



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**EVALUACIÓN DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO**

Veronica Cecilia Méndez Boche

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, mayo de 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VERONICA CECILIA MÉNDEZ BOCHE

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA CIVIL

GUATEMALA, MAYO DE 2015

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL I	
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Narda Lucía Pacay Barrientos
VOCAL V	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Roland Estuardo Galindo Cabrera
EXAMINADOR	Ing. Víctor Manuel López Juárez
EXAMINADOR	Ing. Alejandro Castañón López
SECRETARIO	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:

EVALUACIÓN DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, el 18 de octubre de 2013.

Veronica Cecilia Méndez Boche



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 14 de abril de 2015

Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Melini.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO**, desarrollado por el estudiante **Veronica Cecilia Méndez Boche**, carné **201020413**.

Considero que este trabajo ha sido desarrollado satisfactoriamente.

Atentamente su asesor,


Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila
SECCIÓN ESTRUCTURAS
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA
GUATEMALA, C.A.

Jefe de Sección de Estructuras del Centro de Investigaciones de Ingeniería



USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,
4 de mayo de 2015

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **EVALUACIÓN DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO**, desarrollado por la estudiante de Ingeniería Civil **Veronica Cecilia Méndez Boche**, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Civil Guillermo Francisco Melini Salguero
Coordinador del Área de Materiales y
Construcciones Civiles



FACULTAD DE INGENIERÍA
ÁREA DE MATERIALES Y
CONSTRUCCIONES CIVILES
USAC

/bbdeb.

Mas de **134** años de Trabajo Académico y Mejora Continua





USAC
TRICENTENARIA
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Guillermo Francisco Melini Salguero, al trabajo de graduación de la estudiante Veronica Cecilia Méndez Boche, titulado **EVALUACIÓN DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

Hugo Leonel Montenegro Franco
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, mayo 2015

/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





DTG. 224.2015

El Decano 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 Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN Y SU COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL EN COLUMNAS DE CONCRETO ARMADO**, presentado por la estudiante universitaria: **Veronica Cecilia Méndez Boche**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Angel Roberto Sic García
Decano

Guatemala, 25 de mayo de 2015

/gdech



ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Porque me ha dado la vida, me ha guardado, me ha dado sabiduría e inteligencia y me ha permitido que culmine esta etapa con éxito.
- Mis padres** Eduardo Méndez y Ericka de Méndez, por su apoyo, amor, cariño, comprensión, atención, colaboración y ayuda. Por sus desvelos y por trabajar incansablemente para que mis hermanas y yo salgamos adelante. Porque me han instruido en el mejor camino, me han enseñado la palabra de Dios. Gracias, porque sin ustedes no estaría donde estoy ahora.
- Mis hermanas** Evelyn y Heidy Méndez, por estar siempre allí cuando yo las necesité, por su colaboración y ayuda en todo momento.
- Mis tíos** Porque de una u otra forma han colaborado con mi persona, han estado pendiente de mí, me han apoyado y ayudado, por todo ello gracias.
- Mis abuelos** José Boche, Vilma de Boche, Eduardo Méndez (q. e. p. d.), María Luisa de Méndez (q. e. p. d.) y Olimpia Garza (q. e. p. d.). Por ser una importante influencia en mi carrera.

Mis primos

Daniel, Katherine, Mareline, Rita, Josué, Kessler, Bruce, Jake y Jaden Boche. Por su cariño y apoyo incondicional.

Mi novio

Asbel Martínez, por tu amor, tu ayuda incondicional, tu tiempo, tu compañía y tus detalles. Por las palabras de ánimo para seguir adelante y estar allí cuando lo necesito. Por todo ello, gracias.

Mis amigos

Por ser una parte importante en mi carrera, por su apoyo, su aprecio, su ayuda, su compañía, por todos los buenos y malos momentos compartidos, alegrías y tristezas. Por todo ello gracias, siempre los tendré presentes en mi mente y corazón.

Ing. Mario Corzo

Por su gran ayuda, entusiasmo, colaboración y apoyo en la elaboración de mi trabajo de graduación.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi segunda casa, donde recibí la inspiración para seguir esta carrera.
Facultad de Ingeniería	Por ser la facilitadora de la adquisición de conocimiento tecnológico, técnico y científico que me permite obtener el título de ingeniera civil.
Mis colegas	Katherine Flores, Fernando Joachin, Cecilia Vaquero, Astrid Solares, Pedro García, Alberth Bautista, David Solís, Lázaro García, Azucena Alvarado, Hamilton Tá, Robin Gómez, César Bernal, Yoselin Tul, Tony Velásquez, Roger Calderón, Edy Rodríguez, Juan Pablo Burrero, Mario Corado y Jesús Moreno.
Estudiantes de prácticas finales	Kevin Chávez, Ana Lucía Martínez, Antonio Jurado, Fernando Andrino, Keneth Jacobs, Génesis Cap y Jairo Saenz, por su gran colaboración en la realización de los ensayos para mi trabajo de graduación.

Compañeros de trabajo

Arq. Rudy Godínez y Luis Ortega, por su iniciativa, colaboración y apoyo en la elaboración de los elementos estructurales para este trabajo de graduación.

Ing. Corzo

Por su valiosa colaboración, apoyo y asesoría para la realización de este trabajo de graduación, sin usted no hubiera sido posible.

Fabio Sánchez

Por la ayuda, los consejos y el conocimiento brindado en la realización de los ensayos para este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN.....	XV
OBJETIVOS.....	XVIII
INTRODUCCIÓN	XIX
1. DEFINICIONES BÁSICAS	1
1.1. Hormigón	1
1.1.1. Materiales constituyentes	2
1.1.1.1. Cemento	2
1.1.1.2. Cemento Portland.....	2
1.1.1.2.1. Tipos de cemento Portland	3
1.1.1.3. Cemento puzolánico	3
1.1.1.3.1. Tipos de cemento puzolánico	4
1.1.2. Agregados	4
1.1.2.1. Agregado grueso	5
1.1.2.2. Agregado fino	8
1.1.2.3. Agua	9
1.1.2.4. Aditivos	9
1.2. Hormigón reforzado.....	11
1.2.1. Ventajas del hormigón reforzado como material estructural.....	12

1.2.2.	Desventajas del hormigón reforzado como material estructural.....	12
1.3.	Compatibilidad del acero y del hormigón	13
1.4.	Propiedades del hormigón reforzado	14
1.4.1.	Resistencia a la compresión.....	14
1.4.2.	Resistencia a la tensión	16
1.4.3.	Resistencia al corte	17
1.4.4.	Módulo de elasticidad dinámico	17
1.4.5.	Módulo de Poisson.....	17
1.4.6.	Contracción	18
1.4.7.	Fluencia plástica.....	19
1.5.	Acero de refuerzo.....	19
1.5.1.	Ambientes corrosivos	20
1.5.2.	Identificación de las marcas en las varillas de refuerzo	21
2.	CONCEPTO GENERAL DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN.....	23
2.1.	Juntas de construcción.....	23
2.2.	Ubicación de las juntas de construcción en columnas de concreto armado	24
2.3.	Procesos constructivos	27
2.3.1.	Colocación del hormigón en elementos verticales ..	27
2.3.2.	Preparación de la superficie	28
2.3.3.	Preparación del encofrado	29
2.4.	Ejecución de las juntas de construcción.....	31
2.4.1.	Formación de la junta.....	31
2.4.2.	Preparación de la junta	32
2.4.2.1.	Tratamiento de las juntas de hormigón joven.....	32

	2.4.2.2.	Tratamiento de juntas de hormigón envejecido.....	33
2.5.		Continuación del hormigonado	33
	2.5.1.	Capa de mortero	33
2.6.		Prohibiciones	34
2.7.		Tipos de juntas de construcción	34
3.		GENERALIDADES DE LAS JUNTAS FRÍAS.....	37
	3.1.	Definición de junta fría	37
	3.2.	Juntas frías en elementos estructurales	38
4.		MODELOS DE SIMULACIÓN DE PROBETAS.....	39
	4.1.	Ensayos de compresión	39
	4.2.	Ensayos de flexión	41
	4.3.	Ensayos de adherencia	44
5.		EVALUACIÓN Y ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN	47
	5.1.	Calidad, mezclado y colocación del concreto	47
		5.1.1. Generalidades	47
		5.1.2. Dosificación del concreto.....	49
		5.1.3. Evaluación y aceptación del concreto.....	50
		5.1.3.1. Probetas curadas en forma estándar... 50	
		5.1.4. Preparación del equipo y del lugar de colocación... 51	
		5.1.5. Mezclado y transporte	52
		5.1.6. Colocación.....	52
		5.1.7. Curado.....	53
		5.1.8. Requisitos para clima cálido	53
	5.2.	Juntas de construcción	54

5.3.	Cargas axiales	55
5.3.1.	Suposiciones de diseño	55
5.3.2.	Principios y requisitos generales	56
5.3.3.	Limitantes de sección y refuerzo de elementos a compresión.....	57
5.3.4.	Análisis elástico de segundo orden	57
5.3.5.	Procedimiento para la magnificación de momentos, estructuras sin desplazamiento lateral.....	59
6.	RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS	61
7.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	73
7.1.	Elementos verticales a compresión.....	73
7.2.	Elementos verticales a flexión	74
8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	77
8.1.	Cilindros de concreto.....	77
8.2.	Columnas a compresión.....	81
8.3.	Columnas a flexión.....	83
	CONCLUSIONES.....	89
	RECOMENDACIONES	91
	BIBLIOGRAFÍA.....	93

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación de los principales bancos de agregados disponibles en Guatemala.....	7
2.	Gráfica de esfuerzo – deformación unitaria a la compresión	16
3.	Identificación de las varillas de refuerzo.....	22
4.	Ubicación de juntas de construcción 1	26
5.	Ubicación de juntas de construcción 2.....	26
6.	Encofrado de columnas con madera.....	30
7.	Encofrado de columnas con placa metálica	31
8.	Tipos de juntas de construcción para columnas de concreto armado..	35
9.	Modelo de sección transversal de la probeta	39
10.	Ensayo de columna a compresión	40
11.	Aparición de grietas en ensayo a compresión.....	40
12.	Falla de columna a compresión	41
13.	Ensayos de columnas a flexión	42
14.	Deformación de columnas.....	43
15.	Fallas de columnas a flexión	44
16.	Modelo de simulación.....	45
17.	Ensayo de cilindros a diferentes edades.....	45
18.	Gráfica de carga vs días	62
19.	Gráfica de resistencia a compresión cilindros de concreto	62
20.	Gráfica de resistencia a flexión de columna 3 donde $h > b$	64
21.	Gráfica de resistencia a flexión de columna 4 donde $h > b$	66
22.	Gráfica de resistencia a flexión de columna 5 donde $b > h$	68

23.	Gráfica de resistencia a flexión de columna 6 donde $h > b$	70
24.	Gráfica de resistencia a flexión de columnas de concreto en diferente posición.....	71
25.	Posiciones de las columnas en ensayos a flexión	75
26.	Ensayos a flexión.....	84

TABLAS

I.	Límites de granulometría de agregado fino	9
II.	Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra	48
III.	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos	48
IV.	Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra.....	49
V.	Resistencia a compresión de cilindros de concreto	61
VI.	Resistencia a compresión en columnas 1 y 2.....	63
VII.	Resistencia a flexión de columna 3 donde $h > b$	63
VIII.	Resistencia a flexión de columna 4 donde $h > b$	65
IX.	Resistencia a flexión de columna 5 donde $b > h$	67
X.	Resistencia a flexión de columna 6 donde $h > b$	69
XI.	Carga teórica-práctica de elementos a compresión	73
XII.	Resistencia de elementos a flexión con y sin junta de construcción	74
XIII.	Resistencia de cilindros de concreto con junta horizontal e inclinada...	78

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
b	Ancho de la cara en compresión del elemento.
A_g	Área bruta de la sección de concreto.
A	Área de la junta de construcción de los cilindros de concreto.
A_n	Área del núcleo de la columna.
A_{st}	Área total de refuerzo longitudinal no preesforzado.
ØP_o	Carga axial de diseño con excentricidad nula.
P_u	Carga axial mayorada.
P_c	Carga crítica a pandeo.
P	Carga máxima.
cm	Centímetro.
μ	Coeficiente de fricción.
Δ	Deformación de la columna.
ε_t	Deformación unitaria neta de tracción en el acero longitudinal extremo en tracción.
s_s	Desviación estándar de la muestra.
Ø	Diámetro de varillas de acero.
c	Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro.
σ	Esfuerzo realizado por la columna.
h	Espesor total o altura de un elemento.
κ	Factor de longitud efectiva para elementos en compresión.

C_m	Factor que relaciona el diagrama real de momentos con un diagrama equivalente de momentos uniforme.
β_1	Factor que relaciona la profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro.
°	Grados.
°C	Grados Celsius.
kg	Kilogramo.
kgf	Kilogramo fuerza.
lb	Libra.
long	Longitud.
l_u	Longitud sin soporte lateral de un elemento en compresión.
M_2	Mayor momento mayorado de uno de los extremos de un elemento en compresión.
MPa	Megapascal.
M_1	Menor momento mayorado de uno de los extremos de un elemento en compresión.
m	Metro.
mm	Milímetro.
E_c	Módulo de elasticidad del concreto.
E_s	Módulo de elasticidad del refuerzo y del acero estructural.
f_r	Módulo de ruptura del concreto.
I_g	Momento de inercia de la sección bruta del elemento con respecto al eje que pasa por el centroide.
I_{se}	Momento de inercia del refuerzo con respecto al eje que pasa por el centroide de la sección transversal del elemento.

I_c	Momento de inercia efectivo para el cálculo de las deflexiones.
M_c	Momento mayorado amplificado por los efectos de curvatura.
M_u	Momento mayorado en la sección.
#	Número.
%	Porcentaje.
a	Profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos.
plg	Pulgada.
“	Pulgada.
β_{dns}	Relación utilizada para calcular la reducción de rigidez de las columnas debido a las cargas axiales permanentes.
ϕP_n	Resistencia axial de diseño.
f'_c	Resistencia especificada a la compresión del concreto.
f_y	Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo.
f'_{cr}	Resistencia promedio a la compresión requerida del concreto.
EI	Rigidez a la flexión de un elemento en compresión.
tan	Tangente.

GLOSARIO

ACI	Siglas en inglés del Instituto Americano de Concreto (American Concrete Institute).
Adherencia	Es la resistencia al deslizamiento entre dos elementos, la resistencia por adhesión se pierde cuando el deslizamiento y la resistencia por fricción no es tan significativa.
ASTM	Siglas en inglés de la Sociedad Americana para el desarrollo en inspección de los materiales (American Society for Testing and Materials).
Cedencia	Es la deformación irrecuperable de una probeta, a partir de la cual solo se recuperará parte de su deformación, correspondiente a la deformación elástica, quedando una deformación irreversible.
Cimbra	Armazón provisional que sostiene un elemento de construcción mientras se está ejecutando, hasta que alcanza resistencia propia suficiente.
Clínker	Son nódulos de 5 a 25 mm de diámetro de un material sinterizado producido cuando una mezcla de materiales de una composición predeterminada es

calcinada a altas temperaturas. En la fabricación del cemento, es el producto que se obtiene al calcinar, hasta la fusión parcial, mezclas preparadas artificialmente, y dosificadas, a partir de materias arcillosas y calizas, con la inclusión de otros materiales que faciliten la dosificación de los crudos de acuerdo al caso.

Coguanor	Siglas de la Comisión Guatemalteca de Normas.
Columna	Elemento con una relación entre altura y menor dimensión lateral, mayor de 3, usado principalmente para resistir carga axial de compresión.
Compresión	Es la resultante de las presiones que existe dentro de un sólido deformable o medio continuo, caracterizado porque tiende a una reducción de volumen del cuerpo, y a un acortamiento del cuerpo en determinada dirección.
Corrosión	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico (oxidación) por su entorno.
Deformación	Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos internos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo.
Desviación estándar	Es la raíz cuadrada positiva de la varianza y mide la dispersión con respecto a la media.

Encofrado	Molde en que se vierte el concreto semilíquido.
Esfuerzo	Es el producto de la aplicación de una fuerza sobre un área.
Estribo	Barra o alambre doblados que abraza el refuerzo longitudinal. Es aceptable una barra continua doblada en forma de círculo, rectángulo y otra forma poligonal sin esquinas reentrantes.
Fisuras	Son roturas que aparecen generalmente en la superficie de estructuras de concreto, debido a la existencia de tensiones superiores a su capacidad de resistencia.
Fraguado	Reacción química exotérmica que determina el paulatino endurecimiento de una mezcla de cemento y agua, la cual puede ser un concreto o mortero.
Granulometría	Medición y graduación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas.
Grietas	Se producen cuando la fisura atraviesa de lado a lado el espesor de la pieza, su grosor es mayor a 1 mm.

Hormigón	Material compuesto empleado en construcción, formado esencialmente por un aglomerante al que se añade partículas o fragmentos de un agregado, agua y aditivos específicos.
Lechada	Pasta muy fluida de cemento y agua, utilizada para inyecciones de terrenos, cimientos, entre otros.
Mortero	Mezcla de diversos materiales, como cal o cemento, arena y agua que se usa en la construcción para fijar <i>blocks</i> , ladrillos y cubrir paredes.
Resistencia a flexión	Es el máximo momento flexionante que es capaz de soportar una sección de concreto reforzado.
Resistencia a tensión	Es la carga máxima a compresión que resiste una unidad o espécimen, dividida por el área de la sección transversal que la soporta.

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta un estudio de la variación de la resistencia de esfuerzos a compresión, flexión, corte y adherencia del concreto, cuando se hace presente una junta de construcción en elementos estructurales verticales (columnas de concreto armado); posicionando las juntas en donde afecte menos la integridad estructural de los elementos.

La metodología se basó en la realización de ensayos de columnas a la edad de 28 días. Se evaluaron 6 columnas, ensayando unas a compresión y otras a flexión, en posiciones críticas, para conocer el porcentaje de la variación de la resistencia del concreto al presentarse las juntas de construcción. Los ensayos fueron realizados en el área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

En el trabajo se presentan gráficas y tablas, las cuales siguen el análisis de los resultados, además de las conclusiones y recomendaciones obtenidas durante el desarrollo de la investigación.

OBJETIVOS

General

Estudiar, analizar y evaluar las juntas frías y los efectos que producidos cuando están presentes en columnas de hormigón armado.

Específicos

1. Definir el efecto de junta fría y las consideraciones necesarias para una correcta adherencia.
2. Evaluar y analizar las diversas juntas de construcción usuales en el medio durante el proceso constructivo.
3. Estudiar el efecto que posee el área efectiva para la adherencia entre las dos masas de hormigón.
4. Estudiar el comportamiento que tiene una junta fría ante el efecto máximo de momento y el efecto de compresión, mediante ensayos destructivos.
5. Determinar el aporte del hormigón cuando se presenta una junta fría a través de los ensayos de adherencia.
6. Determinar la junta de construcción más eficiente para columnas de hormigón armado.

7. Estudiar el comportamiento de las juntas frías en función de la ubicación especificada por los códigos de juntas de trabajo.
8. Evaluar la eficiencia del refuerzo por juntas frías.

INTRODUCCIÓN

La propuesta de este trabajo de graduación es evaluar teórica y experimentalmente las juntas de construcción, determinando el comportamiento estructural para el diseño de columnas de concreto armado. Dicha propuesta trata sobre la definición de los problemas ocasionados al no tomar en consideración su existencia (en el diseño y ejecución de la infraestructura) y los efectos que podrían originarse en los elementos estructurales.

En la construcción, se emplean juntas de construcción para la elaboración de elementos estructurales de concreto armado, siendo estos el resultado de la fundición de un elemento estructural en diferentes fases, específicamente, cuando es fundido concreto fresco sobre concreto previamente fraguado, el cual ha alcanzado cierto porcentaje o incluso el cien por ciento de su resistencia a compresión. Esto puede reducir las propiedades mecánicas de los elementos estructurales de concreto armado y afectar la integridad del sistema estructural, en específico, en la zona donde se localiza la junta fría, sobre todo por el uso de cementos puzolánicos que presentan endurecimiento inicial mayor a los concretos con cemento tipo Portland.

El presente trabajo tiene la finalidad de estudiar y analizar teóricamente las juntas de construcción para columnas de concreto armado, determinando las ventajas y desventajas que se obtendrían al usarse en la construcción de un elemento estructural. Se evaluarán columnas de concreto armado mediante ensayos destructivos, utilizando la junta de construcción más usada en el medio, simulando el efecto de curvatura simple para crear el momento máximo al centro del elemento de concreto donde se encuentra la junta fría. Esto con el

fin de determinar la variación de las propiedades mecánicas de los elementos y la influencia que tienen en el componente estructural de concreto armado.

1. DEFINICIONES BÁSICAS

1.1. Hormigón

Es un material semejante a la piedra que se obtiene mediante una mezcla cuidadosamente proporcionada de cemento, arena y grava u otro agregado, y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del hormigón, tales como ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado. El cemento y el agua interactúan químicamente para unir las partículas de agregado y conformar una masa sólida. Es necesario agregar agua, además de aquella que se requiere para la reacción química, con el fin de darle a la mezcla la trabajabilidad adecuada que permita llenar las formaletas y rodear el acero de refuerzo embebido, antes de que inicie el endurecimiento.

Se puede obtener hormigón en un amplio rango de propiedades ajustando apropiadamente las proporciones de los materiales constitutivos. Un rango aún más amplio de propiedades puede obtenerse mediante la utilización de cementos especiales (cementos de alta resistencia inicial), agregados especiales (diversos agregados ligeros o pesados), aditivos (plastificantes y agentes incorporadores de aire, microsílice o cenizas volantes) y mediante métodos especiales de curado (curado al vapor).

Igual que la mayoría de los materiales pétreos, el hormigón tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión.

1.1.1. Materiales constituyentes

A continuación, se presentan diversos materiales constituyentes que se usan para formar el hormigón, y con él realizar elementos estructurales.

1.1.1.1. Cemento

Es el material que tiene las propiedades de adhesión y cohesión necesarias para unir agregados inertes y conformar una masa sólida de resistencia y durabilidad adecuada. Esta categoría tecnológicamente importante de materiales incluye no solo el cemento sino también limos, asfaltos y alquitranes, tal como se usan en la construcción de carretera y otros.

Este conglomerante está formado a partir de una mezcla de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas, que tienen la propiedad de endurecer al contacto con el agua. Hasta este punto, la molienda entre estas rocas es llamada clínker y se convierte en cemento cuando se le agrega yeso, este le da la propiedad a la mezcla de fraguar y endurecerse. Adquiere consistencia pétreo cuando es mezclado con agregados (grava y arena) y agua, creando una mezcla maleable, plástica y uniforme.

1.1.1.2. Cemento Portland

Conglomerante hidráulico que se obtiene por pulverización de clínker y sin más adición que la piedra de yeso natural. Eventualmente, el cemento Portland podrá contener, además, hasta un 10 % de materias capaces de mejorar algunas de las cualidades del conglomerante o de los morteros y hormigones con él fabricados.

Según la norma ASTM 150 se define como un cemento hidráulico producido al pulverizar clínters que consisten esencialmente en silicatos de calcio hidráulico, generalmente contienen una o más de las formas de sulfato de calcio como una adición en la intermolienda.

1.1.1.2.1. Tipos de cemento Portland

- Tipo I: el cemento común de usos múltiples empleado en trabajos de construcción en general.
- Tipo II: un cemento modificado que tiene menor calor de hidratación que el tipo I y que puede resistir alguna exposición al ataque de los sulfatos.
- Tipo III: un cemento de fraguado rápido que produce en las primeras 24 horas un hormigón con una resistencia aproximadamente doble que la del cemento tipo I. Este cemento produce calor de hidratación muy alto.
- Tipo IV: un cemento de bajo calor que produce un hormigón que disipa muy lentamente el calor. Se usa en estructuras de hormigón de gran tamaño.
- Tipo V: un cemento usado para hormigón que va a estar expuesto a altas concentraciones de sulfatos.

1.1.1.3. Cemento puzolánico

Es un conglomerante hidráulico obtenido de una mezcla de clínter de cemento Portland y puzolana fina, producido ya sea por molienda conjunta de clínter de cemento Portland y puzolana; por mezclado de cemento Portland o

cemento Portland de escoria de alto horno y puzolana pulverizada finamente; o bien, por combinación de molienda conjunta y mezclado, en proporciones tales, que el constituyente puzolánico caiga entre 15 % y 40 % de la masa total del cemento Portland puzolánico.

1.1.1.3.1. Tipos de cemento puzolánico

- Tipo IP: cemento Portland puzolánico para uso en construcciones de hormigón general; este tipo se puede presentar en varias opciones:
 - Con resistencia moderada al sulfato
 - Con incorporadores de aire
 - Con calor moderado de hidratación
 - Cualquier combinación de las tres opciones anteriores

- Tipo P: cemento Portland puzolánico para ser utilizado en construcciones de hormigón donde no se requieren altas resistencias a edades tempranas; este tipo puede presentar las cuadro opciones siguientes:
 - Con resistencia moderada al sulfato
 - Con incorporadores de aire
 - Con bajo calor de hidratación
 - Cualquier combinación de las tres opciones anteriores

1.1.2. Agregados

Los agregados son las partes del hormigón que constituyen lo grueso del producto terminado. Abarcan del 60 % al 80 % del volumen del hormigón, y tienen que estar graduados de tal forma que la masa del hormigón actúe como

una combinación relativamente sólida, homogénea y densa, con los tamaños más pequeños actuando como un relleno inerte de los vacíos que existen entre las partículas más grandes.

Existen dos tipos de agregados:

- Agregado grueso (grava, piedra triturada)
- Agregado fino (arena natural o procesada)

Debido a que el agregado constituye la parte mayor de la mezcla, entre más agregado se tenga en la mezcla, resultará un hormigón más económico, a condición de que la mezcla sea de una razonable manejabilidad para el trabajo específico en el que se utilice.

1.1.2.1. Agregado grueso

El agregado grueso consiste en grava, grava triturada, piedra triturada u hormigón de cemento hidráulico triturado, o una combinación de ellos. Los agregados gruesos deben cumplir con los requisitos indicados en la norma Coguanor NTG 41007, equivalente a la norma ASTM C-33, para cada número especificado.

El agregado grueso se clasifica como tal si el tamaño más pequeño de la partícula es mayor de 6 mm (1/4 de pulgada). Las propiedades del agregado grueso afectan la resistencia final del hormigón endurecido y su resistencia a la disgregación, intemperización y otros efectos destructivos.

Los tipos de agregado grueso más comunes y más usados en Guatemala, zona 6 y Amatitlán son:

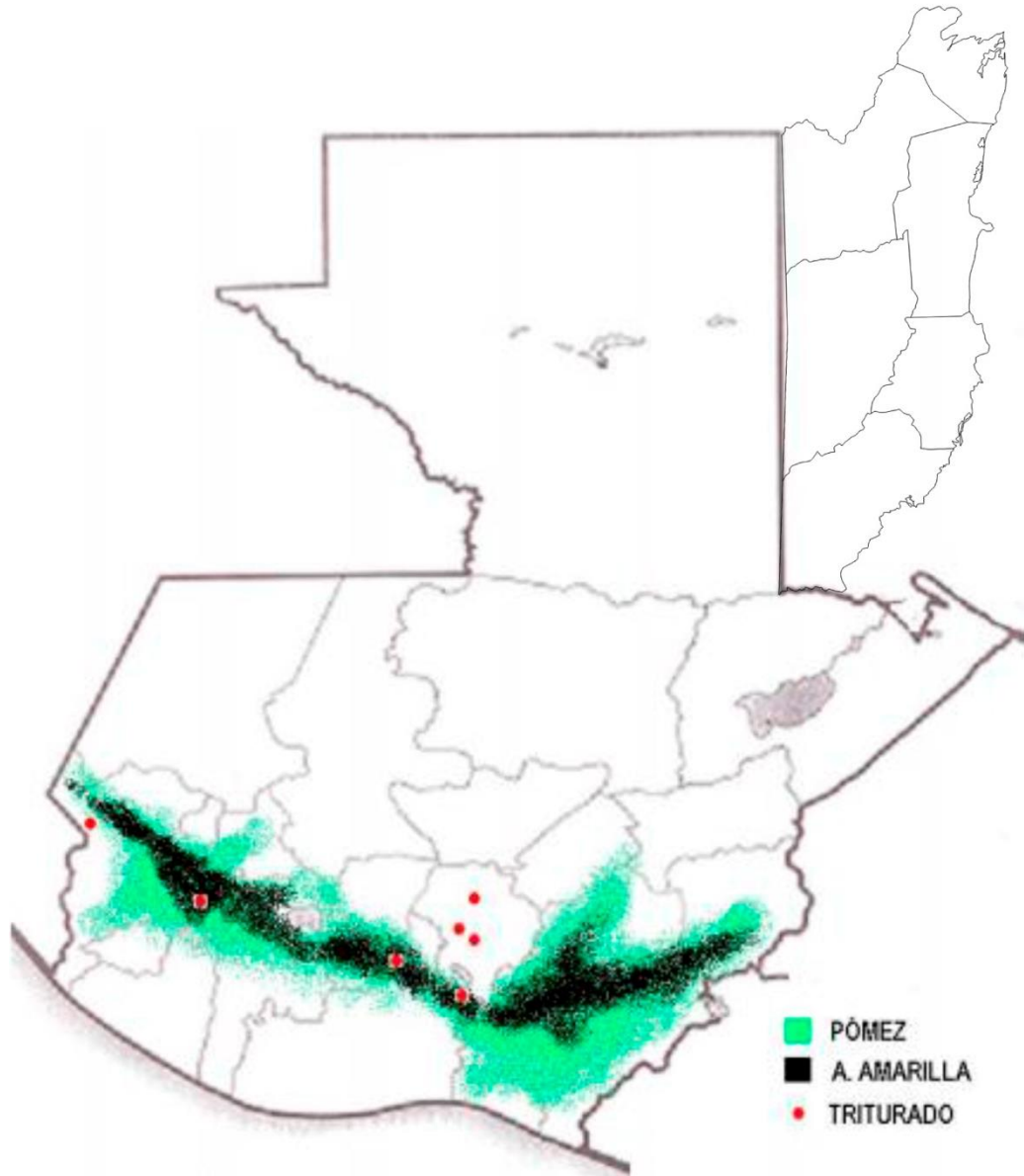
- Agregados artificiales o triturados: proceden de la trituración de formaciones rocosas adecuadas. Estos tipos de agregado provienen de rocas duras, tenaces, resistentes, durables y que no tienen elementos minerales que reaccionen con el cemento. Entre las principales rocas empleadas para trituración están:
 - Volcánicas e ígneas, ya sean intrusivas o extrusivas: riolitas, andesitas basaltos, granitos, entre otras.
 - Sedimentarias: calizas, dolomitas.
 - Metamórficas: el gneiss, los esquistos, pizarra, mármol, entre otras.

- Agregados naturales: comprenden:
 - Aquellos extraídos de barras o bancos de ríos, formados por sedimentación al disminuir la velocidad de la corriente.
 - Los que se obtienen de mantos y depósitos residuales formados por la desintegración de rocas, son llamados arena de peña o de mina.

Los agregados naturales usados son la arena y la grava. Estos materiales están compuestos por granos de distinto tamaño, independiente de su forma, uniformidad y composición mineralógica. En Guatemala existen varios bancos de agregados, así como también existe abastecimiento de agregados de los ríos: Motagua, Dulce, Chixoy, La Pasión, Mopán, Usumacinta, entre otros.

Dentro de los agregados finos naturales que existen en Guatemala se tienen la arena blanca o arena pómez, arena amarilla, arena de río y arena triturada (ver figura 1).

Figura 1. **Ubicación de los principales bancos de agregados disponibles en Guatemala**



Fuente: SABÁ MEDRANO, Carlos Eduardo. *Evaluación de la incidencia de la cal en las propiedades físico-mecánicas de tres tipos de mortero de albañilería*. p. 12.

- Piedra natural triturada: se produce por trituración de piedra natural o roca de canteras. La roca puede ser de tipo volcánico, sedimentario o metamórfico. Aunque la roca triturada da resistencias elevadas en el hormigón, es menos manejable en la mezcla que los otros tipos.
- Grava natural: se produce por la acción de intemperismo del agua corriente en los fondos y riberas de ríos. Da menos resistencia que la roca triturada pero es más manejable.
- Agregados gruesos artificiales: son principalmente escoria y esquisto expandido, y se utilizan con frecuencia para producir hormigón ligero. Son derivados de otros procesos de fabricación, tales como escoria de alto horno o esquisto expandido, o piedra pómez para hormigón ligero.

1.1.2.2. Agregado fino

Los agregados finos consisten en arena natural, arena manufacturada o una combinación de ambas. El agregado fino no debe tener más de un 45 % que pase cualquier tamiz y retenido en el tamiz próximo siguiente de los mostrados en la tabla I, su módulo de finura no debe ser menor que 2,3 ni mayor que 3,1.

Tabla I. **Límites de granulometría de agregado fino**

Tamiz	Porcentaje que pasa
9,5 mm (3/8")	100
4,75 mm (Núm. 4)	95 a 100
2,36 mm (Núm. 8)	80 a 100
1,18 mm (Núm. 16)	50 a 85
600 µm (Núm. 30)	25 a 60
300 µm (Núm. 50)	5 a 30
150 µm (Núm. 100)	0 a 10
(Núm. 200)	0 a 5

Fuente: COGUANOR NTG-41007.

1.1.2.3. Agua

El agua debe estar suficientemente limpia, libre de aceite, materia orgánica y sustancias que puedan afectar las acciones de endurecimiento, curado o la calidad general del acabado del hormigón. En general, el agua potable es adecuada. El agua de mar puede utilizarse para fabricar hormigón simple (sin refuerzo), ya que provoca corrosión en las varillas de acero de hormigón armado.

El agua empleada en el mezclado del hormigón debe de cumplir con las disposiciones de la norma ASTM C1602M (norma equivalente Coguanor, NTG 41073).

1.1.2.4. Aditivos

Se definen como las sustancias que se agregan al hormigón para mejorar su manejo, acelerar su fraguado, endurecer su superficie e incrementar su

impermeabilidad. El término abarca todos los materiales diferentes al cemento, al agua y a los agregados, que se añaden justo antes o durante la mezcla. Muchos de los compuestos patentados contienen cal hidratada, cloruro de calcio y caolín. El cloruro de calcio es el aditivo que se utiliza con más frecuencia para acelerar el fraguado del hormigón; sin embargo, su uso excesivo puede provocar la corrosión del acero de refuerzo. Se debe tener cuidado con el uso de los aditivos, sobre todo con aquellos de composición desconocida.

Varios de los tipos más comunes de aditivos se presentan en la siguiente lista:

- Aditivos inclusores de aire: cumplen con los requisitos de la norma ASTM C-260 y C-618, se usan principalmente para incrementar la resistencia del hormigón al congelamiento y derretimiento, y proporcionan mejor resistencia al deterioro causado por las sales descongelantes.
- Aditivos acelerantes: como el cloruro de calcio acelera el desarrollo de su temprana resistencia. Los resultados de tales adiciones (particularmente útiles en climas fríos) son los tiempos reducidos requeridos para el curado y protección del hormigón, así como el pronto retiro de la formaleta.
- Aditivos retardadores: estos se usan para retardar tanto el fraguado del hormigón como los aumentos de temperatura. Consisten de varios ácidos o azúcares o derivados del azúcar. Los aditivos retardadores son útiles para grandes coladas donde pueden presentarse grandes incrementos de temperatura. También prolongan la plasticidad del

hormigón, permitiendo mejorar el mezclado o adherencia entre coladas sucesivas.

- Aditivos superplastificantes: se usan para reducir considerablemente el contenido de agua en el hormigón y al mismo tiempo incrementar sus revenimientos. Aunque los superplastificantes pueden también usarse para mantener proporciones de agua-cemento constantes usando menos cemento, son más comúnmente usados para producir hormigón manejable con resistencias considerablemente superiores aunque usando la misma cantidad de cemento.

1.2. Hormigón reforzado

Se define como la unión de hormigón y acero estructural, estos materiales en combinación se emplean mejor porque el hormigón proporciona resistencia a compresión y el acero proporciona resistencia a tensión. El hormigón puede ser un material bien desarrollado si se aprovecha eficientemente las características de la resistencia en compresión, resistencia al fuego, durabilidad y maleabilidad.

Este, acompañado del acero que proporciona una alta resistencia en tensión, así como ductilidad, forma un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales componentes y crea una variedad de obras civiles con miembros estructurales como columnas, vigas, losas, entre otros.

1.2.1. Ventajas del hormigón reforzado como material estructural

El hormigón reforzado puede usarse en una gran variedad de estructuras como edificios, puentes, pavimentos, presas, muros de retención, túneles, instalaciones de drenajes, entre otras y tiene las siguientes ventajas por disponibilidad del mismo:

- Resistencia considerable a la compresión en comparación con otros materiales.
- Gran resistencia al fuego y al agua.
- Requiere de poco mantenimiento.
- Las estructuras de hormigón armado son lo bastante rígidas.
- Tiene una larga vida de servicio, bajo condiciones apropiadas.
- El hormigón puede colocarse en una variedad extraordinaria de formas que van desde simples losas, vigas y columnas, hasta grandes arcos y cascarones.

1.2.2. Desventajas del hormigón reforzado como material estructural

Es importante estar familiarizado con los puntos fuertes del hormigón reforzado, así como los débiles, para obtener un mejor provecho. Algunas desventajas del hormigón reforzado se mencionan a continuación:

- Se requiere de formaleta para mantener el hormigón en posición hasta que endurece suficientemente.
- La baja resistencia por unidad de peso de hormigón conduce a miembros pesados, y, debido al gran peso muerto del hormigón, causa un efecto considerable en los momentos flexionantes.
- La baja resistencia por unidad de volumen del hormigón implica que los miembros serán relativamente grandes, lo que es de considerable importancia en edificios altos y en estructuras de grandes claros.
- Las propiedades del hormigón varían ampliamente debido a las variaciones en su dosificación y mezclado. Además, el colado y el curado del hormigón no son tan cuidadosamente controlados como en la producción de otros materiales, como el acero estructural y madera laminada.
- Dependiendo de la importancia, tanto del elemento estructural o de la obra en general, se requiere de un alto grado de supervisión de los materiales y su uso.

1.3. Compatibilidad del acero y del hormigón

El hormigón y el acero de refuerzo funcionan en conjunto de forma excelente en las estructuras de hormigón reforzado. Las ventajas de cada material compensan las desventajas del otro. Por ejemplo, la gran desventaja del hormigón es su falta de resistencia a la tensión, pero la resistencia a la tensión es una de las grandes ventajas del acero. Las barras de refuerzo tienen una resistencia a la tensión aproximadamente 100 veces mayor a la del

hormigón usado. Los dos materiales se adhieren muy bien entre sí, es decir que no hay deslizamiento entre los dos, por lo tanto, funcionan conjuntamente para resistir las fuerzas. La excelente fusión se debe a la adherencia química entre los dos materiales, a la rugosidad natural de las barras y a la estrecha separación de las corrugaciones en las superficies de las barras.

Las barras de refuerzo están expuestas a la corrosión, pero el hormigón que las rodea les proporciona excelente protección. La resistencia del acero expuesto a las temperaturas que se alcanzan en los incendios normales es nula, pero su recubrimiento con hormigón da como resultado calificaciones de prueba de fuego muy satisfactorias. Finalmente, el hormigón y el acero trabajan muy bien juntos respecto a los cambios de temperatura porque sus coeficientes de dilatación térmica son muy parecidos. Para el acero, el coeficiente es 0,0000065, y para el hormigón varía entre 0,000004 y 0,000007 (valor promedio, 0,0000055).

1.4. Propiedades del hormigón reforzado

Para manejar e interpretar correctamente los procedimientos de diseño estructural del hormigón armado, es fundamental que el ingeniero adquiera un conocimiento adecuado tanto de las propiedades individuales del hormigón como de las del acero de refuerzo. Solo de esta forma se puede garantizar un diseño práctico, seguro y económico.

1.4.1. Resistencia a la compresión

La compresión es una propiedad mecánica del hormigón que es muy práctica y sencilla de determinar en el hormigón endurecido y representa la condición de carga en la que el hormigón exhibe mayor capacidad para soportar

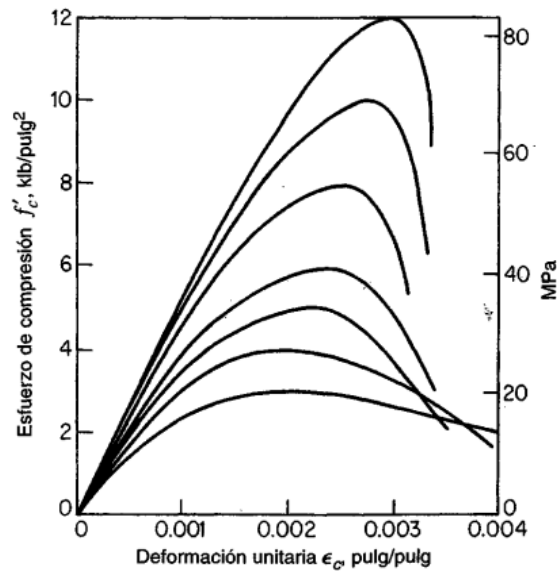
esfuerzos, donde la mayoría de las veces los elementos estructurales se diseñan con el fin de obtener el mayor provecho a esta propiedad y optimizar los materiales utilizados.

La resistencia potencial a la compresión del hormigón (f'_c) se determina por medio de ensayos hasta la ruptura de especímenes representativos de hormigón de 28 días, a una velocidad especificada de carga, con el fin de comprobar si lo previsto al diseñar la mezcla de hormigón es adecuado para cumplir con la resistencia del proyecto, controlar uniformidad de resistencia y verificar la resistencia del hormigón como se encuentra en la estructura.

Durante el período de 28 días los especímenes suelen mantenerse sumergidos en agua o en un local con temperatura constante y humedad de 100 % antes de realizar dicho ensayo.

La resistencia a la compresión se basa principalmente en la curva esfuerzo-deformación unitaria a la compresión. Se muestra a continuación un conjunto típico de estas curvas para hormigón de densidad normal y de 28 días de edad, obtenidas a partir de ensayos de compresión uniaxial.

Figura 2. **Gráfica de esfuerzo – deformación unitaria a la compresión**



Fuente: NILSON, Arthur. *Diseño de estructuras de hormigón*. p. 38.

1.4.2. Resistencia a la tensión

La resistencia a la tensión del hormigón, en general, varía entre 8 % y 15 % de su resistencia a la compresión. Una razón principal para esta baja resistencia, es que el hormigón contiene un gran número de grietas muy finas. Las grietas tienen poca importancia cuando el hormigón está sometido a cargas de compresión, porque estas ocasionan que las grietas se cierren y permitan entonces la transmisión de la compresión.

Aunque la resistencia a la tensión normalmente se desprecia en los cálculos, es, sin embargo, una importante propiedad que afecta el tamaño y la extensión de las grietas que se presentan. Además, la resistencia a la tensión del hormigón tiene un efecto reductor en las deflexiones de los miembros.

1.4.3. Resistencia al corte

Es extremadamente difícil obtener en pruebas, fallas por cortante puro que no están afectadas por otros esfuerzos. Las pruebas para resistencia por cortante del hormigón han dado, durante muchos años, valores que varían entre $1/3$ y $4/5$ de las resistencias últimas a la compresión.

1.4.4. Módulo de elasticidad dinámico

El módulo de elasticidad dinámico, que corresponde a deformaciones unitarias instantáneas muy pequeñas, se obtiene usualmente por medio de pruebas sónicas o acústicas. Es entre 20 % y 40 % mayor que el módulo elástico y es aproximadamente igual al módulo inicial. Cuando las estructuras se analizan por cargas de sismo o impacto, el uso del módulo dinámico parece ser apropiado.

1.4.5. Módulo de Poisson

Al someter un cilindro de hormigón a cargas de compresión, este no solo se acorta a lo largo sino que también se expande lateralmente. La proporción de esta expansión lateral respecto al acortamiento longitudinal se denomina módulo de Poisson. Su valor varía de aproximadamente 0,11 para hormigón de alta resistencia hasta 0,21 para hormigón de bajo grado, con un valor promedio de 0,16.

En la mayoría de los diseños de hormigón reforzado, no se le da ninguna consideración al llamado efecto Poisson. Sin embargo, puede que tenga que ser considerado en el análisis y diseño de presas de arco, túneles y de algunas otras estructuras estáticamente indeterminadas.

1.4.6. Contracción

Cuando los materiales del hormigón se mezclan, la pasta de cemento y agua llena los vacíos entre los agregados y los une. Esta mezcla necesita ser lo bastante líquida de modo que pueda fluir entre las barras de refuerzo y entre la formaleta.

Después de que el hormigón se ha curado y se establece el equilibrio térmico, el agua adicional que se usó en el mezclado empieza a aflorar en la superficie, donde se evapora. Como resultado de esto, el hormigón se contrae y se agrieta. Las grietas resultantes pueden reducir la resistencia a cortante de los miembros y pueden dañar el aspecto de la estructura. Además, las grietas permiten que el refuerzo quede expuesto a la atmósfera, con lo que puede incrementarse la corrosión. La contracción continúa durante muchos años, pero bajo condiciones ordinarias, probablemente 90 % se da durante el primer año.

La cantidad de humedad que se pierde varía con la distancia a la superficie. Además cuanto mayor es el área superficial de un miembro en proporción a su tamaño, mayor es la contracción, esto es, los miembros con secciones transversales pequeñas se contraen más que aquellos con secciones transversales grandes.

Para minimizar la contracción es deseable:

- Mantener en un mínimo la cantidad de agua para el mezclado
- Proporcionar un buen curado
- Intercalar juntas constructivas para controlar la posición de las grietas
- Usar refuerzo por contracción

- Emplear agregados apropiadamente densos y no porosos

1.4.7. Fluencia plástica

Bajo cargas de compresión sostenidas, el hormigón continuará deformándose durante largos períodos. Esta deformación adicional se llama fluencia plástica o cedencia. Si se aplica una carga de compresión a un miembro de hormigón, se presenta un acortamiento inmediato o elástico. Si la carga permanece actuando por largo tiempo, el miembro continuará acortándose durante varios años y la deformación final será igual aproximadamente a 2 o 3 veces la deformación inicial.

Si la carga a largo plazo se retira, el miembro recuperará la mayor parte de su deformación elástica y algo de su deformación plástica. Si la carga vuelve a actuar, tanto la deformación elástica como la plástica se desarrollarán de nuevo. Las cargas a largo plazo no solo generan fluencia plástica sino que también influyen adversamente en la resistencia del hormigón.

1.5. Acero de refuerzo

El acero usado en las estructuras de concreto puede ser en forma de barras circulares llamadas por lo general varillas. Las varillas pueden ser lisas o corrugadas. Las varillas corrugadas, que tienen protuberancias en sus superficies (los patrones difieren según los fabricantes) para aumentar la adherencia entre el concreto y el acero, se usan en casi todas las aplicaciones. Las varillas lisas no se usan con frecuencia, excepto para rodear las varillas longitudinales, sobre todo en columnas.

Las varillas redondeadas lisas están identificadas por sus diámetros en fracciones de pulgada, como de $3/8''\phi$, $1/2''\phi$ y $5/8''\phi$. Las varillas corrugadas son redondas y varían en tamaños del #3 al #11, con dos tamaños muy grandes, el #14 y el #18, también disponibles.

1.5.1. Ambientes corrosivos

Cuando el concreto reforzado se ve sometido a sales descongelantes, agua marina o rocío de estas sustancias, es necesario proporcionar una protección especial al acero de refuerzo contra la corrosión. Las estructuras usualmente afectadas son los tableros de puentes, los garajes de estacionamientos, las plantas de tratamiento de aguas negras y diversas estructuras costeras. También deben considerarse las estructuras sujetas a derrames ocasionales de productos químicos que contienen cloruros.

El refuerzo se oxidará si no está bien protegido; al oxidarse, los óxidos resultantes ocupan un volumen mucho mayor que el del metal original. Como resultado, se dan grandes presiones hacia el exterior que ocasionan un severo agrietamiento y astillado del concreto. Esto reduce el recubrimiento protector de concreto para el acero y la corrosión se acelera, además, la adhesión entre el concreto y el acero se reduce. El resultado de todos estos factores es una reducción en la vida útil de la estructura.

La sección 7.7.6 de código ACI requiere que en ambientes corrosivos se proporcione más recubrimiento de concreto al acero; también expresa que se usen proporciones especiales de la dosificación del concreto.

La vida útil de tales estructuras puede elevarse sustancialmente con el uso de varillas de refuerzo recubiertas con epóxido. Esas varillas deben manejarse

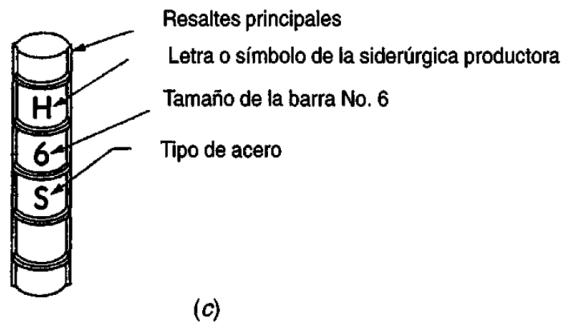
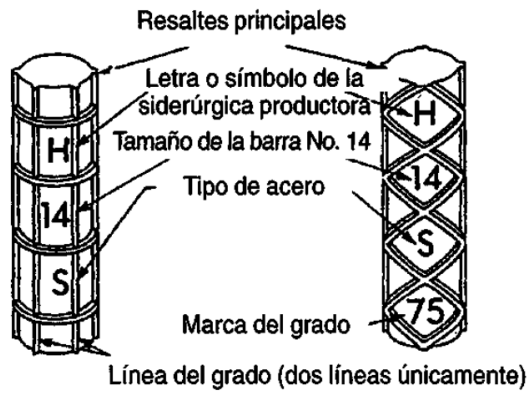
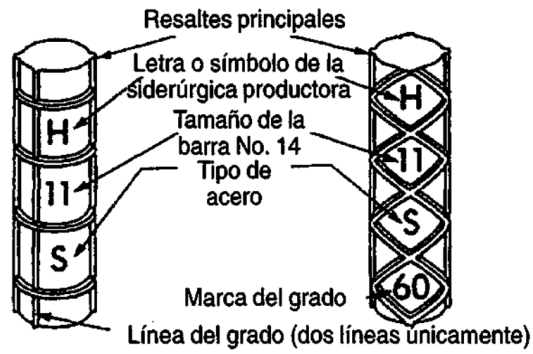
cuidadosamente para no quebrar sus capas protectoras, además, la adhesión de tales varillas no es buena y sus longitudes de anclaje deben aumentarse. El uso de refuerzo de acero inoxidable puede aumentar la vida útil de las estructuras expuestas a ambientes corrosivos.

1.5.2. Identificación de las marcas en las varillas de refuerzo

Para identificar las dimensiones y grados de las varillas de refuerzo, estas tienen marcas de identificación impresa en su superficie. Dichas marcas se describen a continuación y se muestran en las siguientes figuras:

- El fabricante se identifica con una letra.
- El número con la dimensión de la varilla.
- El tipo de acero se identifica con otra letra (S para lingote, R con un símbolo de riel para el acero de riel, A para el de eje y W para bajas aleaciones).
- Finalmente, el grado de las varillas se indica ya sea con número o con líneas continuas. Una varilla grado 60 tiene, ya sea el número 60 o una línea longitudinal continua además del corrugado. Una varilla con grado 75, tiene el número 75 o dos líneas continuas adicionales al corrugado.

Figura 3. Identificación de las varillas de refuerzo



Fuente: NILSON, Arthur. *Diseño de estructuras de concreto*. p. 55.

2. CONCEPTO GENERAL DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

Para el caso específico de este trabajo de graduación, se tratarán solo este tipo de juntas a saber que existen otros tipos, tal como el de temperatura.

2.1. Juntas de construcción

En las estructuras de hormigón, las juntas son necesarias por varias razones. El hormigón en una estructura dada puede colocarse continuamente o no, por ello, existen juntas de construcción que permiten suspender el trabajo y continuarlo después de un período de tiempo. Puesto que el hormigón sufre cambios de volumen, relacionados principalmente con la contracción y los cambios de temperatura, puede necesitar juntas, y así aliviar los esfuerzos de tensión o compresión que llegan a producirse en la estructura.

Las juntas de construcción se forman cuando el hormigón fresco se coloca contra hormigón endurecido, estas se usan para limitar el volumen del hormigón colado durante un período, para absorber la contracción debida al secado, sin agrietamiento no controlado, o para satisfacer necesidades arquitectónicas.

En muchas estructuras no es práctico colocar el hormigón en una operación continua, por lo tanto, se necesitan juntas de construcción para establecer una secuencia de construcción en la colocación de este. La cantidad de hormigón que deberá colocarse al mismo tiempo es regida por la capacidad de colado y mezclado, número de personal y cantidad de tiempo disponible. Las juntas de construcción correctamente ubicadas y debidamente ejecutadas,

proporcionan los límites para las colocaciones sucesivas de hormigón, sin afectar adversamente la estructura.

Una buena junta de construcción para hormigón monolítico, podría ser una interface adherida que proporcione una superficie a prueba de agua y permita la continuidad de flexión y cortante a través de la misma. Sin esta continuidad, resulta una región debilitada que puede servir como una junta de contracción o de expansión. La junta de contracción se forma creando un plano de debilidad. Si es posible, las juntas de construcción deberán coincidir con las juntas de contracción, aislamiento o expansión.

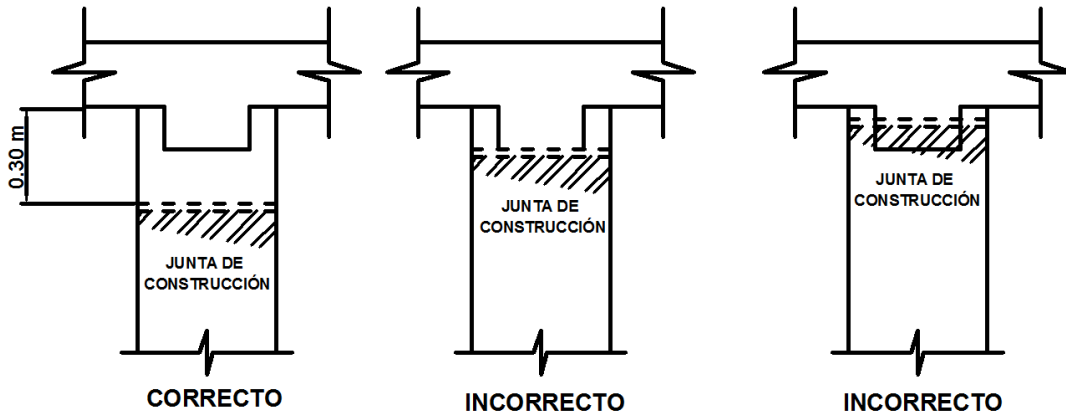
2.2. Ubicación de las juntas de construcción en columnas de concreto armado

Deberá considerarse cuidadosamente la selección de la ubicación de la junta de construcción. Las juntas de construcción deberán ubicarse donde afecten menos la integridad estructural del elemento bajo estudio y ser compatibles con la apariencia del edificio. La colocación de la junta varía dependiendo del tipo de elemento y la capacidad de construcción. Por esta razón, las vigas y losas se analizan separadamente de las columnas y muros. Para la ubicación de las juntas de construcción se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Las juntas de construcción en columnas deberán ubicarse en las partes inferiores de las losas de piso y vigas, a 0,20 m y 0,30 m más abajo del nivel inferior de los elementos horizontales o inclinados en que estos se apoyan (ver figura 4 y 5).

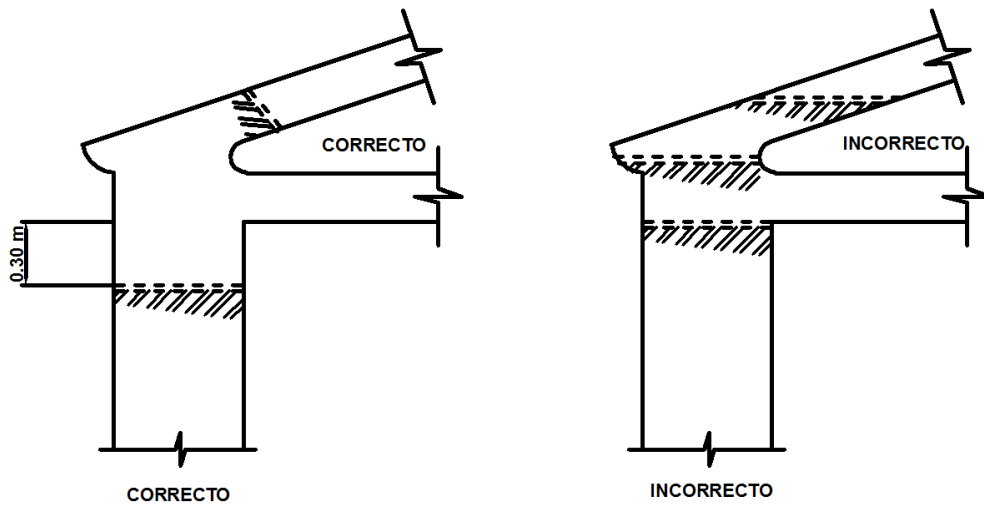
- Las juntas de construcción se colocan en la parte superior de las losas de piso para columnas que continúan en el piso siguiente; capiteles de columnas, bloques, engrosamiento de losas, y ménsulas deberán colocarse monolíticamente con la losa (ver figura 5).
- Dependiendo de la arquitectura de la estructura, la junta de construcción puede usarse como un detalle arquitectónico o ubicarse integralmente para no ser notada. La calidad de la construcción de la formaleta es de mayor importancia para proporcionar el detalle visual requerido.
- El hormigón en las columnas deberá dejarse reposar por lo menos dos horas antes de colocar los pisos siguientes. Esto evitará grietas de asentamiento en losas y vigas, debido a la contracción vertical de las columnas previamente colado.
- La transferencia de cortante y doblaje en juntas de columnas deberá ser manejada de la misma forma que para vigas y losas.
- El refuerzo deberá continuar a través de la junta, con la longitud adecuada para asegurar un anclaje completo. Si la junta es sometida a cortante lateral, la transferencia por fricción cortante o por acción de anclaje es agregada.

Figura 4. **Ubicación de juntas de construcción 1**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Figura 5. **Ubicación de juntas de construcción 2**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

2.3. Procesos constructivos

A continuación, se presentan procesos para la elaboración de una junta de construcción en elementos verticales.

2.3.1. Colocación del hormigón en elementos verticales

El interior de las columnas comúnmente se encuentra congestionado, debido al gran volumen de acero de refuerzo que contiene en su interior y a la gran altura en relación con las dimensiones de su sección transversal. En consecuencia, aunque las columnas se llenan en forma continua, el hormigón debe colocarse en incrementos de 2 pies a 4 pies (0,60 m a 1,22 m aproximadamente) de profundidad y consolidar con vibradores internos que se levanten después de agitar cada incremento. Debe hacerse todo esfuerzo para evitar una junta fría si ocurre alguna demora en el suministro de hormigón antes de acabar de llenar una columna. Al fundir el remanente de una columna, el primer incremento debe ser pequeño y vibrar para penetrar ligeramente la proporción previa.

Para evitar la formación de ratoneras y acumulación de piedra suelta en el fondo de las columnas, la colocación de hormigón debe comenzarse con 2 plg a 4 plg (5 cm a 10 cm aproximadamente) de mortero de inyección.

Algunos resultados de la colocación defectuosa en las columnas que se observan con frecuencia son los siguientes: líneas inclinadas de las capas; ratoneras, goteras, si el agua está presente; y si se toman núcleos a alturas sucesivas se presenta una reducción de resistencia hasta del 50 % desde el fondo hacia arriba.

Precauciones para evitar defectos en las columnas:

- Colocar el hormigón en capas a nivel, por medio de canaletas poco espaciadas una de otra.
- No colocar el hormigón en toda su profundidad en cada punto de colocación.
- No mover el hormigón lateralmente con los vibradores.
- Si la colocación de capas se demora, vibrar completamente el hormigón en la interface.

2.3.2. Preparación de la superficie

Las juntas de construcción se forman cuando se coloca hormigón sin endurecer sobre hormigón que ya se ha puesto tan rígido que no puede incorporarse el nuevo hormigón en el viejo por vibración. En general, se deben tomar las medidas necesarias para obtener la adherencia entre los dos.

Pasos:

- Limpiar la superficie expuesta.
- Cortar el hormigón cuando está fresco, en especial si el hormigón expuesto no es de la más alta calidad.
- Usar un chorro de aire y agua a unas 100 lb/plg² (7 Kg/cm²) para eliminar los fragmentos y el hormigón de superficie inferior.

- Para la limpieza final, la superficie se debe limpiar con chorro de arena o con fricción vigorosa con cepillo de alambre fino, para hacer visible el agregado grueso, antes de colocar el hormigón nuevo.
- El chorro de arena, sin limpieza inicial, puede producir excelentes uniones en las superficies horizontales de hormigón macizo que se colocó con un revenimiento de 2 plg (5 cm) o menos; pero la superficie se debe proteger contra el tráfico excesivo.
- Después de limpiar con chorro de arena, la superficie se debe lavar con todo cuidado y dejarla secar.
- Antes de depositar el hormigón nuevo, la superficie se debe cubrir con $\frac{1}{2}$ plg (2,5 cm) de mortero de la misma dosificación que el hormigón. El mortero se debe aplicar en la superficie con escobas de alambre o aplicarlo con una pistola de aire. La primera capa de hormigón nuevo se debe colocar antes de que haya secado la capa de $\frac{1}{2}$ plg (1,25 cm) de mortero.

2.3.3. Preparación del encofrado

Cuando se necesita realizar juntas de construcción, el encofrado a utilizar se coloca de la misma manera que el encofrado para elementos donde no existe junta de construcción. La única variable es conocer la ubicación y tipo de junta de construcción que se realizará, puesto que es importante limpiar la lechada existente en el área de ubicación de la junta, para que se obtenga una mejor adherencia entre ambos concretos (nuevo y viejo) y el comportamiento de la estructura sea el más adecuado para liberar la energía y aliviar esfuerzos de tensión o compresión que se producen cuando son de gran volumen.

Las juntas de construcción permiten suspender el trabajo y continuarlo después de un período, cuidando que las juntas se ubiquen donde afecten menos la integridad estructural del elemento bajo estudio, y ser compatibles con la integridad total de los sistemas (viga-columna) del edificio.

El encofrado de los elementos estructurales puede realizarse con formaletas de madera, las cuales se podrán utilizar de 2 a 3 veces dependiendo del cuidado que se le dé, o usar placa metálica para la elaboración de los elementos estructurales, con este proceso la placa puede utilizarse un mayor número de veces, siempre y cuando se tenga el cuidado necesario y se le dé mantenimiento.

Figura 6. **Encofrado de columnas con madera**



Fuente: <http://nodubitatio.es.tl/Fotografias/pic-1000019.htm> Consulta: febrero de 2015.

Figura 7. **Encofrado de columnas con placa metálica**



Fuente:

http://www.metalmachine.com.ec/seccion/105/encofrado_metalico_para_columnas. Consulta:
febrero de 2015.

2.4. Ejecución de las juntas de construcción

A continuación, se presentan pasos a seguir para hacer una junta de construcción y así tener un adecuado comportamiento en el elemento estructural.

2.4.1. Formación de la junta

El hormigonado de la capa o zona final que da origen a una junta de construcción debe ser realizado tomando en cuenta lo siguiente:

- El hormigón debe ser colocado con el menor asentamiento de cono que sea posible.

- La compactación debe realizarse hasta el extremo final.
- La superficie de terminación debe ser lo más regular posible, evitando los excesos de lechada y de mortero en casos de juntas de corte horizontal como columnas.

2.4.2. Preparación de la junta

A continuación, se presentan metodologías a usar para tratar una junta de construcción, desde el encofrado hasta la terminación del elemento estructural.

2.4.2.1. Tratamiento de las juntas de hormigón joven

Una junta de hormigón joven se realiza cuando se une el nuevo hormigón con una capa de hormigón que tiene entre 4 y 12 horas de colocación, o de 12 a 24 horas si se ha trabajado con algún aditivo regulador de fraguado.

La preparación de la junta consiste en someter a la superficie de unión al siguiente proceso:

- Raspar o picar para eliminar la capa de mortero o lechada relativamente blanda.
- Lavar a presión con chorro de agua.

2.4.2.2. Tratamiento de las juntas de hormigón envejecido

El tratamiento de preparación es el siguiente:

- Picar la capa superficial endurecida y, si fuera necesario, completar el proceso con chorro de arena a presión.
- Lavar con chorro de agua a presión y mantener saturada la superficie de contacto durante 24 horas, suspendiendo el mojado la noche anterior al día de la fundición.

2.5. Continuación del hormigonado

Sobre las superficies preparadas se prosigue el hormigonado, aplicando previamente cualquiera de las siguientes capas de base.

2.5.1. Capa de mortero

- Extender una capa de mortero plástico seco de espesor 1 a 2 cm en juntas horizontales. La composición del mortero deber ser la misma que tiene el mortero del hormigón a usar.
- Colocar la primera capa del nuevo hormigón de espesor de 30 a 40 cm antes que endurezca la capa de mortero. Si la colocación del hormigón es difícil, se puede aumentar el asentamiento del cono, pero manteniendo la razón agua-cemento y abrir ventanillas en el moldaje para asegurar un perfecto llenado.

- Compactar, introduciendo el vibrador hasta la capa de mortero para que este refluya hacia la capa de hormigón.
- Proseguir la colada de acuerdo al sistema establecido en la obra.

2.6. Prohibiciones

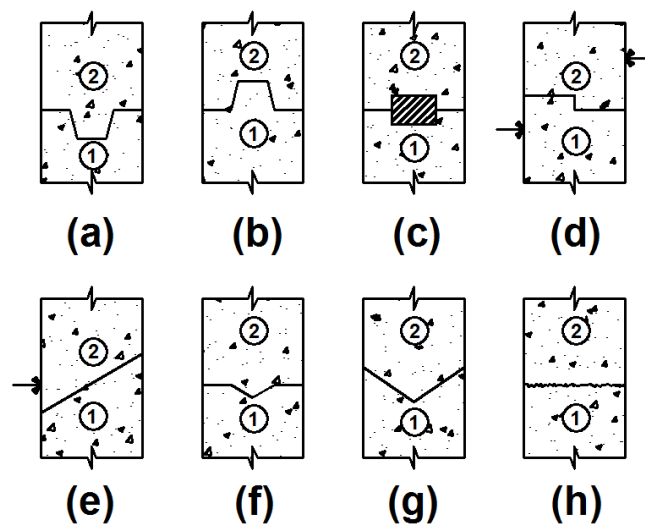
- Se prohíbe la limpieza y tratamiento de la superficie de la junta con ácidos o productos corrosivos para el hormigón o para el acero de las armaduras.
- No es permitido el empleo de lechadas de cemento como capa de base para la junta.
- El cemento del nuevo hormigón no debe ser incompatible con el cemento empleado en el hormigón ya colocado.
- No debe emplearse hormigones fabricados con cemento de distintos orígenes en juntas de hormigón joven.

2.7. Tipos de juntas de construcción

Las juntas de construcción deben localizarse y diseñarse si es posible en secciones de cortante mínimo. Si no es posible fundir un piso completo en una operación, las juntas horizontales se colocan entre las columnas y el piso; las columnas se funden primero y luego todo el sistema de piso (vigas y losas).

En la figura 8 se muestran varios tipos de juntas de construcción para columnas de concreto armado. Los números en cada sección se refieren al orden de colocación de hormigón.

Figura 8. **Tipos de juntas de construcción para columnas de concreto armado**



Fuente: RIKETTS, Merrit. *Manual integral para diseño y construcción*. p. 9,41.

En las juntas horizontales conocidas como juntas tipo llave, como en la figura 8a, la llave se forma clavando un trozo de madera al interior de las formaletas. Una llave saliente, como en la figura 8b, hace difícil la formaleta para juntas horizontales.

En la junta horizontal de la figura 8c, la llave se hace colocando bloques de hormigón prefabricados dentro del hormigón a intervalos intermitentes. La llave de las figuras 8d y 8e es adecuada si el cortante actúa.

Las llaves en forma de V de la figura 8f y 8g, pueden hacerse de manera manual en el hormigón húmedo para las juntas horizontales. En la figura 8h, se confía en la fricción sobre la superficie rugosa y se eliminan las llaves. El método se emplea si hay fuerzas a compresión grandes, y suficiente esfuerzo a través de la junta o los cortantes son mínimos.

3. GENERALIDADES DE LAS JUNTAS FRÍAS

3.1. Definición de junta fría

Una junta fría es el efecto que se da cuando un elemento de hormigón estructural no se funde monolíticamente, condición usual en los procesos constructivos, a veces, por falta de pericia, experiencia o capacidad del equipo en la preparación y colocación del concreto en obra, o se pueden producir interrupciones en el servicio del concreto no previstas en la planificación de la obra, caso en el cual se producen las llamadas juntas frías.

Las juntas frías se producen generalmente cuando se interrumpe la producción o mezclado del concreto por un período tal, que el mismo inicia el proceso de fraguado antes de que el proceso de mezclado continúe. También pueden producirse por causas de fuerza mayor como debido a fallas en los equipos, condiciones climáticas desfavorables, retraso de la llegada del concreto premezclado, entre otros.

En los nudos no es adecuada la presencia de las juntas frías debido a que debilitan y disminuyen su capacidad. Es de gran importancia tomar en consideración la calidad de las juntas frías para evitar la mala adherencia y la discontinuidad en el concreto, sino la estructura se verá afectada en su capacidad de plastificación, estando propensa a posibles fallas por la concentración de esfuerzos.

Causas que originan las juntas frías

- Interrupción en el suministro de hormigón
- Condición climática adversa
- Fin de la jornada de trabajo
- Desperfecto de maquinarias o equipos

3.2. Juntas frías en elementos estructurales

La falta de pericia, experiencia o capacidad instrumental en la preparación y colocación del concreto en obra, pueden producir interrupciones en el servicio del concreto no previstas en la planificación durante la ejecución de la obra, generando juntas frías.

Cuando se tienen planificadas interrupciones durante el desarrollo de la construcción, es posible conocer la ubicación de las juntas de construcción.

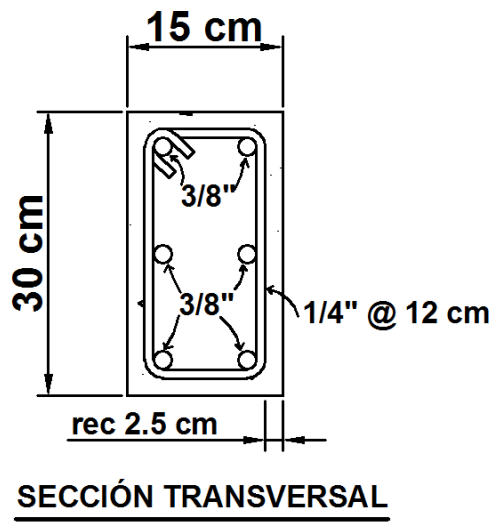
Otra forma para que se presenten juntas frías es por interrupciones en los horarios de las jornadas laborales o causas de fuerza mayor, como fallas en los equipos, condiciones climáticas desfavorables, retraso de la llegada del concreto premezclado, entre otros. También se debe tomar en consideración la ubicación de la junta fría, para así tener las precauciones debidas y no afectar la integridad estructural. Cabe mencionar que donde se suscite alguna junta fría se debe reforzar más, para evitar fallas o agrietamientos en el concreto donde se encuentren ubicadas las mismas.

4. MODELOS DE SIMULACIÓN DE PROBETAS

4.1. Ensayos de compresión

Se elaboraron probetas de columnas con juntas de construcción rústica, ubicadas en el tercio medio de la longitud de la columna para la realización de ensayos a compresión y, con esto, comparar el comportamiento de las mismas en una edificación. Las columnas se elaboraron con las siguientes dimensiones: base 0,15 m, espesor 0,30 m y altura 2,50 m, 6 varillas longitudinales con diámetro de 3/8" (0,95 cm), para una cuantía del orden del 1 %, estribos con diámetro de 1/4" espaciados a cada 0,12 m, la proporción utilizada es 1:1.5:2:0,49 (cemento UGC, agregado fino, agregado grueso y agua).

Figura 9. Modelo de sección transversal de la probeta



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Figura 10. **Ensayo de columna a compresión**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Al momento de aumentar la cantidad de carga se observan fisuras en las esquinas de las columnas tanto en la parte superior como inferior.

Figura 11. **Aparición de grietas en ensayo a compresión**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

En el ensayo a compresión, la junta no sufre ninguna falla, solo se presentan desprendimientos del recubrimiento en la parte superior, por lo que el núcleo resistió toda la carga aplicada.

Figura 12. **Falla de columna a compresión**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Se realizaron dos ensayos a compresión y el comportamiento en ambas columnas de concreto fue de manera similar.

4.2. Ensayos de flexión

De la misma manera como se elaboraron probetas para ensayar columnas a compresión, se elaboraron probetas para ensayar columnas a flexión con las mismas dimensiones, proporciones y tipo de armado. Estas se ensayaron en diferentes posiciones para obtener la capacidad máxima de la columna en un punto crítico y conocer si el efecto del momento mantiene

relación de acuerdo a la posición de la columna (lado corto o lado largo), siendo las cargas del mismo orden.

Se realizaron ensayos a flexión de columnas en diferentes posiciones y empotramientos, para conocer los puntos de falla, el comportamiento de la columna y la junta de construcción de acuerdo a la posición de la columna (lado corto o lado largo).

Figura 13. **Ensayos de columnas a flexión**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Luego de la aplicación de carga, las columnas presentaron una deformación variada de acuerdo a la posición de las mismas, se observó mayor deformación en las columnas posicionadas en su lado corto.

Figura 14. Deformación de columnas



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Figura 15. **Fallas de columnas a flexión**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

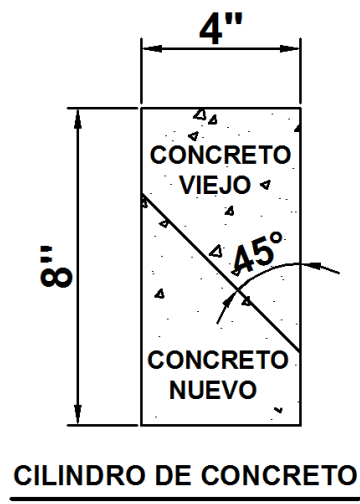
Las grietas que se observaron en las columnas al momento del ensayo, aparecieron donde se encontraban posicionados los estribos, en unos ensayos falló la junta y en otros hubo integración del sistema (hierro longitudinal y estribos), por lo que la junta no falló.

4.3. Ensayos de adherencia

Se elaboraron probetas de cilindros de concreto con junta de construcción a 45°. Los cilindros se elaboraron con el mismo concreto utilizado en las probetas de columnas (proporción 1:1.5:2:0,49, cemento, agregado fino, agregado grueso y agua), y las siguientes dimensiones (diámetro 4 plg (10 cm), altura 8 plg (20 cm)). Con los ensayos a compresión de los cilindros de concreto, se buscó evaluar la adherencia existente entre los dos concretos

(nuevo y viejo) y verificar el aumento de la resistencia del concreto ensayando los cilindros a diferentes edades (7, 14 y 28 días del concreto nuevo).

Figura 16. **Modelo de simulación**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Figura 17. **Ensayo de cilindros a diferentes edades**



Fuente: Área de Prefabricados, Sección de Estructuras, Facultad de Ingeniería, USAC.

Luego de la aplicación de carga a los cilindros se observaron diferentes resultados en cada una de las edades del concreto. El cilindro, a la edad de 7 días, tuvo una baja resistencia y una falla en el concreto nuevo. El cilindro ensayado a los 14 días, mejoró su resistencia y la adherencia entre ambos concretos, donde se obtuvo una falla dando la forma del reloj de arena. Por último, el cilindro ensayado a los 28 días tuvo una mejor resistencia, no falló la junta, por lo tanto, se observó una buena adherencia entre los dos concretos (nuevo y viejo).

5. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS TEÓRICO DE LAS JUNTAS DE CONSTRUCCIÓN

5.1. Calidad, mezclado y colocación del concreto

Se debe enfatizar en la resistencia promedio a la compresión del concreto producido y debe exceder siempre el valor especificado de f'_c utilizado en el diseño estructural.

5.1.1. Generalidades

Los requisitos para la dosificación del concreto se basan en la filosofía de que el concreto debe tener una adecuada durabilidad y resistencia. El concreto debe dosificarse para que proporcione una resistencia promedio a la compresión f'_{cr} .

Tabla II. Resistencia promedio a la compresión requerida cuando hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'c \leq 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (1) y (2) $f'cr = f'c + 1,34 s_s$ (1) $f'cr = f'c + 2,33s_s - 3,5$ (2)
$f'c > 35$	Usar el mayor valor obtenido de las ecuaciones (1) y (3) $f'cr = f'c + 1,34 s_s$ (1) $f'cr = 0,90f'c + 2,33s_s$ (3)

Fuente: Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08) y comentario. p. 72.

Tabla III. Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra cuando se dispone de menos de 30 ensayos

Número de ensayos *	Factor de modificación para la desviación estándar de la muestra °
Menos de 15	Emplee la tabla IV
15	1,16
20	1,06
25	1,03
30 o más	1
*Interpolar para un número de ensayos intermedios.	
° Desviación estándar de la muestra modificada, s_s , para usar en la determinación de la resistencia promedio requerida $f'cr$ de tabla II	

Fuente: Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08) y comentario. p. 71.

Tabla IV. **Resistencia promedio a la compresión requerida cuando no hay datos disponibles para establecer una desviación estándar de la muestra**

Resistencia especificada a la compresión, Mpa	Resistencia promedio requerida a la compresión, Mpa
$f'c < 21$	$f'cr = f'c + 7,0$
$21 \leq f'c \leq 35$	$f'cr = f'c + 8,3$
$f'c > 35$	$f'cr = 1,10f'c + 5,0$

Fuente: *Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-08) y comentario*. p. 72.

5.1.2. Dosificación del concreto

La dosificación de los materiales para el concreto debe establecerse para lograr:

- Trabajabilidad y consistencia que permitan colocar fácilmente el concreto dentro del encofrado y alrededor del refuerzo, bajo las condiciones de colocación que vayan a emplearse, sin segregación ni exudación excesiva.
- Cuando se empleen materiales diferentes para distintas partes de la obra propuesta, deben evaluarse cada una de las combinaciones.

5.1.3. Evaluación y aceptación del concreto

Una vez que se ha seleccionado la dosificación y se ha iniciado la obra, los criterios para la evaluación y aceptación del concreto se pueden obtener del código ACI.

5.1.3.1. Probetas curadas en forma estándar

Los cilindros para los ensayos de resistencia deben ser fabricados y curados en laboratorio de acuerdo con ASTM C31M y deben ensayarse de acuerdo con ASTM C39M. Los cilindros deben ser de 100 por 200 mm o de 150 por 300 mm.

El nivel de resistencia de una clase determinada de concreto se considera satisfactorio si cumple con los dos requisitos siguientes:

- Cada promedio aritmético de tres ensayos de resistencia consecutivos es igual o superior a f'_c .
- Ningún ensayo de resistencia es menor que f'_c por más de 3,5 MPa cuando f'_c es 35 MPa o menor; o por más de $0,10f'_c$ cuando f'_c es mayor a 35 MPa.

Cuando no se cumpla con cualquiera de los dos requisitos anteriores, deben tomarse las medidas necesarias para incrementar el promedio de los resultados de los siguientes ensayos de resistencia. Cuando no se satisfagan los requisitos del segundo inciso se debe cumplir con:

- Un ensayo de resistencia deber ser el promedio de las resistencias de al menos dos probetas de 150 por 300 mm o de al menos tres probetas de 100 por 200 mm, preparadas de la misma muestra de concreto y ensayadas a 28 días o a la edad de ensayo establecida para la determinación de f'_c .

5.1.4. Preparación del equipo y del lugar de colocación

La preparación previa a la colación del concreto debe incluir lo siguiente:

- Todo equipo de mezclado y transporte debe estar limpio.
- Deben retirarse todos los escombros y el hielo de los espacios que serán ocupados por el concreto.
- El encofrado debe estar recubierto con un desmoldante adecuado.
- Las unidades de albañilería de relleno en contacto con el concreto deben estar adecuadamente humedecidas.
- El refuerzo debe estar completamente libre de hielo o de otros recubrimientos perjudiciales.
- El agua libre deber ser retirada del lugar de colocación del concreto antes de depositarlo, a menos que se vaya a emplear un tubo para colocación bajo agua (*tremie*) o que lo permita la autoridad competente.

- La superficie del concreto endurecido debe estar libre de lechada y de otros materiales perjudiciales o deleznable antes de colocar concreto adicional sobre ella.

5.1.5. Mezclado y transporte

Todo concreto debe mezclarse hasta que se logre una distribución uniforme de los materiales.

Cada paso en el manejo y transporte del concreto necesita ser controlado con el fin de mantener la uniformidad dentro de una tanda de mezclado determinada, así como entre tandas de mezclado. Es esencial evitar la segregación entre agregado grueso y el mortero o entre el agua y los demás componentes.

El equipo de transporte debe ser capaz de proporcionar un abastecimiento de concreto en el sitio de colocación sin segregación de los componentes y sin interrupciones que pudieran causar pérdidas de plasticidad entre capas sucesivas de colocación.

5.1.6. Colocación

El concreto debe depositarse lo más cerca posible de su ubicación final para evitar la segregación debida a su manipulación o desplazamiento.

La colocación debe efectuarse a una velocidad tal que el concreto conserve su estado plástico en todo momento y fluya fácilmente dentro de los espacios entre el refuerzo.

No debe colocarse en la estructura concreto que haya endurecido parcialmente, o que se haya contaminado con materiales extraños.

No debe utilizarse concreto al que después de preparado se le adicione agua, ni que haya sido mezclado después de su fraguado inicial, a menos que sea aprobado por un profesional facultado para diseñar.

Una vez iniciada la colocación del concreto, esta debe efectuarse en una operación continua hasta que se termine el llenado de la sección, definida por sus límites o juntas predeterminadas.

Todo concreto debe compactarse cuidadosamente por medios adecuados durante la colocación, y debe acomodarse por completo alrededor del refuerzo y de las instalaciones embebidas, y en las esquinas del encofrado.

5.1.7. Curado

El concreto debe mantenerse a una temperatura por encima de 10 °C y en condiciones de humedad por lo menos durante los primeros 7 días después de la colocación (excepto para concreto de alta resistencia inicial).

El concreto de alta resistencia inicial debe mantenerse por encima de 10 °C y en condiciones de humedad por lo menos los 3 primeros días.

5.1.8. Requisitos para clima cálido

En clima cálido debe darse adecuada atención a los materiales componentes, los métodos de producción, el manejo, la colocación, la

protección y el curado con el fin de evitar temperaturas excesivas en el concreto, la evaporación, el funcionamiento del elemento o de la estructura.

5.2. Juntas de construcción

La superficie de las juntas de construcción del concreto debe limpiarse y estar libre de lechada. Inmediatamente antes de iniciar una nueva etapa de colocación de concreto, deben mojarse todas las juntas de construcción y eliminarse el agua empozada.

Es importante, para la integridad de la estructura, que todas las juntas de construcción estén cuidadosamente definidas en los documentos de construcción y que se construyan según lo especificado.

Las juntas de construcción deben hacerse y ubicarse de manera que no perjudiquen la resistencia de la estructura, deben tomarse medidas para la transferencia apropiada de cortante y de otras fuerzas a través de las juntas de construcción. Para fines de las juntas de construcción, cuando el concreto se coloca sobre concreto previamente endurecido, la interfaz donde se produce la transferencia de cortante debe estar limpia y libre de lechada. Cuando μ es igual a $0,1\gamma$, la interfaz debe hacerse rugosa con una amplitud completa de aproximadamente 6 mm según código ACI 318S-08.

Las juntas de construcción deben estar situadas donde causen el menor debilitamiento de la estructura. El diseño para fuerzas laterales puede requerir de un tratamiento especial del diseño de juntas de construcción. Pueden usarse llaves de cortante, llaves de cortante intermitentes, pasadores diagonales u otros métodos de transferencia utilizados en códigos como el ACI.

Las vigas, vigas principales, capiteles de columnas, descolgados para cortante y ábacos, deben construirse monolíticamente como parte del sistema de losas, a menos que en planos o especificaciones se indique de otro modo.

5.3. Cargas axiales

Toda estructura debe diseñarse para resistir las cargas solicitadas, siguiendo criterios y principios generales de diseño.

5.3.1. Suposiciones de diseño

El diseño por resistencia de elementos sometidos a cargas axiales se basa en lo siguiente: las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro, la relación entre la distribución de los esfuerzos de compresión en el concreto y la deformación unitaria en el concreto se debe suponer rectangular, trapezoidal o parabólica.

Para el diseño, el código ACI permite el uso de una distribución rectangular de esfuerzos de compresión (bloque de esfuerzos) como reemplazo de distribuciones de esfuerzos más exactas. En el bloque rectangular equivalente de esfuerzos, se utiliza un esfuerzo promedio de $0,85f'_c$ con un rectángulo de altura $a = \beta_1 * c$. Se ha determinado experimentalmente un valor de β_1 igual a 0,85 para concreto con $f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$ y menor en 0,05 por cada 7 kg/cm^2 de f'_c sobre 280 kg/cm^2 .

La máxima deformación unitaria utilizable en la fibra extrema sometida a compresión del concreto se supone igual a 0,003 según código ACI 318S-08.

5.3.2. Principios y requisitos generales

El diseño de las secciones transversales sometidas a cargas axiales o de flexión, o la combinación de ambas (flexo-compresión), debe basarse en el equilibrio y la compatibilidad de las deformaciones. La condición de deformaciones balanceadas existe en una sección transversal cuando el refuerzo en tracción alcanza la deformación unitaria correspondiente a f_y , al mismo tiempo que el concreto en compresión alcanza su deformación unitaria última supuesta de 0,003.

Las secciones se denominan controladas por compresión si la deformación unitaria neta de tracción en el acero extremo en tracción, ϵ_t , es igual o menor al límite de deformación unitaria controlada por compresión, cuando el concreto en compresión alcanza su límite de deformación supuesto de 0,003.

La resistencia axial de diseño ϕP_n de elementos en compresión no debe tomarse mayor que $\phi * P_{n,max}$, calculado usando la ecuación (1) o (2).

Para elementos no preesforzados con refuerzo en espiral

$$\phi * P_{n(max)} = 0,85\phi (0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (1)$$

Para elementos no preesforzados con estribos

$$\phi * P_{n(max)} = 0,80\phi (0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2)$$

Para elementos preesforzados, la resistencia axial de diseño, ϕP_n , no debe tomarse mayor a 0,85 (para elementos con refuerzo en espiral) o 0,80 (para elementos con estribos) de la carga axial de diseño con excentricidad nula ϕP_o .

5.3.3. Limitantes de sección y refuerzo de elementos a compresión

Para un elemento a compresión que tenga una sección transversal mayor que la requerida por las consideraciones de carga, se permite emplear un área efectiva reducida A_g , no menor que la mitad del área total, con el fin de terminar el refuerzo mínimo y la resistencia.

El área de refuerzo longitudinal, A_{st} , para elementos no compuestos a compresión no debe ser menor a $0,01 * A_g$ ni mayor a $0,08 * A_g$.

El número mínimo de barras longitudinales en elementos sometidos a compresión debe ser de 4 para barras dentro de estribos circulares o rectangulares y 6 para barras rodeadas por espirales.

5.3.4. Análisis elástico de segundo orden

El análisis elástico de segundo orden debe tener en cuenta las propiedades de la sección, determinadas considerando la influencia de las cargas axiales, la presencia de regiones agrietadas a lo largo del elemento y los efectos de duración de las cargas.

Se permite usar las siguientes propiedades para los elementos en la estructura:

- Módulo de elasticidad

$$E_c = 15\,000\sqrt{f'_c} \quad (3)$$

En sistema mks, esfuerzos en kgf/cm^2

- Momentos de inercia (I)

Elementos en compresión:

- Columnas $0,70I_g$

Como alternativa, se permite que los momentos de inercia de los elementos sometidos a compresión, I, se calculen como sigue:

$$I = \left(0,80 + 25 \frac{A_{st}}{A_g}\right) \left(1 - \frac{M_u}{P_u h} - 0,5 \frac{P_u}{P_o}\right) I_g \leq 0,875 I_g \quad (4)$$

Donde P_u y M_u deben provenir de la combinación de carga particular en consideración, o la combinación de P_u y M_u que resulta del menor valor de I.

5.3.5. Procedimiento para la magnificación de momentos, estructuras sin desplazamiento lateral

Los momentos a compresión deben diseñarse para la fuerza axial mayorada P_u y para el momento mayorado amplificado para los efectos de curvatura del elemento, M_c , como sigue:

$$M_c = \delta_{ns} M_2 \quad (5)$$

Donde:

$$\delta_{ns} = \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75P_c}} \geq 1,0 \quad (6)$$

$$P_c = \frac{\pi^2 EI}{(\kappa l_u)^2} \quad (7)$$

El debe tomarse como:

$$EI = \frac{(0,2EI_c I_g + E_s I_{se})}{1 + \beta_{dns}} \quad (8)$$

o

$$EI = \frac{0,4E_c I_g}{1 + \beta_{dns}} \quad (9)$$

El término β_{ans} es la relación entre la máxima carga axial sostenida mayorada dentro de un piso y la máxima carga axial mayorada asociada con la misma combinación de carga, pero no debe ser mayor a 1,0.

Se permite considerar el factor de longitud efectiva, κ , como 1,0.

Para elementos sin cargas transversales entre apoyos, C_m , debe considerarse como:

$$C_m = 0,6 + 0,4 \frac{M_1}{M_2} \quad (10)$$

Donde el término M_1/M_2 es positivo si la columna esta flectada en curvatura simple y negativo si el elemento tiene curvatura doble. Para elementos con cargas transversales entre los apoyos, C_m , debe considerarse como 1,0. El momento, M_2 , en la ecuación (5) no debe ser menor de

$$M_{2,min} = P_u(15 + 0,03h) \quad (11)$$

En cada eje separadamente, donde 15 y h están en milímetros. Para los elementos en que $M_{2,min}$, excede a M_2 , el valor de C_m en la ecuación (10) debe ser igual a 1,0 o estar basado en la relación de los momentos calculados en los extremos, M_1/M_2 .

6. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DESTRUCTIVOS

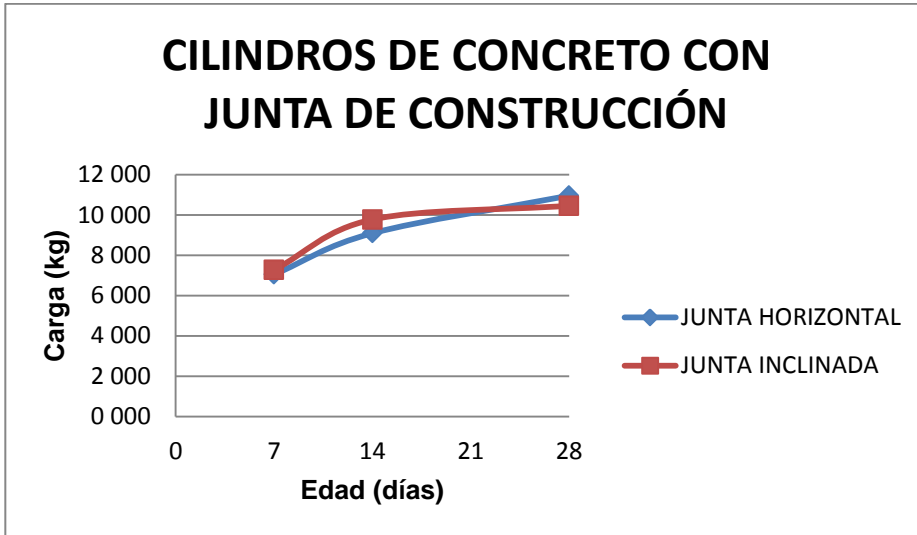
A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los ensayos realizados a cilindros y columnas de concreto armado con junta de construcción.

Tabla V. Resistencia a compresión de cilindros de concreto

RESISTENCIA A COMPRESIÓN					
TIPO DE JUNTA	CILINDROS	EDAD (DÍAS)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm ²)
HORIZONTAL	C1	7	95,03	7 045,45	74,14
	C1	14	95,03	9 090,91	95,66
	C1	28	95,03	10 954,55	115,27
INCLINADA	C2	7	122,19	7 272,73	59,52
	C2	14	122,19	9 772,73	79,98
	C2	28	122,19	10 454,55	85,56

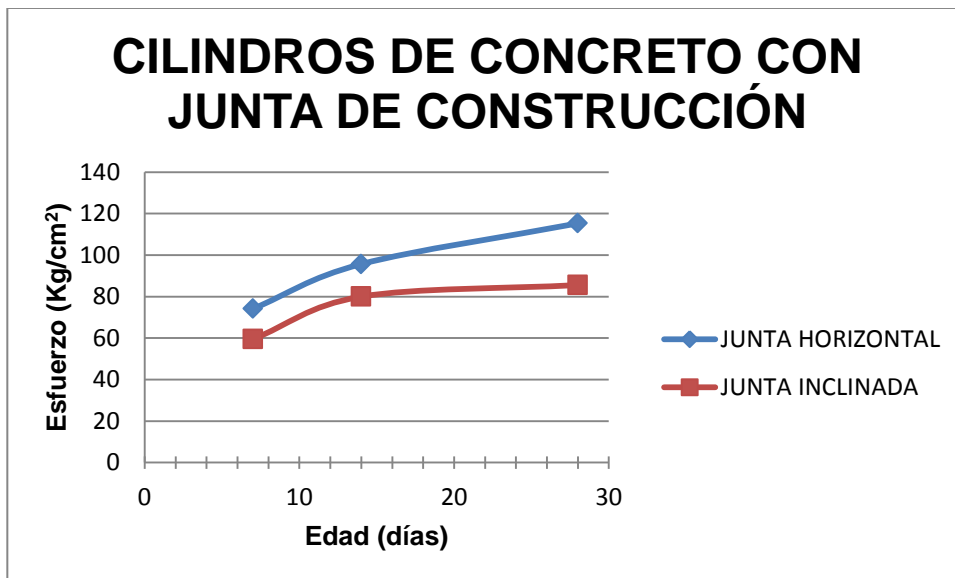
Fuente: elaboración propia.

Figura 18. Gráfica de carga vs días



Fuente: elaboración propia.

Figura 19. Gráfica de resistencia a compresión cilindros de concreto



Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. Resistencia a compresión en columnas 1 y 2

RESISTENCIA A COMPRESIÓN							
COLUMNA	EDAD (DÍAS)	SECCIÓN TRANSVERSAL	ÁREA (cm²)	ALTURA (cm)	CARGA ÚLTIMA(lb)	CARGA (kg)	f'c (kg/cm²)
1	28	15*30 cm	450	250	110 000	50 000	111,11
2	28	15*30 cm	450	250	75 500	34 318,18	76,26

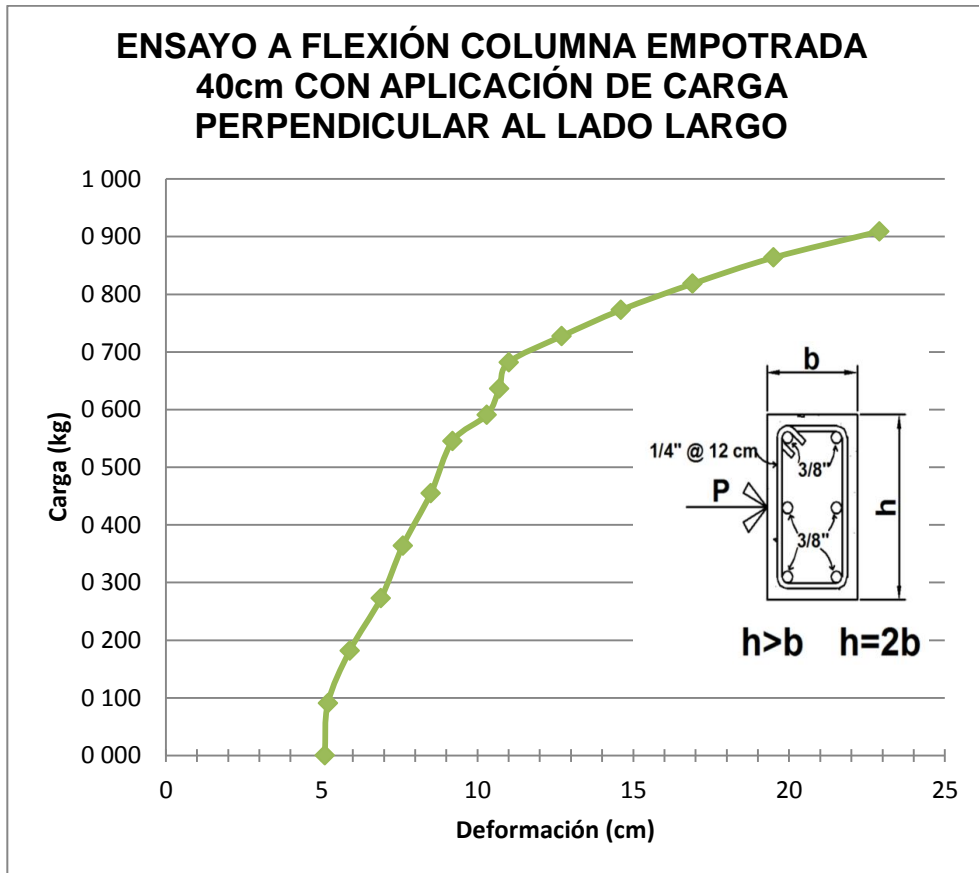
Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. Resistencia a flexión de columna 3 donde h>b

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN (cm)
0,00	5,1
90,91	5,2
181,82	5,9
272,73	6,9
363,64	7,6
454,55	8,5
545,45	9,2
590,91	10,3
636,36	10,7
681,82	11
727,27	12,7
772,73	14,6
818,18	16,9
863,64	19,5
909,09	22,9

Fuente: elaboración propia.

Figura 20. Gráfica de resistencia a flexión de columna 3 donde $h > b$



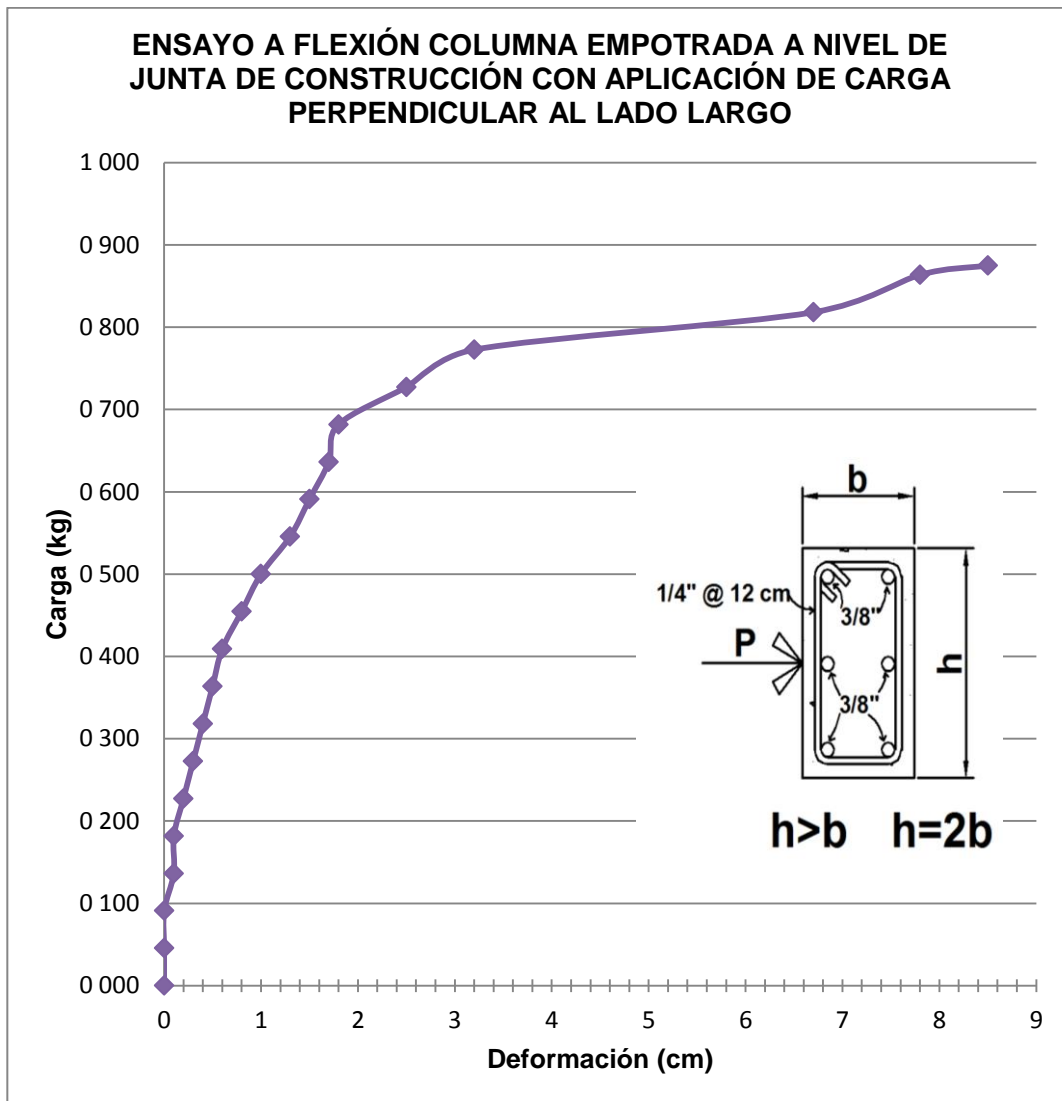
Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. Resistencia a flexión de columna 4 donde $h > b$

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN (cm)
0,00	0
45,45	0
90,91	0
136,36	0,1
181,82	0,1
227,27	0,2
272,73	0,3
318,18	0,4
363,64	0,5
409,09	0,6
454,55	0,8
500,00	1
545,45	1,3
590,91	1,5
636,36	1,7
681,82	1,8
727,27	2,5
772,73	3,2
818,18	6,7
863,64	7,8
875,00	8,5

Fuente: elaboración propia.

Figura 21. Gráfica de resistencia a flexión de columna 4 donde $h > b$



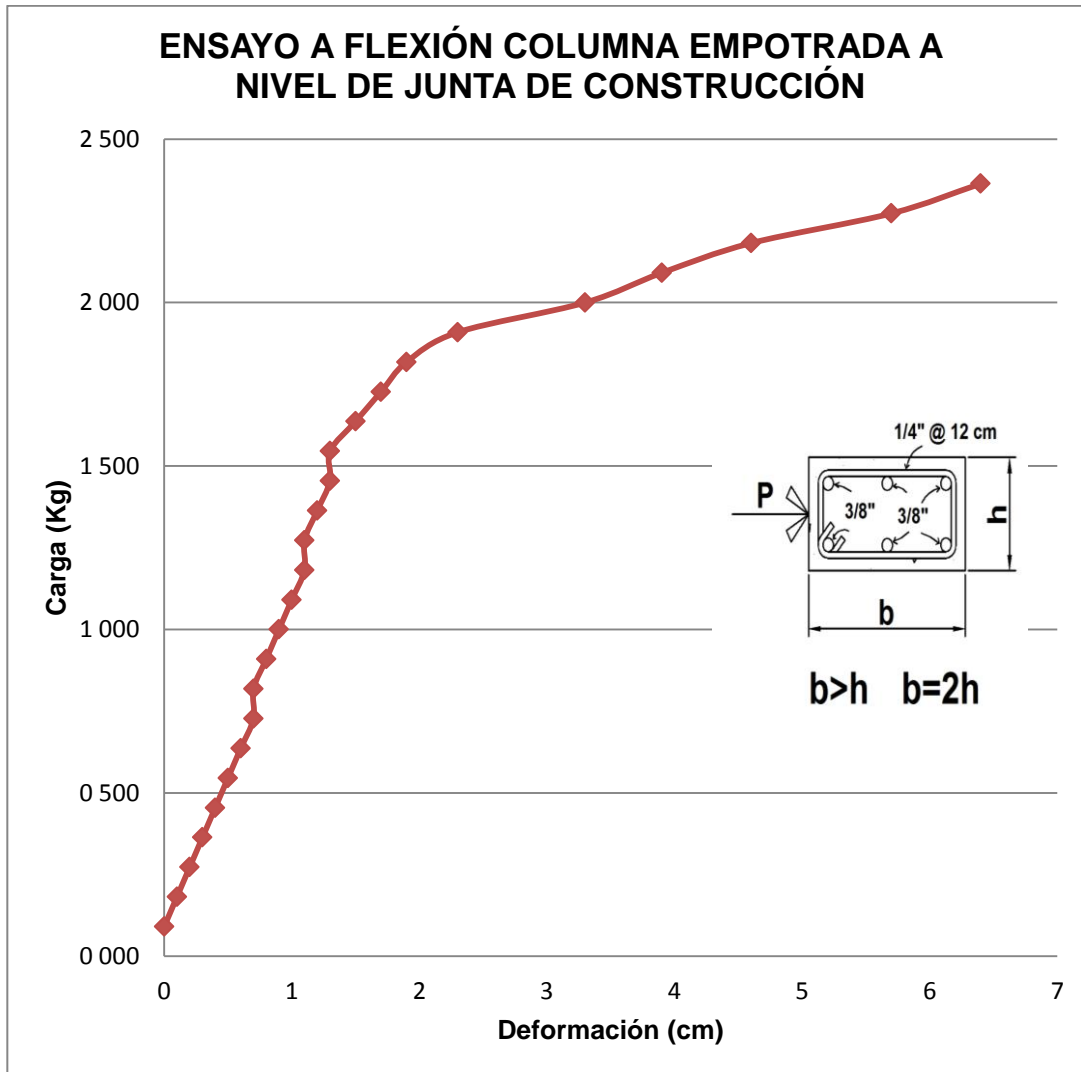
Fuente: elaboración propia.

Tabla IX. Resistencia a flexión de columna 5 donde $b > h$

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN (cm)
90,91	0
181,82	0,1
272,73	0,2
363,64	0,3
454,55	0,4
545,45	0,5
636,36	0,6
727,27	0,7
818,18	0,7
909,09	0,8
1 000,00	0,9
1 090,91	1
1 181,82	1,1
1 272,73	1,1
1 363,64	1,2
1 454,55	1,3
1 545,45	1,3
1 636,36	1,5
1 727,27	1,7
1 818,18	1,9
1 909,09	2,3
2 000,00	3,3
2 090,91	3,9
2 181,82	4,6
2 272,73	5,7
2 363,64	6,4

Fuente: elaboración propia.

Figura 22. Gráfica de resistencia a flexión de columna 5 donde $b > h$



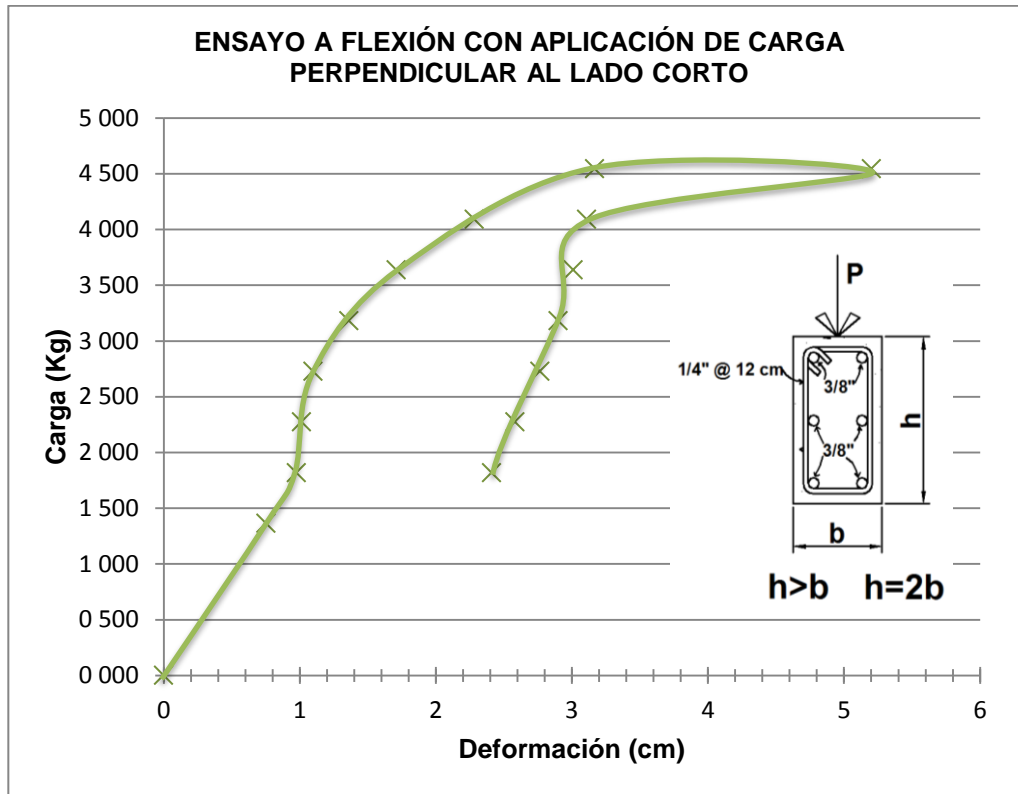
Fuente: elaboración propia.

Tabla X. Resistencia a flexión de columna 6 donde $h > b$

CARGA (kg)	DEFORMACIÓN (cm)
0,00	0,00
1 363,64	0,75
1 818,18	0,98
2 272,73	1,01
2 727,27	1,10
3 181,82	1,36
3 636,36	1,71
4 090,91	2,28
4 545,45	5,20
4 545,45	3,17
4 090,91	3,11
3 636,36	3,01
3 181,82	2,90
2 727,27	2,77
2 272,73	2,58
1 818,18	2,41

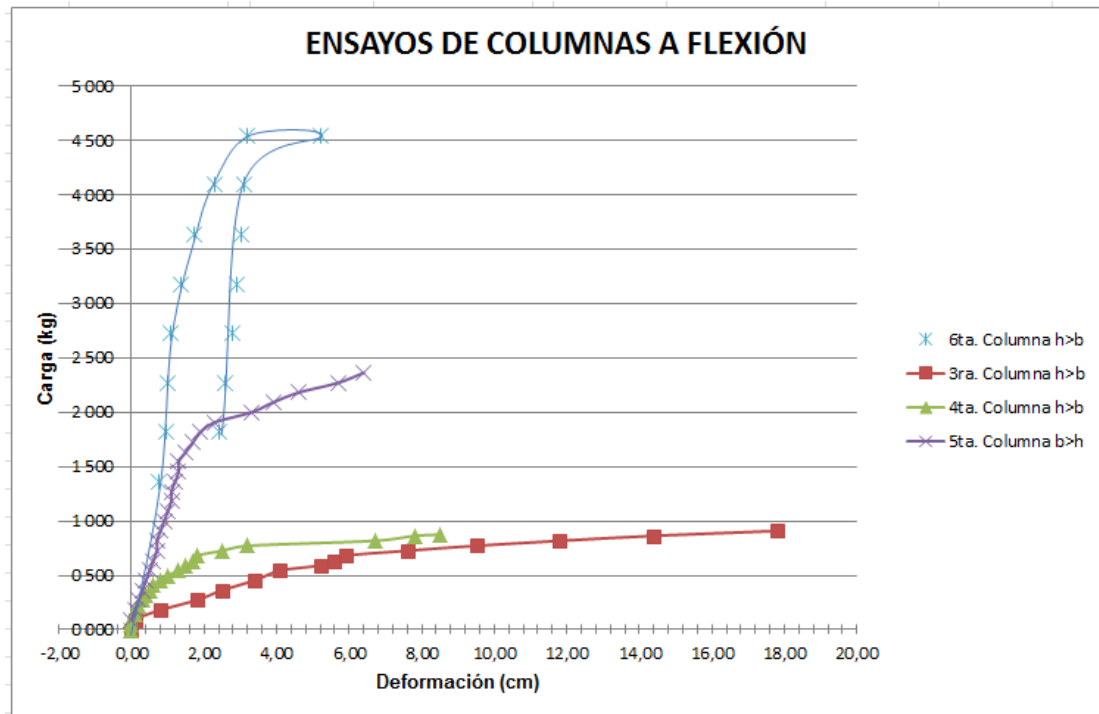
Fuente: elaboración propia.

Figura 23. Gráfica de resistencia a flexión de columna 6 donde $h > b$



Fuente: elaboración propia.

Figura 24. **Gráfica de resistencia a flexión de columnas de concreto en diferente posición**



Fuente: elaboración propia.

7. COMPARACIÓN DE RESULTADOS

Al realizar el cálculo teórico y experimental (ensayos) de los elementos verticales, se observó una discrepancia en los resultados obteniendo lo siguiente:

7.1. Elementos verticales a compresión

En los elementos a compresión se presentó una variabilidad en la resistencia del concreto, debido a la junta fría.

Tabla XI. Carga teórica-práctica de elementos a compresión

Pc Euler (kg)	Pu ensayo (kg)
58 525,05	50 000
Relación	0,85
%=1-85=15	

Fuente: elaboración propia.

Por no ser monolítico, el elemento disminuye su capacidad, presentándose una discrepancia del 15 %, esto muestra una debilidad en la columna por la junta fría existente en el elemento estructural. Si, por el contrario, el elemento fuera monolítico cumpliría con la P_c de Euler y mejoraría la capacidad estructural si se confinara la zona donde se ubique la junta de construcción.

7.2. Elementos verticales a flexión

Existe una disminución en la resistencia del concreto cuando se presentan juntas en los elementos estructurales, y no hay variación cuando el elemento se funde monolíticamente.

Utilizando la ecuación (9-10) del código ACI 318S-08 se obtiene lo siguiente:

$$f_r = 2\lambda\sqrt{f'_c}$$

$$f_r = 33,47 \text{ kg/cm}^2$$

Comparando con los datos obtenidos en los ensayos se presenta lo siguiente:

$$f'_c = \frac{P}{A_n}$$

$$f'_c = 16 \text{ kg/cm}^2$$

Tabla XII. **Resistencia de elementos a flexión con y sin junta de construcción**

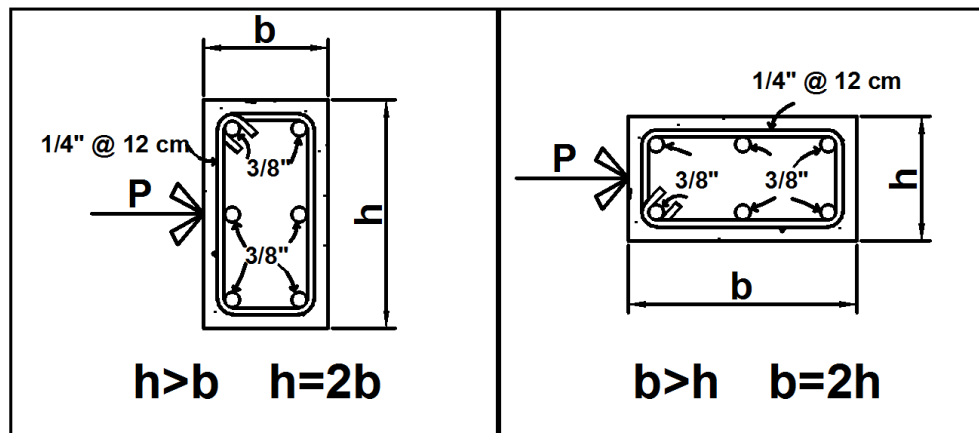
f' r (kg/cm2)	f' c (kg/cm2)	Diferencia porcentual
33,47	16	52,20 %

Fuente: elaboración propia.

Los elementos que trabajan a flexión y contienen junta de construcción tienen una disminución de un 50 % en su resistencia, pudiendo mejorar su capacidad confinando la zona donde se ubica la junta.

Al presentarse elementos estructurales con relación en sus dimensiones de 2 a 1 en su sección transversal, donde $h > b$, $h = 2b$, y 1 a 2, donde $b > h$, $b = 2h$, y aplicarle carga, los momentos obtenidos tienen la misma relación, se duplica el momento de un elemento con respecto al otro.

Figura 25. **Posiciones de las columnas en ensayos a flexión**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

- Columna 4

$$M = 668,18 \text{ kg.m}$$

- Columna 5

$$M = 1\,514,54 \text{ kg.m}$$

$$\text{relación} = 2,27$$

- Relación de bases de columnas

$$\text{relación} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,15 \text{ m}}$$

$$\text{relación} = 2$$

Se mantiene la relación entre la proporción lado corto y lado largo de la columna, y los momentos calculados, siendo estos 2 a 1.

8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

8.1. Cilindros de concreto

Debe mantenerse el encofrado de una junta horizontal no menos de 21 días, mientras que en la junta inclinada su valor es significativo, es decir, que los valores de resistencia para el diseño deben corresponder a 14 días y los valores de resistencia para el diseño de junta horizontal corresponden a no menos de 21 días. Al presentarse juntas inclinadas en los elementos estructurales, su resistencia es mucho menor que las juntas horizontales, debido a que resultan críticas por la fricción, cuanto menor sea el ángulo mayor será su resistencia.

Cuando se presentan las juntas de construcción se debe tener en consideración la parte geométrica de la misma, es decir, donde tenga que proveer la mínima área; si se observan los resultados de las pruebas de los cilindros los esfuerzos promedios son junta horizontal $\sigma = 1\,205,02 \text{ lb/plg}^2$ y junta diagonal $\sigma = 686,38 \text{ lb/plg}^2$.

Otras consideraciones que serán necesarias tener presentes son las condiciones ambientales donde se elabore el elemento estructural y mantener la misma calidad de los materiales (agregado fino, agregado grueso y cemento), para evitar la variación de la resistencia de los concretos en los puntos donde se revisan las juntas.

Por ejemplo, en el cilindro con junta horizontal del primer ensayo, su problema fue la segregación del agregado grueso, lo que provocó la disminución en la resistencia del concreto.

Tabla XIII. **Resistencia de cilindros de concreto con junta horizontal e inclinada**

RESISTENCIA DE CILINDROS DE CONCRETO					
Carga a diferentes edades (lb)			Carga promedio (lb)	Área de sección transversal (plg ²)	Diferencia porcentual
7 días	14 días	28 días			
15 500*	20 000*	24 100*	19 866,67*	14,73*	17,78 %
10 000 ^o	1 6000 ^o	23 000 ^o	16 333,33 ^o	18,94 ^o	
* Junta horizontal				^o Junta inclinada	

Fuente: elaboración propia.

- Diferencia porcentual de carga

$$Dif\ porcentual = \left(\frac{19\ 866,67 - 16\ 333,33}{19\ 866,67} \right) * 100$$

$$Dif\ porcentual = 17,78 \%$$

- Diferencia absoluta del esfuerzo

$$Dif\ absoluta_{junta\ horizontal} = 58,83 \%$$

$$Dif\ absoluta_{junta\ inclinada} = 69,44 \%$$

- Esfuerzo promedio de cilindros con junta horizontal e inclinada

- Junta horizontal

$$\sigma = \frac{19\,866,67 \text{ lb/plg}^2}{14,73 \text{ plg}^2}$$

$$\sigma = 1\,348,72 \text{ lb/plg}^2$$

- Junta inclinada

$$\sigma = \frac{16\,333,33 \text{ lb/plg}^2}{18,94 \text{ plg}^2}$$

$$\sigma = 862,37 \text{ lb/plg}^2$$

Si el análisis se hace solo con los resultados mayores se tiene:

- Para junta horizontal

$$P = 24\,100 \text{ lb}$$

$$A = 14,73 \text{ plg}^2$$

$$\sigma = \frac{24\,100 \text{ lb}}{14,73 \text{ plg}^2}$$

$$\sigma = 1\,636,11 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

- Para junta inclinada

$$P = 23\,000 \text{ lb}$$

$$A = 18,94 \text{ plg}^2$$

$$\sigma = \frac{23\,000 \text{ lb}}{18,94 \text{ plg}^2}$$

$$\sigma = 1\,214,36 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2}$$

$$Pu = 1\,636,11 * \text{sen}45^\circ$$

$$Pu = 1\,156,90 \text{ lb/plg}^2$$

Las juntas deberán estar en un ángulo no mayor a 45° , manteniendo cuidado con la parte geométrica de la misma, es decir, donde tenga que proveer la misma área, ya que por el efecto de Poisson ellas tendrán una menor capacidad de resistencia que va a estar en función de ese ángulo.

Si se usa un ángulo menor a 45° , el efecto se hace más crítico en su disminución de esfuerzos y, adicionalmente, se puede presentar una combinación de punzonamiento en los dos elementos de la junta.

8.2. Columnas a compresión

Los elementos a compresión deben diseñarse para la fuerza axial mayorada P_u y para el momento mayorado amplificado para los efectos de curvatura del elemento M_c .

Donde:

$$P_c = \frac{0,25 * \pi^2 * E_c * I}{(k * l_u)^2}$$

$$E_c = 15\,000 * \sqrt{f'_c}$$

$$I = 0,70 I_g$$

$$P_c = \frac{0,25 * \pi^2 * 15\,000 * \sqrt{\frac{280\,kg}{cm^2}} * 0,70 * \frac{1}{12} * (30\,cm * 15\,cm^3)}{(1 * 250\,cm)^2}$$

$$P_c = 58\,525,05\,kg$$

Carga última real del primer ensayo:

$$P_u = 110\,000\,lb$$

Equivalente en kilogramos:

$$P_u = 50\,000\,kg$$

Relación:

$$relación = \frac{P_u}{P_c}$$

$$relación = \frac{50\,000\text{ kg}}{58\,525,05\text{ kg}}$$

$$relación = 0,85$$

$$\% = 1 - 85 = 15$$

La diferencia del orden del 15 % es la debilidad que demuestra la columna por junta fría. Si fuera un elemento monolítico cumpliría con la P_c de Euler, pero al presentarse una junta fría, tiene una debilidad el elemento estructural.

Disminuyendo su capacidad en un 15 % por no ser monolítico, se complementa con los principios y requisitos generales para el diseño de secciones transversales sometidas a cargas axiales o a la combinación de ambas, basándose en el equilibrio y la compatibilidad de las deformaciones, utilizando hipótesis de diseño, según código ACI, y utilizando también las siguientes ecuaciones del código ACI.

Para elementos no preesforzados con refuerzo en espiral

$$\phi * P_{n(max)} = 0,85\phi (0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st})$$

Para elementos no preesforzados con estribos

$$\phi * P_{n(max)} = 0,80\phi (0,85f'_c(A_g - A_{st}) + f_y A_{st})$$

Los elementos sometidos a carga axial de compresión deben diseñarse para el momento máximo que puede acompañar a la carga axial.

8.3. Columnas a flexión

- Columnas 3 y 4

En el ensayo a flexión hay una relación efecto flexión y acción del esfuerzo a 45°.

La flecha de la columna

$$\Delta = 2 * long * \tan 1^\circ$$

$$\Delta = 2(250 \text{ cm}) * \tan 1^\circ$$

$$\Delta = 8,73 \text{ cm}$$

Si se inicia en cero (0) el sistema (carga cero (0) – deformación (0)), toma un endurecimiento por compresión del concreto, pero su comportamiento mantiene la misma relación hasta la primera grieta.

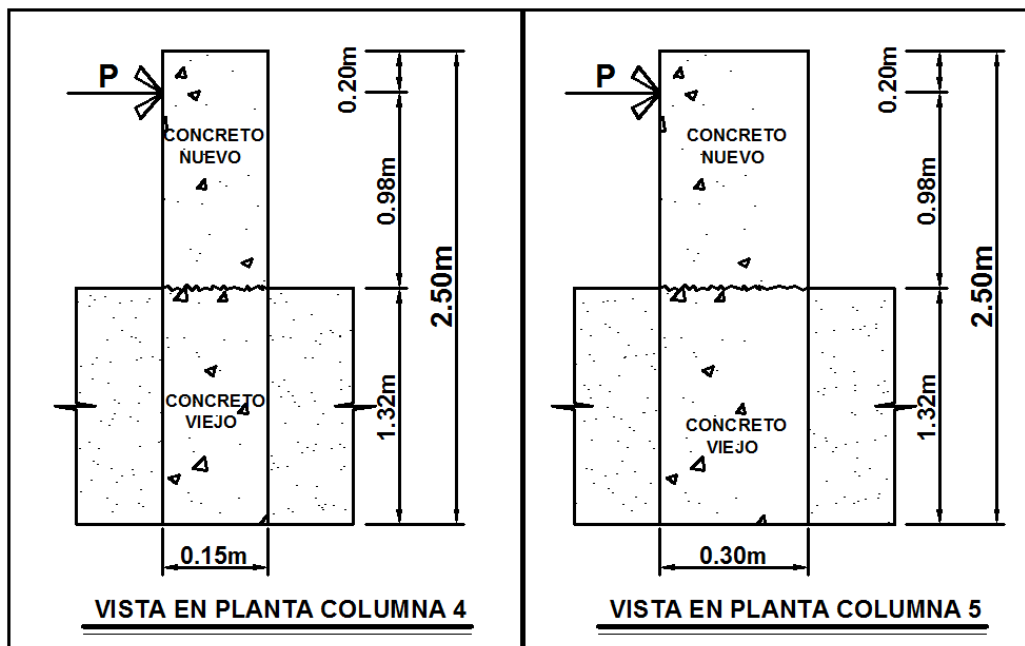
Hay congruencia del ensayo del cilindro a 45° con el ensayo a flexión, ya que el confinamiento de los estribos a 12,5 cm provee agrietamiento a 45° y se mantiene la relación.

Las columnas ensayadas a flexión, donde $h > b$ y $h = 2b$, mantuvieron la resistencia por deformación permisible. Al hacer comparación de curvas de los ensayos 3 y 4 (figura 21 y 22) y llegar a 8 cm de deformación, que es permisible, se observa que el acero provee estabilidad, llegando a los 900 kg de carga aplicada.

En la figura 22 se observa que, debido a la rigidez que genera la columna y la rigidez que provee el armado (acero longitudinal-estribo), existe una menor deformación por la palanca, generando el mismo comportamiento que en la figura 21 a los 500 kg de carga aplicada.

- Columnas 4 y 5

Figura 26. **Ensayos a flexión**



Fuente: elaboración propia, con programa de AutoCAD.

Al hacer comparación de momentos de las columnas ensayadas se tiene lo siguiente:

- Columna 4

$$M = 681,82 \text{ kg} * 0,98 \text{ m}$$

$$M = 668,18 \text{ kg.m}$$

- Columna 5

$$M = 1\,545,45 \text{ kg} * 0,98 \text{ m}$$

$$M = 1\,514,54 \text{ kg.m}$$

$$\text{relación} = \frac{1\,514,54 \text{ kg.m}}{668,18 \text{ kg.m}}$$

$$\text{relación} = 2,27$$

- Relación de bases de columnas

$$\text{relación} = \frac{0,30 \text{ m}}{0,15 \text{ m}}$$

$$\text{relación} = 2$$

Aunque las cargas sean del mismo orden, el efecto del momento sí mantiene una relación entre la proporción lado corto y lado largo de la columna.

Al realizar comparación de cargas de los ensayos 4 y 5 se observa que se mantiene una proporción idealizada en la zona elástica.

$$\text{relación de cargas} = \frac{2\,363,64 \text{ kg}}{818,18 \text{ kg}}$$

$$\text{relación de cargas} = 2,89$$

Cuando se desproporciona, la variación es diferente para la deformación de 6 cm, ya que se tiene una relación de 2,89, mientras que en la relación de momentos la proporción es de 2 a 1, esto debido al nivel de agrietamiento que presenta la columna donde disminuye la sección transversal.

- Columna 6

La deformación de 1 cm llega al orden de 1 500 kg en la zona donde fundamentalmente trabaja el concreto. Posterior a los 1 500 kg comienza a trabajar el acero, y entra a zona de endurecimiento a 3 000 kg. Menor a los 4 000 kg hay una combinación de trabajo de acero y concreto, y mayor a los 4 000 kg trabaja únicamente el acero. El remanente busca los 1 500 kg y duplica la deformación.

- Resistencia de la columna sin junta fría

$$f_r = 2\lambda\sqrt{f'_c}$$

$$f_r = 2(1)\sqrt{280 \text{ kg/cm}^2}$$

$$f_r = 33,47 \text{ kg/cm}^2$$

- Resistencia de la columna con junta fría

$$f'_c = \frac{P}{A_n}$$

$$f'_c = \frac{4\ 000\ kg}{250\ cm^2}$$

$$f'_c = 16\ kg/cm^2$$

$$Dif\ porcentual = \left(\frac{33,47\ kg/cm^2 - 16\ kg/cm^2}{33,47\ kg/cm^2} \right) * 100$$

$$Dif\ porcentual = 52,20\ \%$$

La junta disminuye alrededor del 50 % de la resistencia cuando trabaja a flexión y cuando no se funde monolíticamente, obliga a que el acero resista más en el área donde se encuentra ubicada la junta.

Las fisuras vistas en los ensayos presentaron en el concreto viejo una relación en las distancias, que, por el contrario, en el concreto nuevo fueron irregulares. También se pudo notar que cuanto mayor fue la carga aplicada, más cercana se hace la grieta a la ubicación de la junta, observándose un ángulo de 45°.

Cuanto mejor sea el confinamiento en el área de la junta, las fisuras se presentaran más lejanas a esta.

CONCLUSIONES

1. Las juntas frías en los elementos estructurales verticales tienden a disminuir un porcentaje de su resistencia, debido a que el elemento no es monolítico. La capacidad del elemento disminuye presentándose una diferencia del 15 % en elementos a compresión, y cuando estos trabajan a flexión su resistencia disminuye en un 50 %.
2. Las juntas frías se producen por lo general cuando se presentan interrupciones en el servicio del concreto no previstas en la planificación. Se debe tomar en consideración la calidad de las juntas para evitar la discontinuidad y la mala adherencia en el concreto.
3. Existen diferentes tipos de juntas de construcción usuales en el medio, por lo que algunas tienen desventajas en su adherencia como las juntas inclinadas cuando trabajan a corte, otras disminuyen su resistencia en el área de la junta como las tipo llave, y otras, como la junta horizontal rugosa, presenta una mejor adherencia, una adecuada área de contacto y una mayor facilidad de elaboración.
4. Cuanto mayor sea el área de contacto entre las masas de concreto, mejor será su capacidad de resistencia, tomando en cuenta que si se utilizan juntas inclinadas, trabajarán de mejor manera si se realizan con un ángulo menor a 45° . Esto se debe a que se debilitan los extremos de la junta, por lo que disminuye tanto el área de contacto entre las masas de concreto como su capacidad de resistencia.

5. Las columnas que trabajan a compresión y poseen juntas de construcción, tienden a disminuir un porcentaje de su resistencia cuando son sometidas a carga, pero no presentan falla, y el elemento posee una integridad estructural. Las columnas, cuando trabajan a flexión, presentan una separación en la junta por lo que el acero resiste más en el área donde se encuentra ubicada la junta.
6. El hormigón se comporta satisfactoriamente cuando trabaja a compresión y es aceptable la adherencia entre las masas de concreto, porque trabajan integralmente concreto nuevo y concreto viejo.
7. La junta de construcción más eficiente es la junta horizontal rugosa, esta tiene un mejor comportamiento cuando trabaja a flexión y compresión, presenta una buena adherencia. Por el contrario, las juntas inclinadas tienen una deficiente adherencia cuando trabajan a corte y una aceptable adherencia entre las masas de concreto cuando trabajan a compresión.
8. El comportamiento de los elementos estructurales variará en función de la ubicación de la junta fría, por lo que se debe evitar hacer la junta donde exista mayor cortante.
9. El acero en las columnas provoca una integridad estructural en el elemento, por lo que disminuyen las grietas en el área de la junta si se realiza un confinamiento adecuado en dicha área.

RECOMENDACIONES

1. Se debe tener sumo cuidado con el acero porque pueden presentarse agentes corrosivos que afecten al mismo a través de las juntas, disminuyendo su resistencia.
2. Es conveniente realizar un programa de fundición relacionando volúmenes de concreto que contendrán los camiones y volúmenes a fundir, esto para prevenir que exista una junta donde afecte la integridad estructural de los elementos fundidos.
3. Evitar juntas de construcción mayores a 45° en elementos verticales, ya que al desencofrarse tiende a desprenderse parte del concreto en la junta y, por ende, disminuye la adherencia y el área de contacto, lo que provoca una caída de su resistencia.
4. Es preferible utilizar juntas de construcción rugosas horizontales en elementos verticales, estas poseen buena adherencia y área de contacto.
5. Para garantizar la calidad del concreto, es vital evaluar la calidad del agregado fino, agregado grueso y la presencia de materia orgánica, ya que, al no velar por la calidad, puede disminuir la resistencia del concreto.

6. Para que la columna se comporte satisfactoriamente se debe verificar que esté a plomo tanto el encofrado como la armadura, así el concreto y el acero trabajen integralmente cuando estén sometidos a cargas.
7. Evitar hacer juntas inclinadas en elementos estructurales verticales, debido a la deficiente adherencia entre las masas de concreto y la diminuta resistencia que presentan.
8. Evitar realizar juntas de frías en los extremos del elemento estructural, lo ideal es colocarla en el tercio medio de la altura del elemento, para tener un mejor comportamiento.
9. Es preferible que exista confinamiento en la junta fría tanto en la parte superior como inferior, aproximadamente la longitud mayor de la sección transversal del elemento vertical, para garantizar la integridad del sistema y la menor disminución de su resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Building code requirements for reinforced concrete*. Estados Unidos de América: ACI, 2008. 518 p.
2. CASTILLO FERNÁNDEZ, Guillermo Andrés. *Comportamiento de juntas de hormigonado a los esfuerzo de compresión y flexotracción en hormigones H30, H25 y H20*. Trabajo de graduación de Ing. Constructor. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de Ingeniería, 2008. 106 p.
3. GARCÍA SOLOGAISTOA, Adolfo Bernabé. *Consideraciones generales sobre el concreto reforzado*. Trabajo de graduación de Arquitecto. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Arquitectura, 2005. 123 p.
4. HAMÓN, María Cristina. *Propuesta de un manual de documentación de juntas en elementos de concreto armado*. Trabajo especial de grado. República Bolivariana de Venezuela, Universidad Rafael Urdaneta, Facultad de Ingeniería, 2009. 186 p.
5. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. *Juntas en las construcciones de concreto*. México: ACI 224.3. 1995. 63 p. ISBN 968-464-124-9

6. KUMAR MEHTA, P. *Concreto, estructura, propiedades y materiales*. Monteiro Paulo. Arq. Luna, Guillermo (trad.). México: Arq. Esqueda Huidobro, Heraclio, 1998. 381 p. ISBN 968-464-083-8
7. *Manual de la tecnología del concreto, Sección 1*. México: Limusa, 1994. 262 p. ISBN 968-18-4980-9
8. McCORMAC, Jack C. *Diseño de concreto reforzado*. 4ª ed. México: Alfaomega, 2002. 729 p. ISBN 970-15-06332
9. MERRIT, Frederic S. *Manual del ingeniero civil*. 3ª ed. México: Mc Graw-Hill, 1992. p. irr. Tom. II. ISBN 968-422-753-1
10. _____. *Manual integral para el diseño y construcción*. Ricketts, Jonathan. Carriazo Paz, Eduardo (trad.). 5ª ed. México: Mc Graw-Hill, 1997. p. irr. Tom. II. ISBN 958-600-660-3
11. NILSON, Arthur. *Diseño de estructuras de concreto*. Darwin David. Yamin, Luis Eduardo (trad.), 12ª ed. Colombia: Mc Graw-Hill, 1999. 738 p. ISBN 958-600-953-X
12. PARKER, Harry. *Diseño simplificado de concreto reforzado*. 3ª ed. México: Limusa Wiley, 2009. 352 p. ISBN 978-968-18-5190-3
13. WANDELL, Joseph J. *Manual de la construcción con concreto*. Dobrowolski, Joseph A., Ing. Pérez, Hernán (trad.). 3ª ed. en inglés. México: Mc Graw-Hill, 1997. p. irr. Tom. I. ISBN 970-10-1253-4

14. _____ . *Manual de la construcción con concreto*. Dobrowolski, Joseph A., Ing. Pérez, Hernán (trad.). 3ª ed. en inglés. México: Mc Graw-Hill, 1997. p. irr. Tom. II. ISBN 970-10-1254-2

