

3

Grietas en estructuras de hormigón
Fissuração nas estruturas de concreto
Cracking in concrete structures

Boletín Técnico

Antônio Carmona Filho & Thomas Carmona

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología
y Recuperación de la Construcción - ALCONPAT Int.



Elaboración de:



PREFÁCIO

Com o grande desenvolvimento atual dos meios de comunicação e de transporte, há efetiva possibilidade e necessidade de integração dos profissionais dos países Ibero-americanos, conscientes de que o futuro inscreve-se numa realidade social onde o conhecimento científico e o desenvolvimento tecnológico são as ferramentas corretas a serem utilizadas em benefício da sustentabilidade e qualidade de vida de nossos povos.

É missão e objetivo da ALCONPAT (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción) ser um forte instrumento de união, desenvolvimento e difusão dos conhecimentos gerados pela comunidade da construção civil, com foco nos materiais e na gestão da qualidade de obras em andamento, no estudo dos problemas patológicos, na manutenção, recuperação e proteção do enorme patrimônio construído e na prevenção de falhas de projeto e construção em obras novas.

Desde sua fundação no ano de 1991 em Córdoba, Argentina, os membros da ALCONPAT Internacional e de suas delegacias e entidades nacionais, vêm organizando cursos, seminários, palestras e, nos anos ímpares o tradicional e reconhecido congresso científico CONPAT, já realizado de forma itinerante em onze diferentes países da Ibero-américa.

Com o objetivo de fortalecer essa integração e valorizar ainda mais a Construção Civil desses países, a ALCONPAT instituiu, em 2011, a “Comisión Temática de Procedimientos Recomendables” sob a profícua coordenação do Prof. Dr. Bernardo Tutikian. Essa Comissão tem o objetivo de levantar temas de interesse da comunidade, buscar um especialista que se disponha a pesquisar e escrever sobre o assunto, voluntariamente, e divulgar esse conhecimento na comunidade Ibero-americana.

O conteúdo deve ser claro, objetivo, com bases científicas, atualizado e não muito extenso, fornecendo a cada leitor profissional as bases seguras sobre um tema específico de forma a permitir seu rápido aproveitamento e, quando for o caso, constituir-se num ponto de partida seguro para um desenvolvimento ainda maior daquele assunto.

O resultado dessa iniciativa agora se cristaliza na publicação de 10 textos fantásticos, em forma de fascículos seriados, cuja série completa ou coletânea se denomina “O QUE É NA CONSTRUÇÃO CIVIL?”. Se tratam de textos conceituais visando o nivelamento do conhecimento sobre as principais “palavras de ordem” que hoje permeiam o dinâmico setor da

Construção Civil, entre elas: Sustentabilidade, Qualidade, Patologia, Terapia, Profilaxia, Diagnóstico, Vida Útil, Ciclo de Vida, e outras, visando contribuir para o aprimoramento do setor da construção assim como a qualificação e o aperfeiçoamento de seus profissionais.

Por ter um cunho didático, os diferentes temas são abordados de modo coerente e conciso, apresentando as principais etapas que compõem o ciclo dos conhecimentos necessários sobre aquele assunto. Cada fascículo é independente dos demais, porém o seu conjunto constituirá um importante referencial de conceitos utilizados atualmente na construção civil.

O curto prazo disponível para essa missão, de repercussão transcendental aos países alvo, foi superado vitoriosamente e esta publicação só se tornou realidade graças à dedicação, competência, experiência acadêmica, profissionalismo, desprendimento e conhecimento do Coordenador e Autores, apaixonados por uma engenharia de qualidade.

Estes textos foram escritos exclusivamente por membros da ALCONPAT, selecionados pela sua reconhecida capacidade técnica e científica em suas respectivas áreas de atuação. Os autores possuem vivência e experiência dentro de cada tópico abordado, através de uma participação proativa, desinteressada e voluntária.

O coordenador, os autores e revisores doaram suas valiosas horas técnicas, seus conhecimentos, seus expressivos honorários e direitos autorais à ALCONPAT Internacional, em defesa de sua nobre missão. Estimou-se essa doação em mais de 500h técnicas de profissionais de alto nível, a uma média de 50h por fascículos, acrescidas de pelo menos mais 200h de coordenação, também voluntária.

Todos os recursos técnicos e uma visão sistêmica, necessários ao bom entendimento dos problemas, estão disponíveis e foram tratados com competência e objetividade, fazendo desta coletânea uma consulta obrigatória. Espera-se que esta coletânea venha a ser amplamente consultada no setor técnico-profissional e até adotada pelas Universidades Ibero-americanas. Esta coletânea é mais um esforço que a ALCONPAT Int. realiza para aprimoramento e atualização do corpo docente e discente das faculdades e universidades, assim como para evolução dos profissionais da comunidade técnica ligada ao construbusiness, valorizando indistintamente a contribuição da engenharia no desenvolvimento sustentado dos países Ibero-americanos.

Mérida - México, março de 2013

Prof. Paulo Helene
Presidente ALCONPAT Internacional

Prof. Bernardo Tutikian
Coordenador Comisión Temática de Procedimientos Recomendables

Junta Directiva de ALCONPAT Internacional (bienio jan.2012/dez. 2013):

<i>Presidencia:</i>	<i>Prof. Paulo Helene</i>
<i>Presidência de Honor:</i>	<i>Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho</i>
<i>Vicepresidente Administrativo:</i>	<i>Profa. Maria Ysabel Dikdan</i>
<i>Vicepresidente Técnico:</i>	<i>Profa. Angélica Piola Ayala</i>
<i>Secretario Ejecutivo:</i>	<i>Prof. José Manuel Mendoza Rangel</i>
<i>Director General:</i>	<i>Dr. Pedro Castro Borges</i>
<i>Gestor:</i>	<i>Ing. Enrique Crescencio Cervera Aguilar</i>

Sede permanente ALCONPAT:

CINVESTAV Mérida México
<http://www.alconpat.org> Dr. Pedro Castro Borges

Presidente Congreso CONPAT 2013

Prof. Sérgio Espejo

Comisiones Temáticas:

<i>Publicaciones</i>	<i>Dr. Pedro Castro Borges</i>
<i>Educación</i>	<i>Prof^a. Liana Arrieta de Bustillos</i>
<i>Membrecía</i>	<i>Prof. Roddy Cabezas</i>
<i>Premiación</i>	<i>Prof^a. Angélica Piola Ayala</i>
<i>Procedimientos Recomendables</i>	<i>Prof. Bernardo Tutikian</i>
<i>Relaciones Interinstitucionales</i>	<i>Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho</i>
<i>Historia ALCONPAT</i>	<i>Prof. Dante Domene</i>
<i>Boletín de Noticias</i>	<i>Arq. Leonardo López</i>

Missão da ALCONPAT Internacional:

ALCONPAT Internacional es una Asociación no lucrativa de profesionales dedicados a la industria de la construcción en todas sus áreas, que conjuntamente trabajan a resolver los problemas que se presentan en las estructuras desde la planeación, diseño y proyecto hasta la ejecución, construcción, mantenimiento y reparación de las mismas, promoviendo la actualización profesional y la educación como herramientas fundamentales para salvaguardar la calidad y la integridad de los servicios de sus profesionales.

Visão da ALCONPAT Internacional:

Ser la Asociación de especialistas en control de calidad y patología de la industria de la construcción con mayor representatividad gremial y prestigio profesional reconocido internacionalmente, buscando siempre el beneficio social y el óptimo aprovechamiento de los recursos humanos, materiales y económicos para la construcción de estructuras sustentables y amigables con el medio ambiente.

Valores de ALCONPAT Internacional:

Ciencia, Tecnología, Amistad y Perseverancia para el Desarrollo de América Latina.

Objetivos da ALCONPAT Internacional:

ARTÍCULO 1.2 del Estatuto. ALCONPAT se define como una asociación sin fines de lucro, cuyos fines son:
a) Contribuir al desarrollo científico y técnico de toda la comunidad Latinoamericana relacionada con la construcción y sus materiales, con énfasis en la gestión de la calidad, la patología y la recuperación de las construcciones.
b) Actuar como un interlocutor cualificado, tanto de la propia sociedad civil como de sus poderes públicos representativos.
c) Promover el papel de la ciencia y la tecnología de la construcción y sus materiales, y contribuir a su difusión como un bien necesario que es para toda la sociedad Latinoamericana y Iberoamericana.



03

ALCONPAT Internacional

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción

Boletín Técnico

Grietas en estructuras de hormigón *Fissuração nas estruturas de concreto* *Cracking in concrete structures*

Antonio Carmona Filho
Thomas Garcia Carmona

Introdução

O concreto é o principal material empregado para estruturas de construção civil e seguramente permanecerá nesta posição por muitos anos, visto que outros materiais tem utilização restrita quando comparados com o concreto seja por custo, facilidade de posta em obra, durabilidade, versatilidade e adaptabilidade às mais variadas formas geométricas.

Diante do acima exposto este material tem sido estudado de uma forma muito profunda e completa, para que apresente o melhor desempenho possível. No entanto, não sendo o concreto um material homogêneo se não sendo tomados intensos cuidados no projeto, execução e manutenção este se torna suscetível a apresentar desempenho indesejado frente ao clima, micro clima e esforços.

Na área da patologia o dano mais comum que se apresenta no concreto é sem dúvida a fissuração

excessiva, seja por efeito das modificações internas de comportamento ao longo do tempo denominadas de efeitos reológicos, da própria constituição do material ou por efeito de esforços aplicados às peças, o que é suportado pela quase totalidade dos trabalhos de cadastramento de danos em nível nacional e internacional.

As aberturas das fissuras podem variar desde a chamada micro fissura da ordem de 0,05 mm até aberturas muito maiores. Neste capítulo não faremos distinção de nomenclatura em função da abertura das fissuras, pois não há o menor interesse técnico neste tipo de classificação.

Um aspecto interessante a ser analisado na questão da fissuração é a evolução histórica dos materiais e da forma de projetar as estruturas. Ao mesmo tempo que a tecnologia avança no sentido de restringir a fissuração, por meio do estudo

granulométrico dos agregados, diminuição dos teores de água, utilização correta dos vários tipos de cimento disponíveis, aditivos e adições, enfim, de toda a composição dos traços, em contrapartida as estruturas ficam cada dia mais arrojadas devido à evolução técnica dos materiais, exigências de maiores vãos e espaços urbanos mais limitados.

Contribui para o arrojo das estruturas modernas as novas metodologias de cálculo estrutural, tanto no conhecimento dos esforços por métodos computacionais sofisticados como também do conhecimento dos estados de trabalho das peças em estado de serviço e último.

Em resumo paralelamente se evolui no conhecimento dos materiais, métodos e técnicas e se

sofisticam as obras, com aumento dos vãos gerando esforços indiretos de grande magnitude nas peças o que vem a gerar fissuras de grandes aberturas devido ao comportamento não previsto, ou seja, apesar da evolução tecnológica em todos os sentidos, a fissuração excessiva do concreto continua sendo uma constante nas obras da engenharia civil.

Há vários anos tem sido feitas tentativas de desenvolvimento de sistemas para realizar o um diagnóstico objetivo do aparecimento de fissuras (*DAL MOLIN et al., 1997*).

A metodologia mais utilizada para determinação da profundidade das fissuras é por meio da utilização da técnica de Ultrassom (*HERNANDEZ, 1999*).

2. Fatores que provocam a fissuração no concreto

2.1. Fissuras decorrentes de cargas diretas

O projetista de estruturas em geral tem o seu raciocínio voltado para a segurança e por tanto está sempre pensando nas estruturas de concreto e nas fissuras relacionadas com as tensões de tração, mas não são somente as tensões geradas por carregamentos diretos provocam as fissuras, existem muitos outros efeitos que influem na fissuração.

Os esforços mais comuns e que levam à fissuração devido a esforços externos aplicados são aqueles que geram tensões de tração, tais como

flexão, cisalhamento, punção, torção, alguns casos de protensão e outros.

O mau dimensionamento ou detalhamento incorreto de peças especiais pode levar também a fissuras importantes, tais como consolos, apoios do tipo Gerber, insuficiência ou comprimento inadequado de armaduras de ancoragem, de suspensão, de fretagem e outras.

As figuras a seguir mostram alguns tipos de fissuras originadas por esforços externos aplicados em peças normais e especiais:



Figura 1. Fissuras verticais em silos por efeito da tração tangencial por erro de projeto, verifica-se que o esforço foi de tal magnitude que um dos silos rompeu.



Figura 2. Fissuras em viga pré-moldada provocada por insuficiência de armadura de suspensão.

Estruturas cilíndricas frequentemente apresentam fissuração excessiva visto que os esforços de tração tangenciais são elevados e muitas vezes não são corretamente avaliados e ainda há

a influência negativa dos gradientes térmicos entre o interior e o exterior dessas estruturas (STAPELBROCK, 1999).



Figura 3. Fissuras de cisalhamento em ponte provocada pela passagem de veículos com carga excessiva, não prevista em projeto.

2.2. Fissuras decorrentes de outros fenômenos

2.2.1. Assentamento plástico e movimentação de fôrmas

Nesse caso são erros na forma de escorar as estruturas, retirar escoramentos em ordem incorreta etc. que provocam fissuras ou o próprio

adensamento do concreto decorrente de excessiva exsudação no estado plástico do concreto.

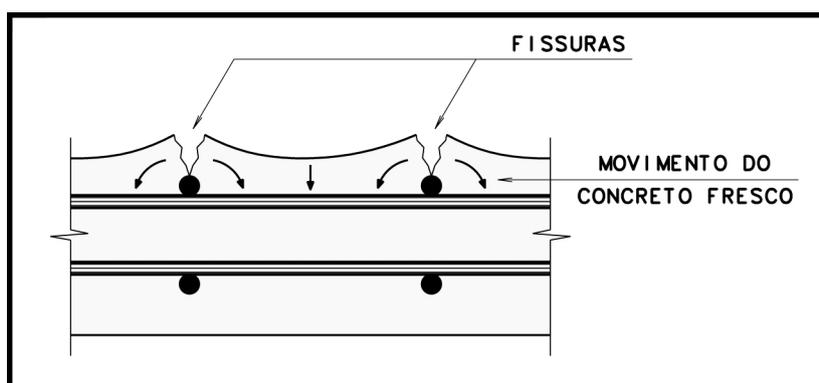


Figura 4. Exemplo de fissura de assentamento plástico ou movimentação de fôrmas.

2.2.2. Retração

O principal mecanismo de retração é a perda de água por evaporação em estado fresco ou endurecido. Água em excesso é normalmente

adicionada à massa de concreto para lhe conferir trabalhabilidade, essa água não é consumida na reação de hidratação do cimento. Ao evaporar-

se deve vencer as forças capilares gerando assim forças de contração na massa.

A restrição do encurtamento por uma série de fatores como, por exemplo, o atrito com a

base, retração diferencial, rigidez da estrutura etc. provoca as tensões de tração que levam ao aparecimento ou aumento da abertura de fissuras.

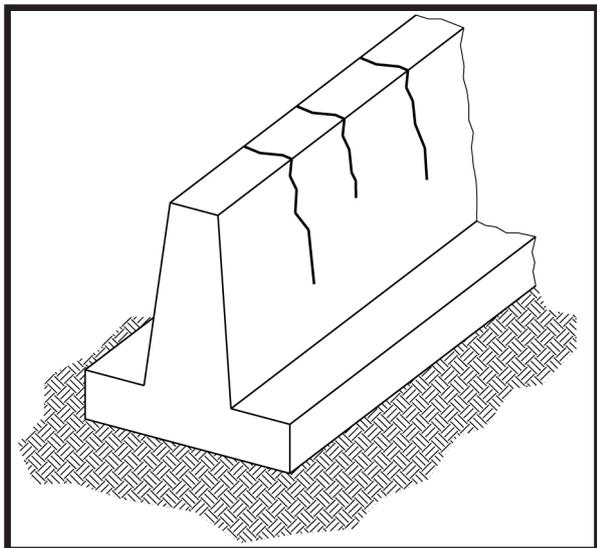


Figura 5. Fissuração típica de retração em muro.

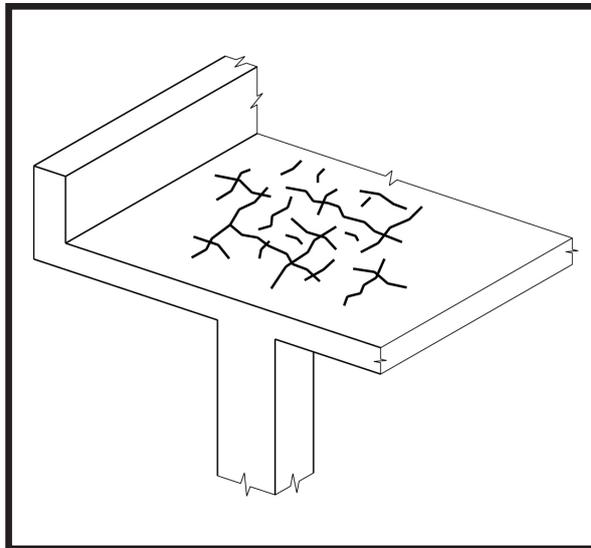


Figura 6. Fissuração típica de retração superficial ou dessecação superficial (CANOVAS, 1994).

2.2.3. Temperatura

As variações volumétricas podem ocorrer em estado fresco decorrentes das altas temperaturas que acontecem durante as reações exotérmicas na hidratação do cimento e a posterior contração diferencial pelo resfriamento.

Já no estado endurecido os deslocamentos estão associados às variações de temperatura a que a

estrutura está sujeita.

Da mesma forma que no caso da retração é a restrição de movimento que provoca os esforços de tração.

Vários estudos já foram realizados no sentido de prever analiticamente a fissuração de elementos de concreto na fase de cura (CRESPO, 2009).

2.2.4. Deslocamentos impostos

Recalques diferenciais de fundação devido à heterogeneidade do solo ou dos próprios elementos de apoio, por superposição de bulbos de pressões no

caso de fundações próximas ou por expansão do solo de fundação geram esforços na maioria das vezes não previstos em projeto.



Figura 7. Fissura de cisalhamento provocada por uma expansão diferencial do terreno de fundação.

2.2.4. Fenômenos químicos deletérios

Trata-se de fissuras provocadas por esforços gerados por expansões do concreto endurecido em função da existência em excesso na massa ou por penetração de sulfatos ou pela utilização de agregados reativos com os álcalis do cimento.

No Brasil nos últimos anos se detectaram um número bastante considerável de obras nas quais os produtos deletérios expansivos destas reações causaram sérios problemas de fissuração, colocando em risco elementos estruturais e de fundações importantes (CARMONA, 2011).

A análise criteriosa e profundamente técnica é sumamente importante visto que se observam elementos estruturais principalmente blocos de fundação exibindo fissuras de grande magnitude e que não são devido a estes tipos de reação deletérias, mas sim decorrentes da retração pela não utilização armação em toda a superfície exposta de peças de

grande volume.

Sendo as reações deletérias a efetiva causa dos problemas em obras já executadas, a única forma de evitar o avanço das reações, o que levaria a uma situação catastrófica, é empregar terapias corretivas que impermeabilizem os elementos estruturais afetados reduzindo ao máximo a penetração de umidade, uma vez que estas reações se dão em meio úmido e restringir ao máximo a evolução das deformações por meio de reforços estruturais.

Nesta categoria se enquadram ainda as fissuras decorrentes dos produtos de corrosão de armaduras, assunto que é abordado em detalhes em outros capítulos desta publicação.

O aparecimento deste tipo de fissuras caracteriza de imediato um problema patológico importante e as fissuras não podem ser encaradas como sendo inerentes às estruturas de concreto armado.



Figura 8. Fissuração intensa e comprometedora em coluna de apoio de grandes dimensões provocada por efeito duplo de expansão por sulfatos e reação álcali-agregado.

Em outros países da América do Sul foram também detectadas reações deletérias por

expansões da massa de concreto (BATICA, 2001).

Tabela 1. Principais mecanismos de fissuração do concreto adaptada de CARMONA & HELENE (1986).

Estado do concreto	Mecanismo	Causas Principais	Causas Secundárias	Período de Aparecimento	Exemplos	
Fresco	Assentamento plástico	Excesso de exsudação	Secagem/dessecamento rápido	10 min. a 3 horas	- Sobre a armaduras em lajes e vigas - Em arco no topo de pilares	
	Retração plástica	Secagem/dessecamento rápido	Exsudação	30 min. a 6 horas	- Sobre a armaduras em lajes - Em placas de piso	
	Movimento de fôrmas	Escoramento insuficiente	Lançamento inadequado	Imediato	- Em laterais de vigas e paredes	
Endurecido	Fenômeno físico	Retração por secagem	Cura inadequada	Semanas ou meses	- Em vigas de grande altura - Em lajes	
		Varição sazonal de temperatura	Falta de juntas de movimentação	1 dia ou semanas	- Verticais em muros	
	Fenômeno térmico	Calor de hidratação	Excesso de compostos com reações exotérmicas	Lançamento inadequado	Acima de 3 meses	- Em grandes volumes de concreto
		Corrosão de armaduras	Concreto poroso, ambiente muito agressivo	Concreto poroso, ambiente muito agressivo	Acima de 3 meses	- Paralelas às armaduras principais
	Fenômeno químico	Retração álcali-agregado	Agregados reativos	Excesso de álcalis no cimento	Acima de 5 meses	- Tipo "mapa"
		Formação de etringita/taumasita	Excesso de sulfatos no cimento ou no ambiente	Porosidade do concreto	Acima de 1 ano	- Tipo "mapa"
		Cargas de projeto	Projeto inadequado	Ações excepcionais	Após carregadas	- Inclínadas de cisalhamento - Verticais de torção
	Estrutural	Deformação lenta	Concreto de baixa resistência	Cargas acima das previstas	Acima de 6 meses	- Verticais em balanço

3. Influência da fissuração na durabilidade das estruturas de concreto

Apesar das normas e códigos sempre apresentarem limitações de aberturas de fissuras relacionadas com a agressividade do macro ou micro climas, não há a menor dúvida de que uma fissura aberta é um caminho fácil para penetração de agentes agressivos.

Se levarmos em conta a questão como colocada no texto acima, não resta dúvida de que havendo possibilidade técnica e econômica, é sempre recomendável que as fissuras, de qualquer ordem sejam colmatadas por meio de metodologia adequada ou que seja adotada alguma estratégia de proteção, com isso minimizando a penetração desses agentes e a deterioração da estrutura.

Esta é uma recomendação decorrente de muitos anos de experiência nesta área e na observação de centenas ou talvez milhares de casos nos quais tivemos oportunidade de intervir e que demonstraram que estruturas sem controle adequado de fissuração apresentam vida útil muito inferior ao desejado.

É evidente que estruturas em processo de corrosão de armaduras apresentam fissuras devido à expansão dos produtos de corrosão e que sofrem a influência de vários fatores, como por exemplo, da qualidade do concreto de cobertura (SCHIERLOH, 2005) e que nada tem a ver com a fissuração decorrente dos esforços de projeto.

4. Avaliação da fissuração na fase de projeto

Os métodos de avaliação da abertura de fissuras sempre foram um ponto polêmico no meio técnico, dada à influência de inúmeros parâmetros de grande variabilidade.

Até mesmo a tensão nas armaduras em serviço é de previsão complexa, pois deveria a rigor levar em conta os efeitos de retração, temperatura, não linearidades e a própria deformação lenta do concreto.

Várias são as metodologias existentes para a sua avaliação, destacando-se dentre outras a norma brasileira *ABNT NBR 6118*, o *Euro Code* e as recomendações do *ACI 224*.

O assunto fissuração aliado à durabilidade foi tratado na normalização brasileira de uma forma muito simplista, desde a *NB1-60*, tendo a *ABNT NBR 6118:1978* evoluído nestes conceitos e na versão atual da *ABNT NBR 6118:2007* estas recomendações estão bem mais completas e tudo indica que serão revisadas brevemente de acordo às pesquisas mais modernas.

Segundo o entendimento dos autores merece destaque as análises de *ALMEIDA*, pesquisadora brasileira que desenvolveu um trabalho extenso de comparação de normas e resultados experimentais em tirantes, lajes e vigas de

diversos autores, terminando por propor uma metodologia que segundo a autora apresenta melhor correlação com as medidas reais.

Dado o caráter prático e territorialmente abrangente desta publicação, será descrita a forma de estimativa da abertura de fissuras com base no *First Draft do fib Model Code 2010*, por ser uma referência moderna e razoavelmente consensual.

Evidentemente as normas de projeto tratam das fissuras originadas pelos esforços e as relaciona com a questão da durabilidade das estruturas em função da classe de agressividade ambiental nas quais as mesmas estão inseridas e não existe o menor sentido em comparar aberturas de fissuras originadas de fenômenos químicos como a corrosão de armaduras ou reação álcali agregada com os limites fornecidos pelas normas, mau entendimento que infelizmente não é raro no meio.

Quanto à previsão de fissuração devido à corrosão das armaduras, várias tentativas se fizeram empregando análises sofisticadas como, por exemplo, o método dos elementos finitos (*RIVAS, 2005*).

4.1. Marcha de cálculo para estimativa da abertura de fissuras

a) Cálculos Iniciais

$$E_c = \left(0,8 + 0,2 \cdot \frac{f_{ck} + 8}{88} \right) \cdot 21,5 \cdot 10^3 \cdot K_e \cdot \left(\frac{f_{ck} + 8}{10} \right)^{1/3}$$

$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_c}$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot (f_{ck})^{2/3}$$

Onde:

α_e - Peso elástico do aço em relação ao concreto.

E_s - Módulo de elasticidade do aço

($2,1 \cdot 10^5$ MPa).

E_c - Módulo de elasticidade do concreto (MPa).

Este parâmetro é de grande variabilidade, sendo recomendável a utilização de valores locais conhecidos ou realização de ensaios específicos para sua determinação.

K_e - Coeficiente em função do tipo de agregado, ver Tabela 2

f_{ctm} - Resistência média à tração do concreto (MPa).

f_{ck} - Resistência característica à compressão (MPa). Para os países que adotam a filosofia de cálculo do ACI a resistência à compressão f'_c deveria ser em teoria corrigida para obtenção de f_{ck} , por se referirem a quantis de probabilidade diferentes.

Embora a diferença seja pequena, uma forma prática e aproximada para essa correção e cuja dedução, embora simples, não é escopo desta publicação é: $f_{ck} = f'_c - 2$

Tabela 2. Efeito do tipo de agregado no módulo de elasticidade do concreto.

Tipo de Agregado	Ke
Quartzo	1,0
Basalto	1,2
Calcário	0,9
Arenito	0,7

b) Combinação de ações para verificação em serviço

$$S_{d,ser} = G + \sum_{i \geq 1} (\psi_{2,i} Q_{k,i})$$

Onde:

$S_{d,ser}$ - Ação de serviço combinada.

G - Ação permanente, correspondente à sigla D na nomenclatura do ACI.

$\psi_{2,i}$ - Coeficiente de combinação quase permanente. Esse coeficiente pode assumir diversos valores em função das ações (vide Tabela 3).

Por simplificação e à favor da segurança pode-se adotar $\psi_2 = 1$.

$Q_{k,i}$ - Ação variável, correspondente à sigla L na nomenclatura do ACI.

Tabela 3. Definição dos coeficientes ψ_2

Ação Variável	ψ_2
Área residencial	0,3
Área de escritórios	0,3
Área de concentração de pessoas	0,6
Centros comerciais	0,6
Área de estocagem	0,8
Área de tráfego (veículos com peso inferior a 30 kN)	0,6
Área de tráfego (veículos com peso entre 30 e 160 kN)	0,3
Coberturas	0
Neve	0
Vento	0

c) Determinação da tensão em serviço na armadura

O cálculo da tensão na armadura é normalmente realizado em estágio II, pois é superada a tensão de tração do concreto.

No caso de peças em flexão deve-se fazer a somatória de momentos estáticos em relação a um ponto da seção e assim determinar a profundidade da linha neutra x.

Calcula-se então a inércia na posição da fissura,

multiplicando-se as parcelas correspondentes ao aço por α_e .

d) Estimativa da abertura de fissura

$$\rho_{s,ef} = \frac{A_s}{A_{c,ef}} \quad \sigma_{sr} = \frac{f_{ctm}}{\rho_{s,ef}} \cdot (1 + \alpha_e \rho_s)$$

$$N = \sigma_s \cdot A_s$$

$$N_r = A_c f_{ctm} (1 + \alpha_e \rho_{s,ef})$$

$$W_d = \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{\phi_s}{\rho_{s,ef}} \cdot \frac{f_{ctm}}{\tau_{bm}} + 1,7 \cdot (c - 2,5) \right] \cdot \frac{(\sigma_s - \beta \cdot \sigma_{sr} + \eta_r \cdot \epsilon_r \cdot E_s)}{E_s}$$

Onde:

W_d - Abertura de fissura calculada.

A_s - Área de aço.

$A_{c,ef}$ - Área efetiva de concreto em tração (ver Fig. 7).

σ_s - Tensão na armadura em serviço.

ϕ_s - Diâmetro das armaduras ou no caso de combinação de barras o diâmetro equivalente

calculado de acordo com:

$$\frac{\sum n_{s,i} \phi_{s,i}^2}{\sum n_{s,i} \phi_{s,i}}$$

τ_{bm} - Tensão média de aderência aço/concreto (vide Tabela 4).

c - Cobrimento de armaduras (cm).

β - coeficiente empírico (vide Tabela 4).

η_r - Coeficiente que leva em conta a contribuição da retração (vide Tabela 4).

ϵ_r - Deformação específica de retração.

Tabela 4. Valores de β , η_r e τ_{bm} .

Tipo de Carregamento	$N < N_r$	$N > N_r$
Carregamento instantâneo	$\tau_{bm} = 1,8 \cdot f_{ctm}$	$\tau_{bm} = 1,8 \cdot f_{ctm}$
	$\beta = 0,6$	$\beta = 0,6$
	$\eta_r = 0$	$\eta_r = 0$
Carregamento mantido ou repetido	$\tau_{bm} = 1,8 \cdot f_{ctm}$	$\tau_{bm} = 1,8 \cdot f_{ctm}$
	$\beta = 0,6$	$\beta = 0,4$
	$\eta_r = 0$	$\eta_r = 1$

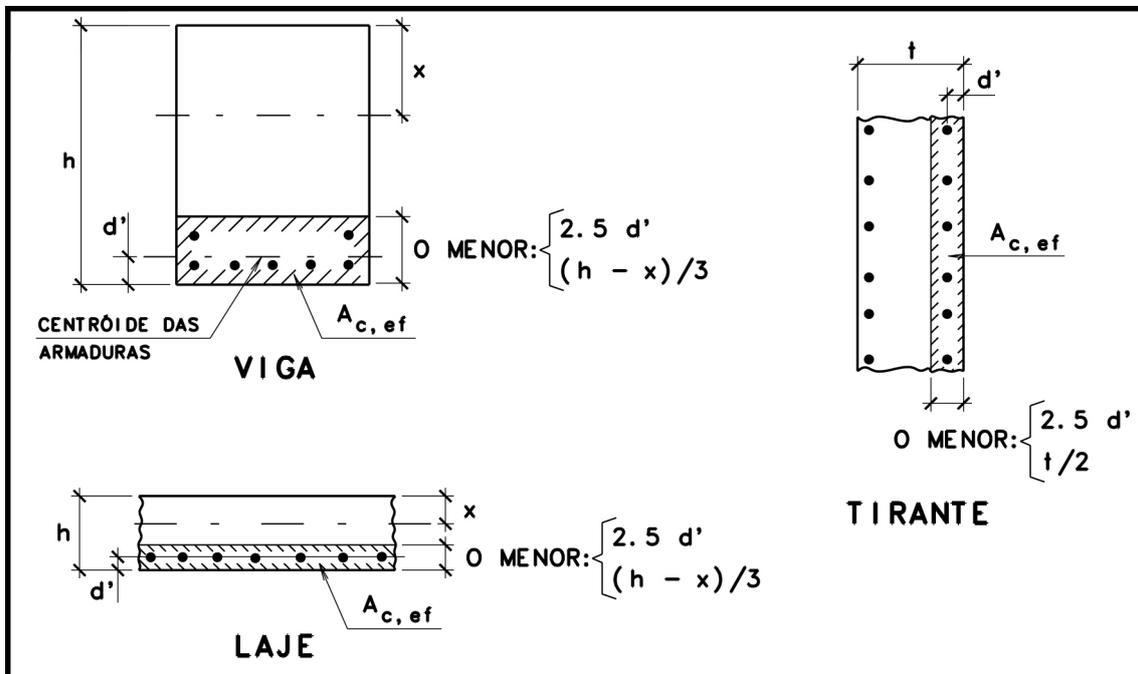


Figura 9. Definição da área efetiva de concreto em tração, $A_{c,ef}$

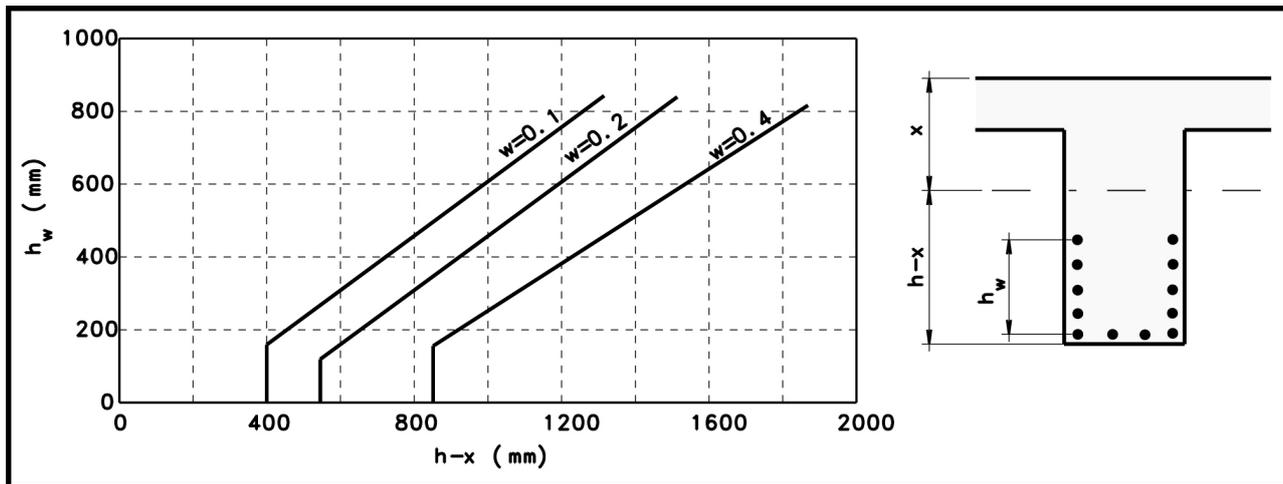


Figura 10. Altura da alma a ser protegida com armadura de controle de fissuração para evitar a formação de fissuras tipo “espanador ou árvore invertida”.

4.2. Critério de avaliação

O critério de avaliação da abertura de fissuras do *First Draft do fib Model Code 2010* não é suficientemente claro e dado que se trata de documento em elaboração espera-se que seja revisto para a próxima edição.

Decidiu-se então indicar valores de acordo ao

critério dos autores, sendo, portanto discutíveis e servindo apenas como orientação na Tabela 5.

Buscando facilitar a compreensão internacional destes limites indicamos as classes equivalentes de exposição segundo o *First Draft do Model Code 2010* a *ABNT NBR 6118:2007* e o *ACI 224*.

Tabela 5. Limites de abertura de fissuras propostos.

first draft Model Code 2010	Ambiente		Abertura limite $W_{d \text{ lim}}$ (mm)
	ACI 224	NBR 6118	
Sem risco de corrosão	Ar seco ou protegido com membranas	Rural - CAA I	0,3
Corrosão por carbonatação	Ambiente úmido	Urbana - CAA II	0,2
Corrosão por cloretos de origem marinha	Água do mar e respingos de maré	Névoa marinha - CAA III	0,1
		Respingos de maré - CAA IV	
Corrosão por cloretos de origem diferente à marinha	Sais de degelo	Quimicamente agressivo - CAA IV	

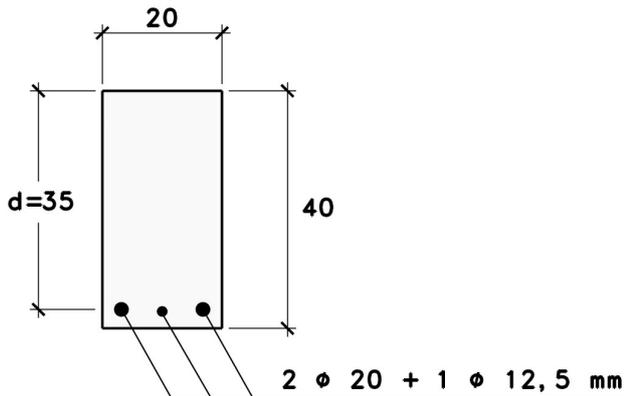
Considera-se aceitável a fissuração caso $w_d < w_{d \text{ lim}}$.

Para cobrimentos de armadura consideravelmente superiores aos recomendados para a classe de agressividade à qual estará exposta a estrutura o limite de abertura de fissuras pode ser aumentado

proporcionalmente ao aumento do cobrimento, desde que inferior ao limite da classe de agressividade um nível mais brando ou a 0,3 mm (por exemplo CAA III - 0,1 mm para CAA II - 0,2 mm < 0,3 mm).

4.4. Exemplo didático

Dados:



Concreto C25 ($f_{ck} = 25 \text{ MPa}$)

Agregado calcário

$MG = 5,4 \text{ tf.m}$ $MQ = 1,3 \text{ tf.m}$

Edifício de escritórios

$c = 3 \text{ cm}$

$\epsilon_r = 0,02 \%$ (dado fornecido, mas de estimativa complexa na prática)

Ambiente urbano

a) Cálculos Iniciais:

$$E_c = \left(0,8 + 0,2 \cdot \frac{25 + 8}{88} \right) \cdot 21,5 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot \left(\frac{25 + 8}{10} \right)^{1/3} = 25.207 \text{ MPa}$$

$$\alpha_e = \frac{2,1 \cdot 10^5}{25.207} = 8,3$$

$$f_{ctm} = 0,3 \cdot 25^{2/3} = 2,57 \text{ MPa} = 25,7 \text{ kgf / cm}^2$$

b) Combinação de Ações:

$$\psi_2 = 0,3$$

$$M_{d,ser} = 5,4 + 0,3 \cdot 1,3 = 5,79 \text{ tf.m}$$

c) Estimativa da tensão em serviço na armadura:

Determinação de x com somatória de momentos estáticos:

$$A_s = 7,5 \text{ cm}^2$$

$$20 \cdot x \cdot \frac{x}{2} = 7,5 \cdot (35 - x) \cdot 8,3 \Rightarrow 10 \cdot x^2 = 2.186,63 - 62,48 \cdot x \Rightarrow x = 12 \text{ cm}$$

d) Cálculo da inércia:

$$I_{II} = \frac{20 \cdot 12^3}{12} + 20 \cdot 12 \cdot \left(\frac{12}{2} \right)^2 + 7,5 \cdot (35 - 12)^2 \cdot 8,3$$

$$I_{II} = 2.880 + 8.640 + 33.049 = 44.569 \text{ cm}^4$$

e) Tensão na armadura:

$$\sigma_s = \frac{5,79 \cdot 1.000 \cdot 100}{44.569} \cdot 8,3 = 2.484 \text{ kgf / cm}^2$$

$$\frac{(35-12)}{}$$

f) Estimativa da abertura de fissuras:

$$A_{c,ef} \rightarrow 2,5(40-35) = 12,5 \text{ m}^2 \quad \text{ou} \quad \frac{40-12}{3} = 9,3 \quad \therefore A_{c,ef} = 20 \times 9,3 = 186 \text{ cm}^2$$

$$\rho_{s,ef} = \frac{7,5}{186} = 0,0403$$

$$\sigma_{sr} = \frac{25,7}{0,0403} \cdot (1 + 8,3 \cdot 0,0403) = 851 \text{ kgf / cm}^2$$

$$N = 2,484 \cdot 7,5 = 18.630 \text{ kgf}$$

$$N_r = 186 \cdot 25,7(1 + 8,3 \cdot 0,0403) = 6.379 \text{ kgf}$$

Como $N > N_r$ e em se tratando de carregamento mantido:

$$\tau_{bm} = 1,8 \cdot f_{ctm} \quad \beta = 0,4 \quad \eta_r = 1$$

$$\phi_s = \frac{2 \cdot 2^2 + 1 \cdot 1,25}{2 \cdot 2 + 1 \cdot 1,25} = 1,8$$

$$W_d = \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{1,8}{0,0403} \cdot \frac{25,7}{1,8 \cdot 25,7} + 1,7 \cdot (3-2,5) \right] \cdot \frac{(2.484 - 0,4 \cdot 851 + 1 \cdot 0,02\% \cdot 2,1 \cdot 10^6)}{2,1 \cdot 10^6} \cdot 10$$

$$W_d = 0.16 \text{ mm} < 0,2 \therefore \text{aceito}$$

5. Métodos e materiais para reparo de fissuras em estruturas de concreto

É muito importante realizar a distinção fundamental existente entre as fissuras chamadas de passivas ou inertes, que são aquelas que não se movimentam no tempo e as ativas ou vivas, aquelas que apresentam movimentação ao longo do tempo.

A afirmação acima pode ser uma definição temporal, pois existem fissuras que se deformam constantemente por um período de tempo e poderiam ser classificadas como ativas e

posteriormente se tornam passivas, por pararem de se deformar. As fissuras devido à retração e até devido à temperatura que atua na massa fresca, podem ser classificadas dessa forma.

Podemos dizer que de forma geral as fissuras passivas podem ser injetadas com os produtos convencionais para essa finalidade, tais como epóxis de vários tipos, metacrilatos, poliuretanos chamados de estruturais, micro cimentos etc.

No caso das fissuras ativas ou vivas o problema é bem mais complexo, visto que as injeções com materiais rígidos são totalmente contra indicados, pois ao se deformarem as fissuras voltam a aparecer no mesmo ponto onde ou outro, em geral próximo do anterior.

Para as fissuras vivas o tipo de tratamento tem que ser realizado com materiais elásticos de forma a absorver as deformações sem fissurar, é evidente, por outro lado, que com esse tipo de tratamento é impossível fazer com que a peça volte a ser monolítica e, portanto, o seu funcionamento como peça estrutural será prejudicado.

Os materiais que se prestam a esse segundo tipo de tratamento são os acrílicos, borrachas, poliuretanos etc.

No caso das fissuras vivas é possível inclusive fazer-se o tratamento por colmatação superficial, com a finalidade simples de proteger o local contra

a entrada de substâncias agressivas, dispensando a injeção, uma vez que não se consegue devolver o monolitismo à peça.

A proteção superficial por meio de pintura das peças fissuradas e tratadas é simples no caso das fissuras passivas, mas é um problema muito sério no caso das fissuras ativas visto que as pinturas em geral não tem espessura e nem elasticidade para acompanhar as deformações impostas na região da fissura.

É importante lembrar que para que mastiques e pinturas possam suportar as deformações sem fissurar-se novamente há que se reduzir a deformação específica no ponto da fissura, o que implicará em se aumentar a largura no local do tratamento fazendo-se um sulco nessa posição que será preenchido com o material, tomando-se o cuidado de que este não seja aderido à base do sulco.

6. Conclusões gerais e recomendações

6.1. A observação e a análise crítica de uma fissuração são importantes e envolve grande responsabilidade de quem o faz, pois a tomada de decisão quanto seu reparo é muito séria, já que envolve riscos de segurança, estética e durabilidade.

6.2. Cuidados tecnológicos como uma cura intensa e uma dosagem criteriosa do concreto podem diminuir de forma importante a fissuração das peças.

6.3. O projeto estrutural deve procurar restringir ao máximo a fissuração, levando em conta, de forma direta ou indireta, os efeitos

de temperatura, retração, deformação lenta e deslocamentos impostos.

6.4. No caso estruturas de armazenamento é recomendável o uso da proteção e impermeabilização interna para garantia de desempenho adequado.

6.5. É muito importante escolher os materiais adequados para se fazer o reparo, seja de fissuras ativas ou passivas, pois muitas são as variáveis a serem estudadas, dentre elas os equipamentos para aplicação, adequabilidade das características químicas e físicas etc.

7. Referência Bibliográficas

7.1 Referências deste artigo

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA de NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto. Procedimento.** NBR 6118. Rio de Janeiro, 2007.

ACI 224 R-90. **“Control of Cracking in Concrete Structures”.** American Concrete Institute. ACI Committee 224, 1990.

ALMEIDA, M. C. F. e LIMA, W. S. **Eficiência das normas brasileiras atuais e proposta no controle da fissuração em tirantes de concreto armado.** XXX Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural, Trabalho 604, UnB, Brasília, 2002.

ALMEIDA, M. C. F. e LIMA, W. S. **Eficiência das normas brasileiras atuais e proposta no controle da fissuração em lajes de concreto armado.** XXX V congresso de Engenharia Civil da UFJF, Juiz de Fora - MG, 2002.

ALMEIDA, M. C. F. e Lima, W. S. **Eficiência das normas brasileiras atuais e proposta no controle da fissuração em vigas de concreto armado.** Revista Engenharia: Estudo e Pesquisa, v.4, n.2, p.61-69, 2001.

BATIC, O. R., FERNANDEZ, J. L., NOEMI N. CASALI, ADRIANA H. MARTINEZ. **Investigación del posible ataque de la reacción álcali – sílice en estructuras de**

- hormigón armado de la región del Comahue** – Argentina en CONPAT - 2011, Republica Dominicana.
- CARMONA, A. F.; HELENE, P. R. L. **Fissuração das Peças de Concreto Armado e Corrosão das Armaduras**. In: Seminário Nacional de Corrosão na Construção Civil, 2., Rio de Janeiro, set. 1986. Anais. Rio de Janeiro, ABRACO, 1986. p.172-95.
- CARMONA, A. F.; CARMONA, T.; CARMONA, T. **Análise de Danos e Reforços dos Apoios da Cobertura do Ginásio Poliesportivo de Cuiabá**, Mato Grosso do Sul, Brasil, Conpat – 2011, Guatemala.
- CANOVAS, M F. **Patología y Terapéutica del Hormigón Armado**. 3ª ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Servicio de Publicaciones. 1994.
- CRESPO, M. D. ANTONIO MARÉ BERNAT Y CLIMENT MOLINS BORREL. **Tensiones Termicas y Fissuración a Temprarias Edades en Elementos de Hormigón Armado**, en CONPAT – 2009 no Chile.
- DAL MOLIN, L. SILVA, C. FORMOSO. **Diagnóstico de Fissuras em Concreto Armado através do Uso de Sistemas Especialistas**. Anais do CONPAT – 1997. Pg. 567 Brasil. Rio Grande do Sul.
- fib. Model Code 2010. **First Complete Draft. Bulletin 55 e 56**. DCC - Document Competence Center, Germany, 2010.
- HELENE P., PEREIRA F. **Reabilitación y Mantenimiento de Estructuras de Concreto**, CYTED 2007. Manual de Reabilitacion de Estructuras de Hormigon, CYTED, 2003.
- HERNANDEZ DEL VALLE, GABRIEL. **Determinacion de La Profundidad y Extension de Fissuras en Hormigones Estructurales por Método no Destructivos** em Anais do CONPAT – 1999, no Uruguay, página 1305.
- RIVAS, I. E. PERALTA, M. H. ORTEGA, N. F. **Simulación Del Proceso de Fissuración Del Recubrimiento de Estructuras de Hormigón Armado por Efectos de Corrosión** en Anais do CONPAT – 2005 no Paraguay.
- SCHIERLOH, M. I. ORTEGA, N. F. y SEÑAS, L. **Estudio Experimental de La Fissuración por Corrosion de Armaduras em Vigas com diferentes Hormigones** en Anais do CONPAT- 2005 no Paraguay.
- STAPELBROCK, GABRIELA. VENTURINI, PATRICIA, GEYER, ANDRÉ. **Avaliação da Ocorrência de Fissuras Externas no Silo da CESA/ Passo Fundo** em Anais do CONPAT – 1999, no Uruguay, página 1133.

7.2 Bibliografia Recomendada

- THOMAZ, E. **Fissuração – Casos Reais**, 1987.
- CARMONA, A. F. **Metodologia para Recuperação, Proteção e Determinação da Vida Útil Residual de Estruturas de Concreto em Meio Fortemente Agressivo**. São Paulo, 1998. 199p. Tese (Doutorado) – Instituto Mackenzie.
- CYTED. **MANUAL DURAR**. 3ª Edição, Agosto de 2000, **Manual de Inspeccion, Evolucion y Diagnostico de Corrosion en Estructuras de Hormigon Armado**.
- YUGOVICHI, P.G. MELGAREJO, G. A. **Informe Pericial de un Caso de Choque de Embarcación Contra um Muelle en Paraguay**. Revista de La Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de La Construcción, Número 2 de 2011.

Boletins Técnicos Alconpat

BT 01 – Bernardo Tutikian e Marcelo Pacheco

Inspección, Diagnóstico y Prognóstico en la Construcción Civil

Inspeção, Diagnóstico e Prognóstico na Construção Civil
Civil Construction Assessment

Boletim técnico 02 – Raúl Husni

Reparación y Refuerzo

Reparo e Reforço
Repair and Strengthening

Boletim técnico 03 – Antônio Carmona Filho e Thomas Carmona

Grietas en Estructuras de Hormigón

Fisuração nas Estruturas de Concreto
Cracking in Concrete Structures

BT 04 – Fernando Branco, Pedro Paulo e Mário Garrido

Vida Útil en la Construcción Civil

Vida Útil na Construção Civil
Service Life in Civil Construction

BT 05 – Gilberto Nery

Monitoreo en la Construcción Civil

Monitoração na Construção Civil
Monitoring in Civil Construction

BT 06 – Enio Pazini Figueiredo e Gibson Meira

Corrosión de armadura de estructuras de hormigón

Corrosão das armaduras das estruturas de concreto
Reinforcement corrosion of concrete structures

BT 07 – Alicia Mimbacas

Sostenibilidad en la Construcción

Sustentabilidade na Construção
Construction Sustainability

BT 08 – Paulo Helene e Salomon Levy

Curado del Hormigón

Cura do Concreto
Concrete Curing

BT 09 – Paulo Helene e Jéssika Pacheco

Controle da Resistência do Concreto

Control de la Resistencia del Hormigón
Conformity control for compressive strength

BT 10 – Hênio Tinoco

Responsabilidad Social en Construcción

Responsabilidade Social na Construção Civil
Social Responsibility in Civil Construction

Patrocínio de: