

## ADHERENCIA ENTRE BARRAS DE ACERO Y CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES Y CONVENCIONALES SOMETIDOS A CARGAMENTOS CÍCLICOS Y MONOTÓNICOS

BOND BETWEEN STEEL BARS AND SELF-COMPACTING AND ORDINARY CONCRETES SUBMITTED TO CYCLIC AND MONOTONIC LOADING

Fredy E. Garzón Reyes<sup>1</sup>, Fernando M. de Almeida Filho<sup>2</sup>, Mounir Khalil El Debs<sup>3</sup> e Ana Lúcia H. de C. El Debs<sup>4</sup>

Escola de Engenharia de São Carlos – EESC  
Universidade de São Paulo – USP  
Departamento de Engenharia de Estruturas  
CEP: 13566-590 São Carlos, SP Brasil

E-mail: <sup>1</sup>fredyg10@sc.usp.br; <sup>2</sup>ffilho@sc.usp.br; <sup>3</sup>mkdebs@sc.usp.br; <sup>4</sup>analucia@sc.usp.br

### RESUMEN

Debido a los actuales requerimientos de durabilidad e resistencia, los concretos de alto desempeño están siendo más utilizados. Estas exigencias requieren mayores cuantías de armadura, haciendo que, en algunas partes de las estructuras sea más difícil fundir el concreto. Además, estas regiones generalmente están sometidas a mayor acción cíclica. De esta forma, se hace necesario el desarrollo de un material que garantice la homogeneidad de la sección transversal, así como, la adherencia de la armadura existente; en este sentido, el concreto autocompactante se torna una alternativa técnica con gran potencial para atender esas propiedades. El propósito de este trabajo es comparar los resultados de la resistencia de adherencia entre Concretos Convencionales (CC) y el Concreto Autocompactante (CAC) cuando son sometidos a acciones cíclicas y monotónicas. El programa experimental adopto modelos de arrancamientos normalizados, se utilizaron barras de acero de 10 mm e 16 mm, en concretos con resistencia a la compresión de 30 MPa a los 28 días. La resistencia a la adherencia se evaluó con ensayos de arrancamiento sobre acciones monotónicas y cíclicas. Los resultados indicaron que los ensayos de arrancamientos sobre acciones monotónicas y cíclicas son eficaces para el análisis de la resistencia de adherencia en los tipos de concreto en las condiciones probadas. Se verificó también, que los modelos de arrancamiento en CAC presentan comportamientos similares a los de CC y que el diámetro de las barras posee influencia significativa en la forma de falla.

**Palabras clave:** Adherencia, Arrancamiento, Concreto Autocompactante, Carga Monotónica, Carga Cíclica.

### ABSTRACT

At the moment it is increasingly common the use of high-strength concrete because of the durability and strength requirements. This requires higher reinforcement ratio which results in places with difficult cast. These regions generally are subject to the cyclic loading. In that way, it is necessary to develop a material that ensures the cross-section homogeneity as well as the bond with the reinforcement. Therefore, the self-compacting concrete became a technical alternative with great potential to achieve these required properties. The aim of this work is to compare the bond strength results between plain concrete (CC) and self-compacting concrete (SCC) when subjected to monotonic and cyclic loads. The experimental program used standard pull-out specimens and was used steel bars of 10 mm and 16 mm, in concrete compressive strength of 30 MPa at 28 days. The bond strength was evaluated by the pull-out tests under monotonic and cyclic loading. The results indicated that the pull-out tests are effective for analyzing the bond stress in the concretes used and conditions of the test. Furthermore, was verified that the SCC pull-out specimens have similar behavior to those in CC, and the diameter of the bar has significant influence on its rupture.

**Keywords:** Bond, Pull-out, Self-Compacting Concrete, Monotonic Load, Cyclic Load.

### 1 – INTRODUCCIÓN

Una de las preocupaciones de mayor interés en una obra civil se refiere a la utilización de concretos con alta resistencia y durabilidad. Japón fue el pionero en el desarrollo de este tipo de materiales. Okamura e Ouchi (2003), en la década de los 1980, propusieron un prototipo de mezcla utilizando materiales disponibles en el mercado, que la diferencia con las mezclas convencionales puede ser compactada en cualquier lugar del local de trabajo, de esta forma, surgió el “Self-Compacting Concrete (SCC)” o el “Concreto Autocompactante (CAC)”. Este nuevo tipo de

concreto presentó ventajas como: reducción en los tiempos de obra, reducción gradual en la mano de obra, compactación en todos los lugares de la estructura, ausencia de vibración, trabajabilidad, resistencia a la segregación, entre otros. La intención con el desarrollo de este prototipo es que este concreto sea utilizado con la misma confianza que el Concreto Convencional (CC), para esto se hace necesario realizar más estudios sobre el desarrollo de nuevos sistemas de proyectos, manufactura y producción. Según Okamura e Ouchi (2003), la diferencia con otros tipos de concreto se debe principalmente a: limitadas cantidades de agregado, baja relación

Agua/Cemento (A/C), uso de superplastificante y alta viscosidad que permite inhibir la segregación.

Fernades e Debs (2000) definen la adherencia como el mecanismo de transferencia de tensiones existente en la interfase entre las barras de acero de la armadura y el concreto envolvente. Resaltan que este fenómeno es tan importante que la propia definición de concreto armado se condiciona a su existencia. Diferentes investigadores desarrollaron estudios sobre factores que afectan la adherencia. Haddad e Abendeh (2004) citan que entre los factores que influyen significativamente en la resistencia de la adherencia y en la resistencia mecánica se encuentran: diámetro de las barras de acero, espesor del recubrimiento de concreto, longitud de adherencia y presión de confinamiento lateral.

Conforme ACI Committee 408 (2005), los tipos de carga en una estructura se clasifican en dos: *estáticos* y *dinámicos*. El primero actúa permanentemente en la estructura, y puede ser de larga duración, de corta duración o cargas monotónicas. En el segundo, la duración de carga en la estructura varía. Entre las acciones dinámicas también se encuentran las acciones cíclicas, que a su vez se subdividen conforme el número de ciclos. Bajos ciclos (*low-cycles*), es decir, menos de 100 ciclos por segundo, se puede asemejar al comportamiento de un sismo y altas cargas de viento y ciclos altos (*high-cycles*), en el rango de 1.000 a 1.000.000 ciclos por segundo, se asemeja al comportamiento de puentes y estructuras que sustentan máquinas sujetas a vibraciones. De acuerdo con el tipo de tensión aplicada, las acciones cíclicas pueden ser repetidas o unidireccionales (caso típico de carga de fatiga) e alternadas (que se asemeja a un sismo).

En este sentido, este artículo presenta resultados de un estudio experimental del comportamiento de adherencia entre Concretos Convencionales y Concretos Autocompactantes con barras de acero, cuando es sometido a cargas estáticas o monotónicas y dinámicas o cíclicas alternadas.

## 2 – MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Materiales

Para los dos tipos de concreto estudiados (CAC y CC), se utilizaron los mismos materiales (cemento y agregados). Las propiedades del cemento Pórtland de alta resistencia inicial (CP V ARI), obtenidas por el fabricante conforme la NBR 5733 (1991) se observan en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades físico-químicas del cemento (C)

Parámetro	Valores obtenidos
Finura tamiz #325	3%
Permeabilidad por Blaine	4500 cm <sup>2</sup> /g
Tiempo de fraguado	130 min.
Resistencia a la compresión	28 días = 53 MPa
Coloración	Clara y uniforme

El agregado fino (AF) se clasifica conforme la norma NBR 7211 (1983). Masa específica de 2,630 g/cm<sup>3</sup>, con diámetro máximo de 1,2 mm. En la Tabla 2 se puede observar los valores obtenidos de las características del

agregado grueso, según recomendaciones de la norma NBR 9937 (1987).

Tabla 2. Características del agregado grueso (AG).

Características	Valores obtenidos
Masa específica ( $\gamma_s$ )	2,828 g/cm <sup>3</sup>
Condición saturada y superficie seca ( $\gamma_{sss}$ )	2,876 g/cm <sup>3</sup>
Absorción (a)	1,71 %

La Tabla 3 ilustra las características físico-químicas del filler (F) (polvo calcáreo) utilizado suministradas por el fabricante.

Tabla 3. Propiedades físico-químicas del filler calcáreo (F).

Parámetro	Resultados
Color	Gris
Diámetro medio	45 $\mu$ m
<i>Características Químicas</i>	
CaO	55,17%
MgO	0,13%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30%
SiO <sub>2</sub>	0,77%
<i>Características Físicas</i>	
Absorción DOP (%)	28 – 32
pH (sol. 5%)	10 – 11
Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	1 – 1,2
Perdida al fuego (850°C)	45% máx.
Absorción de aceite de linaza (%)	23 – 27

El superplastificante (SP) utilizado fue el de 3<sup>o</sup> generación, con base Policarboxilatos que atienden a las características del fabricante y las prescripciones de las normas ASTM C 494/C 494M (2001) (tipos A e F); y es compatible con las propiedades de los cementos de la norma ASTM C 1097 (2001). Los datos técnicos pueden ser observados en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos técnicos superplastificante (SP)

Parámetro	Valores obtenidos
Aspecto	Líquido viscoso
Color	Café claro
Densidad	1,067 a 1,107 g/cm <sup>3</sup>
pH	5 a 7
Sólidos	28,5 a 31,5 %
Viscosidad	95 a 160 cps

La sílica activa (SA) es considerada un material importante para los CAC. Los datos técnicos de la sílica activa utilizada son presentados en la Tabla 5, conforme las especificaciones del fabricante y recomendaciones de la norma ASTM C 1240 (2000).

Tabla 5. Datos técnicos sílica activa (SC).

Parámetro	Valores obtenidos
Aspecto	Polvo ultra fino
Color	Gris claro
Densidad	2,2 Gramos/cm <sup>3</sup>
Base química	Dióxido de Silicio

Es de resaltar que de acuerdo con la relación Agua/Cemento (A/C) utilizada para el CAC alrededor 30

MPa a los 28 días, la sílica activa no fue utilizada para este concreto.

Se utilizó barras de acero CA-50 de 10 mm e 16 mm de diámetro, caracterizado conforme las recomendaciones de las normas NBR 6152 (1992) y NBR 7480 (1996).

## 2.2 Métodos

### 2.2.1 Dosificación del concreto autocompactante y convencional

El método de dosificación escogido para el CAC sigue las recomendaciones hechas por Gomes (2002). Este procedimiento optimiza separadamente la composición de la pasta de el esqueleto granular de los agregados, como se muestra en la Figura 1.

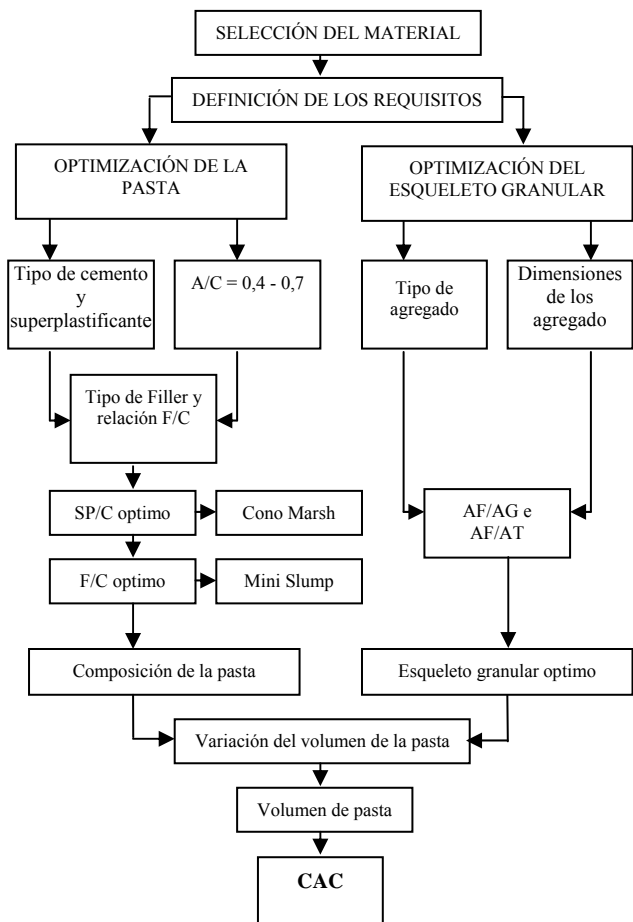


Figura 1. Esquema de optimización para el CAC, Gomes (2002).

La pasta está compuesta de cemento, sílica activa, filler, agua y superplastificante. El contenido óptimo de la pasta tiene gran importancia en la fluidez y cohesión del CAC, pues esta tiene la función de llenar los vacíos existentes entre los agregados. El esqueleto granular está compuesto por los agregados finos y gruesos de modo a obtener mayor compactación seca sin tener la necesidad de compactar los agregados; de este modo, hay reducción de vacíos, (ALMEIDA FILHO, 2006).

Para determinar la composición de la pasta se utilizan relaciones en peso de Agua/Cemento (A/C), Sílica Activa/Cemento (SA/C), Superplastificante/Cemento

(SP/C), y Filler/Cemento (F/C). La relación SP/C es determinada mediante el ensayo de cono Marsh, que representa el ensayo de fluidez y optimización de la cantidad de superplastificante en la pasta. Para concretos de alta resistencia se utilizan las relaciones SA/C=0,1 e A/C=0,4 conforme lo sugerido por Gettu e Agulló (2004).

La determinación de la cantidad óptima de esqueleto granular es llevando en consideración la relación AF/AT, del mismo procedimiento de Gomes (2002).

Para determinar el punto de saturación de la pasta fue utilizado el procedimiento utilizado por Gomes (2002) que es basado en el Método De Larrard *et al* (1997), este procedimiento consiste en graficar una curva en escala logarítmica del tiempo de fluidez  $T^M$  Vs la relación SP/C, mediante el cono Marsh de diámetro 8 mm (NBR 7682, 1983).

El otro factor a tener en cuenta es la segregación de la pasta, mediante el ensayo de mini *Slump*, (Aitcin, 2000).

El método utilizado para el diseño de mezcla del concreto convencional, es el recomendado por Helene e Tercian (1993), basado en la relación entre las características de resistencia y durabilidad del concreto y la relación agua-cemento, acompañado por la trabajabilidad deseada.

### 2.2.2 Métodos de verificación de la mezcla del CAC

Para obtener una mezcla óptima de los CAC fue necesario realizar una serie de ensayos, con el propósito de comprobar la fluidez y la capacidad de pasar obstáculos (una de las mayores características de los concretos del tipo autocompactante). Los ensayos *Slump-flow* y *V-Funnel* (Figuras 2 y 3 respectivamente) proporcionan la obtención de los parámetros de fluidez, en cuanto que los ensayos de *J-Ring* y *L-Box* (Figuras 4 y 5 respectivamente) evalúan directamente la capacidad de paso del concreto a través de una armadura de acero.

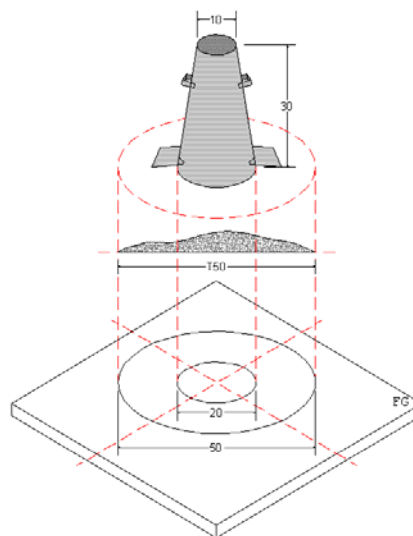


Figura 2. Modelo de ensayo (*Slump-flow Test*). Medidas en (mm).

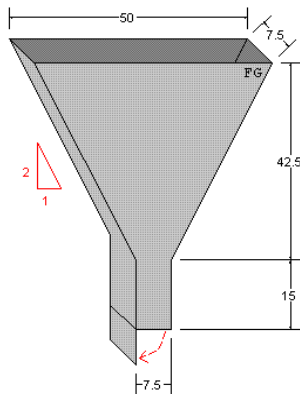


Figura 3. Modelo de ensayo (V-Funnel Test). Medidas en (mm).

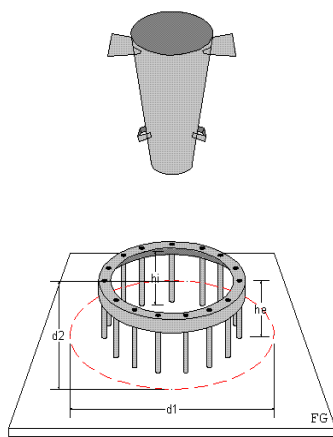


Figura 4. Modelo de ensayo (J-Ring Test). Medidas en (mm).

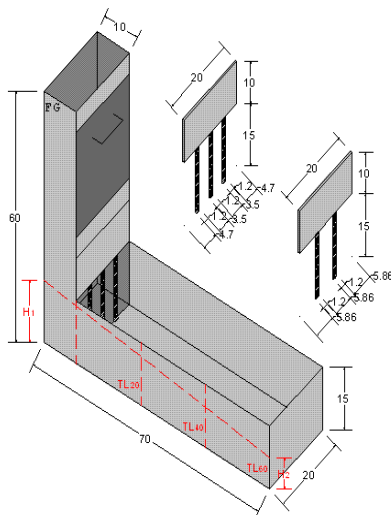


Figura 5. Modelo de ensayo (L-box Test). Medidas en (mm).

### 2.3 Modelos de montaje de ensayos

Los modelos utilizados en los ensayos de arrancamiento (pull-out test) y en los ensayos cíclicos alternados, fueron hechos utilizando barras de acero (10 mm y 16 mm) envueltas en cuerpos de prueba de concreto (CC e CAC) con determinada longitud de adherencia ( $l_d = 5$  cm para la

barra de acero de 10 mm y ( $l_d = 8$  cm para la barra de acero de 16 mm), siendo medido el desplazamiento de la barra de acero en relación al cuerpo de prueba de concreto.

El tamaño y la forma del cuerpo de prueba son proporcionales al diámetro de la barra de acero y al trecho de longitud de adherencia ( $l_d$ ) de la barra. Para obtener simetría en los ensayos cíclicos alternados, la longitud de adherencia ( $l_d$ ) se sitúa en el tercio medio de la longitud total del cuerpo de prueba de concreto (Figura 6).

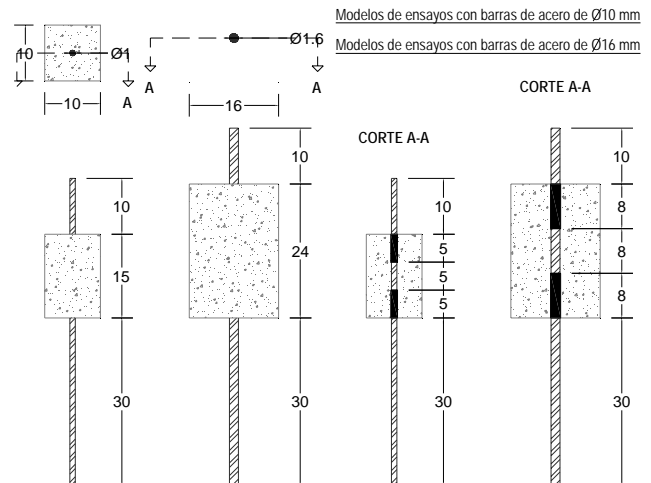


Figura 6. Modelo de cuerpos de prueba para ensayos de arrancamiento con barras de acero de 10mm e 16mm.

En la Figura 7 se presenta el montaje de la máquina universal de ensayos mecánicos, servo-hidráulica, controlada por computador y la instrumentación para los ensayos de arrancamiento y ensayos cíclicos alternados. Dos deformímetros de 22 mm y 10 mm presos a la barra de acero fueron utilizados en la parte superior y en la parte inferior respectivamente. El cuerpo de prueba esta confinado entre dos placas de acero garantizando el desplazamiento de la barra en las dos direcciones.

La carga aplicada a los modelos de arrancamiento monotónico y cíclico alternado fue calculada de acuerdo con el diámetro de las barras de acero 10 mm y 16 mm, en el cual la velocidad de carga fue de 0,010 mm/s y 0,016 mm/s respectivamente.

Para los ensayos cíclicos se realizaron varios ciclos alternados con carga constante, seguidos por otro número de ciclos constantes pero de mayor intensidad. A partir de ese momento, se aumentan los ciclos de carga paulatinamente hasta alcanzar la falla del cuerpo de prueba.

Los ensayos fueron divididos con base en el modelo de arrancamiento, tipo de concreto y diámetro de las barras de acero. Así mismo, la primera serie de ensayos envuelve cargas monotónicas para los modelos de concreto convencional (CC) y concretos autocompactantes (CAC); la segunda serie consiste en ensayos con carga cíclica alternada igualmente para los modelos de concreto convencional (CC) y concreto autocompactante (CAC). En cada una de estas series, el concreto cubre las barras de acero de 10 mm y 16 mm para posteriores estudios de adherencia.

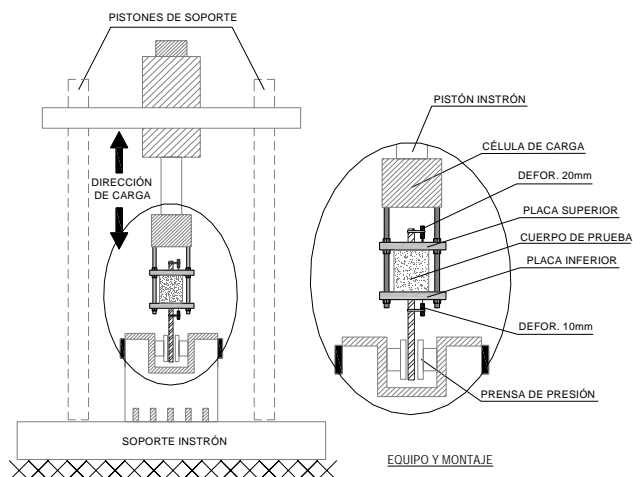


Figura 7. Montaje e instrumentación de la máquina universal de ensayos mecánicos, servo-hidráulica.

Los modelos de arrancamiento y montaje fueron adoptados para facilitar la operación durante la fundida de concreto y posicionamiento en la maquina de ensayos. De esta forma se facilitaron los procedimientos para medir los desplazamientos entre la barra de acero y el prisma de concreto. Utilizados para los dos tipos de ensayos (monotónicos y cíclicos).

Todos los datos experimentales obtenidos fueron tratados utilizando estadística descriptiva conforme descrito por Laponni (2005).

### 3 – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Características de los concretos en estado fresco

##### 3.1.1 Modelo de concreto autocompactantes (CAC)

El modelo de CAC fue fundido después de la verificación de las propiedades de paso de concreto (ensayos de L-Box y J-Ring) y fluidez (ensayos de Slump-flow y V-Funnel) conforme las Tablas 6 y 7.

Tabla 6. Composición de mezcla por m<sup>3</sup> CAC.

Material	Cantidad (kg)
Cemento	377,74
Sílice	0,00
Agua	226,65
Filler	113,32
Agregado fino	750,92
Agregado grueso	821,93
Superplastificante	0,57

Tabla 7. Resultados de ensayos para en estado fresco CAC.

Ensayos	Resultados	Limites
L-Box		
T <sub>60</sub> (s)	=5,3	(3,5-6,0) seg
RB	=0,79	0,80-1,00
J-Ring		
T <sub>50</sub> (s)	=1,62	(3,0-7,0) seg
D <sub>Jesp.</sub> (cm)	=66,0	(65,0-75,0) cm
RB	=0,75	0,80-1,00
Slump-flow		
T <sub>50</sub> (s)	=3,0	(3,0-7,0) seg
D <sub>Eesp.</sub> (cm)	=52,0	(65,0-75,0) cm
V-Funnel		
T <sub>V</sub> (s)	=2,0	(5,0-9,0) seg

De acuerdo a los ensayo de cono Marsh y mini *Slump* expuestos en la Figura 1 la relación SP/C a trabajar es de 0,15% para el CAC.

##### 3.1.2 Modelo de concreto convencional (CC)

La composición de mezcla para el CC con resistencia a la compresión de 30 MPa se observa en la Tabla 8.

Tabla 8. Composición de mezcla de CC por m<sup>3</sup>

Material	Cantidad (kg)
Cemento	365,30
Agregado fino	883,90
Agregado grueso	942,30
Agua	260,80
Slump (cm)	=26,2

Para cada tipo de concreto (CAC y CC) se realizaron dos modelos de mezcla; una de prueba y otra definitiva y así se llegó a obtener propiedades mecánicas similares (compresión, tracción e módulo) y resistencia esperada (en la franja de los 30MPa), para ambos concretos

#### 3.2 Propiedades mecánicas de los materiales

##### 3.2.1 Ensayos de tracción del concreto

Con relación a los ensayos de tracción del concreto, fue tomada la media de tres cilindros de prueba de 10x20 cm para cada uno de los dos tipos de concreto (CAC y CC), a la edad de 28 días (en el mismo día también fueron hechos los ensayos de arrancamiento) según la NBR 12142 (1992).

En las Tablas 9 y 10 se presentan los valores obtenidos de la fuerza máxima y resistencia a tracción para los CAC y CC.

Tabla 9. Valores de fuerza máxima y resistencia a la Tracción (fct) para CAC.

CILINDRO DE 10X20	FUERZA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
CAC-1	98,40	3,02
CAC-2	93,10	3,01
CAC-3	94,25	3,07
MEDIA	95,25	3,03
± S. D.	±2,28	±0,03
C. V. *	2,39%	0,87%

Tabla 10. Valores de fuerza máxima y resistencia a la tracción (fct) para CC.

CILINDRO DE 10X20	FUERZA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
CC-1	102,00	3,25
CC-2	98,00	3,12
CC-3	95,00	3,02
MEDIA	98,33	3,13
± S. D.	±2,87	±0,09
C. V. *	2,92%	3,01%

##### 3.2.2 Ensayos de compresión

Los ensayos de compresión fueron realizados a los 7, 14 y 28 días, según la norma NBR 5739-1994, tomando la

media de tres probetas de 10x20 cm para cada uno de los dos tipos de concreto (CAC y CC). Las resistencia a la compresión de los concretos a los 28 días fueron: CAC=31,14 MPa y CC=32,32 MPa; como se puede observar en la Figura 8.

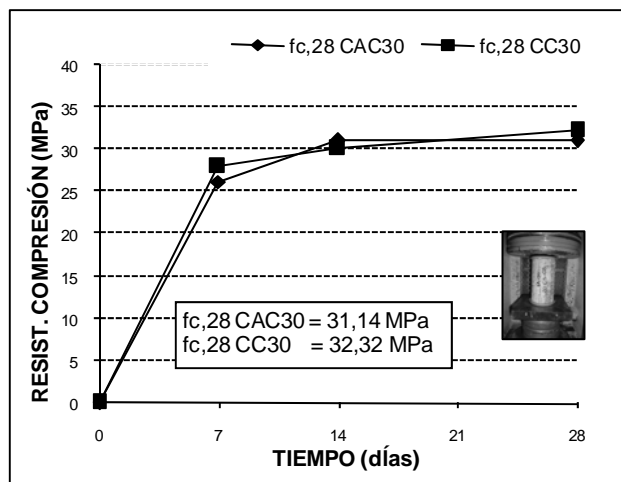


Figura 8. Resistencia a la compresión de los concretos (fc) CAC e CC.

### 3.2.3 Ensayos de módulo de elasticidad del concreto

Se obtiene el módulo de elasticidad a partir de la recta tangente al trecho elástico. Los resultados corresponden a la media entre tres probetas (Figura 9).

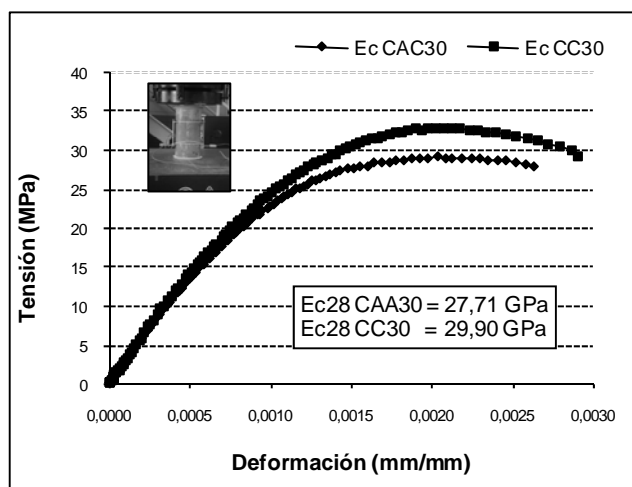


Figura 9. Módulo de elasticidad de los concretos (Ec) CAC e CC.

En las Tablas 11 y 12 se presentan los resultados de los ensayos a la compresión y módulo de elasticidad del concreto, con sus respectivos análisis estadísticos para CAC y CC respectivamente.

\* C. V. = Coeficiente de varianza < 10% indican menor dispersión de los datos

Tabla 11. Valores de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para CAC.

PROBETA DE 10X20	RESISTENCIA A COMPRESIÓN (MPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD (GPa)
CAC-1	31,39	27,51
CAC-2	30,90	27,41
CAC-3	31,14	28,20
MEDIA	31,14	27,71
± S. D.	±0,20	±0,35
C. V. *	0,64%	1,27%

Tabla 12. Valores de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad para CC.

PROBETA DE 10X20	FUERZA MÁXIMA (kN)	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN (MPa)
CC-1	31,49	30,07
CC-2	32,62	29,71
CC-3	32,85	29,93
MEDIA	32,32	29,90
± S. D.	±0,59	±0,15
C. V. *	1,84%	0,50%

### 3.2.4 Ensayos de tracción del acero

La clasificación de los aceros utilizados CA-50, indica que la tensión de fluencia será de 500 MPa. En la Figura 10 es posible observar que el comportamiento de las barras de acero de 10 mm y 16 mm, es mayor al esperado.

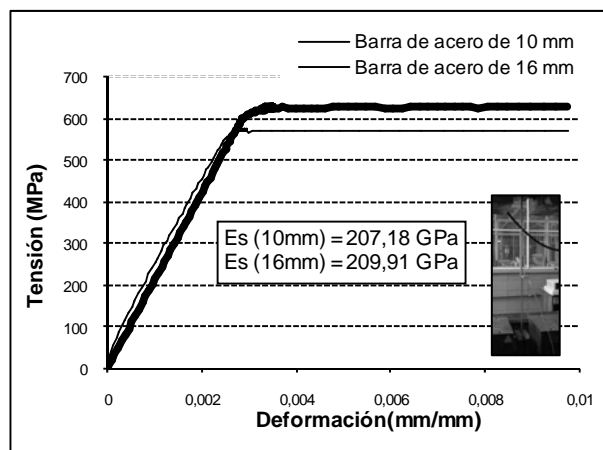


Figura 10. Comportamiento de las barras de acero (Ey) de 10mm e 16mm.

Para el módulo de elasticidad del acero se realizó tres ensayos para cada una de las barras (10 mm y 16 mm), como se observa en la Tabla 13.

Tabla 13. Valores de módulo de elasticidad del acero de 10 mm y 16 mm.

BARRAS DE ACERO	MÓDULO DE ELASTICIDAD BARRA DE 10 mm (GPa)	MÓDULO DE ELASTICIDAD BARRA DE 16 mm (GPa)
BARRA-1	196,66	208,80
BARRA-2	226,67	204,68
BARRA-3	198,20	216,25
MEDIA	207,18	209,91
± S. D.	±13,80	±4,79
C. V. *	6,66%	2,28%

3.3 Ensayos de arrancamiento

3.3.1 Ensayos monotónicos para las barra de acero de 10mm e 16mm

Los modelos de ensayo de arrancamiento monotónicos de las Figuras 11 y 12, fueron caracterizados por la falla por deslizamiento en los prismas de concreto con las barras de acero.

En lo que se refiere al comportamiento de los concretos utilizados, la resistencia de adherencia fue similar para los prismas de concreto con barras de 16 mm; sin embargo, para los prismas de concreto con barras de acero de 10 mm la resistencia de adherencia del concreto autocompactante CAC fue mayor que para el concreto convencional CC.

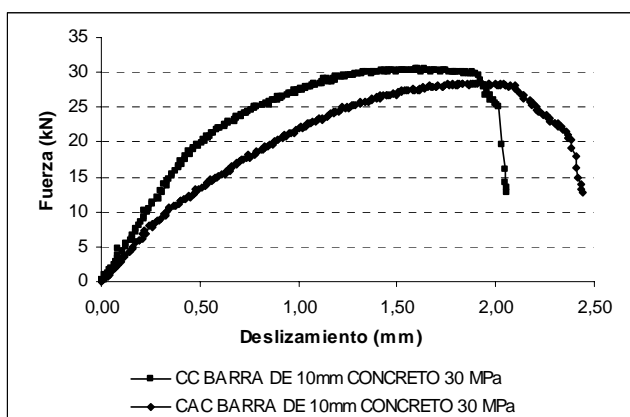


Figura 11. Ensayos monotónicos para concretos CAC y CC con barras de acero de 10mm.

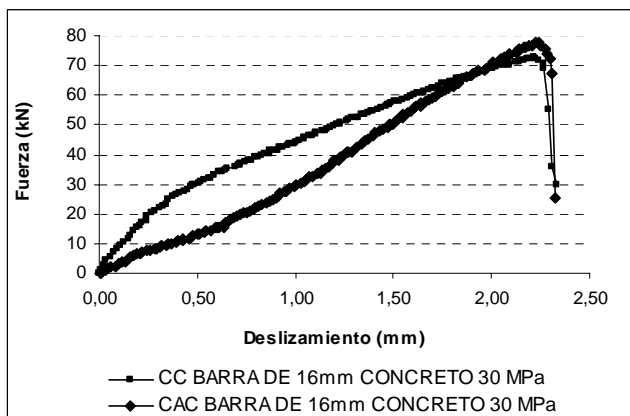


Figura 12. Ensayos monotónicos para concretos CAC y CC con barras de acero de 16mm.

En las Figuras 13 a la 16 se muestran los tipos de fallas producidas durante el ensayo de arrancamiento monotónicos.



Figura 13. Ensayos monotónicos para concretos CC con barras de acero de 10mm.



Figura 14. Ensayos monotónicos para concretos CAC con barras de acero de 10mm.



Figura 15. Ensayos monotónicos para concretos CC con barras de acero de 16mm.



Figura 16. Ensayos monotónicos para concretos CAC con barras de acero de 16mm.

3.3.2 Ensayos cíclicos alternados para las barra de acero de 10mm

Las Figuras 17 y 18 presentan el comportamiento de los ensayos cíclicos alternados para concretos CAC y CC con barras de acero de 10 mm junto con el respectivo histórico de carga.

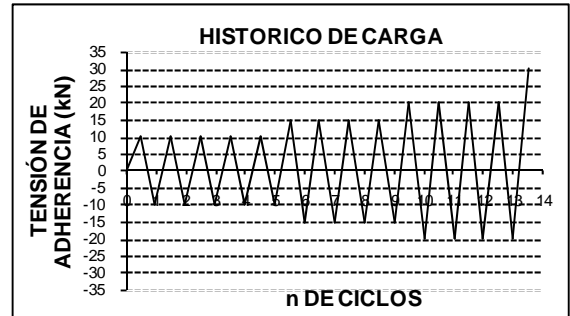
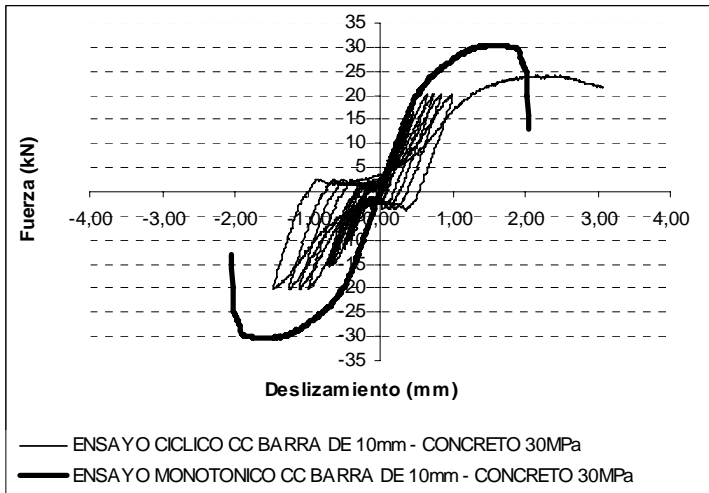


Figura 17. Ensayos monotónicos y cíclicos alternados para CC con barras de acero de 10mm.

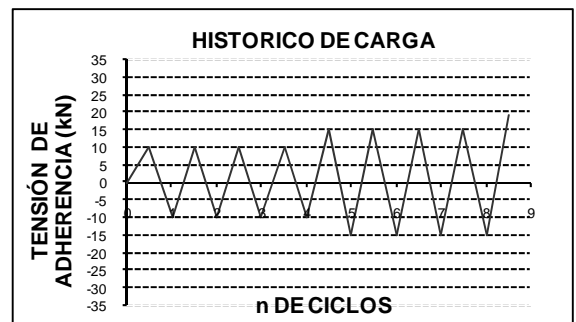
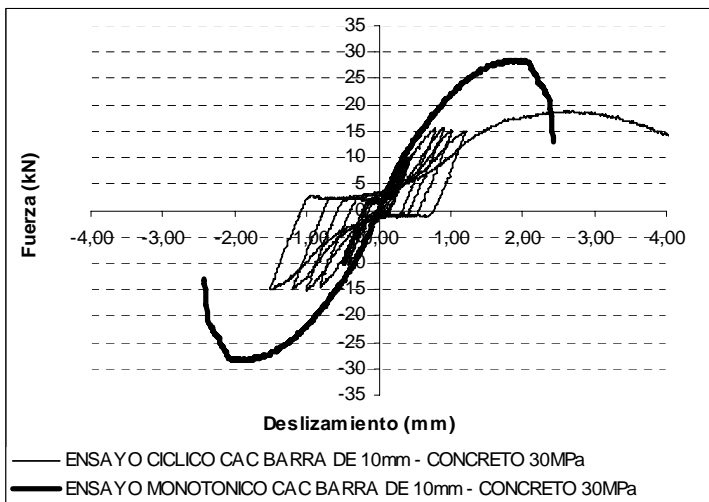


Figura 18. Ensayos monotónicos y cíclicos alternados para CAC con barras de acero de 10mm.

3.3.3. Ensayos cíclicos alternados para las barra de acero de 16mm

con barras de acero de 16 mm junto a el respectivo histórico de carga.

En las Figuras 19 y 20 se muestra el comportamiento de los ensayos cíclicos alternados para concretos CAC y CC

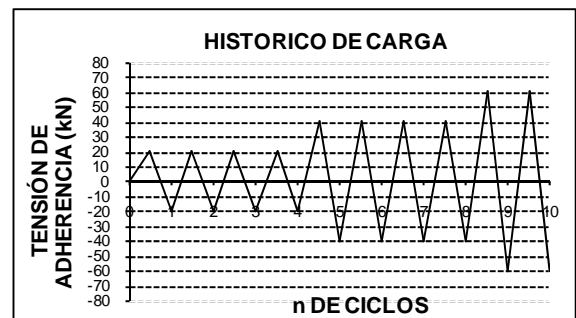
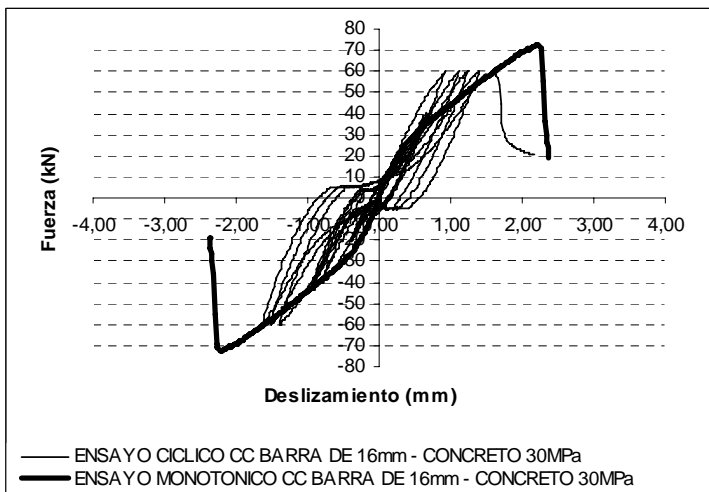


Figura 19. Ensayos monotónicos y cíclicos alternados para CC con barras de acero de 16mm.



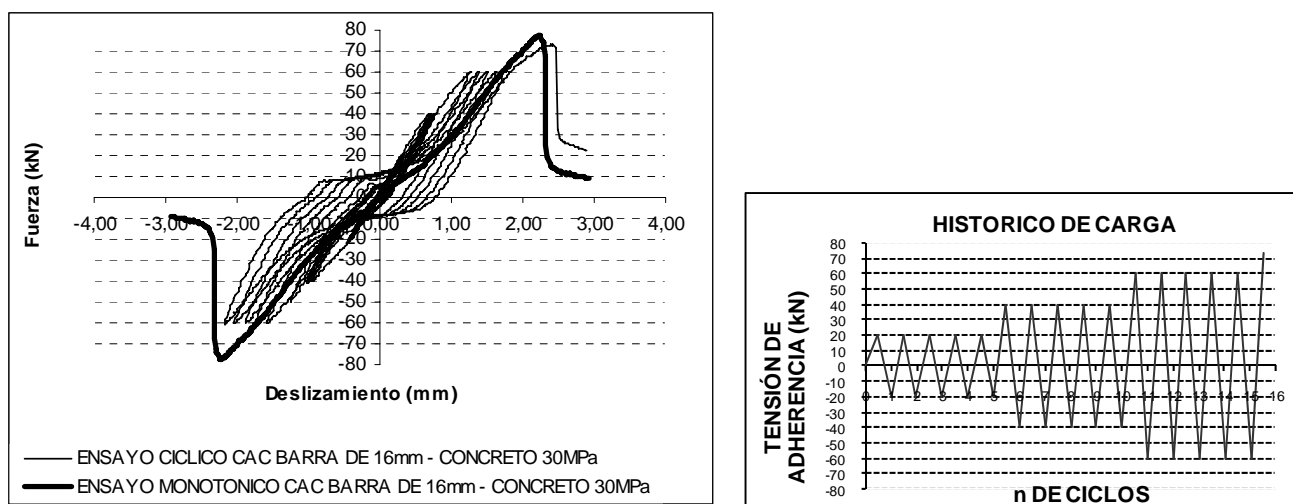


Figura 20. Ensayos monotónicos y cíclicos alternados para CAC con barras de acero de 16mm.

Los modelos de ensayo de arrancamiento cíclicos alternados de las Figuras 17 a la 20, fueron caracterizados por la falla por agrietamiento de los prismas de concreto y también, en algunos casos, por la falla por deslizamiento en los prismas de concreto con las barras de acero de 10 mm y 16 mm.

Según Almeida Filho (2006), la resistencia a la compresión del concreto y el diámetro de las barras de acero tienen fuerte influencia en el resultado de la resistencia a la adherencia. Conforme la literatura técnica, cuanto mayor la resistencia a la compresión del concreto mayor la resistencia de adherencia, siendo lo mismo valido para el diámetro de la barra de acero. Esa afirmación se verificó en este estudio.

El concreto autocompactante (CAC) presentó mejor comportamiento de resistencia a la adherencia en relación a el concreto convencional (CC), como observado en la figuras de los ensayos cíclicos alternados. Adicionalmente, se observa una notable mejoría cuando se realizan ensayos de adherencia entre prismas de CAC y barras de acero de 16 mm.

#### 4 – CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos de los ensayos de arrancamiento monotónicos y cíclicos alternados es posible concluir, que para los concreto (CAC y CC) de similares condiciones mecánicas, el CAC presenta una mayor resistencia a la adherencia; se verificó además, que las barras de acero de mayor diámetro (16 mm) presentaron mayor resistencia a la adherencia.

Conforme el resultado obtenido se verifica que debido a la deteiorización progresiva de la resistencia y rigidez de adherencia por las acciones cíclicas alternadas ocurre un proceso de daño en la ligación acero-concreto y los cuerpo de prueba sometido a cargas cíclicas alcanzaron niveles de tensión de falla de adherencia más bajos que de tensión última monotónica.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos por el apoyo financiero a la Fundação de Amparo Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, al Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq y al Laboratorio de Engenharia de Estruturas del Departamento de Estruturas (Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de Sao Paulo – USP), por el apoyo técnico y logístico.

#### REFERENCIAS

Aïcin, P.-C. (2000). **Concreto de alto desempenho**. 1ª. Edição, Editora: PINI Ltda. ISBN: 85-7266-123-9, p. 695, (Tradução de Geraldo G. Serra, 2000).

Almeida Filho, F. M. **Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concreto auto-adensáveis**. Teses de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 291p., São Carlos – SP, Brasil, 2006.

American Concrete Institute. Reported by ACI Committee 408: **Bond Under Cyclic Loads**, 2005.

American Society for Testing and Materials. **ASTM C 150: Standard Specification for Portland Cement**. West Conshohocken, 2000.

American Society for Testing and Materials. **ASTM C 494/C 494M: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete**. West Conshohocken, 2001.

American Society for Testing and Materials. **ASTM C 1097: Standard Specification for Hydrated Lime for Use in Asphaltic-Concrete Mixtures**. West Conshohocken, 2001.

American Society for Testing and Materials. **ASTM C 1240: Use of Silica Fume as a Mineral Admixture in Hydraulic-Cement Concrete, Mortar, and Grout**. West Conshohocken, 2000.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5733: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6152: Materiais metálicos: Determinação das propriedades mecánicas à tração – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1992.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7211: Agregado para concreto**. Rio de Janeiro, 1983.

Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7480: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado**. Rio de Janeiro, 1996.

- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 7682: **Calda de cimento para injeção: Determinação do índice de fluidez – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1983.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9937: **Agregados: Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo**. Rio de Janeiro, 1987.
- De Larrard, F.; Bose, F.; Catherine, C.; Deflorenne, F. **The AFREM method for mix-design of high performance concrete**. Materials and Structures, Vol. 30, p. 439-446, 1997.
- Fernades, R.; Debs, A. L. H. C. E. **A Influencia Das Ações Repetidas Na Aderência Aço – Concreto**. Dissertação (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2000.
- Gettu, R.; Agulló, L. **Estado del arte del hormigón autocompactable y su caracterización** (parte I –II). Cemento Hormigón, No. 861, Abril, p.32-67, 2004.
- Gomes, P. C. C. **Optimization and characterization of high-strength self-compacting concrete**. Tese de Doutorado, Universitat Politècnica de Catalunya, Escola Técnica Superior D'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona, 140 p., Barcelona, Spain, 2002.
- Haddad, R.; Abende, R. **Effect of Thermal Cycling on Bond Between Reinforcement and Fiber Reinforced Concrete**. Cement & Concrete Composites, v.26, p.743-752, 2004.
- Helene, P; Terzian, P. **Manual de Dosagem e Controle do Concreto**. 1.ed. São Paulo, 1993.
- Lapponi, Juan Carlos. **Estadística Usando Excel**. 1. ed. Rio de Janeiro, 2005.
- Okamura, H.; Ouchi, M. **Self-compacting concrete**. Journal of Advanced Concrete Technology, v.1, n.1, p. 5-15, 2003.