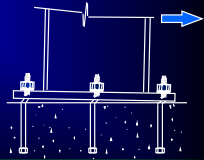


ANCLAJES AL CONCRETO (ACI 318-05 APÉNDICE D SOBRE DISEÑO Y ACI 355.2-04 SOBRE CALIFICACIÓN DE PRODUCTOS)

Prof. Richard E. Klingner
Universidad de Texas en Austin

Seminario Invitado
Instituto de Ingeniería, UNAM
México, DF, MÉXICO
Marzo 2007



Ferguson Structural Engineering Laboratory - The University of Texas at Austin

1

MATERIALES DEL SEMINARIO

- *Apuntes sobre diapositivas*
- *Ejemplos de diseño*

2

OBJETIVOS Y RESUMEN

- *definiciones básicas sobre anclaje*
- *historia, alcances y organización del ACI 318-05 Apéndice D (diseño de anclajes mecánicos)*
- *relación entre el ACI 318-05 Apéndice D y el ACI 355.2-04 (calificación de conectores mecánicos de instalación posterior)*
- *provisiones del ACI 318-05 Apéndice D*
- *ejemplos de diseño*

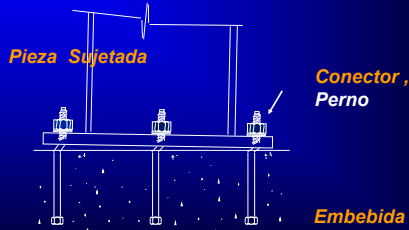
3

AGRADECIMIENTOS

- *las diapositivas se basan en material desarrollado en mayor parte por Ron Cook (Universidad de la Florida) y Richard Klingner (Universidad de Texas en Austin) para un seminario sobre anclaje*
- *los ejemplos de diseño se toman de material tipo borrador en desarrollo por el Comité ACI 355 (Anclaje al Concreto)*

4

DEFINICIONES



5

HISTORIA DEL ACI 318 APÉNDICE D

- *antes del 2002*
 - *viejos códigos modelos tales como el UBC, provisiones del ACI 349 (Estructuras Nucleares), o guías industriales tales como el PCI Handbook*
 - *conectores mecánicos colocados en sitio*
 - *rotura del acero, desprendimiento del concreto, y rotura del concreto con base en un cono de 45 grados*
- *2002: llega el ACI 318-02 Apéndice D*
 - *conectores mecánicos vaciados en sitio y de instalación posterior*
 - *Método CC (pirámide de 35 grados)*
 - *concreto agrietado*

6

Tipos de Conectores

Gobernados por el ACI 318-05 Apéndice D

vaciados en sitio de instalación posterior

Conectores Mecánicos Conectores Adheridos

7

Embebida Efectiva para Conectores Mecánicos Vaciados en Sitio

h_{ef}

h_{ef} = embebida efectiva

8

Embebida Efectiva para Conectores Mecánicos de Instalación Posterior

h_{ef}

h_{ef} = embebida efectiva

9

Tipos de Conectores de Instalación Posterior ...

conectores acompañados

Pre-Drilled Undercut Cone Anchor Sleeve

Tensile Force

10

... Tipos de Conectores de Instalación Posterior: Conectores Expansivos, Controlados por Torsión Aplicada

manga pesada cuña manga

(1) Heavy Duty Sleeve Fastener (2) Wedge Fastener (3) Sleeve Fastener

11

... Tipos de Conectores de Instalación Posterior: Conectores Expansivos, Controlados por Deformación Aplicada

martillado auto - taladrante tacón

(1) Drop-In Fastener (2) Self-Drilling Fastener (3) Stud Fastener

12

Diferencias Básicas entre el Método CCD y el Método del Cono de 45°

- *mecánica de fractura* ("efecto de tamaño")
- *ángulo de falla de 35° en lugar de 45°*
- *distribución no-uniforme de esfuerzos alrededor de un conector cerca de un borde*
- *distribución no pareja de carga entre conectores en un grupo (excentricidad)*
- *caso omiso es concreto agrietado, en lugar de no agrietado*

13

DIFERENCIAS ENTRE MODELOS

Cono de 45°

Ángulo de Falla de 45°

$$N = k_c \sqrt{f_c} h_{ef}^2$$

CCD

Ángulo de Falla de 35°
(mecánica de fractura)

$$N = k_c \sqrt{f_c} h_{ef}^{1.5}$$

14

¿Porqué cambiar el exponente de la h_{ef} ?

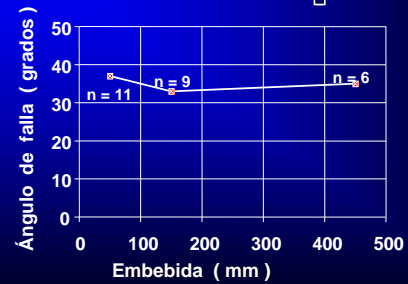
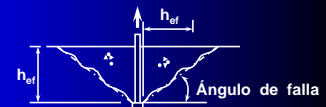
$$N_b = \frac{k_c \sqrt{f_c} h_{ef}^2}{h_{ef}^{0.5}}$$

Resultado :

$$N_b = k_c \sqrt{f_c} h_{ef}^{1.5} \quad \text{CCD}$$

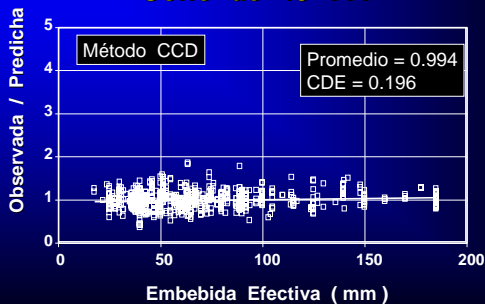
15

Ángulo de Falla



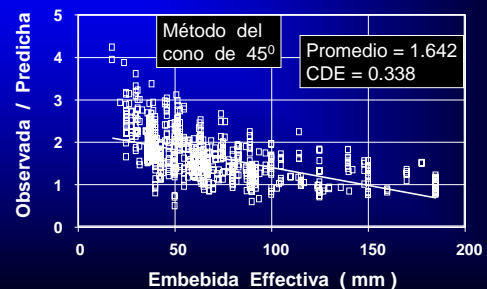
16

El Método CCD Predice la Rotura del Concreto Mejor que el Método del Cono de 45°...



17

... El Método CCD Predice la Rotura del Concreto Mejor que el Método del Cono de 45°



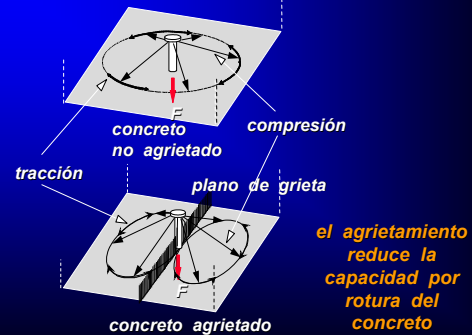
18

El Método CCD Encara el Agrietamiento

- El concreto sí se agrieta
 - cargas aplicadas
 - retracción restringida y movimiento térmico
- El ACI 318 Apéndice D y el ACI 355.2 alientan el uso de conectores mecánicos que se comportan bien en grietas más o menos tan anchas como el espesor de una uña

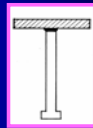
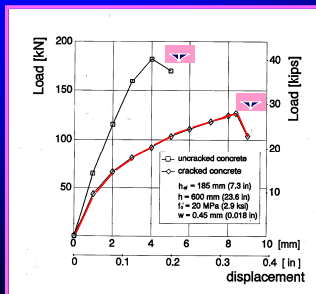
19

Efectos del Agrietamiento



20

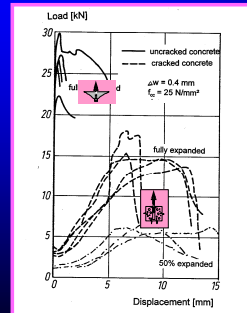
Todo Conector Se Afecta por Grietas



Tacones con Cabeza
 Curvas en concreto no agrietado y agrietado

21

Unos Se Afectan Drásticamente



Conectores Martillados
 Curvas para conectores completamente y parcialmente expandidos, en concreto no agrietado y agrietado

22

EL ACI 318-05, EL ACI 318-05 APENDIX D, Y EL ACI 355.2

- El ACI 318-05, Sección 8.1.3 (Análisis y Diseño - Consideraciones Generales) hace el Apéndice D obligatorio para el diseño de conectores al concreto
- El ACI 318-05, Sección 3.8.6 (Materiales) hace el ACI 355.2-04 obligatorio para conectores mecánicos de instalación posterior, diseñados por el Apéndice D

23

¿PORQUÉ NECESITAMOS AL ACI 355.2 PARA CONECTORES MECÁNICOS DE INSTALACIÓN POSTERIOR?

- comportamiento carga - desplazamiento variable, en especial en concreto agrietado
- comportamiento sensible a instalación
- determinar comportamiento básico y confiabilidad mediante ensayos estándar (referencia, confiabilidad, servicio)
- con base en esta confiabilidad, asignar categoría de desempeño y factor de reducción de capacidad ϕ

24

D.2.1 - ALCANCE

- conectores usados para transmitir tracción, corte, o combinaciones de ellos
- niveles de seguridad (factores de carga y ϕ) para condiciones de servicio
- no se aplica a solicitaciones de manejo a corto plazo o de construcción

25

D.2.2 - ALCANCE ...

- se incluyen :
 - conectores mecánicos vaciados en sitio
 - conectores mecánicos de instalación posterior
- no se incluyen :
 - injertos especiales
 - pasadores
 - conectores múltiples conectados a una sola placa en el extremo embebido de los conectores
 - conectores adheridos
 - conectores instalados por pistola

26

... D.2.3 - ALCANCE

- requisitos geométricos para pernos y tacones para prevenir el desprendimiento
- capacidad por desprendimiento en concreto no agrietado $\geq 1.4 N_p$ por la Ec. (D-15)
- pernos y tacones con cabeza estándar cumplen (ver tablas a la final de los ejemplos de diseño)
- se requieren ensayos si el perno o tacón tiene cabeza menor que lo estándar

27

... D.2.3 - ALCANCE

- requisitos geométricos para pernos J y L (sin depender de la fricción) para prevenir el desprendimiento
- capacidad por desprendimiento en concreto no agrietado $\geq 1.4 N_p$ por la Ec. (D-16)

28

... D.2.3 - 4 : ALCANCE

- los conectores de instalación posterior no tienen capacidades predecibles de desprendimiento
- los conectores de instalación posterior tienen que calificarse por el ACI 355.2
- no se consideran la fatiga a alto ciclaje ni el impacto
- efectos sísmicos se cubren en la D.3.3

29

D.3.1 & .2 - REQUISITOS GENERALES

- cargas mayoradas de análisis elástico
- se permite el análisis plástico si los elementos de acero son dúctiles, y si se considera la compatibilidad de deformaciones (a continuación)
- combinaciones de carga por la 9.2 y los ϕ por la D.4.4
- combinaciones de carga por el C.2 y los ϕ por la D.4.5

30

D.3.3.1-5 - REQUISITOS GENERALES

- Zonas de Riesgo Sísmico Intermedio o Alto (Categorías de Diseño Sísmico C o D)
 - se excluyen conectores en rótulas plásticas
 - conectores de instalación posterior tienen que aprobar los Ensayos Sísmicos Simulados del ACI 355.2
 - capacidad de diseño : $0.75 \phi N_n$ y $0.75 \phi V_n$
 - diseño del conector gobernado por la resistencia del elemento dúctil de acero , o
 - la pieza sujeta tiene que fluir de manera dúctil en una carga $\leq 75\%$ de la mínima capacidad de diseño del conector

31

D.3.5 - REQUISITOS GENERALES

- Las ecuaciones de la ACI 318 Apéndice D son válidas para :
 - $f_c' \leq 10,000$ psi para conectores vaciados en sitio
 - $f_c' \leq 8000$ psi para conectores de instalación posterior
- Los conectores de instalación posterior en concreto con $f_c' > 8000$ psi tienen que ensayarse

32

D.4.1 - MODOS DE FALLA EN TRACCIÓN

- cedencia y rotura del acero
- rotura del concreto (concrete breakout)
- desprendimiento (pullout)
- rotura de la cara lateral del concreto (concrete side-face blowout)
- rajamiento

el más débil gobierna

33

D.4.1 - MODOS DE FALLA EN CORTE

- cedencia y rotura del acero
- rotura del concreto (concrete breakout)
- rotura posterior del concreto (concrete pryout)

el más débil gobierna

- hay que evitar falla por rajamiento (D.8)

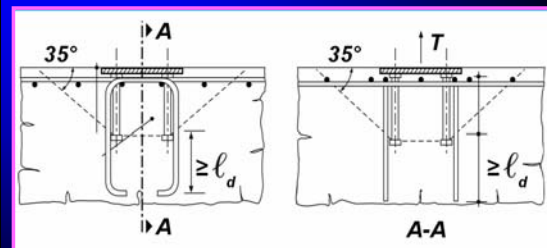
34

D.1 - DEFINICIONES

- Refuerzo suplementario
 - refuerzo diseño para amarrar un prisma potencial de rotura al miembro de concreto
- Ver D.8 , D.11 , y D.12 (ACI 318-05)

35

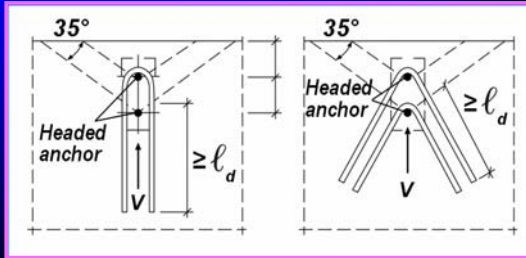
REFUERZO SUPLEMENTARIO PARA TRACCIÓN



Notar : Refuerzo perpendicular a la dirección de carga no es efectivo por corte - fricción

36

REFUERZO SUPLEMENTARIO PARA CORTE



37

Refuerzo Suplementario

- la definición se clarifica
- un tipo de refuerzo suplementario permite un ϕ mayor
- otro tipo (RD.4.2.1) realmente no es "suplementario", y lleva al usuario fuera del Apéndice D al ACI 318-05, Capítulo 12

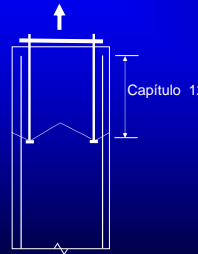
38

RD.4.2.1 - REFUERZO SUPLEMENTARIO . . .

"...refuerzo orientado en la dirección de la carga, y diseñado a resistir toda la carga dentro del prisma de rotura del concreto, y completamente desarrollado en los dos lados de los planos de rotura, puede proveerse en lugar de calcular la capacidad por rotura"

39

Refuerzo Suplementario tal como se Nota en la RD.4.2.1



- Capacidad por rotura del concreto (Apéndice D) es insuficiente -- va a haber rotura
- Aumentar el ϕ por rotura no ayuda
- Usar las provisiones del ACI 318-05, Capítulo 12, y empalmar los conectores al refuerzo para resistir las acciones de diseño

40

D4.1 - CAPACIDAD DE CONECTORES

$$\phi N_n \geq N_{ua} \quad (D-1)$$

$$\phi V_n \geq V_{ua} \quad (D-2)$$

- usar la menor ϕN_n y ϕV_n de los modos de falla aplicables
- usar interacción para combinaciones de N_{ua} y V_{ua}

41

D.4.2 - CAPACIDAD NOMINAL

- modelos de diseño tienen que estar de acuerdo sustancial con resultados de ensayos
- la capacidad nominal se basa en el 5% fractil inferior de las capacidades individuales de conectores
 - una confianza del 90% que el 95% de las capacidades medidas superan a la capacidad nominal

42

D.4.2.2 – LIMITACIÓN PARA LA ROTURA DEL CONCRETO

- Las provisiones para la rotura del concreto de la D.5.2 para tracción y la D.6.2 para corte se limitan actualmente a diámetros de conector ≤ 2 in. y embebidas (h_{ef}) ≤ 25 in.
- Esta limitación no se aplica a otros modos de falla

43

D.4.4 - LOS ϕ PARA USO CON LAS COMBINACIONES DE CARGA DE LA SECCIÓN 9.2

Gobierna la Capacidad del Acero

(a) Elemento Dúctil de Acero

- Tracción $\phi = 0.75$
- Corte $\phi = 0.65$

(b) Elemento Frágil de Acero

- Tracción $\phi = 0.65$
- Corte $\phi = 0.60$

44

D.1 - DEFINITIONS

- Elementos Frágiles de Acero
 - alargamiento $< 14\%$ y
 - reducción en área $< 30\%$
 - Elementos Dúctiles de Acero
 - alargamiento $\geq 14\%$ y
 - reducción en área $\geq 30\%$
- Notar: El ASTM A 307 se considera dúctil

45

D.4.4 - LOS ϕ PARA USO CON LAS COMBINACIONES DE CARGA DE LA SECCIÓN 9.2

Capacidad Gobernada por Concreto

Condición A: refuerzo suplementario atraviesa la superficie potencial de falla (rotura de concreto solamente)

Condición B: no hay refuerzo suplementario, desprendimiento, rotura posterior, rotura de la cara lateral)

46

D.4.4 - LOS ϕ PARA USO CON LAS COMBINACIONES DE CARGA DE LA SECCIÓN 9.2

(c) Capacidad Gobernada por Concreto

	Condición A	Condición B
<u>Corte</u>	0.75	0.70
<u>Tracción</u>		
Pernos en Sitio - con cabeza o gancho	0.75	0.70
Instalación Post		
- Categoría 1	0.75	0.65
- Categoría 2	0.65	0.55
- Categoría 3	0.55	0.45

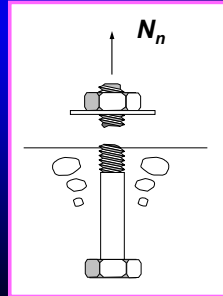
47

D.5 - DISEÑO POR TRACCIÓN

- D.5.1 – Capacidad de Acero
- D.5.2 – Capacidad por Rotura del Concreto
- D.5.3 – Capacidad por Desprendimiento
- D.5.4 – Capacidad por Rotura de la Cara Lateral del Concreto (Conectores con Cabeza solamente)

48

D.5.1 - FALLA POR ACERO (TRACCIÓN)



49

D.5.1 - CAPACIDAD DEL ACERO (TRACCIÓN)

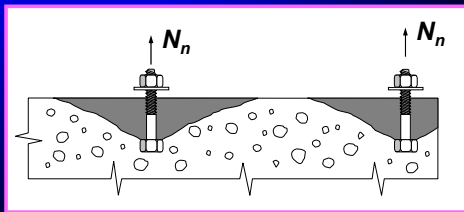
$$N_{sa} = n A_{se} f_{uta} \quad (D-3)$$

donde $f_{uta} \leq 1.9 f_{ya}$
 $\leq 125,000 \text{ psi}$

para A_{se} ver tablas a la final de los ejemplos de diseño

50

D.5.2 - ROTURA DEL CONCRETO (TRACCIÓN)



51

D.1 - DEFINICIONES

Capacidad de Rotura del Concreto

La capacidad correspondiente a la separación del miembro, de un volumen de concreto alrededor del conector o grupo de conectores

52

D.1 - DEFINICIONES

Área Proyectada

El área en la superficie libre del miembro de concreto que se usa para representar la base de una supuesta superficie de falla rectilínea

53

D.5.2.1 - CAPACIDAD POR ROTURA DE CONCRETO DE UN SOLO CONECTOR (TRACCIÓN)

$$N_{cb} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ed,N} \psi_{c,N} \psi_{cp,N} N_b \quad (D-4)$$

- Capacidad básica de un conector
- por conectores de instalación posterior
- por agrietamiento
- por efectos de borde
- por área proyectada de superficie de falla

54

D.5.2.1 - CAPACIDAD POR ROTURA DE CONCRETO DE UN GRUPO DE CONECTORES (TRACCIÓN)

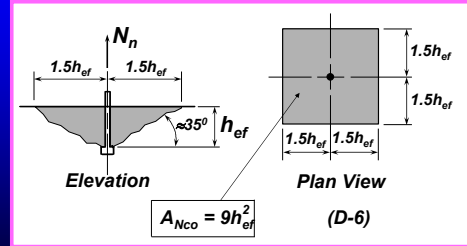
$$N_{cbg} = \frac{A_{Nc}}{A_{Nco}} \psi_{ec} N_{ed} \psi_{cp} N_b \quad (D-5)$$

N_b Capacidad básica de un solo conector
 ψ_{cp} por instalación posterior
 ψ_{ec} por agrietamiento
 ψ_{ed} por efectos de borde
 ψ_{cp} por excentricidad
 A_{Nc} por área proyectada de la superficie de falla

sólo se consideran conectores en tracción

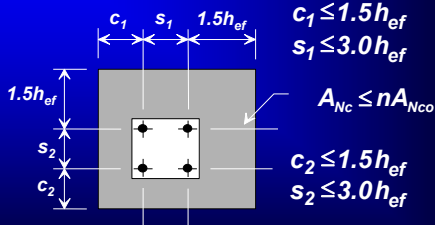
55

D.5.2.1 - ÁREA PROYECTADA A_{Nco}



56

D.5.2.1 - ÁREA PROYECTADA A_{Nco}



57

D.5.2.2 - ROTURA BÁSICA DE CONCRETO ...

- un solo conector en tracción en concreto agrietado
- $$N_b = k_c \sqrt{f_c} h_{ef}^{1.5} \quad (D-7)$$
- $k_c = 24$ para conectores en sitio
 - $k_c = 17$ para conectores de instalación posterior
- (o mayor valor del ACI 355.2)

58

... D.5.2.2 - ROTURA BÁSICA DE CONCRETO

- Alternativamente, para tacones o pernos con cabeza:

$$11 \text{ in.} \leq h_{ef} \leq 25 \text{ in.}$$

$$N_b = 16 \sqrt{f_c} h_{ef}^{5/3} \quad (D-8)$$

59

D.5.2.3 - CONECTOR CERCA DE 3 O 4 BORDES

Cuando 3 o más distancias de borde $\leq 1.5 h_{ef}$
 → Usar h_{ef} en Ec. (D-4) a la (D-11) igual al mayor de:

- $c_{a,max} / 1.5$, y
- (1/3) espacio máximo entre conectores

donde $c_{a,max}$ = máxima distancia entre conector y borde

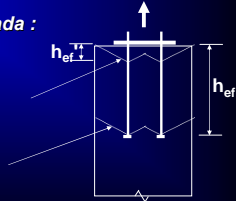
60

Cómo determinar la embebida ficticia, h_{ef}'

- Ficticiamente mover la superficie real de rotura de concreto hacia la superficie libre del concreto, hasta que contacte por primera vez la superficie libre
- Considerar una zapata cuadrada :

Superficie ficticia de rotura, por D.5.2.3

Superficie real de rotura



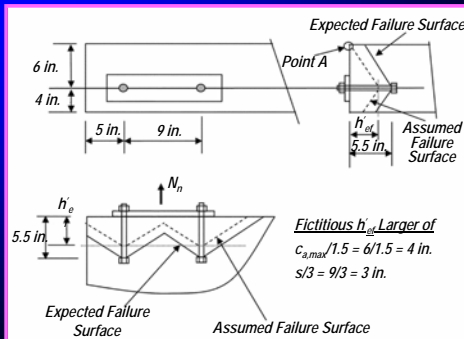
61

¿Porqué determinar la embebida ficticia, h_{ef}' ?

- La Ec. (D-6) para A_{Nco} aparece en el denominador de las Ecs. (D-4) y (D-5) para capacidad por rotura de concreto, y se aumenta en función de h_{ef}^2
- La capacidad por rotura de un solo conector de la Ec. (D-7) aparece en los numeradores de las Ecs. (D-4) y (D-5), y se aumenta en función de $h_{ef}^{1.5}$
- Si la h_{ef}' no se determina según la D.5.2.3, el resultado es una predicción demasiado conservadora para la capacidad por rotura

62

Embebida ficticia



63

D.5.2.4 - EFECTO DE EXCENTRICIDAD

- Para grupos de conectores

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{\left(1 + \frac{2e'_N}{3h_{ef}}\right)} \leq 1.0 \quad (D-9)$$

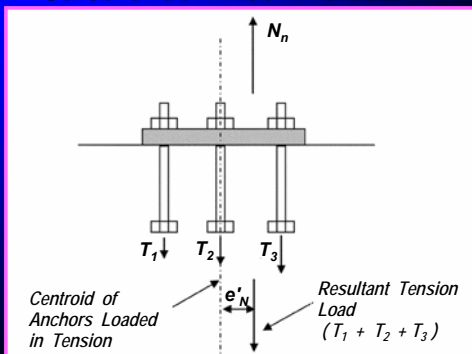
donde $e'_N \leq s/2$

- Excentricidad Biaxial

$$\psi_{ec,N} = (\psi_{ec,N})_x (\psi_{ec,N})_y$$

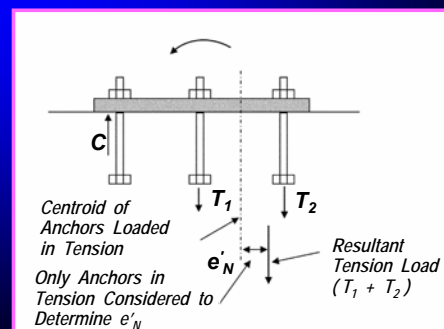
64

Cálculo de Excentricidad ...



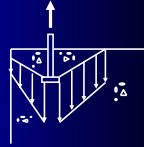
65

... Cálculo de Excentricidad



66

D.5.2.5 – EFECTO DE BORDE



Si $c_{a,min} \geq 1.5 h_{ef}$ (D-10)

$\psi_{ed,N} = 1.0$

Si $c_{a,min} < 1.5 h_{ef}$ (D-11)

$\psi_{ed,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a,min}}{1.5 h_{ef}}$

67

D.5.2.6 – EFECTO DE AGRIETAMIENTO

- **Concreto no Agrietado** ($f_t < f_r$ bajo carga de servicio)

- conectores en sitio : $\psi_{c,N} = 1.25$
- conectores de instalación posterior : $\psi_{c,N} = 1.40$ donde $k_c = 17$ en la Ec. (D-7)
- cuando se conducen ensayos de conectores para uso solamente en concreto no agrietado, y cuando se determina k_c con base en la ACI 355.2, $\rightarrow \psi_{c,N} = 1.00$

68

D.5.2.6 – EFECTO DE AGRIETAMIENTO

- **Concreto No Agrietado** ($f_t < f_r$ bajo carga de servicio)

- cuando se conducen ensayos de conectores para concreto tanto agrietado como no agrietado, k_c y $\psi_{c,N}$ tienen que basarse en la ACI 355.2

69

D.5.2.6 – EFECTO DE AGRIETAMIENTO

- **Concreto Agrietado** ($f_t \geq f_r$ bajo carga de servicio)

- conectores en sitio : $\psi_{c,N} = 1.0$
- conectores de instalación posterior mediante el ACI 355.2 : $\psi_{c,N} = 1.0$
- Proveerle refuerzo de control de grietas por la Sección 10.6.4 del ACI 318 - 05

70

D.5.2.7 – CONECTORES DE INSTALACIÓN POSTERIOR EN CONCRETO NO AGRIETADO SIN REFUERZO SUPLEMENTARIO

- Si $c_{a,min} \geq c_{ac}$

$\psi_{cp,N} = 1.0$ (D-12)

- Si $c_{a,min} < c_{ac}$

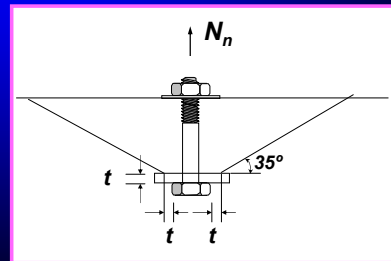
$\psi_{cp,N} = \frac{c_{a,min}}{c_{ac}} \geq \frac{1.5 h_{ef}}{c_{ac}}$ (D-13)

donde c_{ac} se define en D.8.6

para conectores en sitio $\psi_{cp,N} = 1.0$

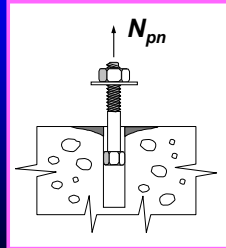
71

D.5.2.8 – PLACA O ARANDELA



72

D.5.3 - CAPACIDAD POR DESPRENDIMIENTO



73

D.5.3 - CAPACIDAD POR DESPRENDIMIENTO

$$N_{pn} = \psi_{c,p} N_p \quad (D-14)$$

- *tacón o perno encabezado*

$$N_p = 8 A_{brg} f'_c \quad (D-15)$$

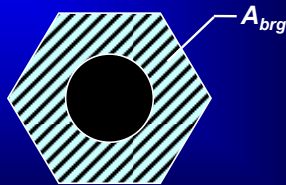
- *perno J o L*

$$N_p = 0.9 f'_c e_h d_o \quad (D-16)$$

donde $3 d_o \leq e_h \leq 4.5 d_o$

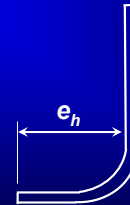
74

ÁREA DE APLASTAMIENTO A_{brg}



75

DISTANCIA e_h PARA PERNOS L Y J



76

D.5.3 - CAPACIDAD POR DESPRENDIMIENTO

- *para conectores mecánicos de instalación posterior, no se puede calcular N_p mediante fórmulas genéricas*
 → N_p tiene que basarse en ensayos conducidos y evaluados según el ACI 355.2

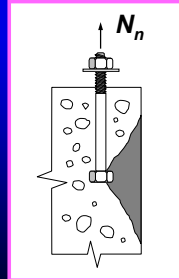
77

D.5.3.6 - CAPACIDAD POR DESPRENDIMIENTO

- *Concreto No Agrietado ($f_t < f_r$ bajo carga de servicio) $\psi_{c,p} = 1.4$*
- *Concreto Agrietado $\psi_{c,p} = 1.0$*

78

D.5.4 - ROTURA DE LA CARA LATERAL



79

D.1 - DEFINICIONES

Capacidad por Rotura de la Cara Lateral

La capacidad de conectores con mayor embebida pero menor recubrimiento lateral, correspondiente a desconchamiento del recubrimiento lateral por la cabeza embebida, sin rotura mayor en la superficie superior del concreto

80

D.5.4.1 - ROTURA DE LA CARA LATERAL

- Un solo conector con embebida profunda, cerca del borde ($c_{a1} < 0.4h_{ef}$)

$$N_{sb} = 160c_{a1} \sqrt{A_{brg}} \sqrt{f'_c} \quad (D-17)$$

- Si la distancia al borde en dirección perpendicular $c_{a2} < 3c_{a1}$, modificar N_{sb} por:

$$(1 + c_{a2}/c_{a1})/4$$

donde $1.0 \leq c_{a2}/c_{a1} \leq 3.0$

81

D.5.4.2 - ROTURA DE LA CARA LATERAL

- Para múltiples conectores encabezados con embebida profunda, cerca del borde ($c_{a1} < 0.4h_{ef}$) y $s < 6c_{a1}$

$$N_{sbg} = \left(1 + \frac{s}{6c_{a1}}\right) N_{sb} \quad (D-18)$$

donde

s = espaciamiento de conectores exteriores a lo largo del borde

N_{sb} de la Ec. (D-17) sin modificación por la distancia del borde en dirección perpendicular

82

EJEMPLOS DE DISEÑO CON TRACCIÓN SOLAMENTE

Ejemplos de Diseño ACI 355 :

Ejemplos 1, 2, 3, y 4

ver tablas detrás de los ejemplos para propiedades de conectores

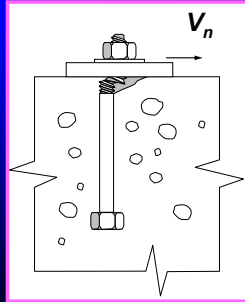
83

D.6 - DISEÑO PARA CORTE

- D.6.1 – Capacidad por Acero
- D.6.2 – Capacidad por Rotura del Concreto
- D.6.3 – Capacidad por Rotura al Revés del Concreto

84

D.6.1 - FALLA DEL ACERO (CORTE)



85

D.6.1.2 - CAPACIDAD POR ACERO (CORTE)

(a) *Tacones Encabezados en Sitio*

$$V_{sa} = n A_{se} f_{uta} \quad (D-19)$$

donde $f_{uta} \leq 1.9 f_{ya}$

$$\leq 125,000 \text{ psi}$$

- Con colchones cementantes, usar $0.8 V_{sa}$

86

D.6.1.2 - CAPACIDAD POR ACERO (CORTE)

(b) *Pernos Encabezados y Enganchados, y Conectores de Instalación Posterior sin Manga Atravesando el Plano de Corte*

$$V_{sa} = n A_{se} (0.6 f_{uta}) \quad (D-20)$$

donde $f_{uta} \leq 1.9 f_{ya}$

$$\leq 125,000 \text{ psi}$$

- Con colchones cementantes, usar $0.8 V_{sa}$

87

D.6.1.2 - CAPACIDAD POR ACERO (CORTE)

(c) *Conectores de Instalación Posterior con Manga Atravesando el Plano de Corte, V_{sa} con base en:*

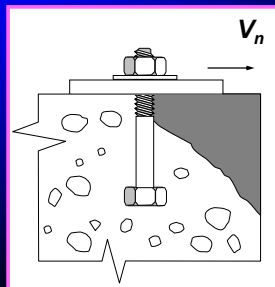
- ACI 355.2, o

- Ec. (D-20)

- Con colchones cementantes, usar $0.8 V_{sa}$

88

D.6.2 - ROTURA DEL CONCRETO (CORTE)



89

D.6.2.1(a) - CAPACIDAD DE UN SOLO CONECTOR POR ROTURA DEL CONCRETO (CORTE)

$$V_{cb} = \frac{A_{vc}}{A_{vco}} \psi_{ed} \psi_c \psi_b V_b \quad (D-21)$$

Capacidad básica de un conector por agrietamiento por efectos de borde por área proyectada de la superficie de falla

90

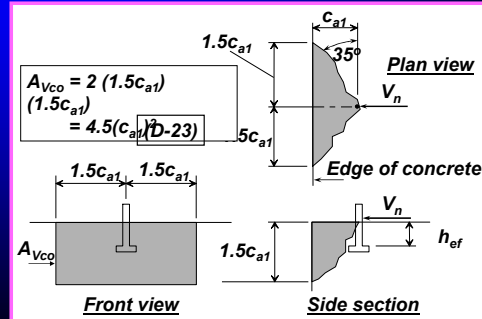
D.6.2.1(b) - CAPACIDAD DE UN GRUPO DE CONECTORES POR ROTURA DEL CONCRETO (CORTE)

$$V_{cbg} = \frac{A_{Vc}}{A_{Vco}} \psi_{ec} \psi_{ed} \psi_{cv} V_b \quad (D-22)$$

ψ_{ec} Capacidad básica de un conector por agrietamiento
 ψ_{ed} por efectos de borde
 ψ_{cv} por excentricidad
 A_{Vco} por área proyectada de la superficie de falla

91

Área proyectada por rotura del concreto (corte) . . .

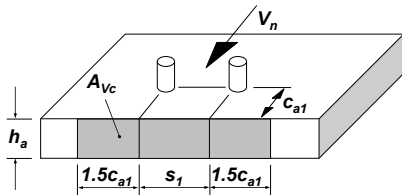


92

. . . Área proyectada por rotura del concreto (corte)

If $h_a < 1.5c_{a1}$ and $s_1 < 3c_{a1}$

$$A_{Vc} = (2 \times 1.5c_{a1} + s_1)h_a$$

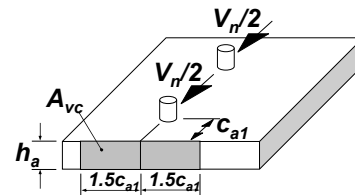


93

. . . Área proyectada por rotura del concreto (corte)

If $h_a < 1.5c_{a1}$

$$A_{Vc} = (2 \times 1.5c_{a1}) \times h_a$$

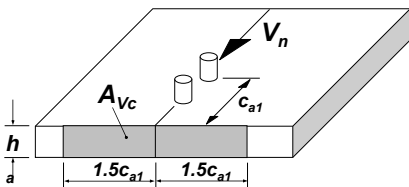


94

. . . Área proyectada por rotura del concreto (corte)

If $h_a < 1.5c_{a1}$

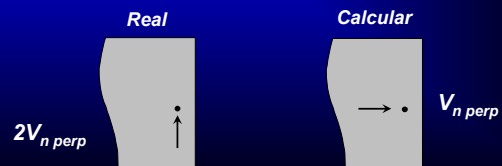
$$A_{Vc} = (2 \times 1.5c_{a1})h_a$$



95

D.6.2.1(c)-(d) - CORTE PARALELO AL BORDE

- Calcular capacidad cortante perpendicular al borde, $V_{n\text{ perp}}$
- Con base en ensayos, capacidad cortante paralela al borde = $2 V_{n\text{ perp}}$



96

D.6.2.1(c)-(d) - CAPACIDAD POR ROTURA DEL CONCRETO (CORTE)

- Para corte paralelo al borde ($\psi_{ed,V} = 1$)
 - $V_{cb} = 2 [V_{cb} \text{ por Ec. (D-21)}]$
 - $V_{cbg} = 2 [V_{cbg} \text{ por Ec. (D-22)}]$
- En una esquina, usar la menor de:
 - capacidad cortante perpendicular al borde
 - capacidad cortante paralela al borde

97

D.6.2.2 - CAPACIDAD BÁSICA POR ROTURA DEL CONCRETO (CORTE)

- Un solo conector en concreto agrietado

$$V_b = 7 \left(\frac{\ell_e}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c} (c_{a1})^{1.5} \quad (D-24)$$

- $\ell_e = h_{ef}$ para conectores con rigidez uniforme a lo largo de h_{ef}
- $\ell_e \leq 8 d_o$
- $\ell_e = 2 d_o$ para conectores expansivos, controlados por torsión, con una manga de espaciamiento separada de la manga de expansión



98

D.6.2.3 - CAPACIDAD BÁSICA POR ROTURA DEL CONCRETO (CORTE)

- Si los conectores están soldados rígidamente a la pieza sujeta, y
- El espesor mínimo de la pieza sujeta no es menor que (a) 3/8 in., o (b) el diámetro del conector / 2

$$V_b = 8 \left(\frac{\ell_e}{d_o} \right)^{0.2} \sqrt{d_o} \sqrt{f_c} (c_{a1})^{1.5} \quad (D-25)$$

- ℓ_e como se define en la D.6.2.2

99

D.6.2.3 - CAPACIDAD BÁSICA POR ROTURA DEL CONCRETO (CORTE)

- Para un grupo de conectores soldados a la pieza sujeta, la capacidad se basa en c_{a1} para la fila más lejos del borde
- Espacio centro - a - centro entre conectores ≥ 2.5 in.
- If $c_{a2} \leq 1.5 h_{ef}$, proveerle refuerzo suplementario en las esquinas

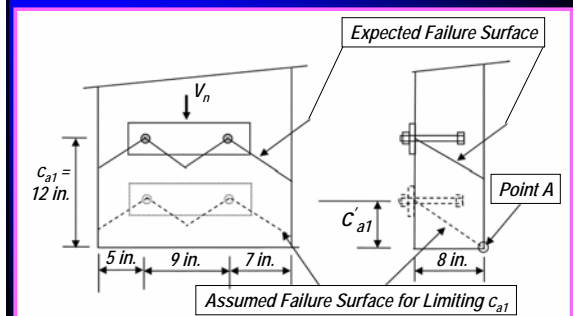
100

D.6.2.4 - CONECTORES CERCA DE 3 O 4 BORDES

- Cuando 3 o más bordes $\leq 1.5 c_{a1} \rightarrow$ la c_{a1} efectiva en las Ecs. (D-23) a la (D-28) no debe exceder al mayor de:
 - $c_{a2} / 1.5$
 - $h_a / 1.5$
 - (1/3) máximo espacio entre conectores

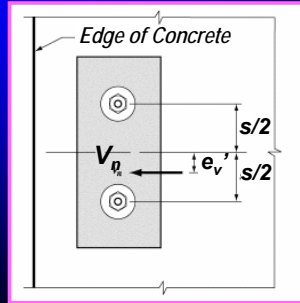
101

D.6.2.4 - CONECTORES CERCA DE 3 O 4 BORDES



102

D.6.2.5 - EXCENTRICIDAD EFECTIVA



103

D.6.2.5 - EXCENTRICIDAD EFECTIVA

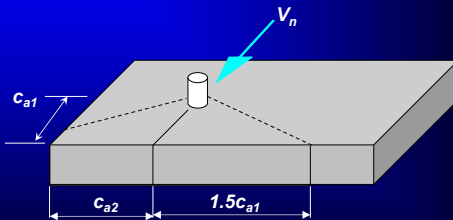
- para un Grupo de Conectores

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + \frac{2e_v}{3c_{a1}}} \quad (D - 25)$$

solamente se consideran los conectores que resisten corte en la dirección de carga

104

D.6.2.6 EFECTO DE BORDE



105

D.6.2.6 - EFECTO DE BORDE

- Si $c_{a2} \geq 1.5 c_{a1}$

$$\psi_{ed,V} = 1.0 \quad (D - 27)$$

- Si $c_{a2} < 1.5 c_{a1}$

$$\psi_{ed,V} = 0.7 + 0.3 \frac{c_{a2}}{1.5c_{a1}} \quad (D - 28)$$

106

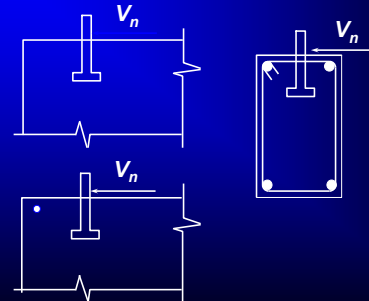
D.6.2.7 - EFECTO DE AGRIETAMIENTO

- Para Concreto No Agrietado ($f_t < f_r$) bajo Carga de Servicio $\psi_{c,V} = 1.4$
- Para Concreto Agrietado
 - $\psi_{c,V} = 1.0$ Sin Refuerzo * o $\rho <$ Varilla # 4
 - $\psi_{c,V} = 1.2$ Con Refuerzo * \geq Varilla # 4
 - $\psi_{c,V} = 1.4$ Con Refuerzo * \geq Varilla # 4 (dentro de estribos espaciados en ≤ 4 in.)

* Refuerzo de borde o refuerzo suplementario

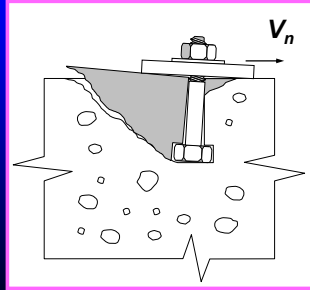
107

D.6.2.7 - EFECTO DE AGRIETAMIENTO



108

D.6.3 - ROTURA AL REVÉS DE CONCRETO



109

D.1 - DEFINICIONES

Capacidad por Rotura al Revés del Concreto

La capacidad correspondiente a la formación de un desconchamiento de concreto detrás de un conector corto y rígido, con una base embebida, que se desplaza en dirección opuesta a la del corte aplicado

110

D.6.3 - ROTURA AL REVÉS DE CONCRETO

Un Conector $V_{cp} = k_{cp} N_{cb}$ (D - 29)

Grupo de Conectores

$$V_{cpg} = k_{cp} N_{cbg}$$
 (D - 30)

donde

- $k_{cp} = 1.0$ para $h_{ef} < 2.5$ in.
- $k_{cp} = 2.0$ para $h_{ef} \geq 2.5$ in.
- N_{cb} calculada de la Ec. (D - 4)
- N_{cbg} calculada de la Ec. (D - 5)

111

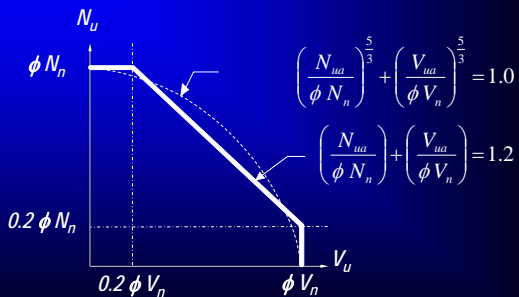
EJEMPLOS DE DISEÑO CON CORTE SOLAMENTE

Ejemplos de Diseño 355 :

Ejemplo 5

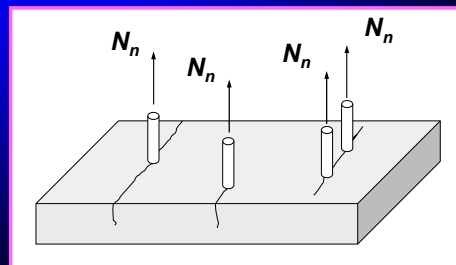
112

D.7 - INTERACCIÓN TRACCIÓN / CORTE



113

D.8 - EVITAR FALLA POR RAJAMIENTO



114

D.8 - EVITAR FALLA POR RAJAMIENTO

- En la etapa de diseño, no se habrán identificado productos específicos
- En la ausencia de refuerzo suplementario por control de agrietamiento, la Sección D.8 impone requisitos mínimos para recubrimiento, espaciamiento, y espesor del miembro
- Se permiten valores menores mediante el ACI 355.2

115

D.8.1 – ESPACIO ENTRE CONECTORES

Centro - a - Centro

- Sin Torsión
 - en Sitio $\geq 4 d_o$
- Con Torsión
 - en Sitio $\geq 6 d_o$
 - de Instalación Posterior $\geq 6 d_o$

116

D.8.2 – DISTANCIA DE BORDE

Conectores Encabezados en Sitio

- Sin Torsión : \geq recubrimiento por la Sección 7.7
- Con Torsión : $\geq 6 d_o$

117

D.8.3 – DISTANCIA DE BORDE

Conectores de Instalación Posterior

Distancia de borde tiene que exceder al mayor de :

- Recubrimiento por la Sección 7.7
- Distancia de borde mínima para el producto por el ACI 355.2
- El doble del tamaño máximo del agregado grueso

118

D.8.3 – DISTANCIA DE BORDE

Conectores de Instalación Posterior

sin información específica sobre el producto del ACI 355.2 :

- conectores acampanados $\geq 6 d_o$
- conectores controlados por torsión $\geq 8 d_o$
- conectores controlados por desplazamiento $\geq 10 d_o$

119

D.8.4 – DISTANCIA DE BORDE

Conectores de Instalación Posterior

Si la distancia de borde o el espaciamiento es menor que lo requerido por las Secciones D.8.1 a la D.8.3, y si los conectores se quedarán sin torsión :

- calcular un diámetro ficticio d_o' para satisfacer a las Secciones D.8.1 y D.8.3
- limitar las fuerzas mayoradas de diseño a la capacidad de diseño de un conector con aquel diámetro ficticio

120

D.8.5 - EVITAR FALLA POR RAJAMIENTO

Conectores Expansivos y Acampanados
sin información específica sobre el producto del ACI 355.2 :

- h_{ef} no debe exceder al mayor de :
 - 2/3 espesor del miembro
 - espesor del miembro menos 4 pulg.

121

D.8.6 – DISTANCIA DE BORDE

Conectores de Instalación Posterior

sin datos de ensayos en tracción del ACI 355.2 :

- conectores acampanados $\geq 2.5 h_{ef}$
- conectores controlados por torsión $\geq 4 h_{ef}$
- conectores controlados por desplazamiento $\geq 4 h_{ef}$

122

D.8.7 - HOJAS Y ESPECIFICACIONES DE PROYECTO

- Especificar conectores con una distancia mínima de borde igual a la supuesta en diseño

123

D.9 - INSTALACIÓN DE CONECTORES

- Los conectores tienen que instalarse de acuerdo con :
 - hojas del Proyecto
 - Especificaciones del Proyecto

124

EJEMPLOS DE DISEÑO CON COMBINACIONES DE TRACCIÓN Y CORTE

Ejemplos de Diseño ACI 355 :

Ejemplos 6 , 7 , 8 , y 16

Ver Tabla C para Ejemplo 7 del ACI 355

125

CÓMO USAR EL ACI 318-05 APÉNDICE D PARA EJEMPLOS DE DISEÑO CON CORTE EXCÉNTRICO

- Efecto de flexibilidad de la placa de base sobre :
 - fuerza de diseño en tracción en conexiones con múltiples filas de conectores
 - momentos de diseño en placas de base
- Efecto de fricción sobre las fuerzas de diseño en conectores

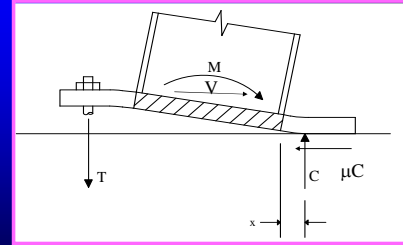
126

FLEXIBILIDAD DE LA PLACA DE BASE

- Secciones planas no se quedan planas -- la teoría de vigas no es cierta
- Para diseño, bordear la solución
 - Para diseñar los conectores por tracción, suponer una placa de base flexible. Esto produce el menor brazo palanca interno, y las mayores fuerzas de diseño en los conectores.
 - Para diseñar la placa de base, suponer una placa rígida. Esto produce la mayor distancia entre la ubicación supuesta de la reacción compresiva, al punto crítico en la placa.

127

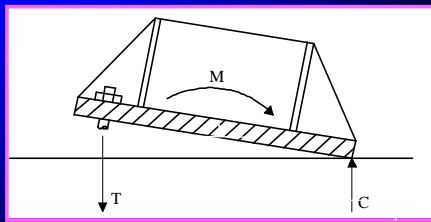
PLACA DE BASE FLEXIBLE ...



- $x = 0$ (conservadora para tracción en conectores)
- $x =$ espesor de la placa (suposición razonable)
- $x = M_p / C$ (realidad para una placa flexible)

128

... PLACA DE BASE RÍGIDA



Esta suposición es conservadora para calcular el momento de diseño en la placa de base, pues ubica la reacción compresiva en la punta de la placa

129

EFFECTO DE FRICCIÓN EN LAS FUERZAS CORTANTES DE DISEÑO EN CONECTORES

- Sea cual sea la flexibilidad de la placa de base, la resistencia cortante viene mayormente de fricción
- El ACI 318-05 desprecia la fricción (segura)
- Si se desprecia la fricción, el corte se supone transferirse por los conectores más cercanos al borde libre más cerca
- Si se admite la fricción, usar $\mu = 0.4$ y suponerse que el corte se transfiere a los conectores más cerca de resultante compresivo

130

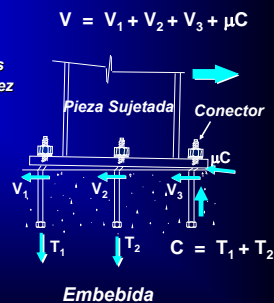
MÚLTIPLE FILAS DE CONECTORES

Distribución de Cargas :

Las cargas en los conectores se distribuyen según la rigidez (diseño elástico) o la resistencia (diseño plástico)

Cinemática :

Las deformaciones de cada conector tienen que ser consistentes con las deformaciones de la pieza sujeta



131

CÓMO CALCULAR LAS FUERZAS DE DISEÑO EN LOS CONECTORES

- Enfoque elástico : las tracciones en los conectores varían linealmente con distancia del eje de rotación ; la capacidad se gobierna por el conector crítico
- Enfoque plástico : las tracciones en los conectores se limitan por la capacidad de éstos ; la redistribución es posible si los conectores son dúctiles ; se requiere suficiente embebida para desarrollar la capacidad de los conectores

132

EJEMPLOS DE DISEÑO CON CONEXIONES CON CORTE EXCÉNTRICO

Ejemplos de Diseño del ACI 355 :

Ejemplos 10 y 12

133

EL ACI 355.2 : CALIFICACIÓN DE CONECTORES DE INSTALACIÓN POSTERIOR EN CONCRETO

134

HISTORIA DEL ACI 355.2

- se inició en el 1993 como una norma de pre - calificación en el Subcomité E 06.13 de la ASTM
- se adquirió en el 1997 como una norma provisional por el Comité 355 del ACI
- se votó muchas veces en el ACI 355
- se publicó en febrero del 2001 como una norma provisional del ACI
- se publicó en enero del 2002 como una norma del ACI

135

ALCANCE DEL ACI 355.2

- conectores mecánicos de instalación posterior solamente
 - conectores acampanados
 - conectores expansivos controlados por torsión
 - conectores expansivos controlados por desplazamiento
- conectores convencionales en sitio (pernos , barras enroscadas con tuercas , tacones) no requieren calificación
- diámetro mínimo de ¼ pulg.
- diámetro máximo de 2 pulg. y embebida máxima de 25 pulg.

136

EL ACI 355.2 REQUIERE CUATRO TIPOS DE ENSAYOS

- ensayos de identificación
- ensayos de referencia
- ensayos de confiabilidad
- ensayos de servicio

137

REQUISITOS GENERALES DEL ACI 355.2

- concreto
 - concreto de baja resistencia : 2,500 - 3,500 psi
 - concreto de alta resistencia : 6,500 - 8,000 psi
 - no se permiten aditivos
- evaluación por una Agencia Independiente de Ensayo y Evaluación
 - Todo ensayo de referencia y de confiabilidad tienen que hacerse por aquella Agencia
 - Hasta el 50 % de los ensayos de servicio pueden hacerse por el fabricante con tal de verificarse independientemente y de ser estadísticamente equivalente

138

ACI 355.2 ENSAYOS DE IDENTIFICACIÓN

- *Verificar características críticas*
- *Verificar conformidad con los dibujos mecánicos*
 - *dimensiones*
 - *materiales*
 - *recubrimientos*
 - *marcas de identificación*
 - *requisitos de aseguramiento de calidad*

139

ACI 355.2 ENSAYOS DE REFERENCIA

- *Establecer el desempeño de referencia para comparación posterior con los ensayos de confiabilidad y de servicio*
- *Establecer los datos característicos primarios sobre el conector*
- *Para Concreto No Agrietado*
 - *ensayos en tracción en concreto de baja resistencia y de alta resistencia*
- *Para Concreto Agrietado , agregar :*
 - *concreto de baja resistencia y de alta resistencia , grietas de 0.012 pulg*

140

ARREGLO DE PRUEBA PARA ENSAYOS ESTÁTICOS EN CONCRETO AGRIETADO



141

ACI 355.2 ENSAYOS DE CONFIABILIDAD . . .

- *Verificar la habilidad del conector para desempeño segura y eficaz bajo condiciones adversas :*
 - *durante la instalación*
 - *en servicio*
- *Las condiciones de prueba varían según el tipo de conector y el método de instalación*

142

. . . ACI 355.2 ENSAYOS DE CONFIABILIDAD

- *Concreto No Agrietado*
 - *sensibilidad a un esfuerzo reducido de instalación (torsión o desplazamiento de instalación reducido)*
 - *sensibilidad al uso de una broca de diámetro grande en concreto de baja resistencia*
 - *sensibilidad al uso de una broca de diámetro pequeño en concreto de alta resistencia*
 - *sensibilidad a carga repetida - 10,000 ciclos de carga*

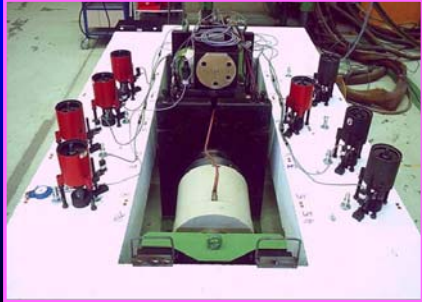
143

. . . ACI 355.2 ENSAYOS DE CONFIABILIDAD

- *Concreto Agrietado*
 - *sensibilidad a esfuerzo reducido de instalación en grietas de 0.012 pulg*
 - *sensibilidad al uso de broca de diámetro grande en concreto de baja resistencia con grietas de 0.020 pulg*
 - *sensibilidad al uso de broca de diámetro pequeño en concreto de alta resistencia con grietas de 0.020 pulg*
 - *sensibilidad a grietas de anchura ciclada (1,000 ciclos en una grieta cuya anchura se varía de 0.004 a 0.012 pulg)*

144

ARREGLO DE PRUEBA PARA ENSAYOS DE GRIETA DE ANCHURA CICLADA



145

ACI 355.2 CLASIFICACIÓN

- clasificar el conector con base en la razón entre su desempeño en los ensayos de confiabilidad y de referencia

% de Capacidad de Referencia

- | | |
|------------------------------------|------------|
| ■ Categoría 1 | 80 o mayor |
| ■ Categoría 2 | 70 - 79 |
| ■ Categoría 3 | 60 - 69 |
| (conector descalificado) bajo 60 | |

146

ACI 355.2 ENSAYOS DE SERVICIO

- determinar los datos básicos requeridos para predecir el desempeño del conector bajo condiciones de servicio
- verificar que el desempeño del conector sea consistente con los requisitos del ACI 318 Apéndice D
 - Verificar capacidad completa por concreto en una esquina con distancias de borde en $1.5 h_{ef}$
 - Establecer los mínimos espaciamientos y distancias de borde para evitar rajamiento por instalación
 - Establecer la capacidad cortante por acero del conector (puede calcularse)

147

ACI 355.2 INFORME DE EVALUACIÓN

- Agencia Independiente de Ensayo y Evaluación
 - evalúa los resultados de los ensayos
 - emite un informe que clasifica el conector para uso con el ACI 318 Apéndice D

148

Para más información

- ACI International
 - sitio web <http://aci-int.org>
 - Comité 318 (Building Code Requirements for Structural Concrete)
 - Comité 349 (Concrete Nuclear Structures)
 - Comité 355 (Anchorage to Concrete)

149

... OBJECTIVES

- definiciones básicas sobre anclaje
- historia, alcance y organización del ACI 318-05 Apéndice D
- El ACI 318-05 Apéndice D y el ACI 355.2
- provisiones del ACI 318-05 Apéndice D
- ejemplos de diseño
- Preguntas y respuestas



150