ARQHYS.com.*, (Volumen 1). 1-21 pp.
12. JGPIGH. (2014). *El hormigón que conoció el azúcar*. Recuperado de <https://todosigueigual.wordpress.com/2014/02/28/el-hormigon-que-conocio-el-azucar/>
13. Magaña, Á. (2016). *Diseño de concreto reforzado*. México: Instituto Tecnológico de Villa Hermosa.
14. Martínez, J. y Guerrero, P. (2004). *Fundamentos de concreto reforzado*. Recuperado de [https://www.academia.edu/35237292/FUNDAMENTOS\\_DE\\_CONCRETO\\_REFORZADO\\_TEXTO\\_FACULTAD\\_DE\\_INGENIERIA\\_N%C3%BAmero\\_y\\_L%C3%ADnea](https://www.academia.edu/35237292/FUNDAMENTOS_DE_CONCRETO_REFORZADO_TEXTO_FACULTAD_DE_INGENIERIA_N%C3%BAmero_y_L%C3%ADnea)

15. McCormac, J. y Brown, R. (2011). *Diseño de concreto reforzado*. México: Alfaomega.
16. Mendoza, J. L. (2015). *Influencia del azúcar como aditivo natural en la resistencia a compresión axial el tiempo de fraguado en los morteros de la ciudad de Cajamarca*. (Tesis de Licenciatura), Universidad Privada del Norte. Cajamarca, Perú.
17. Molina H, M., Gutiérrez J, J., y García A, M. (2007). *Estrategias para evaluar estructuras de hormigón armado con patologías por falta de adherencia*. (Tesis de Doctorado). Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, UPM, España.
18. Nilson, A. (1995). *Diseño de estructuras de concreto*. Ciudad de México, México: McGraw-Hill.
19. Ospina, M. A. (2016). *Estimación del efecto de las fibras metálicas sobre la resistencia a la flexión de vigas de concreto, mediante la técnica de velocidad de pulso ultrasónico*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.
20. Paricagúan, B. M. (2015). *Contribución al estudio del comportamiento mecánico y fisicoquímico del concreto reforzado con fibras naturales de coco y bagazo de caña de azúcar para su uso en construcción*. (tesis de Licenciatura). Universidad de Carabobo. Valencia, Venezuela.

21. Rodríguez, J., Ramírez, R. y Merino, O. (s.f.). *Investigación experimental del efecto del azúcar en el concreto*. Recuperado de [http://www.smie.org.mx/SMIE\\_Articulos/co/co\\_06/te\\_03/ar\\_03.pdf](http://www.smie.org.mx/SMIE_Articulos/co/co_06/te_03/ar_03.pdf)
22. Saraz, J. A., Aristizabal, F. V., y Mejía, J. A. (2007). *Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar*. (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
23. Sotolongo, R. Gayoso, R. Calvez, M. (1993). *Contribución al estudio de la sacarosa como aditivo retardador de la hidratación del cemento*. Recuperado de file:///C:/Users/casa/Downloads/682-813-2-PB.pdf



## APÉNDICES

### Apéndice 1. Cilindros de hormigón

Resultados de laboratorio de resistencia a compresión de cilindros normados de hormigón.

- Datos iniciales de especímenes de cilindros

<b>Cilindros sin aditivo</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Altura (in)</b>
1	6	12
2	6	12
3	6	12
<b>Cilindros con aditivo</b>	<b>Diámetro (in)</b>	<b>Altura (in)</b>
1	6	12
2	6	12
3	6	12

- Ensayo a compresión en cilindros:
  - Sin aplicación de aditivo
- Datos de ensayo a compresión en cilindros de hormigón sin aplicación de aditivo

<b>Cilindros sin aditivo</b>	<b>A (Gato Hidr.) (in<sup>2</sup>)</b>	<b>F. Gato hidra. (PSI)</b>	<b>Área (in<sup>2</sup>)</b>
1	11,04	4 000	11,95
2	11,04	4 000	11,95
3	11,04	4 000	11,95

Continuación del apéndice 1.

- Resultados de ensayo a compresión en cilindros de hormigón sin aplicación de aditivo

Cilindros sin aditivo	Fuerza (lb)	f'c PSI
1	44 160	3 695,40
2	44 160	3 695,40
3	44 160	3 695,40

- Datos de ensayo a compresión de cilindros de hormigón con azúcar como aditivo retardante

Cilindros con aditivo	A (Gato Hidr.) (in <sup>2</sup> )	F. Gato Hidra. (PSI)	Área (in <sup>2</sup> )
1	11,04	4 500	11,95
2	11,04	4 500	11,95
3	11,04	4 000	11,95

- Resultados de ensayo a compresión de cilindros de hormigón con azúcar como aditivo retardante

Cilindros con aditivo	Fuerza (lb)	f'c PSI
1	49 680	4 157,32
2	49 680	4 157,32
3	44 160	3 695,40

Continuación del apéndice 1.

Tabla XXIII. **Comparación de resultados teóricos con experimentales de cilindros de hormigón**

Cilindros	Teórico	Cilindros sin aditivo	Cilindros con aditivo	% A/T (aumento)	% A/S (aumento)
f'c PSI	4 000	3 695,40	4 003,35	0,08	8,33

Fuente: elaboración propia.

## Apéndice 2. **Varillas de refuerzo**

Resultados de laboratorio de resistencia a tensión de varillas de refuerzo de acero.

- Datos de ensayo a tensión de varillas de acero de refuerzo

Clasificación	2-10		3-10		4-10	
Diámetro (mm)	5,95	6,12	6,12	6,22	6,02	6,02
Diámetro promedio (mm)	6,04		6,17		6,02	
Peso (kg)	0,220		0,220		0,220	
Longitud (m)	1,000		1,001		0,999	
% elongación (20cm)	17		21		15	
Punto cedente (kg)	700		675		750	
Carga máxima (kg)	1 010		1 000		1 060	
Identificación	Lisa		Lisa		Lisa	
Área (cm <sup>2</sup> )	0,29		0,30		0,28	

Continuación del apéndice 2.

- Resultados de ensayo a tensión en varillas de acero de refuerzo

Clasificación	2-10	3-10	4-10
Esfuerzo Cedente kg/cm <sup>2</sup>	2 447,11	2 257,58	2 634,99
Esfuerzo Cedente Mpa	240,06	221,47	258,49
Esfuerzo Máximo kg/cm <sup>2</sup>	3 530,83	3 344,57	3 724,11
Esfuerzo Máximo Mpa	346,37	328,10	365,34


- Comparación de resultados teóricos con experimentales en varillas de acero de refuerzo

<b>Varillas</b>	<b>Teórico</b>	<b>Experimental</b>
Fy (kg/cm <sup>2</sup> )	2 800	2 446,56



Fuente: elaboración propia.

## ANEXOS

### Anexo 1. Ensayo a tensión en barras lisas



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

O.T. No. 40198 INTERESADO: ING. JOSÉ ESTUARDO GALINDO ESCOBAR PROYECTO: MAESTRIA TRABAJO DE GRADUACION 'INVESTIGACION SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIAS DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO REFORZADO CON AZUCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL HORMIGÓN' ASUNTO: ENSAYO DE TENSION EN BARRAS DE ACERO. FECHA: GUATEMALA, 23 DE OCTUBRE DE 2019.	INFORME No. 225-M
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------

**ANTECEDENTES**

El estudiante José Estuardo Galindo Escobar, CARNE No. 201212794, de la Maestría de Estructuras de la Escuela de Estudios de Posgrado, solicita a este Centro de Investigaciones de Ingeniería que se realice, ensayo de tensión en 03 barras de acero lisas. los ensayos en cuestión son parte del trabajo de tesis, "INVESTIGACIÓN SOBRE EL COMPORTAMIENTO DE RESISTENCIA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES (VIGA Y COLUMNA) DE CONCRETO REFORZADO CON AZUCAR COMO ADITIVO RETARDANTE DEL HORMIGÓN".

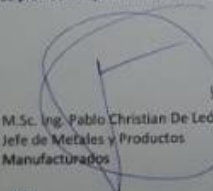



**RESULTADOS**

Ensayo a tensión en barras lisas

No.	Peso kg/m	Diámetro mm	Área cm <sup>2</sup>	Esfuerzo cedente Mpa	Esfuerzo Máximo Mpa	% elongación en 20 cm
2	0.220	6.04	0.29	240.06	346.37	17
3	0.220	6.17	0.30	221.47	328.10	21
4	0.220	6.02	0.28	258.49	365.34	15

Datos calculados sobre el peso por unidad de longitud.  
 Observación: se acepta una tolerancia de 4% por debajo de la masa unitaria nominal de la barra.  
 \*Las especificaciones utilizadas en los presentes ensayos son de la Norma ASTM A-633.


Atentamente,

 <p>M.Sc. Ing. Pablo Christian De León Jefe de Metales y Productos Manufacturados /cbr</p>		 <p>Vo.Bo. Inga. Telma Marcela Cano Morales DIRECTORA C.I.I.</p>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------


FACULTAD DE INGENIERÍA - USAC  
 Edificio Emilio Beltrama, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Fax 2418-8000 Ext. 86253 y 86252  
 Página web: http://cii.usac.edu.gt

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 2. Generalidades ensayo de columnas y vigas



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



---

INFORME No. ECV 15/11/2019

**INTERESADO:** ING. JOSÉ GALINDO  
**ASUNTO:** ENSAYO DE COLUMNAS Y VIGAS  
**FECHA:** 15/11/2019

**GENERALIDADES**

El interesado solicitó los servicios de la Sección de Estructuras del CII para realizar los ensayos de compresión y corte a columnas, con sección de 225 cm<sup>2</sup> y longitudes de 150 cm y 200 cm; flexión, corte y torsión a vigas, con sección de 375 cm<sup>2</sup> y longitudes de 200 cm. Con el objetivo de comparar el comportamiento de cada elemento con y sin aditivo.

**ENSAYOS DE COLUMNAS**

**ENSAYO DE COLUMNAS A COMPRESIÓN**

**DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO**

El ensayo se realiza colocando la columna en posición vertical, en un marco de carga con capacidad de 150,000 lb. Se le aplica carga en orientación normal al eje longitudinal de la columna a una velocidad constante, observando su comportamiento, hasta llevarlo al punto de ruptura.



Página 1 de 17

---

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121, Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

### Anexo 3. Esquema del equipo utilizado

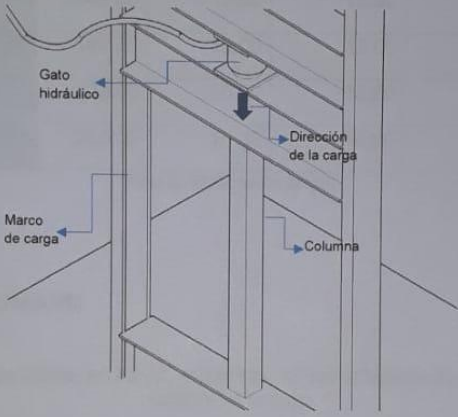
 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA 

---

INFORME No. ECV 15/11/2019

**ESQUEMA DEL EQUIPO UTILIZADO EN EL ENSAYO**

**Figura 1.** Esquema general del ensayo de columna a compresión.



Fuente: Elaboración propia, utilizando programa de AutoCAD 2015.

**DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS**

**Tabla 1.** Datos de columnas sin aditivo

	Peso (lb)	Base (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)
Columna 1	152.50	15.00	15.00	150.00
Columna 2	151.00	15.00	15.00	150.00
Columna 3	204.00	15.00	15.00	200.00
Columna 4	203.00	15.00	15.00	200.00

Fuente: Elaboración propia.



Página 2 de 17

---

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 4. Datos de los ensayos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

INFORME No. ECV 15/11/2019

**Tabla 2.** Datos de columnas con aditivo.

	Peso (lb)	Base (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)
Columna 1	149.50	15.00	15.00	150.00
Columna 2	149.50	15.00	15.00	150.00
Columna 3	202.00	15.00	15.00	200.00
Columna 4	200.00	15.00	15.00	200.00

Fuente: Elaboración propia.

**DATOS DEL ENSAYO**

**Tabla 3.** Carga última, en libras, soportada por las columnas sin y con aditivo, durante el ensayo.

	Sin aditivo	Con aditivo
Columna 1	46,500.00	57,500.00
Columna 2	37,000.00	58,500.00
Columna 3	55,000.00	57,500.00
Columna 4	54,500.00	58,500.00

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del ensayo.

Página 3 de 17

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).



## Anexo 5. Cálculos



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME No. ECV 15/11/2019

### CÁLCULOS

Tabla 4. Carga crítica de Euler para columnas sin aditivo.

	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4
Área (cm <sup>2</sup> )	225.00	225.00	225.00	225.00
r (cm)	4.50	4.50	4.50	4.50
L/r	33.33	33.33	44.44	44.44
f'c	78.35	78.35	78.35	78.35
E	133658.46	133658.46	133658.46	133658.46
I	4218.75	4218.75	4218.75	4218.75
(IE) <sub>eff</sub>	98677533.74	98677533.74	98677533.74	98677533.74
L <sub>eff</sub>	150.00	150.00	200.00	200.00
Pc (Euler)	43284.81	43284.81	24347.71	24347.71
Pensayo	21136.36	16818.18	25000.00	24772.73

Fuente: Elaboración propia.

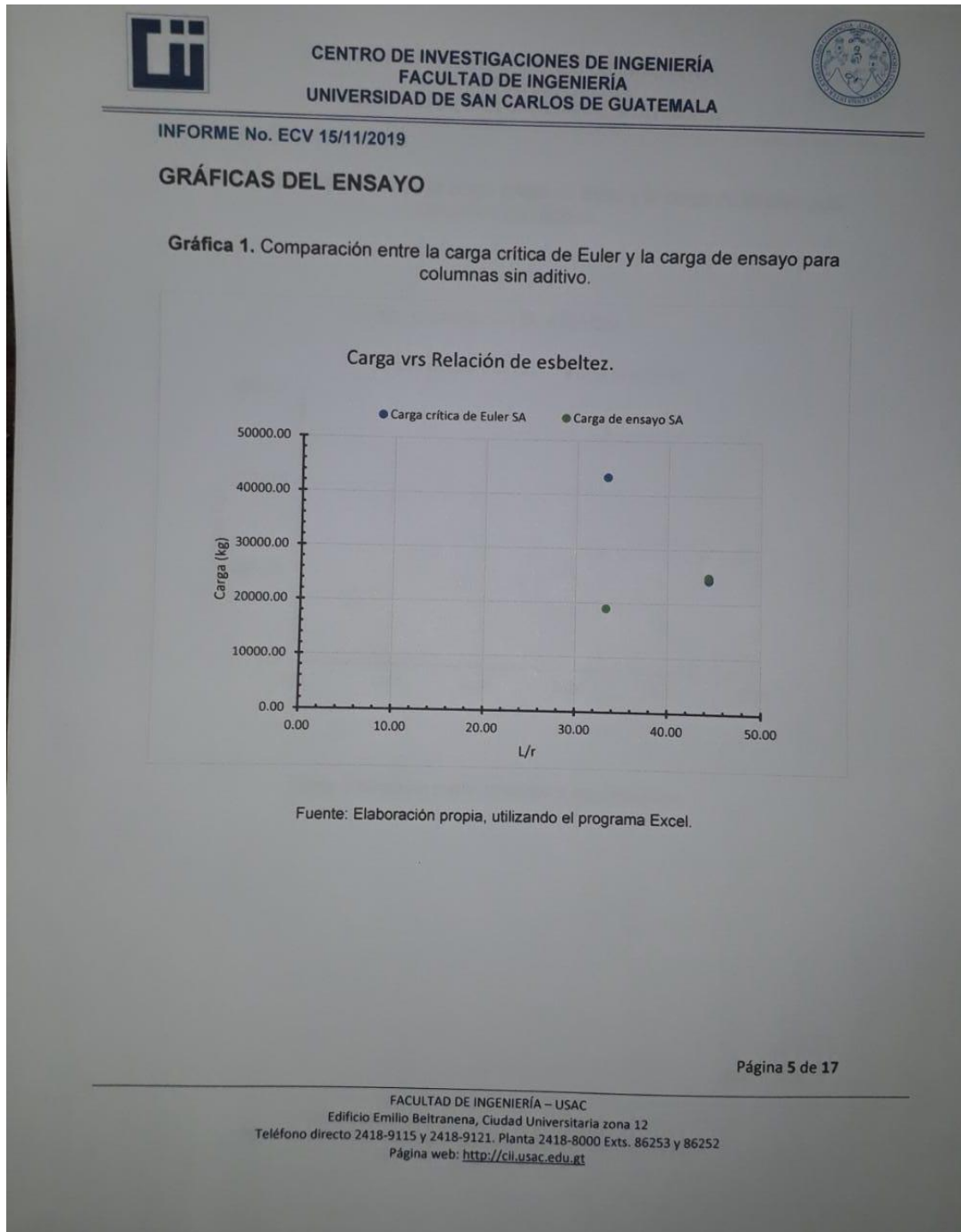
Tabla 5. Carga crítica de Euler para columnas con aditivo.

	Columna 1	Columna 2	Columna 3	Columna 4
Área (cm <sup>2</sup> )	225,00	225,00	225,00	225,00
r (cm)	4,50	4,50	4,50	4,50
L/r	33,33	33,33	44,44	44,44
f'c	118,44	118,44	118,44	118,44
E	164333,52	164333,52	164333,52	164333,52
I	4218,75	4218,75	4218,75	4218,75
(IE) <sub>eff</sub>	121324353,43	121324353,43	121324353,43	121324353,43
L <sub>eff</sub>	150,00	150,00	200,00	200,00
Pc (Euler)	53218,82	53218,82	29935,58	29935,58
Pensayo	26136,36	26590,91	26136,36	26590,91

Fuente: Elaboración propia.

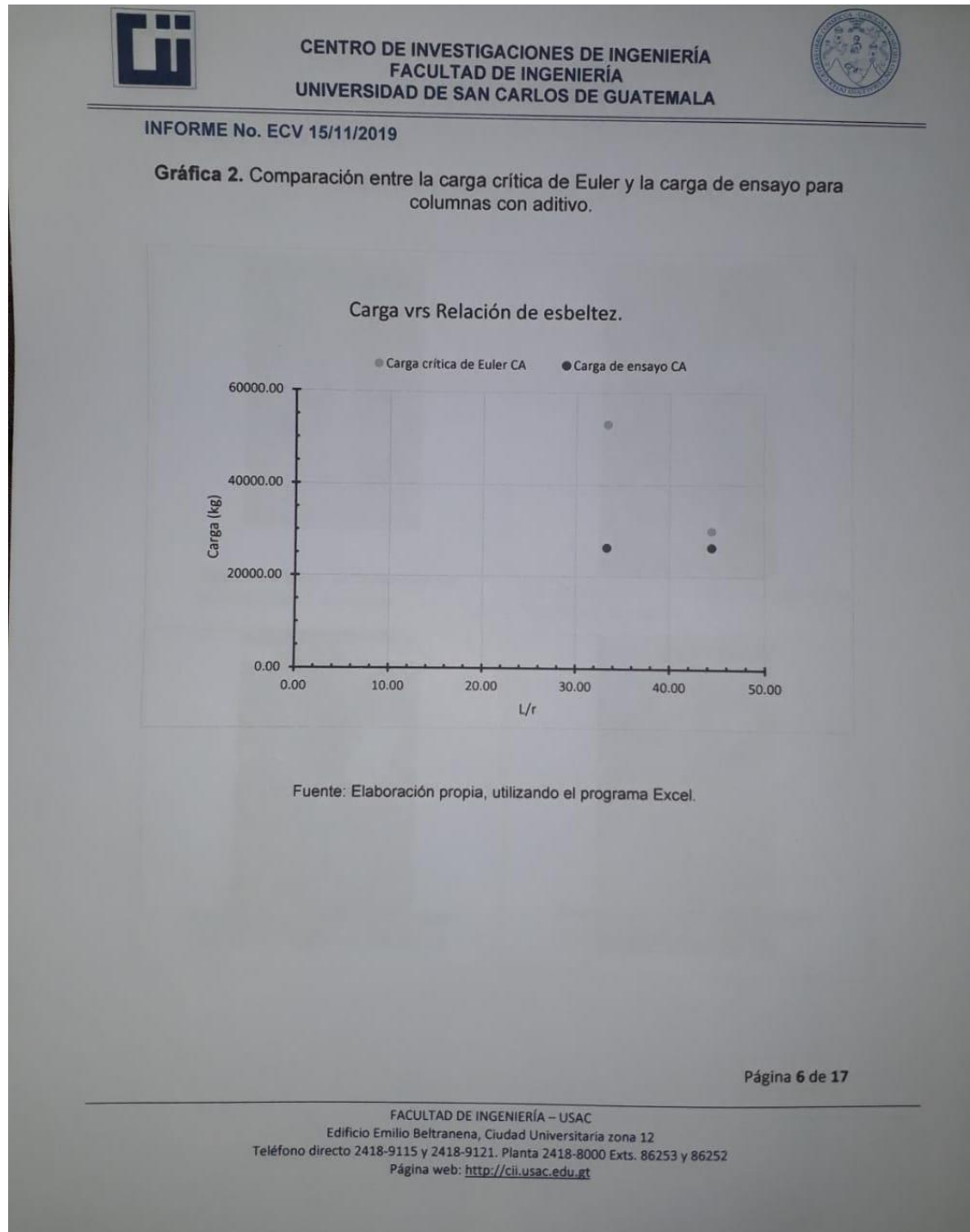
Página 4 de 17

## Anexo 6. Gráficas del ensayo



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 7. Gráficas del ensayo



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 8. Fallas de columnas

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

INFORME No. ECV 15/11/2019

**FOTOGRAFÍAS DE LAS FALLAS DE COLUMNAS**



	
Desconchamiento en la parte inferior de la columna 1, sin aditivo.	Desconchamiento en la parte superior de la columna 2, sin aditivo.
	
Desconchamiento en la parte superior de la columna 3, sin aditivo.	Desconchamiento en la parte inferior de la columna 4, sin aditivo.

Página 7 de 17




FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 9. Falla en columnas

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

INFORME No. ECV 15/11/2019

	
Desconchamiento en la parte inferior de la columna 1, con aditivo.	Desconchamiento en la parte intermedia de la columna 3, sin
	
Desconchamiento en la parte inferior de la columna 2, sin aditivo.	


Fuente: Área de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Página 8 de 17


FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 10. Ensayo de columnas a corte



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



---

INFORME No. ECV 15/11/2019

### ENSAYO DE COLUMNAS A CORTE

#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se realizó colocando la columna en posición horizontal, empotrada en un extremo permitiendo así la aplicación de la carga, paralela a la sección de la viga, en el extremo libre, provocando un esfuerzo de corte. La carga fue aplicada utilizando un gato hidráulico ENERPAK RC506 con un área de 11.04 plg<sup>2</sup>.

#### DATOS DEL ENSAYO

**Tabla 6.** Carga de primera fisura y carga última.

	Área de gato (plg <sup>2</sup> )	Carga primera fisura (psi)	Carga última (psi)
Col. sin aditivo	11.04	200.00	700.00
Col. con aditivo	11.04	500.00	700.00

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del ensayo.

#### CÁLCULOS

**Tabla 7.** Carga a primera fisura y carga última aplicada durante el ensayo.

	Carga primera fisura (kg)	Carga última (kg)
Col. sin aditivo	1036.36	3627.27
Col. con aditivo	2590.91	3627.27

Fuente: Elaboración propia.


Página 9 de 17

---


FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 11. Ensayo de vigas a flexión



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



---

INFORME No. ECV 15/11/2019

### ENSAYO DE VIGAS

#### ENSAYO DE VIGAS A FLEXIÓN

#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se realizó colocando la viga en posición horizontal, sobre apoyos en los extremos, separados una longitud determinada. La carga se aplicó a una velocidad constante al centro de la luz libre utilizando un gato hidráulico ENERPAK RC506 (área de 11.04 plg<sup>2</sup>) durante este proceso de carga se registra cualquier indicio de falla y se aumenta la carga hasta llevarlo al punto de ruptura.

#### DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

**Tabla 8. Datos de vigas sin aditivo**

	Peso (lb)	Base (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)
Viga 1	335.50	15.00	25.00	200.00
Viga 2	331.00	15.00	25.00	200.00
Viga 3	329.75	15.00	25.00	200.00

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 9. Datos de vigas con aditivo.**

	Peso (lb)	Base (cm)	Altura (cm)	Longitud (cm)
Viga 1	324.00	15.00	25.00	200.00
Viga 2	330.50	15.00	25.00	200.00
Viga 3	325.00	25.00	15.00	200.00

Fuente: Elaboración propia.


Página 10 de 17

---


FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 12. Datos del ensayo a vigas



**CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



---

INFORME No. ECV 15/11/2019

**DATOS DEL ENSAYO**

**Tabla 10. Vigas sin aditivo.**

	Área de gato (plg <sup>2</sup> )	Carga (psi)	Carga (psi) primera fisura	Longitud de fisura (cm)
Viga 1	5.16	350.00	150.00	1.70
Viga 2	11.04	200.00	150.00	1.80
Viga 3	11.04	200.00	150.00	1.70

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del ensayo.

**Tabla 11. Vigas con aditivo.**

	Área de gato (plg <sup>2</sup> )	Carga (psi)	Carga (psi) primera fisura	Longitud de fisura (cm)
Viga 1	11.04	490.00	150.00	1.70
Viga 2	11.04	280.00	150.00	1.80

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del ensayo.

**CÁLCULOS**

**Tabla 12. Módulo de ruptura de vigas.**

	Sin aditivo		Con aditivo	
	Carga (kg)	Módulo de ruptura (PL/bh <sup>2</sup> ) [kg/cm <sup>2</sup> ]	Carga (kg)	Módulo de ruptura (PL/bh <sup>2</sup> ) [kg/cm <sup>2</sup> ]
Viga 1	820.91	17.51	2686.18	26.05
Viga 2	1003.64	9.73	1405.09	13.63
Viga 3	1003.64	9.73	-	-

Fuente: Elaboración propia.

Página 11 de 17

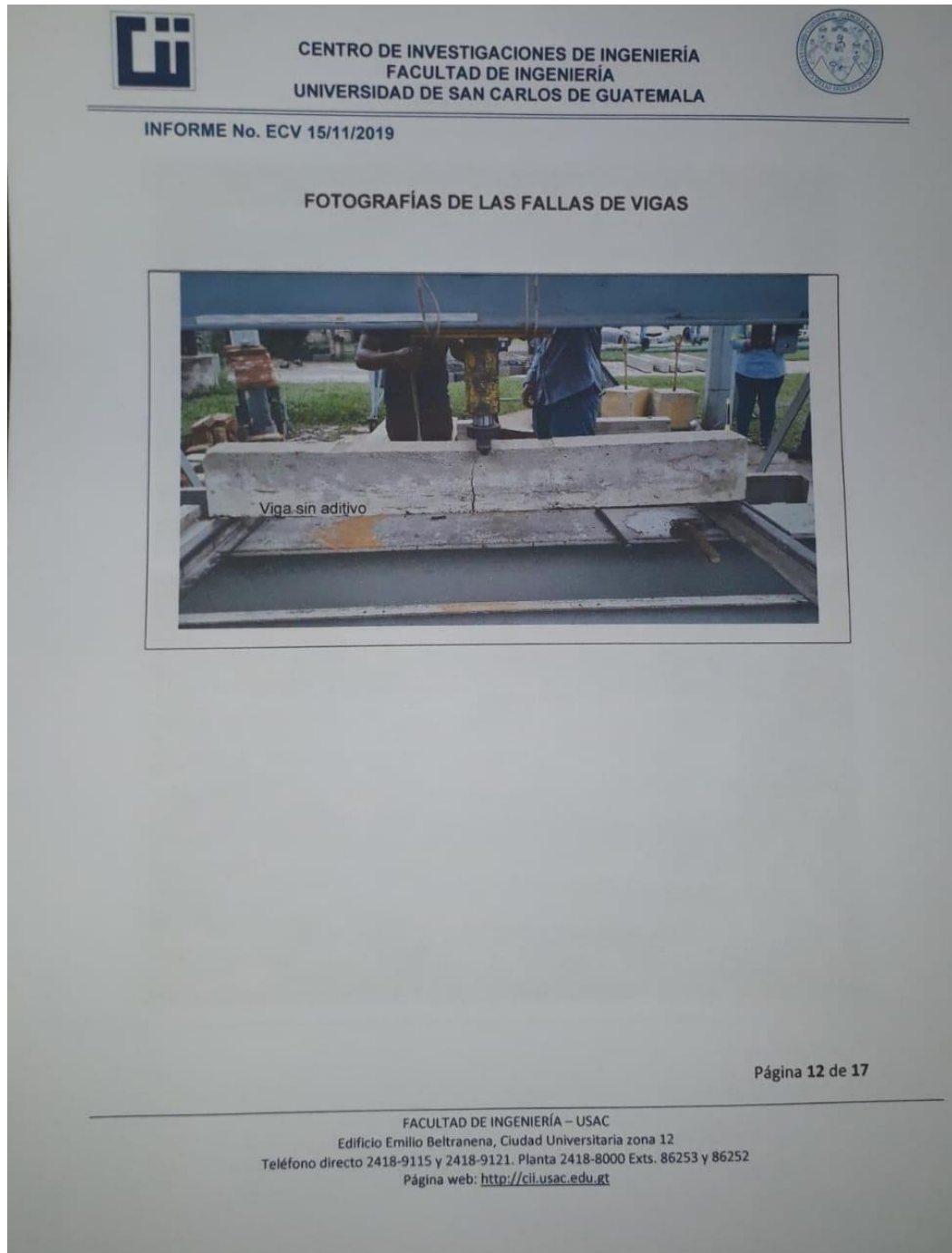
---

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).





## Anexo 13. Fallas de vigas





Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 14. Fallas en vigas

 CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA 

INFORME No. ECV 15/11/2019

  
Viga sin aditivo

  
Viga 1, sin aditivo

Página 13 de 17

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 15. Fallas en vigas

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

INFORME No. ECV 15/11/2019

  
Viga 1, con aditivo

  
Viga 2, con aditivo


Fuente: Área de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Página 14 de 17


FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cil.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 16. Ensayo de viga a corte



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



---

INFORME No. ECV 15/11/2019

### ENSAYO DE VIGAS A CORTE

#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se realizó colocando la viga en posición horizontal, empotrada en un extremo permitiendo así la aplicación de la carga, paralela a la sección de la viga, en el extremo libre, provocando un esfuerzo de corte. La carga fue aplicada utilizando un gato hidráulico ENERPAK RC506 con un área de 11.04 plg<sup>2</sup>.

#### DATOS DEL ENSAYO

**Tabla 13.** Carga de primera fisura y carga ultima.

	Área de gato (plg <sup>2</sup> )	Sin aditivo		Con aditivo	
		Carga primera fisura (psi)	Carga última (psi)	Carga primera fisura (psi)	Carga última (psi)
<b>Viga 1</b>	11.04	400.00	1000.00	500.00	1000.00
<b>Viga 2</b>	11.04	350.00	1000.00	-	-

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del ensayo.

#### CÁLCULOS

**Tabla 14.** Carga a primera fisura y carga última aplicada durante el ensayo.

	Sin aditivo		Con aditivo	
	Carga primera [kg]	Carga última [kg]	Carga primera [kg]	Carga última [kg]
<b>Viga 1</b>	2007.27	5018.18	2509.09	5018.18
<b>Viga 2</b>	1756.36	5018.18	-	-

Fuente: Elaboración propia.


Página 15 de 17

---


FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
 Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
 Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
 Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 17. Ensayo de viga de torsión



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



---

INFORME No. ECV 15/11/2019

### ENSAYO DE VIGA A ESFUERZOS DE TORSIÓN

#### DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO

El ensayo se realizó colocando la viga en posición horizontal sobre dos gatos ENERPAK RC53 con área de 0.99 plg<sup>2</sup>, posicionados en los extremos de la viga en esquinas opuestas (como se muestra en la imagen del ensayo). Se le aplicó carga a una velocidad constante hasta llevarlo al punto de ruptura.

#### DATOS DEL ENSAYO

**Tabla 15.** Carga última para viga con aditivo.

	Peso (lb)	Base (cm)	Altura (cm)	Área de gato (plg <sup>2</sup> )	Carga última (psi)
<b>Viga 1</b>	325.00	25.00	15.00	0.99	1000.00

Fuente: Elaboración propia, con datos obtenidos del ensayo.

#### CÁLCULOS

**Tabla 16.** Carga última para ensayo a torsión de viga con aditivo.

	Carga última (kg)
<b>Viga 1</b>	450.00

Fuente: Elaboración propia.

Página 16 de 17

---

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).

## Anexo 18. Ensayo a torsión

 **CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA** 

INFORME No. ECV 15/11/2019

**FOTOGRAFÍAS DEL ENSAYO DE VIGA A TORSIÓN CON ADITIVO**

	
Viga con aditivo	Colapso de la viga por esfuerzos de torsión.

Fuente: Área de prefabricados, Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

  
**Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila**  
Sección de Estructuras



Página 17 de 17

---

FACULTAD DE INGENIERÍA – USAC  
Edificio Emilio Beltranena, Ciudad Universitaria zona 12  
Teléfono directo 2418-9115 y 2418-9121. Planta 2418-8000 Exts. 86253 y 86252  
Página web: <http://cii.usac.edu.gt>

Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, USAC. (2019).